

## 디지털 히스테리시스 제어를 이용한 SRM의 위치제어시스템

金 玟 會\*, 白 元 植, 金 男 燾, 崔 景 好, 金 東 熙

### A Position Control System of SRM using Digital Hysteresis Controller

Min-Huei Kim, Won-Sik Baik, Nam-Hun Kim, Kyeong-Ho Choi, and Dong-Hee Kim

#### 요 약

본 논문에서는 TMS320F240 DSP를 통해 제어되는 디지털 히스테리시스 제어를 사용한 Switched Reluctance Motor(SRM)의 위치제어시스템을 제안하였다. SRM은 구조가 간단하고 효율이 높지만 전동기 구동 특성상 전력용 반도체 소자를 이용한 구동 시스템이 필수적이기 때문에 일반 전동기 제어시스템에 비해 전체 시스템의 제작비용이 증가하게 된다. 이러한 단점을 극복하고 SRM의 활용성을 높이기 위해서는 제어용 드라이브가 필수적으로 요구되는 서보시스템으로서의 SRM 제어시스템을 개발하는 것이다. 따라서 본 연구에서는 시스템 개발과 구현에 있어 아날로그 히스테리시스 제어를 사용할 경우 하드웨어적인 방법에 의한 파라메타 수정 및 제작의 문제점을 해결하고 전체적인 시스템의 개발단가를 낮추기 위해 DSP내에서의 연산을 통해 제어되는 디지털 히스테리시스 제어를 설계하여 SRM의 위치제어 시스템을 구현하였으며, 실험을 통해 제어 및 응답특성을 고찰함으로써 서보 구동 시스템으로서의 SRM의 이용 가능성을 확인하였다.

#### ABSTRACT

This paper presents an implementation of position control system of Switched Reluctance Motor (SRM) using digital hysteresis controller by TMS320F240 DSP. Although SRM possess several advantages including simple structure and high efficiency, but the control drive system using power semiconductor device is required to drive this motor. The control drive system increases overall system cost. To overcome this problem and increase the application of SRM, it is needed to develop the servo drive system of SRM. So, the position control system of 1 Hp SRM is developed and evaluated by adaptive switching angle control. The position/speed response characteristics and voltage/current waveforms are presented to prove the capability of SRM for a servo drive application. Moreover, digital hysteresis current controller is developed and evaluated by experimental testing for the purpose of system developmental cost reduction.

**Key Words** : SRM, Position Control, Digital Hysteresis Controller, Switching angle control

#### 1. 서 론

최근 산업의 전반적인 분야에서 자동화 및 고속화의 경향에 따라 정밀하고 빠른 응답특성을 갖는 서보 구동용 제어 시스템 개발에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 시스템 제작에 소요되는 비용을 저감하고자 하는 추세에 따라 다른 전동기에 비해 전동기 자체의 제작 단가가 상대적으로 저렴한 스위치드 리럭턴스 전동기(Switched Reluctance Motor, SRM)에 대한

\*영남이공대학 전기자동화과 교수

E-mail : mhkim@ync.ac.kr

접수일자 : 2002. 2.14

1차심사요청일 : 2002. 2.19 2차심사요청일 : 2002. 3.27

심사완료일 : 2002. 5. 6

관심이 고조되고 있다. SRM은 고정자와 회전자 모두가 돌극형 구조로 되어 있으며, 고정자에만 권선이 감겨져 있고 회전자 부분에는 어떠한 형태의 권선이나 영구자석도 존재하지 않는 간단한 구조로 이루어져 있다<sup>[1][2]</sup>. 또한 최근에는 단점으로 대두되고 있는 특유의 진동 및 소음을 저감하기 위한 설계 및 제어기법들과 관련한 전동기 특성해석에 대한 연구가 이루어지고 있으며, 이로 인해 전반적인 산업분야에서의 응용이 기대되고 있다<sup>[5][6]</sup>. 그러나, SRM은 구동 특성상 전원을 짧은 시간에 순차적으로 여자시켜야 하기 때문에 전력 반도체 소자를 이용한 구동 드라이브가 필수적으로 요구되므로, 서보 구동용 시스템과 같은 용도로 SRM을 개발함으로써 타 전동기에 대한 경쟁력을 높일 수 있을 것으로 사료된다.

따라서, 본 논문에서는 TMS320F240 DSP를 적용한 SRM의 위치제어 시스템을 제시하여 실험을 통해 응답특성을 고찰함으로써 서보 구동 시스템으로서의 SRM의 효용성을 검증하였다. DSP내에서의 연산을 통해 제어되는 디지털 전류 히스테리시스 제어를 적용한 제안된 위치제어시스템을 1마력 SRM에 적용하여 위치 및 속도 응답특성을 확인하였다.

