

## 반사형 광센서를 이용한 저가형 SRM 위치검출기법

金世柱<sup>\*</sup>, 尹溶湖<sup>\*\*</sup>, 元忠淵<sup>†</sup>, 金學成<sup>\*\*\*</sup>

## A Low Cost Position Sensing Method of Switched Reluctance Motor Using Reflective Type Optical-sensors

S.J. Kim, Y.H. Yoon, C.Y. Won, and H.S. Kim

## 요 약

SRM은 회전자의 위치에 따라 상권선의 여자시점이 결정되므로 회전자의 정확한 위치정보가 요구된다. 회전자 위치검출을 위해 절대형 엔코더 및 레졸버를 사용할 경우 초기 회전자 위치 검출이 가능하여 초기기동이 가능하지만 경제성을 고려할 때 적절하지 않다. 증분형 엔코더의 경우 초기 회전자 위치 검출이 용이하지 않아 초기기동의 문제가 있고, 홀센서를 이용할 경우 별도의 링마그넷을 부착하여야 하는 단점이 있다. 초기기동과 경제성을 고려할 때 슬롯디스크 및 옵토 인터럽터를 이용한 광센서 기법이 적합하지만, 이 방식은 6/4 pole SRM의 경우 3개의 옵토 인터럽터와 슬롯디스크가 필요하다. 반면에 본 논문에서는 단지 2개의 광센서만을 이용하여 3상 6/4 pole SRM을 구동하였으며 초기기동 및 정·역 운전을 가능하게 하였다. 광센서의 개수를 1개 줄이고 슬롯디스크를 제거함으로써 제작의 편리성과 경제성이 개선되었으며 슬롯디스크 취부면적이 제거되어 모터의 부피도 줄일 수 있었다.

## ABSTRACT

As the exciting point of each phase is determined by the position of rotor, the rotor's accurate position-information is needed for the Switched Reluctance Motor(SRM). When using an absolute-encoder or a resolver, to detect the location of rotor the initial starting is possible, as early sensing of rotor's location is possible. However, this is not appropriate, considering the economical efficiency, and in case of using the incremental-encoder, there's a problem at initial starting as it is not easy to track down the location of rotor at the very beginning. When using Hall-ICs, there's a fault, as it needs a special ring magnet. Considering the initial starting and economical efficiency, the optical sensor technique using a slotted-disk and an opto-interrupter is appropriate, however, this method needs three opto-interrupters and a slotted-disk when using the 6/4 pole SRM. Nevertheless, in this paper, it used only two optical sensors to operate 6/4 pole SRM and made the start up and also forward and reverse operation possible. By excluding the slotted-disc and shortening a optical sensor, it improved the convenience and economical efficiency of the production. Also, as the space for slotted-disc is no more needed, it was able to reduce the size of motor.

**Key Words** : SRM, Reflective type optical sensors, Position sensing, Opto-interrupter.

## 1. 서 론

SRM은 다른 전동기보다 간단한 구조를 가지고 있어 제작 단가가 저렴하고 영구자석이 없어 고온 등의 열악한 환경에도 신뢰성이 높으며, 브러쉬 등이 없어

유지비가 거의 들지 않는 장점을 지니고 있는 전동기이다.

그러나 SRM은 회전자의 위치에 따라 상권선의 여자시점이 결정되므로 회전자의 위치검출을 위한 고가의 엔코더가 필요하게 된다.

분해능은 낮지만 가장 경제적으로 유리한 것으로 알려진 SRM 전용 위치검출 기법인 옵토 인터럽터 및 슬롯디스크를 이용한 광센서 기법이 적합하지만 이 방식은 6/4 Pole SRM의 경우 3개의 옵토 인터럽터와 슬롯디스크가 필요하다<sup>[1][3]</sup>.

본 논문에서는 기존 광센서 방식인 옵토 인터럽터와 슬롯디스크를 이용한 광센서 방식의 경제적인 장점을 개선 할 수 있는 반사형 광센서 방식을 제안하였다. 본 방식을 이용하여 광센서의 개수를 줄이면서도 슬롯디스크를 제거하여 모터의 부피를 줄이고 경제성을 높일 수 있는 효과를 얻을 수 있다.

