

2상 여자방식에 의한 SRM의 운전특성에 관한 연구

文載元, 吳錫奎, 安珍雨, 李一千, 黃煥文

A Study on the Drive Characteristics of SRM by 2-Phase Excitation Method

Jae-Won Moon, Seok-Gyu Oh, Jin-Woo Ahn, Yil-Chun Lee, Young-Moon Hwang

요 약

본 논문에서는 SRM의 2상 여자방식의 동작특성을 제시하였다. 제안한 방식은 스텝전동기의 2상 여자방식과 유사하게 동시에 2상을 여자하여 자기인덕턴스뿐만 아니라 상호인덕턴스에 의해서도 토오크를 발생시킨다. 상여자의 갑작스런 변화는 기계적인 변위를 만들고 이는 소음과 진동을 유발한다. 2상 여자방식에 의한 연속적인 상여자에 의해 갑작스런 상여자의 변화를 줄여 소음을 줄일 수 있었다. 기존의 여자방식과 동작원리와 특성을 비교함으로써 새로운 제어방식이 타당성을 입증하였다.

ABSTRACT

This paper suggests the drive characteristics of a Switched Reluctance Motor(SRM) by 2-phase excitation method. This scheme excites 2 phases simultaneously, which is similar to 2-phase excitation method of a step motor. In this scheme, the torque is produced by mutual inductances as well as self inductances. The abrupt change of a phase excitation produces mechanical stresses and it results in vibration and noise. The acoustic noise is reduced remarkably through the sequential phase excitation in the 2-phase excitation. Operational principle and characteristic comparison to that of the conventional SRM show that this excitation scheme has some advantages including torque ripple and noise reduction.

Key Words: SRM, 2-phase excitation method, mutual inductance, self inductance, vibration, noise

1. 서 론

스위치드 릴럭턴스 전동기(Switched Reluctance Motor, SRM)는 일반적인 상호토오크(mutual torque)를 이용하는 구동방식과 달리 단일 여자방식(single exciting method)으로 릴럭턴스 토오크를 이용하여 구동하며, 전자기적인 구조가 간단 견고하며, 고효율, 고토오크/관성비, 넓은 범위의 가변속운전 등의 장점을 가진 전동기구조로서 여러 산업분야 및 가전분야에 그 적용범위를 넓혀 가고 있다.

최근까지의 SRM에 대한 개발연구의 방향과 주된 관심사는 기계적 출력의 극대화 및 고효율화를 위한 전자기구조의 최적화, 그리고 에너지흐름에 대한 효율성 증대와 제어성능 향상을 위한 전동기와 전력변환장치간의 결합성에 집중되어

있었다. 그러나 최근 정밀제어 및 가정용 전자제품으로의 활용범위를 넓히는 데 있어 가장 장애가 되고 있는 것이 운전특성의 안정화를 위한 토오크 리플과 소음·진동으로 이에 대한 연구가 활발히 추진되고 있다. 이러한 소음·진동은 SRM의 구동원인 릴럭턴스 토오크의 발생과정에서 회전력으로 작용하는 회전자 접선방향의 힘뿐만 아니라 방사방향의 힘이 작용하여 각 상을 온(on), 오프(off)할 때 주로 고정자프레임을 방사방향으로 진동시킴으로써 발생하게 된다^[1,2].

토오크 리플과 소음·진동을 저감시키기 위한 방안으로써 전자기구조의 개선과 제어방식에 의한 개선 등을 중심으로 연구되고 있으며, 이 중 전자기구조의 개선은 자기구조의 적정설계, 보조권선 삽입 그리고 전철권 권선방식 등이 제시되고 있으며 제어방식에 의한 개선은 스위칭 패턴에 의한 제어

그리고 상전류 형상에 의한 제어방식 등이 연구되고 있다 [2,3,4,5]

본 논문에서는 토오크 리플과 소음·진동을 저감시키고 운전성능을 향상시키기 위한 방안으로 한 순간에 한 상을 여자시키는 기존의 방식과는 달리 동시에 2상을 여자시켜 자기력턴스 뿐만 아니라 두 상의 상호작용에 의해서도 톨력턴스 토오크를 발생시키는 SRM의 새로운 여자방식을 제안하려고 한다. 제안한 방식에서는 연속적인 2상 스위칭에 의해 자속을 계속 유지함으로써 방사방향의 순간적인 힘의 변화를 줄여 소음·진동을 감소시킬 수 있다. 이를 위해 발생토오크의 유도과 자속분포를 해석하였으며 제안한 여자방식의 타당성을 시스템을 구성하여 실험적 해석을 통하여 검증하였다.