## 2. SRM의 동작원리 및 구동특성

### 2.1 SRM의 동작원리

SRM은 회전자 위치각에 따른 인덕턴스의 변화량과 전류의 크기에 따라 토크를 발생한다. 한 상의 고정자 권선이 여자되면, 회전자는 여자된 고정자와 정렬이 되려는 방향으로 토크를 발생하여 움직이게 되고, 완전히 정렬되기 이전에 스위치를 오프한 후, 전압을 다음 상에 순차적으로 인가함으로써 연속적인 회전력을 얻게 된다. SRM의 출력토크는 포린징현상과 자기적 비선형을 무시하고 선형적으로 기기를 해석함으로써 유도할 수 있다<sup>[1][2]</sup>. SRM의 한 상당 전압방정식은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$v = Ri + L \frac{di}{dt} + i \frac{dL}{d\theta} \omega \quad (1)$$

여기서,  $v$ 는 인가전압을 나타내고,  $L$ 은 고정자 권선의 인덕턴스,  $dL/d\theta$ 은 회전자 위치각에 따른 인덕턴스의 변화량을 나타내며,  $\omega$ 는 회전자의 회전 각속도를 나타낸다. 식 (1)로부터 에너지 흐름에 대한 식을 유도하면 다음과 같다.

$$vi = Ri^2 + Li \frac{di}{dt} + i^2 \frac{dL}{d\theta} \omega \quad (2)$$

또한, 자계에 저장되는 에너지의 변화량은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left( \frac{1}{2} Li^2 \right) &= \frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{dt} + Li \frac{di}{dt} \\ &= \frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{d\theta} \omega + Li \frac{di}{dt} \end{aligned} \quad (3)$$

에너지 보존법칙에 따라 기계적인 에너지로의 전력 변환  $p = \omega T_e$ 는 입력전력  $vi$ 에서 저항에 의한 손실  $Ri^2$ 과 자계저장에너지를 제외한 나머지로 볼 수 있으며,  $T_e$ 는 전동기에서 출력되는 순시토크에 해당된다. 따라서, 식 (2)와 (3)으로부터 순시토크를 구할 수 있다.

$$T_e = p/\omega = vi - Ri^2 - \frac{d}{dt} \left( \frac{1}{2} Li^2 \right) = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{d\theta} \quad (4)$$

식 (4)로부터 출력토크는 전류의 제곱과 회전자 위치각에 따른 인덕턴스의 변화량에 비례하여 나타나므로 상전류의 방향과 무관하게 토크를 발생시킬 수 있으며, 회전자 위치와 인덕턴스 변화에 따라 토크의 부호가 달라지므로 회전방향에 대하여 역방향의 토크가 발생하는 회전자의 위치각도가 존재한다. 그러므로 정방향의 토크를 연속적으로 발생하고 부 토크의 발생으로 인한 효율 저하를 억제하기 위해서는 적절한 스위칭 시간의 조정이 중요하다<sup>[6]</sup>.

### 2.2 SRM의 구동특성

그림 1에 나타낸 SRM의 속도-토크 특성으로부터 위치제어에 적합한 전동기의 구동영역을 알 수 있다. 구동영역은 크게 세 부분으로 나누어지며, 일정 토크 영역은 전동기가 기저속도와 정격토크 이하로 구동되는 경우이고, 전동기가 기저속도보다 높은 속도로 구동되는 영역인 일정 출력 영역에서는 속도가 증가함에 따라 출력 가능한 토크의 크기가 감소하게 된다. 또한, 일정 출력 영역에서 일정 속도 범위를 초과할 경우, 토크가 급격히 감소하는 영역으로 구분할 수 있다<sup>[1]</sup>. 이러한 특성을 고려하여 전동기 설계시에 용도에 따라 회전속도에 적합한 입력전압, 베어링 등을 결정해야 한다. 일반적으로 위치제어를 위해서는 진동 및 소음이 적고 제어가 용이한 일정토크영역이 적합하며, 이

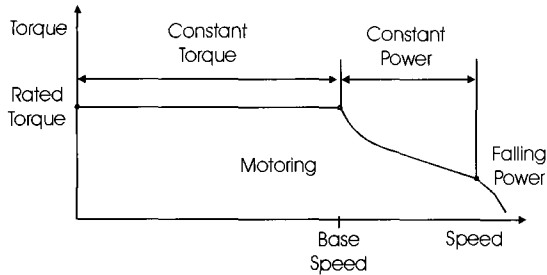


그림 1 SRM의 속도-토크 특성  
Fig. 1 Torque/speed characteristic of SRM

영역에서는 앞서 나타낸 순시토크의 식으로부터 알 수 있는 것과 같이, 전류를 제어함으로써 순시토크의 크기를 조절할 수 있으며, 턴온 및 턴오프 각에 따라 출력특성이 달라진다.

