

반사형 광센서를 이용한 LSRM 위치검출 방법

김세주*, 윤용호*, 정균하*, 원충연*, 강도현**
 성균관대학교*, 한국전기연구원**

Linear Switched Reluctance Motor Position Detecting Technique Using Reflective Type Photo-sensors

S.J Kim* , Y.H Yoon* , G.H Jung* , C.Y Won* , D.H Kang**
 Sungkyunkwan University* , Korea Electrotechnology Research Institute**

ABSTRACT

Information of rotor position is necessary to drive Linear Switched Reluctance Motor(LSRM). Therefore, linear optical encoder is used to detect a mover position. Normally, since the price of encoder, which is used for linear motor is relatively higher than the one used for rotary motor and the cost of additional equipment increases with the length of motor. As a results, LSRM has a great part for the total cost.

In this paper, as using reflective type photo-sensors, it replaced the expensive linear encoder.

1. 서 론

선형전동기는 일반 회전기를 잘라서 펼친 형태로 그 원리는 회전형 전동기와 같다.^[1] 직선 운동을 필요로 하는 시스템에서 기계적 변환 기구를 사용하지 않고 직접 직선운동을 얻을 수 있으므로 향후 자동화기기, 교통수단, 산업용기기 등에 수용가 많은 전동기로서 동력전달 효율을 향상시킬 수 있다.

이와 같은 장점에도 불구하고 기술적 해결과제는 속도의 저하에 따른 저 출력화, 저 효율화 및 고 가격화가 문제로 대두된다. 특히, 고 가격화 면에서 선형전동기는 선형 엔코더가 고가이고 전동기 길이에 따라 위치센서의 부가장치 비용이 증가한다.

그러므로 전체 제작비에서 무시할 수 없는 부분이 되어 전동기의 길이에 무관한 저가형 위치검출 기법 및 센서리스 방법이 필요하게 되었다.

본 논문에서는 정밀한 위치제어는 불가능하나 고가의 선형 엔코더를 사용하지 않으면서 모터의 길이에 관계없이 저가의 위치검출이 가능한 반사형 광센서 방식을 제안하였다.

이 방식을 종래의 SRM에 적용하여 타당성을 실

험을 통하여 입증하였고 시뮬레이션을 통해 LSRM에 적용 가능성을 보였다.

2. 제안한 위치검출 기법

2.1 제안한 LSRM 위치검출 기법의 기본원리

그림 1과 같이 LSRM의 고정자 돌극부에 명암 처리를 함과 동시에 발광부와 수광부가 함께 있는 반사형 광센서 sa와 sb를 이동자 슬롯 옆면에 취부한다. 그러면 고정자 돌극부가 광센서를 통과하는 시점에 High신호가 검출되므로 모터 길이에 상관없이 여자 해야 할 상을 결정할 수 있다.

그림 1과 같이 광센서 sa와 sb를 취부하고 두 신호로부터 그림 2와 같이 NOR 회로를 통해 sc를 검출하여 sa, sb, sc가 각각 High신호일 경우 A, B, C 상을 여자 한다면 이동자는 우측으로 이동하게 된다.

또한, sa, sb, sc가 각각 High 신호일 경우 C, A, B 상을 여자 한다면 이동자는 좌측으로 이동하게 된다.

여기서 만일 회전자의 초기위치가 정확히 sa와 sb의 사이에 위치했을 경우 모든 상의 신호가 Low레벨이 되어 초기기동이 불가능 하다. 그러나 NOR 회로를 사용함으로써 sa와 sb가 Low레벨이어도 sc의 신호에 의해 C상이 여자되게 되어 sa와 sb의 동시 Low레벨위치를 벗어날 수 있으므로 초기 기동이 보장될 수 있다.

이와 같은 간단한 방식을 이용하여 LSRM의 정확한 여자시점을 결정할 수 있으며 초기기동 및 정·역 구동이 가능하게 된다.

또한 제안한 방법을 이용할 경우 기존 3상 6/4 극 SRM에 사용하던 비대칭컨버터와 제어회로를 LSRM에 동일하게 적용 가능하다.

