

## 2단계 소호전압방식을 적용한 보상권선형 SRM의 진동·소음특성

吳錫奎, 李鐘根, 崔泰完

### Vibration and Acoustic Noise characteristic on SRM with compensating winding by two stage commutation

Seok-Gyu Oh, Jong-Gun Lee, Tae-Wan Choi

#### 요 약

SRM 드라이브는 펄스 기자력과 스위칭 전류원리상 큰 소음과 진동이 발생된다. SRM 드라이브에서 발생하는 진동·소음의 주된 원인은 상 스위치-오프시의 고정자와 회전자 사이에 자기적인 스트레스로 작용하는 방사방향의 급격한 전자력 변화에 의한 고정자 프레임의 탄성진동에 의해 발생한다.

본 논문에서는 이러한 SRM 드라이브의 진동을 저감하는 방법으로 기존의 SRM에 상권선과 동일한 자속이 발생하도록 단방향 보상권선(Compensating Winding)을 감아 컴्यू테이션 기간동안 2단계 소호전압방식을 적용하는 방법을 제안하고자 한다. 2단계 소호전압방식을 적용함으로써 상전류를 빨리 소호시킬 수 있고 이로 인해 토크 활용구간과 에너지 활용도를 넓힐 수 있어서 큰 출력을 발생시킬 수 있었으며, 진동·소음저감효과를 얻을 수 있었다.

#### ABSTRACT

SRM drives generate large vibration and acoustic noise because it is rotated by step pulse mmf and switching commutation mechanism. The main vibration source of SRM drive is generated by rapidly variation of radial force when phase winding current is extinguished for commutation action. So the rapidly variation of radial force is repressed firstly to reduce vibrating force of SRM drive.

This paper suggests an SRM excitation scheme using unidirect-short compensation winding to reduce vibration of the motor. The motor is excited by a two stage commutation method during commutation period. This reduction effect of vibration is verified with the result obtained in the test of prototype machine.

**Key Words** : vibration, acoustic noise, unidirect-short compensation winding, two stage commutation

#### 1. 서 론

스위치드 릴럭턴스 모터(Switched reluctance motor, 이하 SRM이라고 함)는 가변 릴럭턴스 토크로 구동되는 전동기로 전자기적 구조가 간단하고 제작 경비가 저렴하며, 고효율, 고평가/관성비, 넓은 범위의 가변속 운전 등의 장점을 가지고 있어 산업기기, 항공기기, 자동차, 가전기기 등의 응용분야에서의 적용범위를 넓혀가고 있

다<sup>[1~2]</sup>. 그러나 이러한 장점에도 불구하고 기존 전동기에 비해 큰 토크맥동과 진동·소음이 발생하며 정밀제어 등의 적용에 걸림돌이 되고 있다.

SRM 드라이브에서 발생하는 진동·소음의 주된 원인은 상 스위치-오프시의 고정자와 회전자 사이에 자기적인 스트레스로 작용하는 방사방향의 급격한 전자력 변화에 의한 고정자 프레임의 탄성진동에 의해 발생한다<sup>[3~7]</sup>.

고정자 프레임의 탄성진동을 유발하는 방사방향의 힘은 고정자 펄스 전류와 그와 관련된 자속에 의해 발생하며 인가되는 상전류와 상전압에 크게 좌우되므로 이들의 적절한 제어를 통하여 진동·소음을 저감할 수 있다. 최근의 진동·소음저감에 대한 연구는 주로 이러한 방향으로 추진되고 있으며 대표적인 진동저감방법으로 Pollock과 Wu가 제안한 2단계 컴퓨테이션 제어방식이 있다<sup>6,7)</sup>. 하지만 2단계 컴퓨테이션 제어방식은 고정자 프레임의 공진고유 주파수를 알아야 하는 번거로움이 있어 실현하기가 어렵고 고속운전 시에는 적용하기 곤란하다는 문제점들이 있다.

본 논문에서는 이러한 SRM 드라이브의 진동을 저감하는 방법으로 기존의 SRM에 상권선과 동일한 자속이 발생하도록 보상권선(Compensating Winding)을 감아 전자기(電磁氣)구조를 조정된 보상권선형 SRM(이하 SRMCW라고 칭함)에 컴퓨테이션 기간동안 2단계 소호전압방식을 적용하는 방법을 제안하고자 한다.

이 제안된 방식은 보상권선을 이용하여 별도의 전원 공급 없이 상권선에 저장된 에너지를 보상권선이 흡수, 다음 여자되는 상권선으로 전달하므로 2단계 소호전압방식을 적용함으로써 상전류를 빨리 소호시킬 수 있고 이로 인해 토크 활용구간과 에너지 활용도를 넓힐 수 있어서 더 큰 출력을 발생시킬 수 있는 장점을 가지고 있으며, 진동·소음저감효과를 얻을 수 있었다.