## 2. 제안한 광센서 방식

### 2.1 기존 광센서를 이용한 위치검출 기법

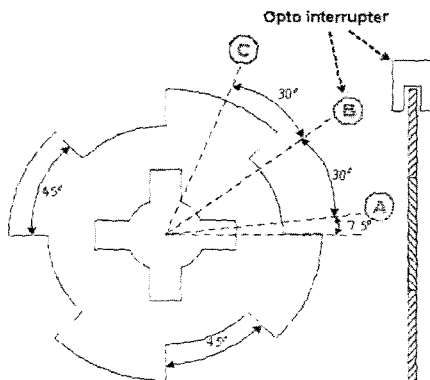


그림 1 옵토 인터럽터와 슬롯디스크를 이용한 회전자 위치검출  
Fig. 1 Rotor position sensing by opto-interrupters and slotted disk

그림 1은 기존 옵토 인터럽터와 슬롯디스크를 이용한 위치 센싱 방법을 보여주는 것으로 3상 6/4 SRM을 정·역 운전하기 위해서는 3개의 센서가 필요하다. 슬롯디스크와 옵토 인터럽터 3개를 이용하여 회전자의 위치를 검출할 수 있으며 이와 같은 방법을 이용할 경우 고가의 엔코더를 사용하지 않고 각 상의 정확한 여자시점을 결정할 수 있다<sup>[1]</sup>.

### 2.2 적용된 위치 검출기법

그림 2는 본 논문에서 적용한 반사형 광센서를 이용한 회전자 위치 검출장치의 기본원리를 나타낸다.

반사형 광센서의 발광부에서 방출된 빛이 반사체의 위치에 따라 수광부에 도달하는 경우와 그렇지 않을 경우에 따라 High 또는 Low신호를 검출하여 SRM의 여자시점을 결정 할 수 있다<sup>[2]</sup>.

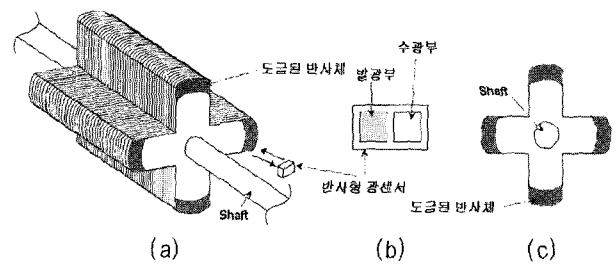
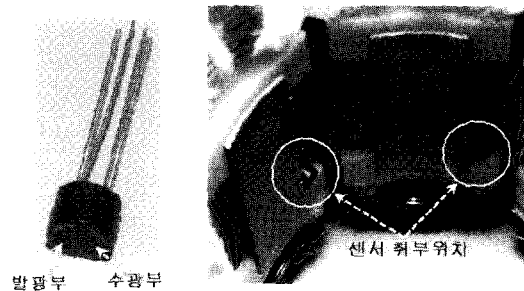


그림 2 적용된 위치 검출 기법의 원리  
(a) SRM의 회전자 위치 검출장치  
(b) 반사형 광센서의 구조 (c) 반사체 구조

Fig. 2 Applied position sensing technique  
(a) Equipment of SRM position sensor  
(b) Reflective type optical sensor  
(c) Structure of reflector



발광부 수광부

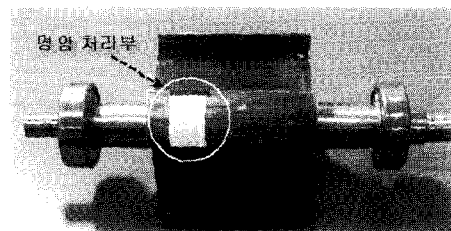
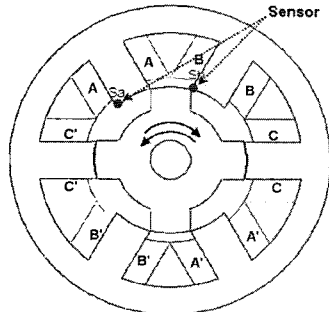