이를 확인하기 위해 반사형 광센서 방식을 SRM에 적용하여 실험을 통해 타당함을 검증하였으며 시뮬레이션을 통해 LSRM에 적용 가능성을 보였다.

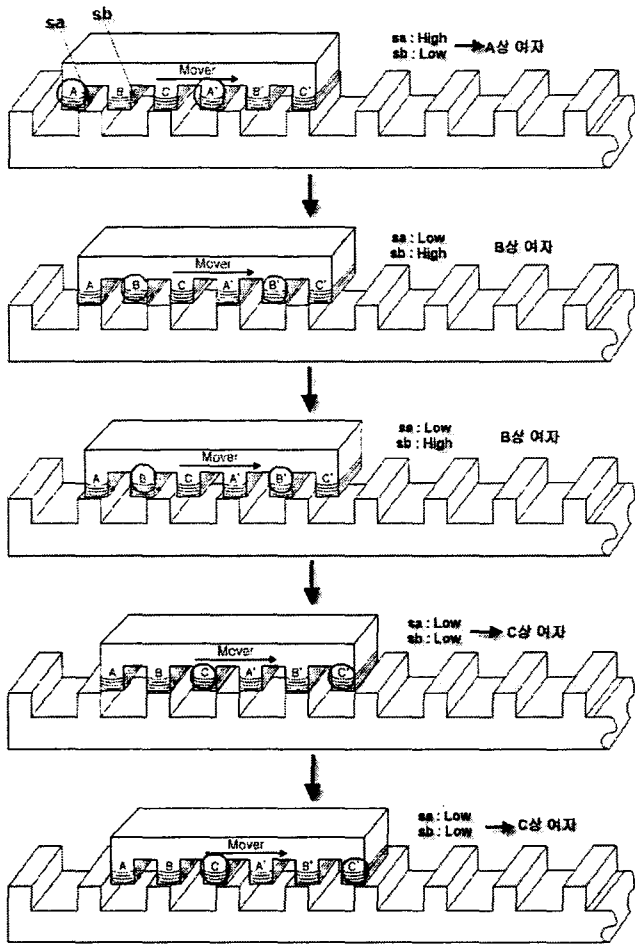


그림 1. 반사형 광센서를 이용한 LSRM 위치검출
Fig. 1. LSRM position sensing method using reflective type photo-sensors

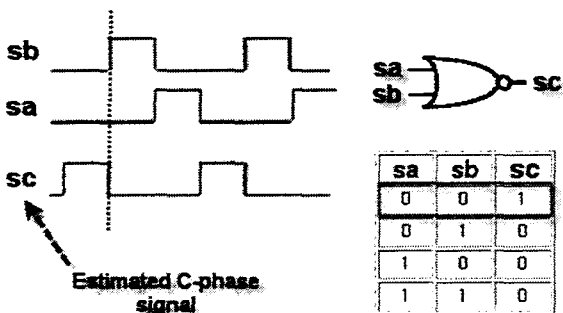


그림 2. C상 신호 추정원리
Fig. 2. Estimation of C-phase

2.2. 제안한 위치검출 기법의 SRM 적용

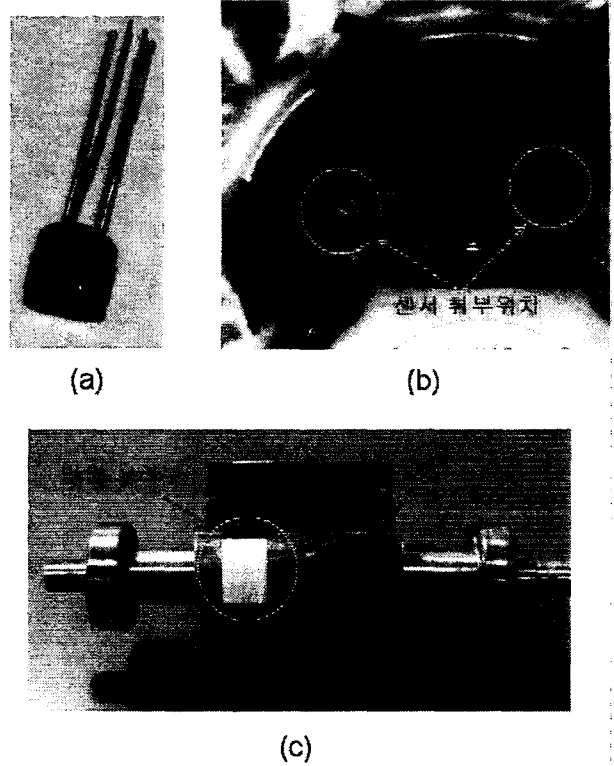


그림 3. 제안된 위치검출 기법.