## 2. SRM드라이브의 진동특성의 실험적 해석

SRM 드라이브의 진동은 SRM 드라이브에서 발생되는 전자력이 토크성분으로 작용하는 접선방향의 전자력 성분뿐만 아니라 고정자와 회전자 사이의 상호인력으로 작용하는 방사방향의 전자력 성분을 포함하고 있음에 기인한다.

이러한 전자력 성분들의 크기는 고정자와 회전자의 위치에 따라 변화하며 방사방향의 전자력은 고정자와 회전자가 접할수록 증가하게 된다. 상권선의 기자력 소호는 고정자와 회전자가 상당히 접한 상태에서 행하므로 이때 고정자 프레임은 급작스러운 방사방향의 전자력 변화에 의한 탄성진동을 겪게되고 이에 의해 큰 진동 및 소음이 발생하게 된다.

고정자 진동의 근본적인 원인을 고찰하기 위해 단일 고정자 상만으로 구동한 경우와 실제 운전시와 같이 3상 모두 구동한 경우로 나누어 진동특성을 실험하였다.

이때 발생하는 진동을 측정, 분석하여 정리하였으며 측정된 진동파형을 FFT분석하여 고유진동모드와 고유

진동주파수를 모델링한 결과와 비교하였다.

### 2.1 단상 구동시의 진동특성

#### 2.1.1 A상으로만 구동했을 경우의 A상 고정자 프레임의 진동특성

SRM의 고정자 각 상의 후면에 가속도센서를 부착한 후에 A상만 운전할 경우 A상이 위치한 고정자 프레임의 진동파형을 그림 1에서 보여주고 있다.

그림 1에서 진동은 상 스위치-온 시에 조금 발생하고 상 스위치-오프 시에 음의 진동이 조금 발생하다가 양의 진동이 매우 크게 발생하며 그 진동량이 점차 감소하면서 요동(oscillation)하는 특성을 갖고 있음을 알 수 있다.

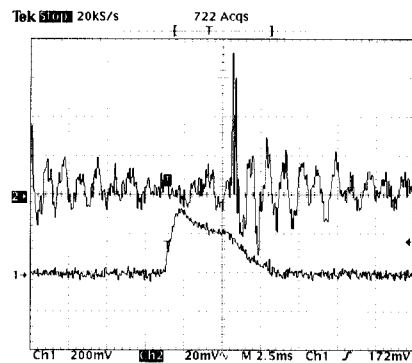


그림 1 A상으로만 구동시 A상의 고정자 프레임의 진동 ( $\theta_{ad}:5^\circ, \theta_{Dw}:23^\circ$ )

(위: 진동 가속도( $1.97[m/s^2]/div$ ),  
아래: 상전류( $1.25A/div$ ))

Fig. 1 Vibration of ph.A pole when voltage is applied to ph.A ( $\theta_{ad}:5^\circ, \theta_{Dw}:23^\circ$ )

(upper: vibration acceleration ( $1.97[m/s^2]/div$ ),  
lower: phase current( $1.25A/div$ ))

이것은 스위치-오프 시의 진동 발생량이 크다는 것을 말해주며 이는 스위치-오프 시에 전자력의 방사방향 성분이 크게 작용하고 또한 갑자기 제거됨에 따라 탄성운동으로 고정자 프레임이 큰 팽창수축 진동을 함에 기인한다고 볼 수 있다.

#### 2.1.2 A상 권선에 전압인가시의 다른 상이 위치한 고정자 프레임의 진동

그림 2는 A상 권선에 전압을 인가할 때  $60^\circ$  위상각을 가진 B상 고정자극에 유발되는 진동을 측정된 진동파형을 보여주고 있다.

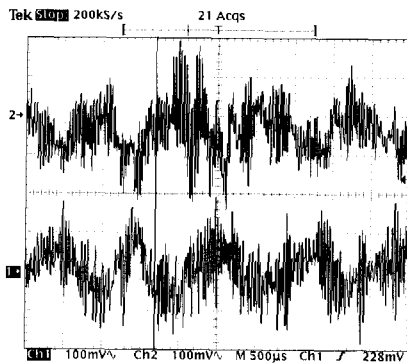


그림 2 A상 권선만 전압 인가시의 A와 B상 고정자극의 진동 ( $9.85[m/s^2]/div$ )  
(위: A상 진동 가속도, 아래: B상 진동 가속도)  
Fig. 2 Vibration acceleration( $9.85[m/s^2]/div$ )of ph.A and ph.B pole when voltage is only applied to ph.A  
(upper: vibration of ph.A, lower: vibration of the ph.B)

A상 고정자극에서의 진동이 B상 고정자극에 진동을 유발시키며 B상의 고정자극에서의 진동은  $180^\circ$ 의 위상차를 가져서 진동방향이 정반대가 됨을 알 수 있다. 이때 B상 진동의 크기는 A상에 비해 다소 작다. 그리고 고정자의 A상과 B상의 진동이  $180^\circ$  위상차를 가지므로 스위칭되는 고정자극을 중심으로 타원형 진동이 발생함을 알 수 있다. 이러한 타원형의 진동은 6/4 SRM 드라이브의 경우 한 상씩 순차적으로 여자 됨으로 각 상이 여자 될 때마다 여자되는 상은 수축하고 다른 상은 팽창하는 타원형의 변형을 하기 때문으로 해석된다.