2. 2상 여자방식 SRM의 구동원리

SRM에서의 전동력 발생은 여자된 자기회로에서 자기력턴스가 최소화되는 작용으로 이루어지므로 그림 1에서와 같은 자기회로 구조에서 연속적인 운전을 하기 위해서는 회전방향으로 각 상을 주기적으로 여자시킬 때 이루어진다. 이 때 기존의 SRM의 구동방식은 순차적으로 한 순간에 한 상을 여자하는 구동방식을 채택하고 있다. 본 논문에서 제안한 2상 여자방식은 항상 2상을 여자하는 방식을 채택하여 구동한다. 이를 위해 그림 1에서와 같이 기존의 권선방식과 같으나 각 자극의 결선방향은 기존의 여자방식과는 달리 맞은편의 동일 상의 권선과는 반대 방향으로 감겨져 있으며, 3상 교류전동기 처럼 각 상권선의 한쪽 단자는 공통으로 묶어서 Y결선으로 되어 있다. 따라서 2상 여자방식 SRM에 사용되는 인버터도 일반적인 3상 인버터회로와 유사하다.

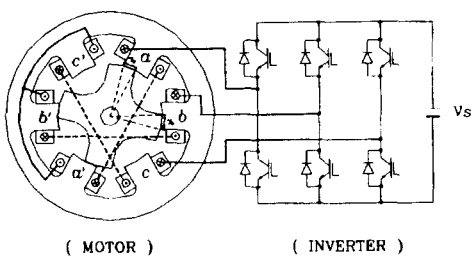


그림 1 2상 여자방식에 의한 SRM 구동시스템
Fig. 1 SRM drive system by 2 phase excitation method

2상 여자방식에 의한 SRM의 구동원리는 상 여자순서에 따른 회전자의 위치각 변화와 자속분포를 그림 2에서 보여주고 있다. 그림 2(a)는 a상과 b상을 각각 역(-), 정(+), 정(+)으로 여자하였을 때 자속분포를 보여주며 이 위치는 자기회로에서 톨

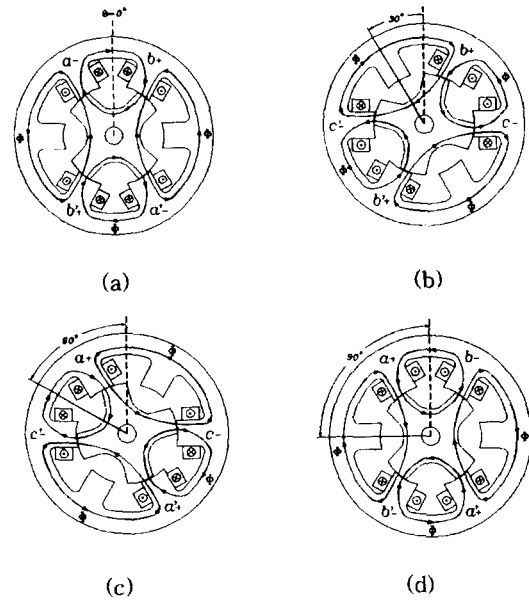


그림 2 회전자의 위치변화에 따른 자속분포
(a) a상(-), b상(+) (b) c상(-), b상(+)
(c) c상(-), a상(+) (d) b상(-), a상(+)
Fig. 2 Flux distribution according to rotor position
(a) a-ph(-), b-ph(+), (b) c-ph(-), b-ph(+)
(c) c-ph(-), a-ph(+), (d) b-ph(-), a-ph(+)

력턴스가 최소로 되는 점 즉, 인덕턴스가 최대로 되는 회전자의 정지점이다. 그림 2(b)는 그림 2(a)의 경우보다 회전자가 반시계 방향으로 30° 회전한 경우로 b상을 정(+)으로 계속 여자하며, a상을 오프하고 c상을 역(-)으로 여자한 경우이다. 그림 2(c)는 그림 2(a)의 경우보다 회전자가 60° 회전한 경우로 c상을 역(-)으로 계속 여자하며, b상을 오프하고 a상을 정(+)으로 여자한 경우이다. 그림 2(d)는 a상을 정(+)으로 계속 여자하며, c상을 오프하고 b상을 역(-)으로 여자한 경우로서 (a)의 경우보다 회전자가 90° 회전하게 된다. 이후는 앞서의 과정을 반복하여 계속적으로 회전력을 얻게 된다. 그림 2에서 2상 여자방식에 의한 자속분포는 4개로 기존의 여자방식보다 자기회로의 이용률이 높다.