### 3. SRM 제어시스템

#### 3.1 스위칭 각 제어

SRM은 펄스 형태의 여자방식으로 토크가 발생되므로 토크리플이 크고, 이로 인해 발생하는 진동, 소음 그리고 고정자 형상의 변이 등이 실용화에 큰 장애가 되어왔다. 따라서 토크 리플을 저감하여 진동과 소음을 줄이고자 하는 연구들이 활발하게 이루어지고 있다 [6][7][10][11]. 그림 2에 나타낸 회전자 위치각에 따른 인덕턴스 프로파일로부터 정 방향의 토크를 연속적으로 얻기 위한 적정 스위칭 각을 알 수 있다. 인덕턴스 프로파일에서 스위치 턴온은 회전속도와 부하토크의 크기에 따라 전류를 원하는 크기로 증가시키기 위해 인덕턴스가 상승하는 시점 이전에 이루어지며, 턴오프는 역토크의 생성을 억제하기 위해 인덕턴스가 감소하는 시점 이전에 이루어진다. 일정 속도 및 부하에 적용되는 SRM 구동에 있어서는 스위칭 각을 일정하게 두고 제어를 수행하였으나, 위치제어기와 같은 가변속도 및 가변부하에 SRM을 적용하기 위해서는 속도 및 부하에 따라 적정 스위칭 각을 적용함으로써 효율 및 응답 특성을 개선할 수 있다.

그림 3의 전류와 회전자 위치에 대한 쇄교자속 파형에 나타낸 에너지 변환 루프로부터, 턴오프 각의 크기에 따른 특성을 알 수 있다. 여기서 면적 OAB와 OAE는 각각 턴오프각이 적절하게 선정된 경우의 코에너지와 자계저장에너지를 나타내고, OCD와 OCF는 각각 턴오프각을 너무 앞서서 적용시킨 경우의 코에너지와 자계저장에너지를 나타낸다. 전류에 대한 쇄교자속의 적분인 코에너지는 평균토크의 크기에 해당되며,

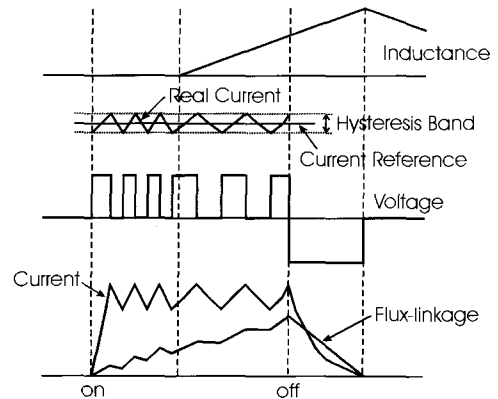


그림 2 SRM의 스위칭 각  
Fig. 2 Switching angle of SRM

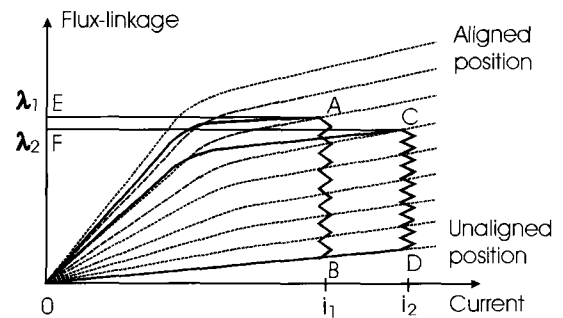


그림 3 SRM의 에너지 변환 루프  
Fig. 3 Energy conversion loop of SRM

두 경우에 대해 부하토크가 일정할 경우 면적 OAB와 OCD의 크기는 같으나 순시토크에 많은 영향을 미치는 전류의 크기는 OAB의 경우가 작음을 알 수 있다. 따라서 턴오프 각은 역토크의 크기를 고려하여 최대한 정렬위치 부근에서 적용함으로써 순시토크의 크기는 저감시키고 평균토크의 크기는 증가시킬 수 있다. 또한, 자속의 포화를 무시할 경우 전류감소시간은 여자시간동안의 평균인가전압의 크기에 비례하므로 회전속도가 낮을수록 턴오프 이후의 전류 감소시간은 짧아지며, 따라서 턴오프각을 지연시킬 수 있다. 턴온각은 속도와 부하를 추종할 수 있는 범위 내에서 가능한 작게 함으로써 전류의 크기를 제한하여, 권선 등에서의 손실을 줄임으로써 효율을 개선할 수 있다 [11][5]. 본 논문에서는 시뮬레이션 및 실험을 통해 선정된 일정토크 영역에서의 스위치 턴온, 턴오프 시점을 스위칭 각도 제어를 통해 적용되도록 하였으며 그림 4와 5는 선정된 턴온각과 턴오프각을 나타내고 있다.