### 2.2 3상 구동시 진동특성

그림 3는 SRM의 모든 상을 스위칭 운전할 때 측정된 A상의 상전류와 A상의 고정자극상의 방사방향에 부착한 가속도 센서에 의해 측정된 진동파형을 보여주고 있다. 그림 3에서 상전류 파형에 대해서 실선의 화살표가 가리키는 스위치-오프 점에서 진동이 발생하고 있다.

이러한 진동의 발생은 고정자 자극과 회전자 자극이 많이 중첩된 지점, 즉 방사방향 힘이 큰 위치에서 상 스위치를 오프 하므로 방사방향 전자기력이 급격히 변동하기 때문이다. 그림 3에서 C상 스위치-오프 시 A상에 진동이 크게 발생하고 있는데 이것은 인접한 다른 상들의 스위치-오프 시 나타나는 진동이 중첩되어 나타나기 때문이다. 실험에 사용된 전동기가 A상→C상→B상순으로 스위칭을 하므로 A상의 진동은 C상 진동에 많은 영향을 받고 B상의 진동에는 거의 영향을 받지 않는 것으로 해석된다.

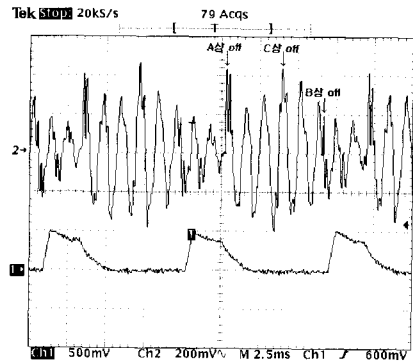


그림 3 3상 구동시의 진동특성 ( $17.6[kg \cdot cm]$ ,  $1600[rpm]$ ,  $\theta_{ad}:5^\circ$ ,  $\theta_{Dw}:23^\circ$ )  
(위: 진동 가속도( $19.7[m/s^2]/div$ ), 아래: 상전류( $3.125A/div$ ))  
Fig. 3 Vibration acceleration when three phases are excited( $17.6[kg \cdot cm]$ ,  $1600[rpm]$ ,  $\theta_{ad}:5^\circ$ ,  $\theta_{Dw}:23^\circ$ )  
(upper: vibration acceleration ( $19.7[m/s^2]/div$ ), lower: phase current( $3.125A/div$ ))

위의 결과들로부터 SRM의 진동은 상스위치-오프 시에 크게 발생하며 시작기의 경우 주로 타원형의 진동이 발생함을 알 수 있었다. 이는 컴퓨터이전 구간동안 고정자가 급격한 방사방향의 전자기력변화를 겪기 때문이며 이러한 진동을 저감하기 위해서는 컴퓨터이전 기간동안 급격한 방사방향의 전자기력변화를 완화하거나 방사방향의 전자기력성분의 영향을 가능한 줄이기 위해 최대중첩 위치로부터 떨어진 지점에서 스위치-오프를 행하여야 함을 알 수 있다. 하지만 최대 중첩위치로부터 떨어진 지점에서 스위치-오프를 행하면 전체 토크 활용구간이 감소하므로 출력이 저하되는 단점이 있으므로 진동을 저감하기 위해서는 컴퓨터이전 기간동안 급격한 방사방향의 변화를 완화하는 제어가 적합함을 알 수 있다.

### 3. 2단계 소호전압방식을 적용한 SRMCW의 동작특성

본 논문에서 SRM 드라이브의 주 진동원인인 급격한 방사방향의 전자기력변화를 완화하기 위하여 SRMCW에 2단계 소호전압제어를 행하였다.

사용한 SRMCW는 기본적인 SRM의 전자기구조인 집중권의 상권선과 함께 고정자 자극에 동일방향의 보조권선을 감고 이를 고정자의 자극을 대칭적으로 양극 분할하도록 직렬로 연결하는 전자기구조로 조정, 설계되

있으며 구조는 그림 4(a)와 같다.