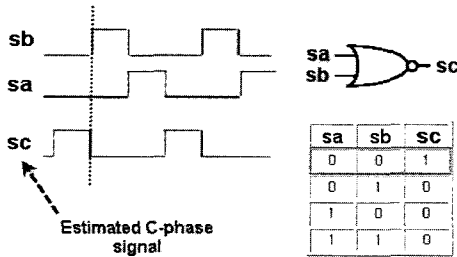
그림 3 제안된 위치검출 기법  
(a) 반사형 광센서 (b) 센서 취부모습  
(c) 명암 처리된 회전자

Fig. 3 Proposed rotor position sensing technique  
(a) Reflective type optical sensor  
(b) Picture of installed sensor  
(c) Treated rotor with light and shade

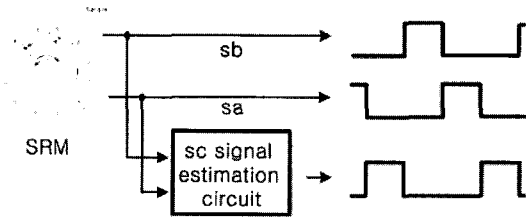
†교신저자 : 정희원, 성균관대 정보통신공학부 교수  
E-mail : won@yurim.skku.ac.kr  
\*학생회원, 성균관대 대학원 메카트로닉스공학과 석사과정  
정희원, 성균관대 대학원 메카트로닉스공학과 박사과정  
\*\*정희원, 동양공업전문대학 자동화시스템과 부교수  
접수일자 : 2004. 8. 12 1차 심사 : 2004. 9. 7  
2차 심사 : 2004. 11. 30 심사완료 : 2004. 12. 1



(a)



(b)



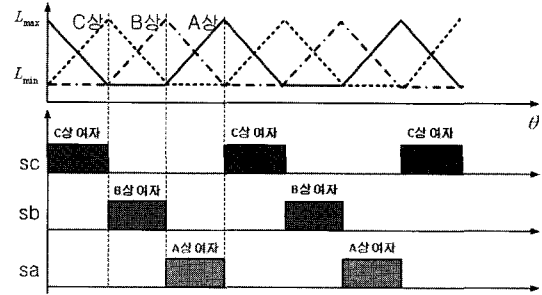
(c)

본 논문에서는 그림 2의 원리를 이용하여 그림 3(c)와 같이 SRM의 특성상 존재하는 회전자 돌극부에 명암 처리를 하였다.

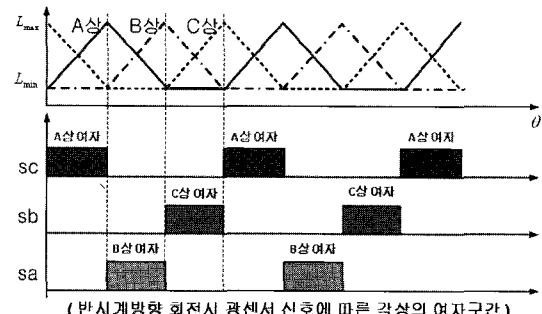
동시에 발광부와 수광부가 함께 있는 그림 3(a)의 반사형 광센서를 고정자 슬롯 옆면에 그림 3(b)와 같이 취부 하여 돌극부가 반사형 광센서를 통과하는 시점에 High 신호가 검출되도록 함으로서 슬롯디스크와 옵토 인터럽터의 기능을 하게 한다.

이와 같은 방식을 사용할 경우 기존 광센서 기법과 비교하여 슬롯디스크 면적이 제거되어 모터의 부피를 줄일 수 있다.

또한 고정자권선용 보빈 제작 시 광센서 위치를 고려하여 제작한다면 광센서 취부역시 간편해져 제조공정도 줄어들게 된다.



(시계방향 회전시 광센서 신호에 따른 각상의 여자구간)



(반시계방향 회전시 광센서 신호에 따른 각상의 여자구간)

그림 4 반사형 광센서 2개를 사용한 C상 추정 및 정역 구동원리

(a) 광센서 취부위치 (b) C상 추정회로 (c) 각상 위치검출 결과파형 (d) 정역 구동원리

Fig. 4 C-phase estimation by using only 2 reflective type optical sensor and principle of forward and reverse operation

(a) Position of sensor (b) Estimation of C-phase (c) Result waveform of each phase position sensing (d) Principle of forward and reverse operation

### 2.3 반사형 광센서 2개를 이용한 회전자 위치 검출 원리

본 논문에서는 그림 4(a)와 같이 광센서 sa와 sb를 취부 하여 두 신호로부터 그림 4(b)와 같이 NOR 회로를 이용하여 나머지 상 sc 신호를 검출할 수 있다.