- (a) 반사형 광센서
- (b) 센서 취부모습
- (c) 명암 처리된 회전자

Fig. 3. Proposed rotor position sensing technique

- (a) Reflective type photosensor
- (b) Picture of installed sensors
- (c) Treated rotor with light and shade

발광부와 수광부가 함께 있는 그림 3(a)와 같은 반사형 광센서를 그림 3(b)와 같이 고정자 슬롯 옆면에 부착한 후 그림 3(c)의 명암 처리된 회전자 돌극부가 광센서를 통과할 때 High신호를 발생하도록 하여 SRM의 각상 여자시점을 결정할 수 있다.

2.3. 제안한 방식의 SRM 적용시 실험결과

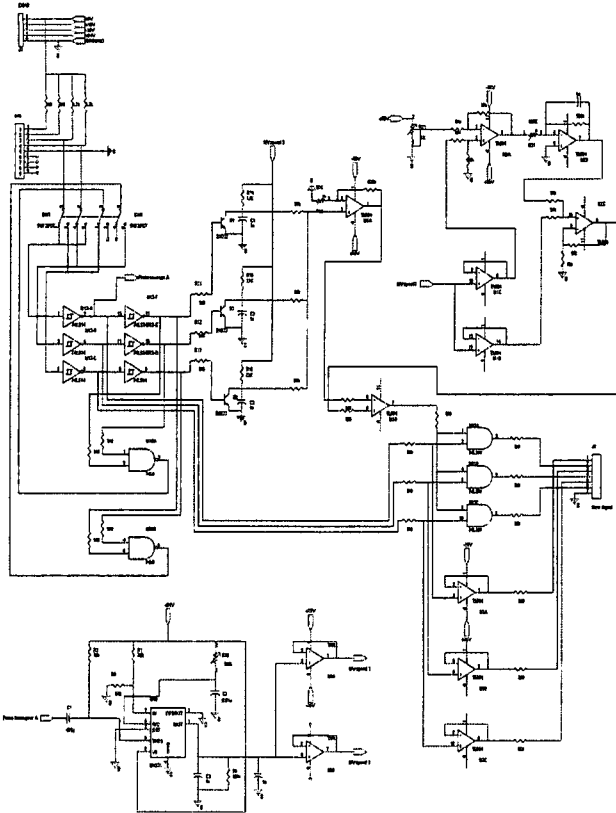
실험에 사용한 컨버터는 제어의 다양성이 뛰어나며 전류중첩이 가능한 비대칭 브릿지 컨버터를 사용하였고 표 1은 실험에 사용된 전동기 파라미터를 나타낸다.

표 1. 전동기 파라미터
Table 1. Motor parameter

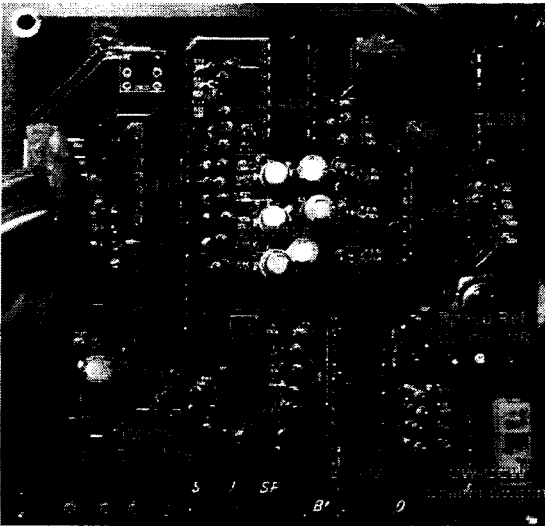
정격 출력	160[W]	상 권선저항	0.04166[Ω]
정격 전압	12[V]	최대 인덕턴스	2.332[mH]
상 수	3[상]	최소 인덕턴스	0.241[mH]
고정자 극수	6[pole]	회전자 극수	4[pole]