2상 여자방식의 자속경로를 보여주는 그림 2(a)에서 a상의 여자시 a상의 기자력에 의해 발생된 자속은 고정자의 b극과 b'극을 통해 b극의 권선과 b'극의 권선을 쇄교하고 있다. 그러므로 누설자속과 철심재료의 자기저항을 무시하면 회전자 위치각 변화에 따른 a-b상의 상호인덕턴스($M_{ab}(\theta)$)는 고정자의 a극과 b극의 회전자극과의 중첩각 (γ_a, γ_b)에 의해 대략적으로 식 (1)과 같이 근사화할 수 있다^[6].

$$M_{ab}(\theta) = \frac{N^2}{R_g} = \frac{N^2 \cdot \mu_0 \cdot l_c \cdot D_r}{4g} \frac{(\gamma_a \cdot \gamma_b)}{(\gamma_a + \gamma_b)} \quad (1)$$

여기서, N 은 상권선의 턴수, R_s 는 공극의 자기저항, μ_0 는 공극의 투자율, l_c 는 철심의 적층길이, D_r 은 회전자 자극의 직경 그리고 g 는 공극의 길이이다. $M_{ab}(\theta)$ 는 권회수의 제곱과 고정자의 a 극과 b 극이 모두 회전자극과 중첩될 때(그림 2(a) 참조) 자극면을 통과하는 공극자속경로만을 고려한 상호인덕턴스이다.

그림 2에서 a 상의 기자력에 의하여 발생된 자속은 회전자 위치각에 따라 공극을 통해 인접 회전자의 자로를 경유하여 인접한 고정자의 b 극(그림 2(a)의 경로 참조) 또는 c 극(그림 2(c)의 경로 참조)을 통하여 a 극으로 다시 되돌아오는 각각의 자속경로를 가진다.

그림 3은 실험에 사용된 12/8극 SRM에서 a 상을 정(+)
방향으로 c 상을 역(-)방향으로 여자할 때 유한요소법에 의해 회전자위치에 따른 해석된 자속분포를 보여주고 있다.

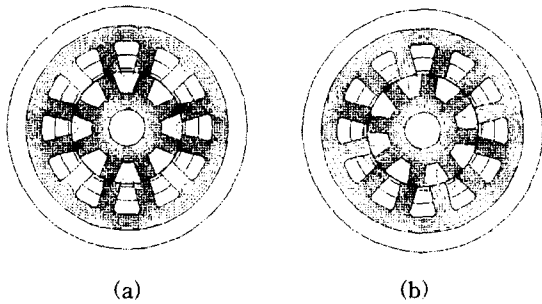


그림 3 2상 여자방식 SRM의 자속분포(a상+, c상-) (a) 최대 자속쇄교 위치 (b) 최소 자속쇄교 위치
Fig. 3 Flux distribution of SRM with 2-phase excitation (a-ph(+), c-ph(-)). (a) maximum flux-linkage position (b) minimum flux-linkage position

그림 3(a)는 a 상과 c 상에 최대로 자속이 쇄교하는 위치로서 a , c 상권선이 있는 자극에 자속밀도가 높음을 볼 수 있고 이 위치에서 최대 상호인덕턴스가 발생한다. 그림 3(b)는 최소 상호인덕턴스가 발생하는 위치로서 두 자극에서의 자속밀도가 낮음을 알 수 있다.

3. 2상 여자방식에 의한 소음저감 운전

3.1 토오크발생과 소음

SRM의 토오크는 상권선에 여자한 자기회로 내에 릴럭턴스를 최소화하는 방향으로 회전자가 움직이므로써 발생한다. 이때 발생하는 토오크는 일반적으로 코에너지의 회전자 위치각의 편미분에 의해서 식 (2)와 같이 표현할 수 있다. 기존의

여자방식은 상호인덕턴스를 최소화하는 운전을 하기 때문에 자기인덕턴스의 변화에 의해서만 토오크가 발생하지만 본 여자방식은 각 여자구간마다 2상이 여자됨으로 발생토오크는 자기인덕턴스뿐만 아니라 상호인덕턴스에 의해서도 토오크를 발생시킬 수 있다.