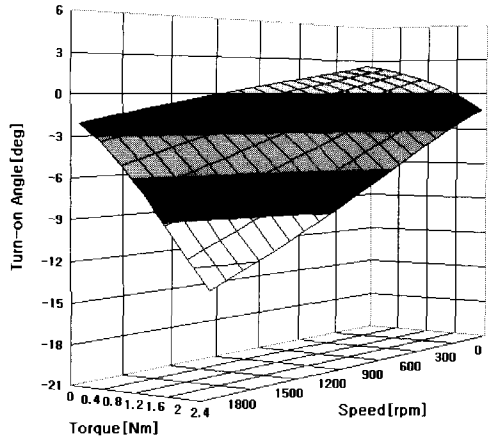


그림 4 산정된 토크 및 속도에 따른 턴-온 각  
Fig. 4 Determinated turn-on angle according to the torque and speed

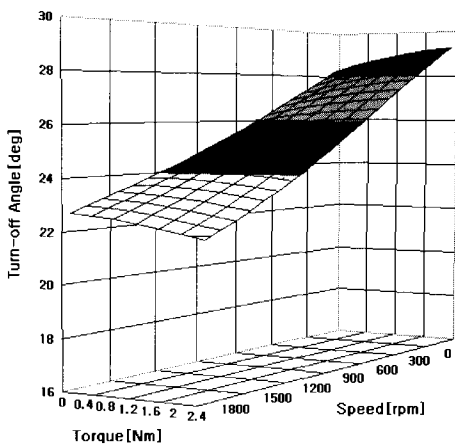


그림 5 산정된 토크 및 속도에 따른 턴-오프 각  
Fig. 5 Determinated turn-off angle according to the torque and speed

### 3.2 디지털 히스테리시스 제어기

SRM은 전류의 제곱에 비례하여 토크를 생성하므로 전류를 일정하게 유지하는 것이 중요하며, 이를 위해 일반적으로 op-amp를 사용하여 아날로그방식으로 구현된 히스테리시스 제어기를 많이 사용하였다. 그러나, 아날로그방식으로 구현된 히스테리시스 제어기는 히스테리시스 밴드를 정확히 조정하거나 가변하기가 힘들고 주파수가 가변된다는 문제점들이 있다. 따라서 본 논문에서는 아날로그 히스테리시스 제어기의 문제점을 해결하고, 전체적인 시스템의 개발단가를 낮추기 위해 소프트웨어적으로 구현된 디지털 히스테리시스 제어기를 사용하였다. 그림 6은 디지털 히스테리시스 전류제

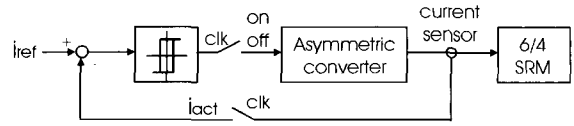


그림 6 디지털 히스테리시스 전류제어기의 블럭도  
Fig. 6 Block diagram of digital hysteresis current controller

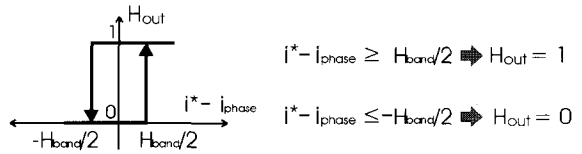


그림 7 2-level 히스테리시스 비교기  
Fig. 7 2-level hysteresis comparator

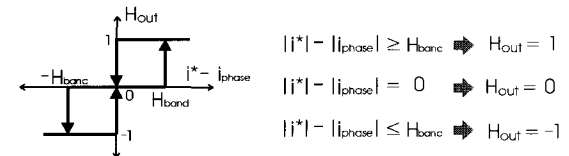


그림 8 3-level 히스테리시스 비교기  
Fig. 8 3-level hysteresis comparator

여기의 블럭도를 나타낸 것이다.

히스테리시스 비교기는 응용분야에 따라 여러 가지 형태가 될 수 있으며, 적용 형태에 따라 제어시스템의 동작영역, 성능, 인버터의 스위칭 주파수가 결정된다.

그림 7과 그림 8은 대표적인 토크 히스테리시스 비교기의 동작원리를 나타내었다. 그림 7은 2-레벨 히스테리시스 비교기를 나타내고 있으며, 지령전류와 실제 전류를 비교한 후 스위칭 패턴을 결정하여 0과 1의 신호를 발생한다. 그림 8은 전동기의 회전방향에 관계없이 3-레벨 히스테리시스 비교기를 쓰는 방식이고, 스위칭 패턴을 결정하여 1, 0, -1의 신호를 발생한다. 본 논문에서는 2-레벨 히스테리시스 비교기를 사용하였으며, 히스테리시스 전류제어기의 샘플링 주파수는 10[kHz]로 설정하였고, 밴드는 전류지령의 3%로 설정하였다. 디지털 히스테리시스 제어기의 경우에는 n번째 읽은 전류를 n+1번째 제어주기에서 사용하고, n번째에 결정된 히스테리시스 제어기의 스위칭 패턴을 n+1번째 제어주기에서 인가하기 때문에 제어특성이 아날로그 히스테리시스 제어기에 비해서 나쁘다는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해서는 DC link 전압을 낮게 하거나, 전류제어주기의 주파수를 매우 높게 하면 어느 정도 극복할 수 있다<sup>[3][8]</sup>.