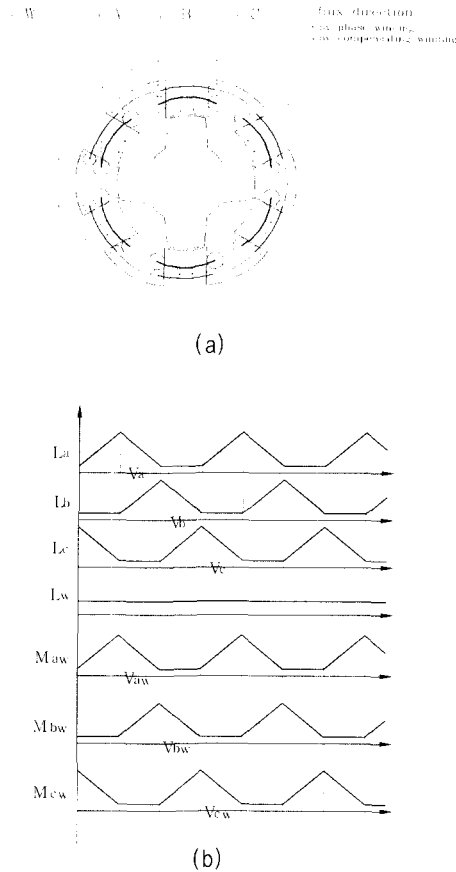


그림 4 SRMCW의 전자기구조(a)와 이상적인 인덕턴스프로필(b)  
 Fig. 4 Electromagnetic structure(a) and ideal inductance profile of SRMCW(b)

보상권선의 권선방향과 전류방향은 상권선의 경우와 동일하게 하여 상권선과 보상권선에 의해 발생하는 자속방향이 동일 자극에서는 서로 일치하도록 구성하였다.

보상권선은 상권선과 자기적으로 결합되어 있으므로 상간 কমুটেশனி 상권선의 자속쇄교수가 변화하면 이에 의해 보상권선에 전압이 유기되어 상권선에 축적된 자기에너지를 흡수하고, 다음 상권선이 스위치-온 되면 이 여자된 상권선에 전자에너지를 전달해주는 역할을 하여 상권선전류를 빨리 소호시키며 상간 কমুটেশని을 원활하게 해준다.

보상권선의 상호인덕턴스는 상권선의 자기인덕턴스와 같은 형태로 변화하며 자기인덕턴스는 부토크 발생을 억제하기 위하여 그림 4(b)와 같이 회전자 위치각에 상관없이 항상 일정한 값을 가져야 한다. 보상권선의 자기

인덕턴스의 변화를 없애기 위해서는 전체 고정자 자극에 중첩되는 회전자의 극호각이 항상 일정해야 한다.

6/4 SRM의 경우 고정자와 회전자 하나가  $[360^\circ / (\text{고정자 상수} \times \text{회전자 자극수})]$ 의 극호각을 가지면 본 논문에서 사용 전동기는 위의 조건을 만족하도록 설계, 제작되었다.

A상이 여자될 때, 상전압 방정식과 토크방정식 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$V = R_a i_a + \frac{d\lambda_a}{dt} = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + i_a \frac{dL_a}{dt} + M \frac{di_w}{dt} + i_w \frac{dM}{dt} \quad (1)$$

$$V_w = R_w i_w + \frac{d\lambda_w}{dt} = R_w i_w + L_w \frac{di_w}{dt} + i_w \frac{dL_w}{dt} + M \frac{di_a}{dt} + i_a \frac{dM}{dt} \quad (2)$$

$$T = \frac{1}{2} i_a^2 \frac{dL_a}{d\theta} + i_a i_w \frac{dM}{d\theta} \quad (3)$$

식 (3)에서 우변의 첫번째 항은 기존 SRM에서 발생하는 상인덕턴스의 변화와 상전류에 의한 토크이며, 두번째 항은 보상권선전류  $i_w$ 와 상호인덕턴스의 변화에 의한 토크를 나타내고 있으며 이 식에서 알 수 있듯이 SRMCW는 상권선 전류뿐 아니라 보상권선 전류에 의해서도 토크가 발생하게 된다.

2단계 소호전압방식은 কমুটেশனி 실험을 통하여 가장 적은 진동이 발생하는 영전압 확립구간을 찾고 이 구간동안 영전압을 확립시키고 나머지 구간에 감자전압을 인가함으로써 진동을 저감할 수 있는 방법이다.

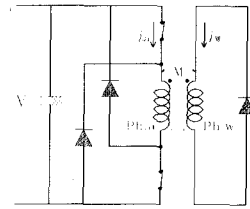
위에서 설명한 SRMCW에 2단계 소호전압방식을 적용하는 경우의 동작을 살펴보면 다음과 같으며 이때의 동작모드를 그림 5에서 보여주고 있다.