그림 4(d)와 같이 sc, sb, sa가 각각 High 신호일 경우 C, B, A 상을 여자 한다면 회전자는 시계방향으로 회전하게 된다. 또한, sc, sa, sb가 각각 High 신호일 경우 A, B, C 상을 여자 한다면 회전자는 반시계방향으로 회전하게 된다.

이와 같은 간단한 방식을 이용하여 6/4 pole SRM의 정확한 여자시점을 결정할 수 있으며 초기기동 및 정·역 구동이 가능하게 된다.

그림 4(c)의 sc의 신호는 sa와 sb의 신호가 Low인

구간동안 High신호가 발생하도록 하면 된다. 회전자의 초기위치가 정확히 sa와 sb의 사이에 위치했을 경우 모든 상의 신호가 Low 신호가 될 수 있기 때문에 초기기동이 불가능 할 수 있다.

그러나 NOR 회로를 사용함으로써 sa와 sb의 신호가 Low 신호이여도 sc의 신호에 의해 C상이 여자될 수 있기 때문에 초기 기동이 가능하다.

### 3. 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안된 알고리즘을 PSIM 소프트웨어를 이용한 시뮬레이션과정을 통하여 그 타당성을 검증하였다.

그림 5는 SRM 구동 시스템의 전체 시뮬레이션 블록도를 나타내고 있다.

속도 기준전압과 f/V 컨버터 전압(실제속도)간의 오차값을 오차증폭기에 거친 전압("u"전압)과 sa, sb, sc 신호를 적분하여 얻은 각 상당 톱니파의 합("c"전압)을 비교하여 스위칭 듀티를 결정한다("y"전압).

그리고 AND회로를 통하여 각 상당 여자시점에 맞도록 분리(ga, gb, gc)하여 비대칭컨버터의 상단 스위치들을 제어함으로써 속도 제어를 하게 된다.

하단 스위치들은 광센서 신호인 sa, sb, sc신호를 그대로 이용하고 상단 스위치의 듀티를 가변(ga, gb, gc를 가변)함으로써 상단 스위치 off시 하단측 스위치와

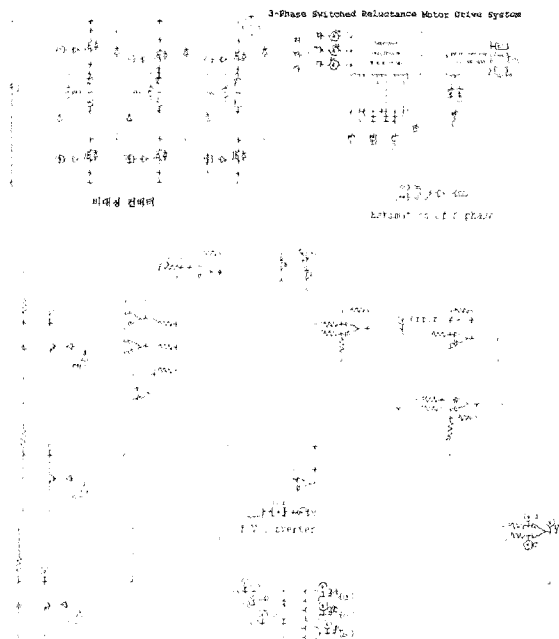


그림 5 전체 시뮬레이션 회로도  
Fig. 5 Overall simulation circuit

다이오드를 통한 순환모드를 만들어 주어 전류 및 토크맥동을 줄일 수 있다.

그림 6은 제안된 회로를 이용하여 sa, sb신호로부터 추정된 sc신호를 보여주고 있다.