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

SRM에서 회전력을 발생시키기 위해 고정자 상권선에 전압이 인가되어 권선전류가 흐르게 된다. 이 전류에 의해 발생된 자속이 자기회로의 릴럭턴스가 감소하는 방향으로 페루프를 형성함으로써 회전자의 회전력을 발생시키게 되는데, 이러한 회전력이 작용될 때 고정자를 회전축의 중심방향으로 변위를 일으키게 된다. 이러한 고정자의 변위에 의해 소음이 SRM에서 발생하는 소음의 대부분을 차지하고 있고 자속의 갑작스런 증감과 밀접한 관계가 있다. 정토크 발생구간이 끝나기 전

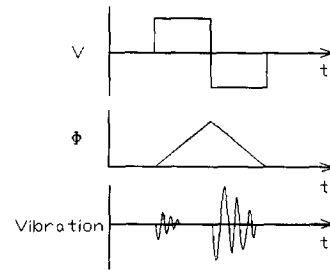


그림 4 온, 오프시 인가전압, 자속 및 진동
Fig. 4 Voltage, flux and variation as switching

에 스위치 오프하기 위해 역전압을 인가하는 데, 이 때 자속의 순간적인 변화율은 진동의 크기와 직접적인 관계가 있다.

그림 4는 기존의 SRM의 여자시에 인가전압의 변화, 자속의 변화 및 오프시 진동의 발생을 보여준다. 그림 3에서 스위치 온, 오프 함으로써 발생하는 자속의 변화는 스위치 온과 오프시에 가장 크게 발생한다. 그리고 앞서 발표된 논문[1,2,3]에 의하면 진동은 스위치 온, 오프시에 주로 발생되고, 특히 스위치 오프때에 가장 크게 나타나는 것으로 알려졌다.

3.2 기존 여자방식과 2상 여자방식과의 비교

그림 5는 기존의 여자방식에 의해 구동될 때 스위치 온, 오프시에 자속변화와 고정자의 변위를 보여주고 있다.

그림 5의 기존의 여자방식인 경우, 상권선에 양의 전압이 인가되어 자속이 증가하면서 고정자는 회전축의 중심방향으로 힘이 작용하게 된다. 스위치 오프되면서 상권선에 인가되는 전압이 역전압으로 바뀌면서 자속이 감소하기 시작하면서 고정자는 회전축 중심의 반대방향으로 힘이 발생되면서 고정자의 진동이 발생하게 된다.

2상 여자방식인 경우 항상 두 상이 동작하게 되므로 오프시에도 두 상중 한 상만 오프되고 나머지 한 상은 온되어 있는 상태이므로 오프된 상권선 전류는 온된 상을 통해서 프리휠링하면서 감소하게 된다. 그러므로 오프한 시점의 자속의 변화율이 감소하게 되어 고정자의 진동에 의한 소음도 감소하게 된다.

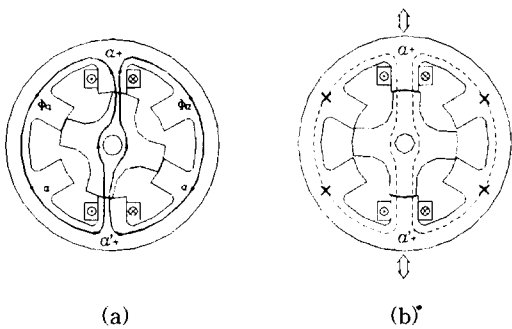


그림 5 기존의 여자방식에 의한 자속 변화 및 진동
(a) 스위치 오프 전 (b) 스위치 오프 이후
Fig. 5 Flux variation and vibration by conventional excitation method (a) before switch-off (b) after switch-on