그림 5(a)는 전류확립시의 동작모드를 보여주고 있으며 이때의 전압방정식은 식 (4)와 식 (5)와 같이 표현할 수 있다. 상권선저항  $R$ 과 보상권선저항  $R_w$ 에 의한 전압강하를 무시하였으며, 이후부터 수식적 해석을 간단히 하기 위해 이에 의한 전압강하가 없다고 가정하기로 한다.

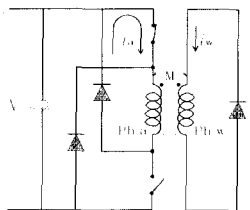
$$V - M \frac{di_w}{dt} = L_a \frac{di_a}{dt} \quad (4)$$

$$-M \frac{di_a}{dt} = L_w \frac{di_w}{dt} \quad (5)$$

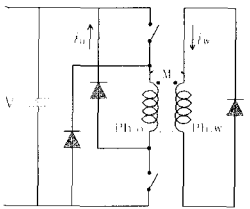
식 (4)에서 상권선에 전압이 인가되어 상전류  $i_a$  가  $\frac{di_a}{dt}$ 의 기울기로 증가하면 이에 의한 유기전압  $M \frac{di_a}{dt}$



(a)



(b)



(c)

그림 5 SRMCW의 전류구간에서의 동작모드

(a) 여자구간 (b) 영전압구간 (c) 감자구간

Fig. 5 Operation mode when commutation period of SRMCW

(a) magnetizing period (b) zero voltage period (c) demagnetizing period

에 의해  $i_w$ 를 역(-)방향으로 증가시키려하지만 이전에 스위치-오프된 상의 잔류자기에 에너지를 흡수하여 전류가 정방향으로 흐르고 있는 상태이고, 상호인덕턴스가 최소인 구간이므로 상전류의 증가기울기에 의한 역전압만 인가되므로 보상권선전류의 방향을 바꾸기에는 그 값이 부족하며 전류 증가기울기만 감소된다. 상권선전류의 경우 보상권선에 흐르는 전류에 의하여 상권선 인가전압이 다소 감소하므로 전류의 상승기울기는 감소하게 된다. 이 구간은 상호인덕턴스  $M$ 의 변화가 없으므로 부토크는 발생하지 않는다.

토크 발생구간의 동작모드에서의 전압방정식은 다음과 같다.

$$V = L_a \frac{di_a}{dt} + i_a \frac{dL_a}{dt} + M \frac{di_w}{dt} + i_w \frac{dM}{dt} \quad (6)$$

$$-(M \frac{di_a}{dt} + i_a \frac{dM}{dt}) = L_w \frac{di_w}{dt} \quad (7)$$

상권선의 경우 인가되는 전압방정식은 식 (6)과 같이 표현할 수 있으며 상권선에  $i_w \frac{dM}{dt}$  항이 발생하므로 상권선전류는 다소 급하게 감소하다  $i_w$ 가 감소함에 따라 감소기울기는 둔화된다. 식 (7)에서 토크 발생구간은 상호인덕턴스가 증가하여  $i_a \frac{dM}{dt}$ 의 항이 발생하고 보상권선에 인가되는 전압이 증가하여 보상권선전류는 급격하게 감소하게 된다. 이때  $i_a \times i_w$ 가 양이므로 기존의 방식에 비하여 더 큰 출력을 발생하며 같은 출력에 대하여 더 적은 상권선 전류가 흐르게 된다.

그림 5(b)는 commutation 기간동안 영전압 확립구간을 보여주고 있으며 이때의 상권선 전압방정식을 살펴보면 다음과 같다.

$$0 = L_a \frac{di_a}{dt} + i_a \frac{dL_a}{dt} \quad (8)$$

이 구간에서 기존의 방식은 식 (8)의 좌변의 항이  $-V$ 이므로 급격하게 전류가 소멸되지만 2단계 소호전압방식을 적용하는 경우 좌변의 항이 0이므로 상전류의 소호는 순수하게 상권선의 저항에 의하여 이루어지므로 전류는 매우 완만하게 감소하게 되며 급격한 방사방향의 가진력 변화는 완화되게 되어 진동이 저감되는 효과를 갖게 된다. 보상권선의 경우 이 구간에서 다이오드에 의해 단방향 단락되어 있으므로 전류는 흐르지 않는다. 인덕턴스는 증가하고 있으므로 토크는 이 구간에서 상권선전류에 의해서만 발생하게 된다.