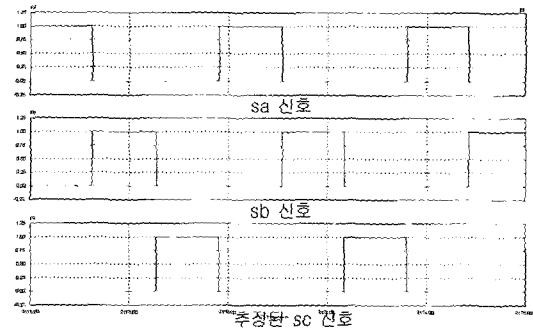


그림 6 sa, sb신호와 추정된 sc신호  
Fig. 6 sa, ab signal and estimated signal of the sc

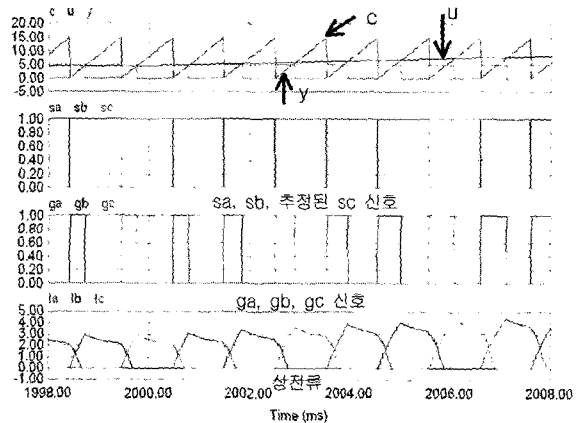


그림 7 시뮬레이션 파형  
Fig. 7 Simulation waveform

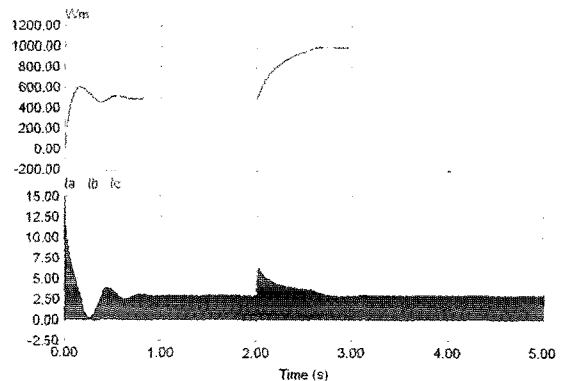


그림 8 속도 및 상전류 시뮬레이션 파형  
Fig. 8 Simulation waveform of speed and phase current

그림 7은 기동후 2초후에 기준속도 값이 500[rpm]에서 1000[rpm]으로 증가함에 따라 제어신호 u가 점차 증가하여 톱니파 c와 비교되어진 출력 y의 듀티가 증가함을 보여주고 있다.

출력된 y는 sa, sb, sc와 AND회로를 거쳐 ga, gb, gc의 상단 스위치신호를 만든다. ga, gb, gc 신호의 듀티가 증가함에 따라 기준속도를 추종하기위해 전류가 증가해 가는 것을 보여준다.

그림 8은 기준 속도가 500[rpm]에서 1000[rpm]으로 증가했을 때 실제속도 파형과 각 상의 전류파형을 나타낸다.

4. 실험 결과

실험에 사용한 컨버터는 제어의 다양성이 뛰어나며 전류중첩이 가능한 비대칭 브릿지 컨버터이고 표 1은 실험에 사용된 전동기 파라미터이다.

sa신호를 LM331(f/V컨버터)의 입력으로 이용하여 sa 펄스 주파수에 비례한 출력전압이 발생하도록 하여 운전 중인 전동기의 속도를 검출하여 속도제어를 행하였다.

표 1 전동기 파라미터  
Table 1 Motor parameter

정격 출력	160[W]	상 권선저항	0.04166[Ω]
정격 전압	12[V]	최대 인덕턴스	2.332[mH]
상 수	3[상]	최소 인덕턴스	0.241[mH]
고정자 극수 및 극호각( $\beta_s$ )	6[pole] 30°	회전자 극수 및 극호각( $\beta_r$ )	4[pole] 32°