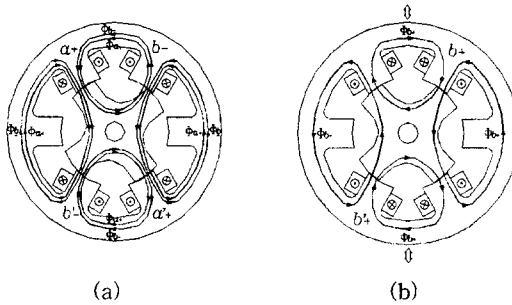


그림 6 2상 여자방식에 의한 자속 변화 및 진동
(a) 스위치 오프 전 (b) 스위치 오프 이후
Fig. 6 Flux variation and vibration by 2-phase excitation method (a) before switch-off (b) after switch-on

그림 6은 2상 여자방식에서의 스위치 오프시의 자속의 변화를 보여주고 있다. 한 상이 轉流시에도 다른 상은 계속 온

되어 있는 상태이므로 자속의 변화가 작음을 알 수 있다.

2상 여자방식인 경우 그림 6(a)일 때에 a상 권선과 b상 권선에 전압이 인가되어 a-b상의 자속이 증가하면서 고정자는 회전축의 중심방향으로 힘이 작용하게 된다.

그림 6(b)는 b상이 정방향으로 온되어 있는 상태에서 역방향으로 여자된 a상이 오프되면서 진동이 발생하는 구간인데, 이때 오프된 a상의 전류는 다이오드와 온 되어 있는 b상을 통해서 프리휠링하게 되므로 오프시 자속이 순간적으로 유지되므로 회전축 반대방향으로 작용하는 힘이 감소하게 되어 진동이 감소하게 된다.

4. 실험결과 및 해석

실험에 사용된 전동기는 12/8극 SRM이며 6/4극인 경우보다 회전당 극수와 스위칭수가 2배로 증가되므로 토크 리플이 줄어들게 되고, 자속의 이동경로의 길이도 줄어들게 되는 장점을 가지고 있다.

4.1 2상 여자방식의 운전특성

그림 7은 기존의 여자방식과 2상 여자방식의 인가전압과 전류형상을 보여주고 있다. 선간전압의 변화를 보여 주고 있다. 그림 7(a)는 기존의 여자방식인 경우 전압이 100(V)로 인가된 후 스위칭소자의 오프시 전압이 -100(V)로 변화하고 있으나 그림 7(b)의 2상 여자방식인 경우 인가전압이 100(V)에서 스위칭소자의 오프시 프리휠링 구간에서 0(V)로 선간전압이 변화하고 있다. 그러므로 2상 여자방식의 경우 온, 오프의 전압의 변화가 절반으로 줄어들게 된다. 스텝변화율이 감소하게 되면 자속의 순간적인 변화율이 감소하게 되므로 오프시 고정자진동이 감소하게 되고, 이로 인하여 구동 소음의 크기가 줄어들 것이다.

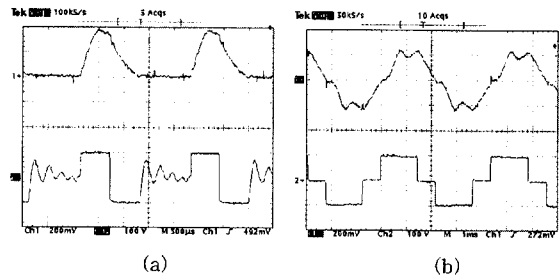


그림 7 상전류 및 전압파형(상단 : 전류[1.25A/div.], 하단 : 전압[100V/div.]) (a) 기존 여자방식 (b) 2상 여자방식
Fig. 7 Phase current and voltage waveform (upper : current[1.25A/div.], lower : voltage[100V/div.]) (a) Conventional excitation method (b) 2 phase excitation method

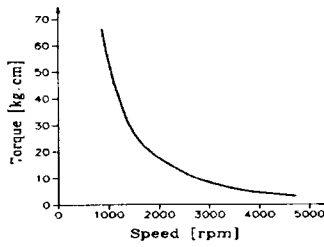


그림 8 2상 여자방식에 의한 속도-토크 특성
Fig. 8 Speed-torque characteristics by 2-phase excitation method

그림 8은 2상 여자방식 SRM의 속도-토크 특성으로써 일정전압 인가시 부하토크의 가변에 따른 속도특성을 나타낸다. 속도-토크 곡선은 기존의 SRM과 같이 직류직권전동기의 수하특성을 나타낸다.