### 3.3 위치제어 알고리즘

본 논문에 적용된 SRM의 페루프, 위치제어시스템의 제어도를 그림 9에 나타내었다. 위치제어기의 입력과 엔코더로부터 추정된 실제 위치와의 오차는 비례미분 제어기(PD)를 통해 연산되고, 그 출력이 속도제어기의 입력이 된다. 또한, 속도 오차는 비례적분제어기(PI)를 통해 연산되고, 전류 지령  $i^*$ 를 생성한다. 이 전류 지령은 구현된 디지털 히스테리시스 제어기내에서 전류(轉流) 로직 제어기(Commutation logic controller)의 정보를 바탕으로 해당되는 3상중의 어느 한 상의 전류와 비교해서 출력 펄스를 발생시킨다. 각도제어기는 엔코더 신호로부터 계산된 속도와 전류로부터 계산된 토크에 적합한 턴온/턴오프 시점을 결정하여 전류 로직 제어기로 보낸다. 그리고 위치제어루프에는 비례미분제어기를 사용하여 정밀한 제어가 가능하도록 구성하였다<sup>[1][3][7]</sup>.

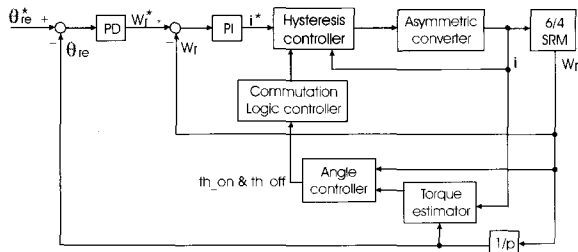


그림 9 제안된 위치제어 시스템의 블럭도  
Fig. 9 Block diagram of suggested position control system

### 4. 제어시스템 구성

본 논문에서 구성한 전체 시스템의 블럭도는 그림 10과 같다. 이 시스템은 DSP보드와 PC사이에 직렬 포트를 통해 통신을 하도록 구성되어 있으며, 모든 제어기는 F240DSP내에서 디지털방식으로 구성되어 제어기의 구성이나 설계를 용이하게 하였다. F240 DSP는 A/D 컨버터, QEP등 여러 가지 전동기 제어에 필요한 주변 소자들이 내부에 포함되어 있으므로 부가적인 회로를 추가하지 않아도 되는 장점이 있으며, 이로 인해 시스템이 소형, 저가이면서 복잡한 알고리즘의 수행도 가능하게 되었다. 컨버터는 SRM을 구동하기 위해서 일반적으로 많이 사용되는 비대칭 브리지 컨버터로 구성하였으며, 정격이 1200[V], 75[A]인 Semikron사의 IGBT SMK75GAL과 SMK75GAR을 사용하였다. 게이트 드라이브는 Semikron사의 SKHI71을 사용하였으며,

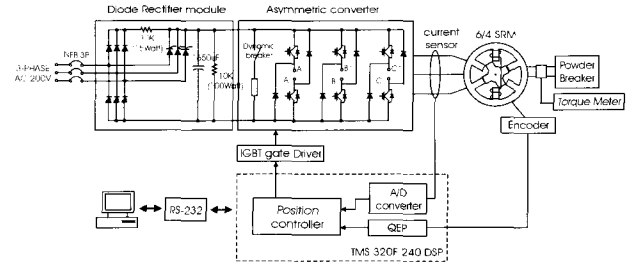


그림 10 제어시스템의 블럭도  
Fig. 10 Block diagram of the control system

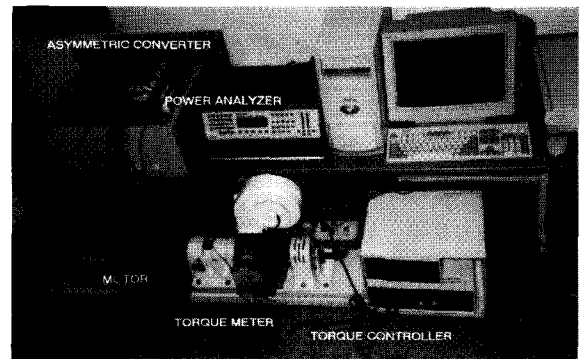


사진 1 시스템 전체 구성도  
Photo 1 Structure of total system

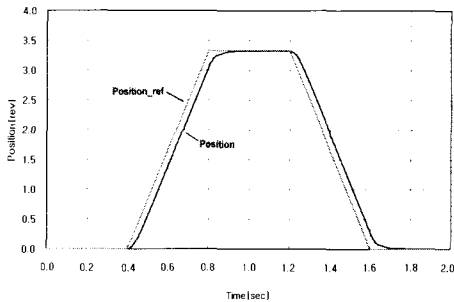
표 1 SRM의 설계상수  
Table 1 Design parameters of SRM