감자전압이 인가되는 구간에서 상권선 전압방정식을 적어보면 다음과 같다.

$$-(V_a + M \frac{di_w}{dt} + i_w \frac{dM}{dt}) = L_a \frac{di_a}{dt} + i_a \frac{dL_a}{dt} \quad (9)$$

$$M \frac{di_a}{dt} + i_a \frac{dM}{dt} = -L_w \frac{di_w}{dt} \quad (10)$$

식 (9)에서 알 수 있듯이 기존 SRM에 비하여  $M \frac{di_w}{dt} + i_w \frac{dM}{dt}$ 에 해당하는 감자전압이 증가하게 되어 상전류의 소호가 빨리 이루어진다. 보상권선의 경우 전

압방정식 (10)의 좌변의 첫 번째 항인  $M \frac{di_a}{dt}$  가 음의 값을 가지며 급속히 감소하므로 상권선전류  $i_a$   $\frac{dM}{dt}$  보다 그 값이 크기 때문에 보상권선전류  $i_w$ 가 정토크 방향으로 증가하게 되며 보상권선은 상권선과 자기적인 결합에 의해 상권선에 저장된 에너지를 흡수하여 상권선과 같은 방향의 전류가 흐르게 되고 보상권선전류가 정토크 방향이므로 상호인덕턴스에 의한 토크는 상전류가 완전히 소호될 때까지 계속 발생하게 된다.

#### 4. 진동·소음특성의 실험적 비교와 해석

##### 4.1 진동 및 소음측정을 위한 실험시스템의 구성

본 논문에서 제안한 방식이 진동·소음저감에 효과가 있음을 다음과 같은 실험시스템을 구성하여 기존방식과 비교하여 보았다. 사용된 전체실험시스템의 구성을 그림 6에서 보여주고 있다.

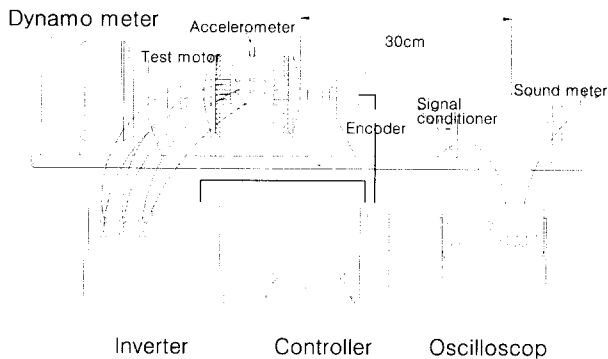


그림 6 진동·소음측정시스템의 구성  
Fig. 6 Configuration of measurement system

시작전동기의 고정자에서 발생하는 진동특성을 고찰하기 위해 고정자 각 상의 방사방향 후면에 가속도 센서를 설치하였다. 가속도 센서는 압전소자를 사용한 Piezotronics社의 M353B65 Mini High Sensitive Accelerometer를 사용하였으며 측정주파수 범위가 5~10,000[Hz]이고 중력가속도  $g(=9.8m/s^2)$ 에 대한 출력전압이 99.5[mV/g]이다. 그리고, 동일 회사의 4채널 1:1의 Signal Conditioner를 이용해 가속도 센서의 출력신호를 구하여 파형분석과 주파수분석을 행하였다.

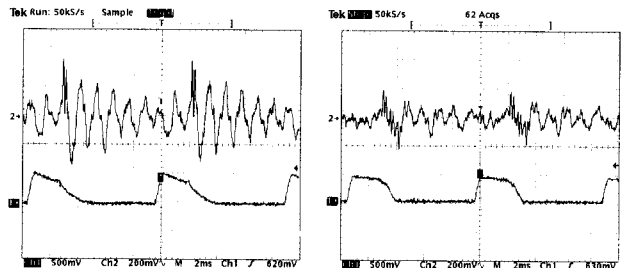
소음측정기는 CEL社의 디지털 사운드 미터를 사용하여 음압(Sound Pressure Level ; SPL)을 측정하였다.

소음측정에 있어 시작전동기의 회전자 축 끝단에서 수평거리로 30[cm] 떨어진 곳에 위치한 소음측정기에

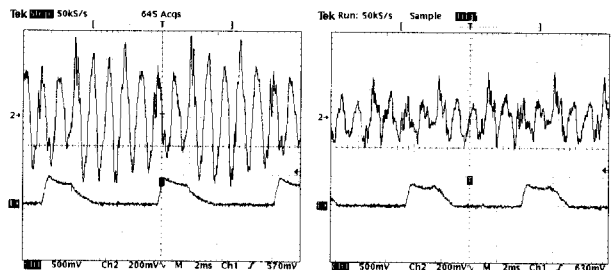
표시되는 평균 소음치를 측정하고, 소음측정기에서 출력되는 아날로그 출력신호를 측정하여 주파수 분석을 행하였다.

##### 4.2 진동 및 소음특성의 비교

그림 7은 단상으로 구동한 경우와 3상으로 구동한 경우 부하는 11[kg·cm], 속도는 1600[rpm]의 출력을 발생할 때 기존의 방식과 본 논문에서 제안한 방식의 진동파형을 보여주고 있다.