그림 4(a)는 실험에 사용된 전체 회로도를 나타내며 그림 4(b)는 실제 구성된 제어보드이며 저가형 범용 소자를 최소한의 구성만으로 회로를 설계하였다.

sa 신호를 LM331(f/V컨버터)의 입력으로 이용하여 sa 펄스 주파수에 비례한 출력전압이 발생하도록 하여 운전중인 전동기의 속도를 검출하여 속도 제어를 행하였다.



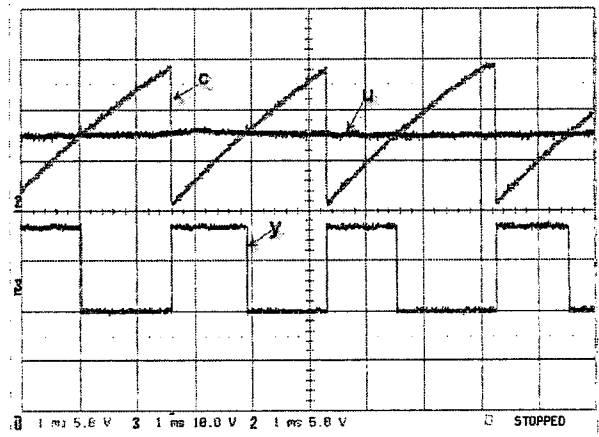
(a)



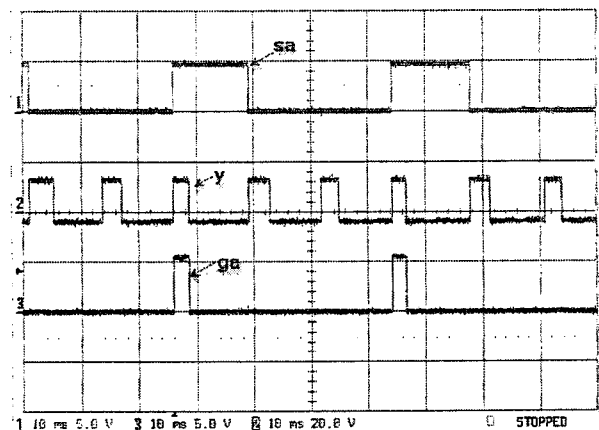
(b)

그림 4. 전체 실험 회로도 및 제어보드
(a) 실험 회로도 (b) 제어보드

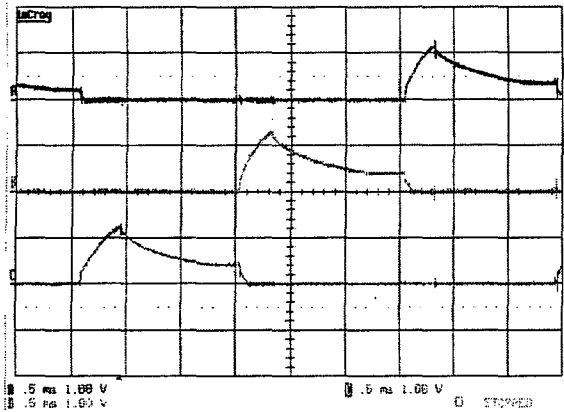
Fig. 4. Overall experimental circuit and control board
(a) Experimental circuit (b) Control board



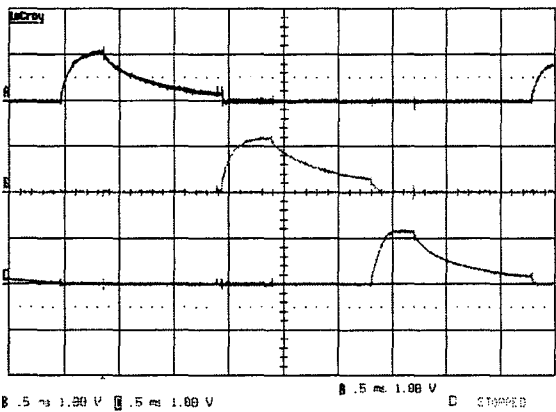
(a)