|       |                               |        |                |
|-------|-------------------------------|--------|----------------|
| 상 수   | 3상                            | Lmax   | 0.34[H]        |
| 극 수   | 6/4                           | Lmin   | 0.034[H]       |
| 정격전압  | 300[Vdc]                      | 고정자 극호 | 30[deg]        |
| 권선저항  | 3.9[Ohm]                      | 회전자 극호 | 32[deg]        |
| 관성모멘트 | 0.00026[kg · m <sup>2</sup> ] | 마찰계수   | 0.0006[Nm · s] |

부하토크는 Leroy Somer사의 3000[rpm], 50[Nm], 정격의 FP. 15/30 파우더 브레이크를 사용하여 제어하였다. 회전자 위치정보는 1회전당 600[pulse]를 출력하는 omron사의 E6H-CWZ3E 엔코더 신호를 4채배하여 적용하였다. 사진 1에는 구성된 전체 시스템을 나타내었고, 실험에 사용된 기저속도 3000[rpm]이며, 정격토크 2.5[Nm]인 전동기의 세부사항은 표 1에 나타난 전동기의 설계상수와 같다.

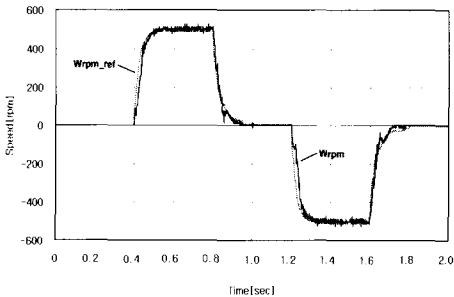
### 5. 실험 결과

그림 11과 12는 제안된 위치제어시스템에 의한 응답 특성을 나타내었다. 그림 11은 500[rpm], 1[Nm]인 경우의 위치응답특성으로, (a)는 위치제어 응답특성, (b)는 속도제어, (c)는 3상 전압파형, (d)는 정상상태에서 확장된 3상 전압파형, (e)는 3상 전류파형, (f)는 확장된 3상 전류파형을 보여준 것이다.



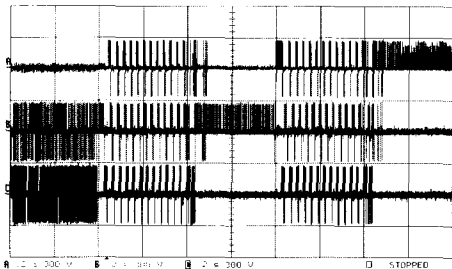
(0.5[rev]/div, 0.2[sec]/div)

(a) 위치제어 응답특성  
(a) Response characteristics of position control



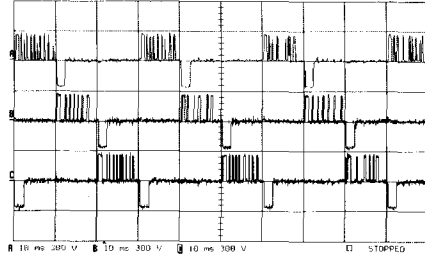
(200[rpm]/div, 0.2[sec]/div)

(b) 속도제어 응답특성  
(b) Response characteristics of speed control



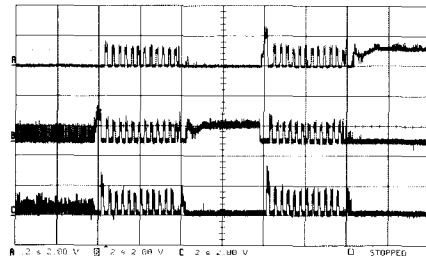
(300[V]/div, 0.2[sec]/div)

(c) 3상 전압파형  
(c) 3 phase voltage waveform



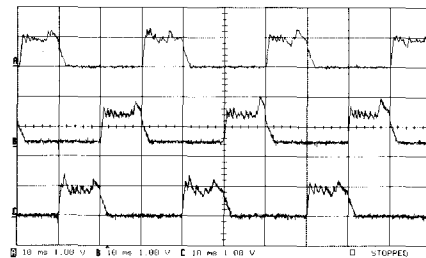
(300[V]/div, 10[msec]/div)

(d) 정상상태에서의 확장된 3상 전압파형  
(d) Expanded 3 phase voltage waveform in steady state



(4.4[A]/div, 0.2[sec]/div)