(a) single phase driving



(b) three phase driving conventional method SRMCW

그림 7 진동특성

(위: 진동가속(99.5 [mV/g]),  
아래: 상전류(6.23 [A/V]))

Fig. 7 Vibration characteristics

(upper: vibration acceleration(99.5 [mV/g]),  
lower: phase current (6.23[A/V]))

기존방식에서는 스위치-온 시에 작은 진동이 발생하고 스위치-오프시에 큰 진동이 발생하고 있다. SRMCW의 경우에는 스위치-온·오프 시에 기존의 방식에 비하여 상당히 진동이 저감되었음을 알 수 있으며 특히 스위치-오프시의 진동저감효과는 크게 나타나고 있다. 이것은 진동의 주원인인 급격한 방사방향의 전자력변화가 상당히 완화되었기 때문으로 해석된다.

고정자의 진동은 재질의 강성과 중량에 따라 달라지며, 공진고유 주파수를 가지고 진동을 한다. 진동을 유

발하는 가진원의 주파수 즉 스위칭 주파수가 공진고유 주파수와 일치하면 진동은 증폭되고 반대로 발생하면 진동은 저감된다.

그림 8은 입력은 130[Vdc]로 일정하게 유지하고 부하를 조절하여 속도를 가변한 경우의 진동 평균치를 보여주고 있다. 기존의 방식보다 2단계 소호전압방식을 적용한 SRMCW의 진동이 전체적으로 상당히 감소하였으며 속도에 따라 진동이 변화하고 있음 보여주고 있다.

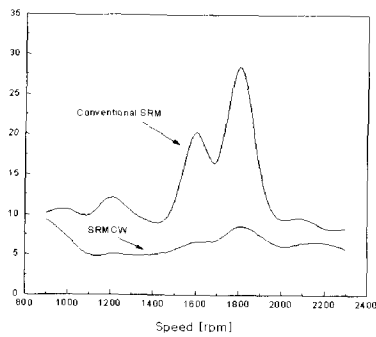


그림 8 속도에 따른 진동특성  
Fig. 8 Vibration acceleration according to speed

그림 9는 기존방식에서 최대 진동이 발생하는 속도인 1800[rpm]과 최소진동이 발생하는 속도인 1400[rpm]에서의 측정소음파형을 보여주고 있으며 두 속도에서 현저한 소음저감 효과를 보이고 있다.

그림 10은 속도에 따른 소음의 평균치를 보여주고 있으며 소음 역시 전체적으로 저감되었음을 알 수 있고 특히 공진이 발생하는 속도인 1800[rpm]에서는 10[dB] 이상의 저감효과를 보이고 있다. 기존의 방식의 경우 공진이 발생하는 속도인 1800[rpm]과 다소 큰 진동을 보이는 1600[rpm]에서 큰 소음치를 보이고 있으며 SRMCW의 경우에는 전체적으로 소음이 평균화되었음을 알 수 있다.

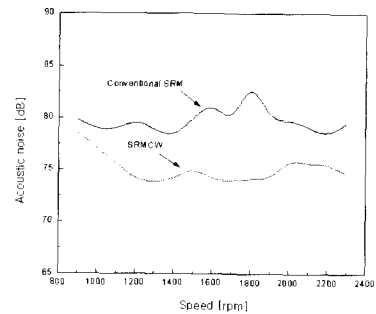
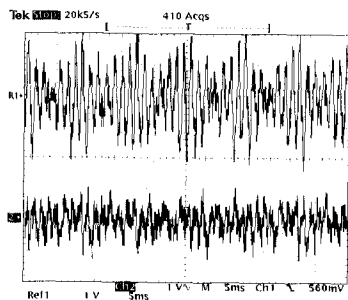
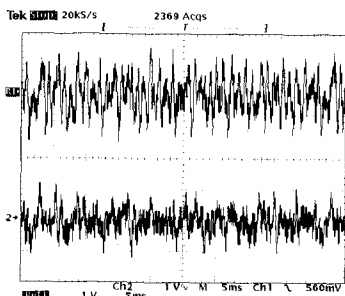


그림 10 속도에 따른 소음평균치  
Fig. 10 Vibration acceleration according to speed



(a) at max. vibration(100dB/div)



(b) at min. vibration(100dB/div)

그림 9 최대, 최소 진동이 발생하는 속도에서의 소음  
(위: 기존, 아래: SRMCW)

Fig. 9 Acoustic noise at max. and min. vibration  
(upper: conventional, lower: SRMCW)

그림 11은 입력을 130[Vdc]로 일정하게 유지하고 부하를 가변한 경우의 기존의 SRM과 2단계 소호전압방식을 적용한 SRMCW의 속도에 따른 효율을 보여주고 있다.