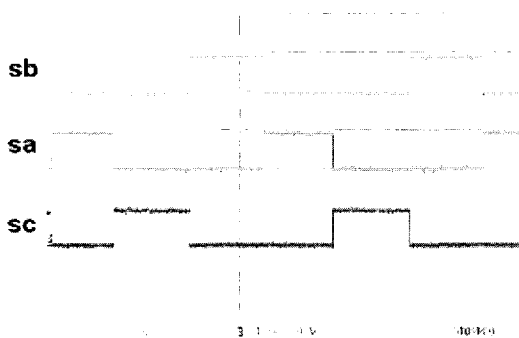


그림 9 sa, sb신호와 추정된 sc신호  
Fig. 9 sa, ab signal and estimated signal of the sc

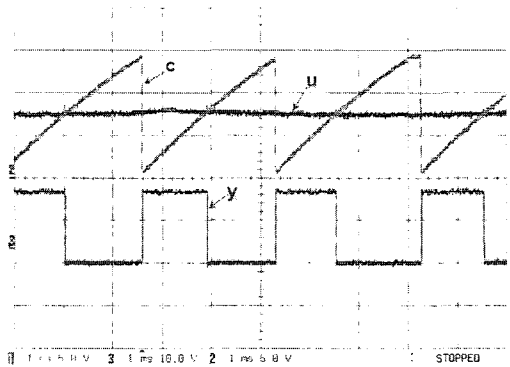


그림 10 비교기 입출력 파형  
Fig. 10 Input and output waveform of comparator

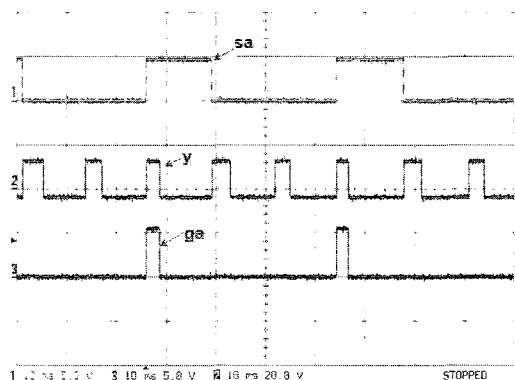


그림 11 AND 회로단 입출력 파형  
Fig. 11 Input and output waveform of AND circuit

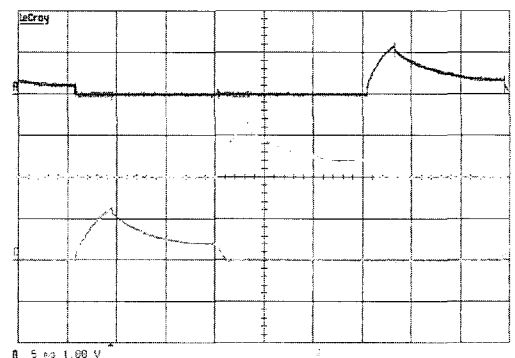


그림 12 정회전시 상전류파형(4A/div, 3500rpm)  
Fig. 12 Current waveform at 3500[rpm] forward direction

그림 10은 기준전압과 f/V컨버터부 출력전압간의 오차를 제어기에 통과시킨 전압 u와 각상의 여자가능 구간에 발생된 톱니파 신호전압 c가 비교기를 통과하여 y파형을 출력한다.

그림 11은 그림 10에서 출력된 전압 y와 sa신호가

AND되어 A상 상단스위치 여자신호인 ga를 출력한다.

sa신호는 비대칭인버터의 하단스위치를 여자하고 ga 신호는 상단스위치를 여자 시키는 소프트스위칭 방식이 가능하도록 하여 저속에서도 토크맥동을 줄였다.

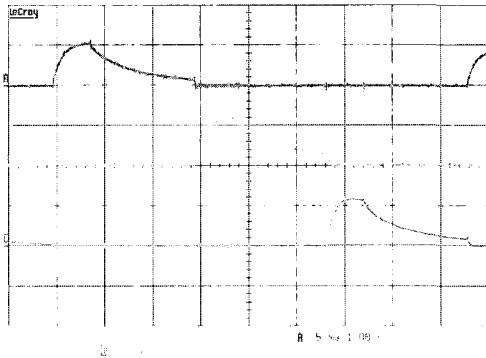


그림 13 역회전시 상전류파형(4A/div, 3500rpm)  
Fig. 13 Current waveform at 3500[rpm] reverse direction

그림 12는 무부하 3500[rpm] 정회전시의 상전류파형, 그림 13은 무부하 3500[rpm] 역회전시의 상전류파형을 각각 나타낸다.

그림 14는 초기 기동후 속도 기준전압을 증가시켰을 때 실제속도인 f/V컨버터 출력전압의 기준전압 추종파형이다.