그리고 효율은 2상 여자방식의 SRM은 기존의 SRM에 비해 저토크 영역에서는 다소 효율이 높으나 고토오크영역에서는 다소 낮았다. 저토크 영역에서 2상 여자방식은 자기회로의 이용률이 높기 때문에 자기회로의 포화의 영향을 작게 받게 되어 철손의 영향이 적으므로 효율이 상대적으로 높으나, 고토오크영역으로 가면 전류의 크기가 증가하고 자기회로의 포화의 영향을 받게 되고 동손이 기존방식보다 많이 발생하여 효율이 감소하게 된다.

4.2 소음도 비교

그림 9는 토크를 5(kg.cm)로 일정하게 유지하고 속도를 증가시키에 따른 소음도의 변화를 보여준다. 기존의 여자방식인 경우 1500(rpm)과 3200(rpm) 부근에서 공진현상에 의한 소음도가 증가함을 알 수 있다. 2상 여자방식도 1500(rpm)과 3200(rpm) 부근에서 공진현상이 나타나고 있으나 기존의 방식에서와 같이 큰 값의 소음이 발생되지 않음을 알 수 있다.

기존의 여자방식의 경우 스위칭 주파수인 1.3(kHz) 근처에서 큰 고조파성분이 나타나고 있는데, 이것은 각 상을 온, 오프 할 때의 고정자진동에 의한 소음이 대부분을 차지하고 있음을 알 수 있다. 그리고 소음파형에서 전동기 1회전당 주기가 뚜렷하게 나타났다.

이에 반하여 동일한 속도, 부하 조건에서 2상 여자방식으로 운전할 경우 스위칭주파수대인 1.3(kHz) 부근의 주파수대의 소음이 기존의 방식에 비해 감소하였다. 이것은 각 상의 온, 오프시 발생하는 소음이 상대적으로 감소하였음을 알 수 있으며, 소음파형에서 1회전당 주기가 뚜렷하지 않았다.

두 가지 여자방식의 FFT분석에서 스위칭 주파수대인 1.3(kHz)부근에서 가장 큰 소음성분이 발생하였으므로

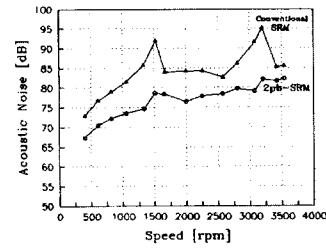


그림 9 일정토크(5(kg.cm))조건에서의 소음도비교
Fig. 9 Comparison of sound level on constant torque condition(5(kg.cm))

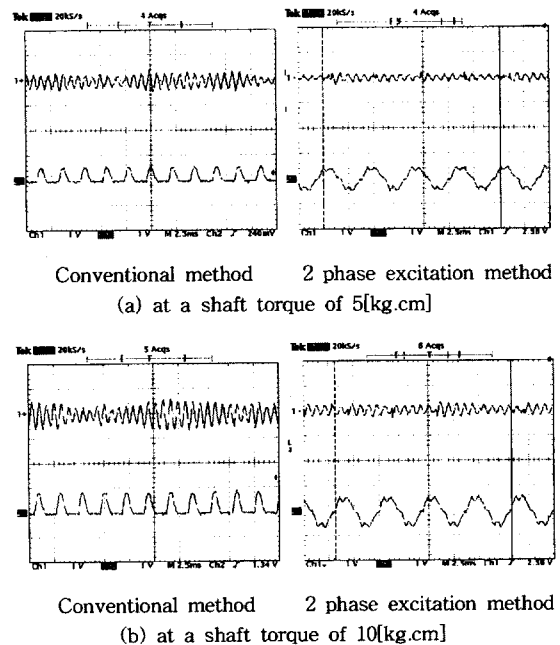


그림 10 전류와 소음파형 비교(3400rpm) 일정속도
(상단:소음(1V/div.), 하단:전류(6.25A/div.))
Fig. 10 Comparison of current and acoustic noise waveforms (3400rpm) constant (Upper trace : acoustic noise(1V/div.), Lower trace : current(6.25A/div.))

1.3(kHz)근처의 소음성분만을 필터링 하여 그 성분을 비교하여 보기로 한다.