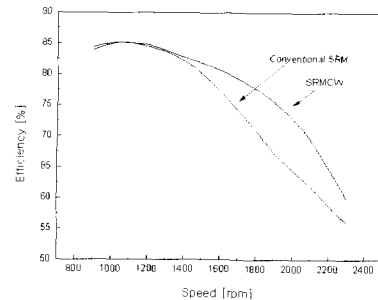


그림 11 속도에 따른 효율특성  
Fig. 11 Efficiency according to speed

기존의 방식에 비하여 2 단계 소호전압방식을 적용한 SRMCW의 효율이 전체적으로 높음을 알 수 있다. 이것은 보상권선을 사용하므로써 상권선전류를 빨리 소호시킬 수 있고 상권선에 저장된 에너지를 보상권선을 통하여 다음 상에 전달하므로, 에너지 활용을 높일 수 있었

기 때문이며 특히 이러한 효과는 고속영역에서 두드러지게 나타나고 있다. 2200[rpm]이상에서 효율곡선이 다소 둔화되고 있음을 알 수 있는데 이것은 보상권선에 의한 빠른 전류소호 효과가 컴퓨터연산시 인가되는 영전압에 의해 저감되기 때문으로 해석되며 영전압 인가구간의 적절한 조절을 통하여 이를 보상할 수 있다.

5. 결 론

SRM은 여러 가지 장점으로 인하여 그 적용범위를 넓혀 가고 있으나 정밀제어 및 가정용 전자제품으로의 활용범위를 넓히는데 있어 다른 전동기구보다 다소 큰 토크 리플과 진동·소음이 걸림돌이 되고 있다. 이러한 진동·소음은 상권선의 전류 소호시 급격한 방사방향의 전자력변화에 의한 고정자 프레임의 방사방향 진동에 의해 발생하게 된다.

본 논문에서는 SRM 드라이브의 진동을 저감하기 위하여 SRMCW에 2단계 소호전압을 적용하는 방법을 제안하였다. 기존의 방식과 본 논문에서 제안한 방식을 실험을 통하여 비교해 보았으며 제안된 방식이 저진동, 저소음, 고효율의 특성을 가짐을 확인하였고 이때의 동작과정을 해석하였다. SRMCW를 사용함으로써 전류의 소호시간을 기존의 방식에 비하여 저감시켜 더 큰 출력을 발생시킬 수 있었다. 결과적으로 2단계 소호전압방식을 적용한 SRMCW가 진동저감방법으로 적합함을 입증할 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] H.Moghbelli, G.E.Adams and R.G.Hoft ; "Performance of 10-Hp Switched Reluctance Motor and Comparison with Induction Motors", IEEE Trans. on IA, Vol. 27, No. 3, pp. 531~538, 1991.  
 [2] D.E.Cameron, J.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] R.S.Colly, F.Mottier and T.J.E.Miller ; "Vibration Modes and Acoustic Noise in 4-Phase Switched Reluctance Motor". IEEE IAS Annual Meeting, Orlando, Florida, Vol. 1, pp. 441~447, 1995.  
 [4] C.Y.Wu and C.Pollock ; "Analysis and Reduction of Vibration and Acoustic Noise in the Switched Reluctance Drive", IEEE Trans. on IA, Vol. 31, No. 1, pp. 91~98, 1995.

[5] C.Y.Wu and C.Pollock ; "Acoustic Noise Cancellation Technique for Switched Reluctance Drives," IEEE IAS Annual Meeting, Orlando, Florida, Vol. 1, pp. 448~455, 1995.  
 [6] T.A.Lipo, F.Liang and T.Liao ; "A New Variable Reluctance Motor Utilizing an Auxiliary Commutation Winding", IEEE Trans. on IA, Vol. 30, No. 2, pp. 423~432, 1994.  
 [7] Young-Moon Hwang, Seok-Gyu Oh, Tae-Uk Jung, and Jin-Woo Ahn ; "Driving Characteristics of SRM with an Auxiliary Fully Pitched Winding", Proc. of ICPE'98, Seoul, pp. 763~767, Oct. 1998.

저 자 소 개

오석규(吳錫奎)



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

이종근(李鐘根)



1971년생. 1990년 경성대 전기공학과 졸업. 1999년 부산대 전기공학과 졸업(석사). 2000년~현재 금오기전(주) 설계팀 대리.

최태완(崔泰完)



1959년 12월 15일생. 1983년 동아대 전자공학과 졸업. 1985년 부산대 전자공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 졸업(공학박). 1984년 12월~1991년 2월 (주)LG전자연구소 팀장. 1991년~1993년 부산대 전자공학과 조교. 1997년~현재 진주산업대 산업자동화공학과 조교수.