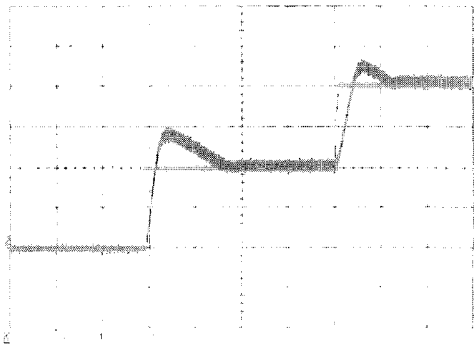


그림 14 기준속도 증가시 속도 추종파형(500[rpm]/div)  
Fig. 14 Waveform of speed when reference speed increase

## 5. 결 론

SRM 구동을 위해서는 회전자의 정확한 위치정보가 필수적이기 때문에 회전자 위치검출을 위해 고가의 절대형 엔코더 및 레졸버, 증분형 엔코더를 사용한다.

그러나 고정밀 제어가 아닌 단순구동 상황에서 고가의 엔코더 및 고성능 마이크로프로세서를 사용하는 것

은 바람직하지 않다.

본 논문에서는 기존 옴토 인터럽터와 슬롯디스크를 이용한 광센서방식을 개선한 반사형 광센서방식을 이용하여 슬롯디스크부를 제거함과 동시에 광센서의 개수를 1개 줄여 단지 2개만으로 3상 6/4 pole SRM을 초기기동 및 양방향 운전이 가능하게 하였다.

이를 입증하기 위해 저가의 범용 아날로그 소자만으로 제어회로를 구성하여 시뮬레이션과 실험을 통해 기존 광센서 방식에 비하여 보다 저가이고 간단한 SRM 전용 위치 센싱기법을 제안하였다.

이 논문은 에너지관리공단(2003-0809-000)의 에너지절약기술개발 사업 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

## 참 고 문 헌

- [1] R. C Becerra, M Ehsani, T.J.E Miller, "Commutation of SR Motors", Applied Power Electronics Conference and Exposition, APEC '91. Conference Proceedings, 1991, Sixth Annual, 10-15 March 1991.
- [2] 공개실용선안, 공개번호 1997-0052958 엘지전자 주식회사 신두진, "스위치드 릴럭턴스 모터의 회전자 위치 검출장치".
- [3] 김진우, "가변 히스테리시스 제어에 의한 SRM 토크리플 저감에 관한 연구", 성균관대학교 석사학위 논문, 1999.
- [4] T. J. E Miller, "Switched Reluctance Motors and Their Control", Oxford University press, 1993.
- [5] 김도균, 윤용호, 이태원, 원충연, 김영렬 "C-dump Converter에 의한 차량용 SRM 구동시스템의 고성능제어" 전력전자학회 논문지, pp. 534-544, 2003. 12.
- [6] 안진우, "SRM의 센서리스 제어를 위한 인덕턴스 추론기법", 전력전자학회 논문지, pp. 427-434(8), 2003. 10.
- [7] 안진우, 강유정 "SRM의 4상한 구동을 위한 전류제한 방식", 전력전자학회 논문지, pp. 285-291, 2003. 6.

## 저 자 소 개



### 김세주(金世柱)

1976년 1월 25일생. 2002년 서울산업대 전기공학과 졸업. 2003년~현재 성균관대 메카트로닉스공학과 석사과정.



**윤용호(尹溶湖)**

1973년 5월 9일생. 2002년 성균관대 메카트로닉스 공학과 졸업(석사). 2002년 LG 전자 DDM사업부 입사. 2003년~현재 성균관대 대학원 메카트로닉스공학과 박사과정.



**원충연(元忠淵)**

1955년 5월 10일생. 1978년 성균관대 전기공학과 졸업. 1980년 서울대 공대 대학원 전기공학과(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1991년 12월~1992년 12월 미국 테네시주립대학 전기공학과 방문교수. 현재 성균관대 정보통신공학부 교수.

신공학부 교수.



**김학성(金學成)**

1964년 11월 8일생. 1989년 성균관대 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1996년~1997년 한국전기연구원(Post Doc.). 1997년~현재 동양공업전문대학 자동화시스템과 부교수.