(e) 3상 전류파형  
(e) 3 phase current waveform

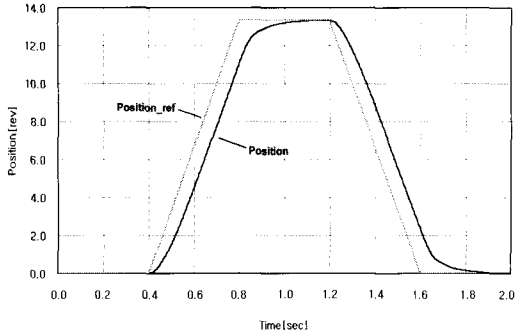


(2.2[A]/div, 10[msec]/div)

(f) 정상상태에서의 확장된 3상 전류파형  
(f) Expanded 3 phase current waveform in steady state

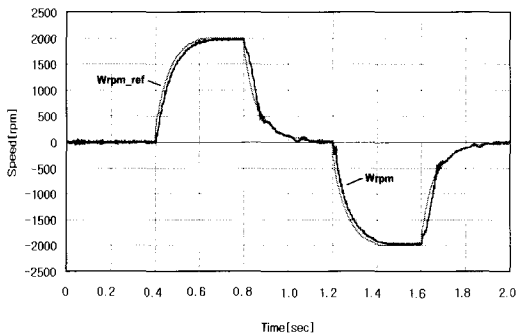
그림 11 500[rpm], 1[Nm]에서 제안된 시스템의 응답특성  
Fig. 11 Response characteristics of the suggested system at 500[rpm] and 1[Nm]

그림 12는 2000[rpm], 1[Nm]인 경우의 응답특성으로, (a)는 위치제어 응답특성, (b)는 속도제어, (c)는 3상 전압파형, (d)는 정상상태에서 확장된 3상 전압파형, (e)는 3상 전류파형, (f)는 확장된 3상 전류파형을 보여준 것이다.



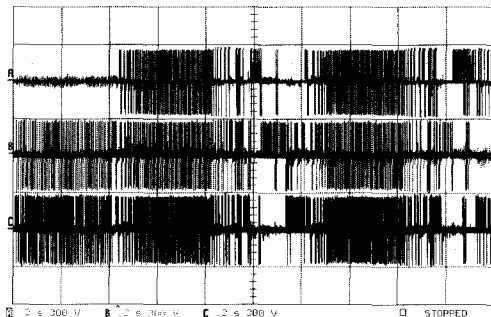
(2[rev]/div, 0.2[sec]/div)

(a) 위치제어 응답특성  
(a) Response characteristics of position control



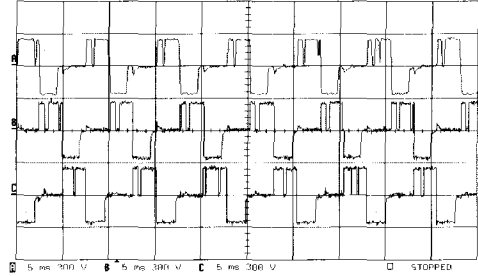
(500[rpm]/div, 0.2[sec]/div)

(b) 속도제어 응답특성  
(b) Response characteristics of speed control



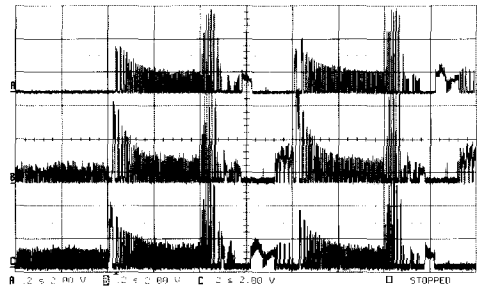
(300[V]/div, 0.2[sec]/div)

(c) 3상 전압파형  
(c) 3 phase voltage waveform



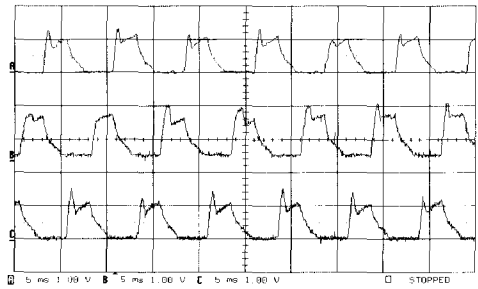
(300[V]/div, 5[msec]/div)

(d) 정상상태에서의 확장된 3상 전압파형  
(d) Expanded 3 phase voltage waveform in steady state



(4.4[A]/div, 0.2[sec]/div)

(e) 3상 전류파형  
(e) 3 phase current waveform



(2.2[A]/div, 5[msec]/div)

(f) 정상상태에서의 확장된 3상 전류파형  
(f) Expanded 3 phase current waveform in steady state

그림 12 2000[rpm], 1[Nm]에서 제안된 시스템의 응답특성  
Fig. 12 Response characteristics of the suggested system at 2000[rpm] and 1[Nm]

제어기는 위치와 속도지령을 보다 빠르고 정확하게 추종하도록 시행오차를 통하여 결정된 값을 사용하였

다. 그림 11(d)의 500[rpm]에서의 전압 부분 확대 파형 으로부터 디지털 히스테리시스 제어기에 의해 전압이 초평되어 인가되고 있음을 확인할 수 있다. 또한, 그림 12(d)는 2000[rpm]에서의 전압 확대 파형이며 속도가 증가함에 따라 단일 펄스 형태의 전압이 인가됨을 알 수 있다.