그림 10은 부하토크의 가변시 소음의 파형 및 전류의 파형을 보여준다. 여기서 위쪽이 소음파형이며 아래쪽이 상 전류의 파형이다. 소음파형은 일정한 거리의 동일위치에 장착된 소음계의 출력신호를 증폭하여 동일한 증폭율에서 상대적인 크기를 측정, 비교하였다. 그림 10(a)는 부하토크

5(kg.cm)이고 그림 10(b)는 부하토크 10(kg.cm)일 때로써 좌측이 기존 여자방식의 SRM이고 우측이 2상 여자방식의 SRM이다. 소음파형은 3400(rpm)의 일정속도로 회전하는 경우 12/8극 SRM인 경우 1회전당 24회 스윗칭하므로 스윗칭주파수는 1.36(kHz)(3400(rpm)/60(sec) 24회)가 된다. 소음은 각 상을 온, 오프할 때 주로 발생되므로 소음을 발생시키는 주된 주파수는 스윗칭 주파수대인 1.36(kHz) 근처가 되며, 소음파형은 다시 1회전을 단위로 주기가 생기게 된다. 그림 10에서 볼 수 있듯이 2상 여자방식에 의한 SRM이 더 낮은 소음과 진동을 가짐을 알 수 있다.

5. 결론

SRM은 여러 가지 장점으로 인하여 그 적용범위를 넓혀 가고 있으나 정밀제어 및 가정용 전자제품으로의 활용범위를 넓히는데 있어 다른 전동기구보다 다소 큰 토크 리플과 소음·진동이 걸림돌이 되고 있다. 이러한 소음·진동은 SRM의 구동원인 릴럭턴스 토크의 발생과정에서 회전력으로 작용하는 회전자 접선방향의 힘뿐만 아니라 방사방향의 힘이 작용하여 각 상을 온, 오프할 때 주로 고정자프레임을 방사방향으로 진동시킴으로써 발생하게 된다.

본 논문에서는 SRM의 새로운 여자방식을 제안하였다. 제안한 방식은 스텝전동기의 2상 여자방식과 유사하게 동시에 2상을 여자하여 자기인덕턴스뿐만 아니라 상호인덕턴스에 의해서도 토크를 발생시킨다. 제안한 2상 여자방식에 의한 SRM의 동작원리 및 토크발생과정을 해석하였다. 상여자의 갑작스런 변화는 기계적인 변위를 만들고 이는 소음과 진동을 유발한다. 2상 여자방식에 의한 연속적인 상여자에 의해 갑작스런 상여자의 변화를 줄여 소음을 줄일 수 있었다. 기존의 여자방식과 동작원리와 소음특성을 실험을 통하여 비교함으로써 새로운 제어방식이 타당성을 입증하였다.

참 고 문 헌

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] C. Pollock, and C. Y. Wu, "Acoustic Noise Cancellation Techniques for Switched Reluctance Drives", IEEE IAS. Meeting, Vol.1, pp.448-455, 1995.
- [4] B. C. Mecrow, "New Winding Configurations for

Doubly Salient Reluctance Machines", IEEE trans. on IA, Vol.32, No.6, pp.1348-1356, 1996.

- [5] C. Hao, and L. Diji, "Symmetry of Switched Reluctance motor Drive", Proc. of International Power Electronics and Motion Control Conf., Vol.2, pp.606-610, 1996.
- [6] Y. Li, J. D. Lloyd, and G. E. Horst, "Switched Reluctance Motor with DC Assisted Excitation", IEEE IAS. Annual Meeting Vol.2, pp.801-807, 1996

〈 저 자 소 개 〉



문재원(文載元)

1971년 6월 27일생. 1994년 경성대 공대 전기공학과 졸업. 1996년 부산대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정



오석규(吳錫奎)

1967년 6월 2일생. 1991년 부산대 전기공학과 졸업(학사). 1993년 동 대학원 졸업(석사). 1997년 8월 동 대학원 졸업(공학박사). 1993~1994년 (주)현대중공업 근무. 1998년~현재 진주산업대 산업자동화공학과 전임강사.



안진우(安珍雨)

1958년 5월 26일생. 1984년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 경성대학교 공대 전기전자컴퓨터공학부 조교수.



이일천(李一干)

1945년 2월 10일생. 1964년 2월 부산대 공대 전기공학과 졸업(학사). 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 동명대학 학장.



황명문(黃煥文)

1934년 4월 13일생. 1957년 서울대 공대 전기공학과 졸업(학사). 1972년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1991년~1992년 대한전기학회 회장 역임. 현재 부산대 공대 전기공학과 교수.