### 6. 결 론

본 논문에서는 최근 관심이 고조되고 있는 SRM을 서보 구동용 시스템으로 적용하기 위한 위치제어시스템의 응답특성에 관해 연구하였다. 또한 DSP내에서의 연산을 통해 제어되는 디지털 히스테리시스 제어기를 적용함으로써 시스템 개발과 구현을 보다 용이하게 하였으며, 제시된 제어시스템의 검증을 위하여 실제 시스템을 구성하여 응답특성을 고찰하였다. 이 결과 우수한 위치제어 응답특성이 얻어졌으며, 이는 SRM을 적용한 서보구동용 전동기 제어시스템의 가능성을 확인하였다.

### 참 고 문 헌

[1] T.J.E. Miler, "Electronic Control of Switched Reluctance Machines", Newnes Press, 2001.  
 [2] R. Krishnan, "Switched Reluctance Motor Drives", CRC Press, 2001.  
 [3] B.K. Bose, "Power Electronics and Variable Frequency Drives", IEEE Press, 1997.  
 [4] Hassan Moghbelli, Gayle E. Adams, and Richard G. Hoft, "Performance of a 10-Hp Switched Reluctance Motor and Comparison with Induction Motors", IEEE Trans. on IA., Vol. 27, No. 3, pp. 531~538, May/June 1991.  
 [5] 최경호, 김동희, 노채균, 김민회, "스위치드 리럭턴스 전동기의 인덕턴스 산정에 관한 연구", 전력전자학회 논문지, 제6권, 제4호, pp. 333~340, Aug. 2001.  
 [6] 최경호, 김남훈, 백원식, 김동희, 노채균, 김민회, 황돈하, "드릴용 SRM의 최적운전을 위한 스위칭각 산정", 대한전기학회 논문집, Vol. 50B, No. 11, pp. 575~582, Nov. 2001.  
 [7] H.C. Lovatt and J.M. Stephenson, "Computer-optimised smooth torque current waveforms for switched reluctance motors", IEE Proc.-Electr. Power Appl., Vol. 144, No. 5, Sep. 1997.

[8] P.C. Kjaer, J.J. Gribble, and T.J.E. Miller, "High-grade control of switched reluctance machines", IEEE Trans. on IA., Vol. 33, No. 6, pp. 1585~1593, Nov./Dec. 1997.  
 [9] F. Blaabjerg, P.C. Kjaer, P.O. Rasmussen, and C. Cossar, "Improved Digital Current Control Methods in Switched Reluctance Motor Drives", IEEE Trans. on PE., Vol. 14, No. 3, pp. 563~572, May 1999.  
 [10] 오석규, 성세진, "맥동 토오크 저감을 위한 스위치드 리럭턴스 전동기 구동에 관한 연구", 전력전자학회 논문지, Vol. 2, No. 2, pp. 49~56, June 1997.  
 [11] 안진우, 오석규, 황영문, "SRM의 정밀속도제어를 위한 순시스위칭각 제어방식", 전력전자학회 논문지, Vol. 2, No. 3, pp. 20~25, Sep. 1997.

### 저 자 소 개



#### 김민회(金玟會)

1953년 7월 23일생. 1974년 영남대 전기공학과 졸업. 1980년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 중앙대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1979년 3월~현재 영남이공대학 전자자동차과 교수. 1993년 7월~1995년 8월 미국 테네시 주립대학(낙스빌) 전기공학과. 전력전자응용연구센터(PEAC) 연구교수. 1996년 8월 IECON '96 최우수 논문상 수상. 현재 당 학회 재무이사.



#### 백원식(白元植)

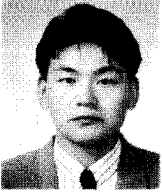
1970년 10월 20일생. 1996년 계명대 수학과 졸업. 2000년 9월~현재 영남대 대학원 전기공학과 석사과정.



#### 김남훈(金男勳)

1973년 6월 12일생. 1998년 삼척대 제어계측공학과 졸업. 2000년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정 수료.





**최경호(崔景好)**

1967년 4월 28일생. 1991년 영남대 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 1월~2000년 1월 (주)효성 전동기부 근무. 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 경북전문대학 겸임교수.



**김동희(金東熙)**

1950년 11월 20일생. 1973년 영남대 전기공학과 졸업. 1975년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 일본 Kobe대학 졸업(박사). 1987년~1989년 한국전기연구원 전력전자 연구부장. 현재 영남대 전기·전자공학부 교수. 당 학회 경상지부장.