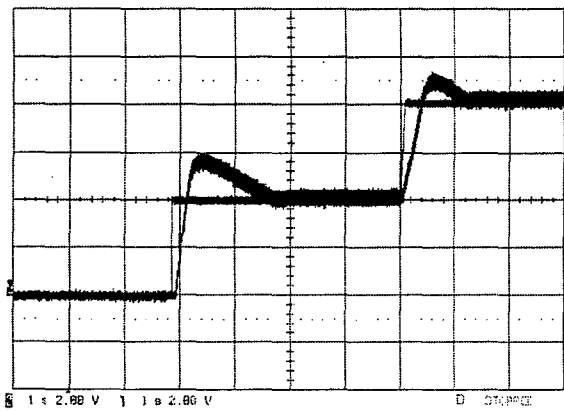
(b)



(c)



(d)



(e)

그림 5. 실험 결과 파형
 (a) 비교기 입출력 파형 (b) AND 회로단 입출력 파형
 (c) 3500[rpm] 정회전시 상전류파형 (1A/div)
 (d) 3500[rpm] 역회전시 상전류파형 (1A/div)
 (e) 기준속도 증가시 속도 추종파형 (500[rpm]/div)
 Fig. 5. Experimental waveform
 (a) Input and output waveform of comparator
 (b) Input and output waveform of AND circuit
 (c) Current waveform at 3500[rpm] forward direction (1A/div)
 (d) Current Waveform at 3500[rpm] reverse direction (1A/div)
 (e) Speed waveform at the reference speed increase (500[rpm]/div)

그림 5(a)는 기준전압과 f/V컨버터부 출력전압간의 오차를 제어기에 통과시킨 전압 u와 각상의 여자가능 구간에 발생된 톱니파 신호전압 c가 비교기를 통과하여 y 파형을 출력한다.

그림 5(b)는 그림 5(a)에서 출력된 전압 y와 sa신호가 AND되어 비대칭 컨버터의 A상 상단스위치 여자신호인 ga를 만든다.

sa신호는 비대칭컨버터의 하단스위치를 여자하고 ga신호는 상단스위치를 여자 시키는 소프트스위칭 방식이 가능하도록 하여 저속에서도 토크맥동을 가능한 줄이고자 하였다.

그림 5(c)는 무부하 3500[rpm] 정회전시의 상전류파형, 그림 5(d)는 무부하 3500[rpm] 역회전시의 상전류 파형을 나타낸다.

그림 5(e)는 초기기동후 속도 기준전압을 증가시켰을 때 실제속도인 f/V컨버터 출력전압의 기준전압 추종파형이다.

3. 제안한 위치검출 기법의 LSRM적용

3.1 시뮬레이션

그림 6은 LSRM 전체 시뮬레이션 회로도이다. 식(1)은 LSRM의 추력식이며 식(2)의 SRM 토크식과 비교하여 단지 θ 가 x 로 바뀐점만 다르다.^[2] 서론에서 LSRM은 SRM을 잘라서 펼친형태로 구동원리가 SRM과 동일하며 추력 역시 SRM의 토크식과 동일하다.

$$F_{dx} = \frac{dW}{dx} = \frac{1}{2} I_a^2 \frac{dL(x)}{dx} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$T = \frac{dW}{d\theta} = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL(\theta)}{d\theta} \quad \dots\dots\dots (2)$$

본 논문에서는 Psim 6.0을 이용하여 그림 6과 같이 LSRM을 모델링 하였으며 Psim 6.0에서 제공하는 3상 6/4 pole SRM블록을 이용하여 LSRM Subcircuit Block을 모델링 하였다.

그림 6 하단의 이동거리 및 속도검출 블록은 카운터 회로를 이용하여 광센서 신호가 입력되면 설정한 이동자 극피치인 16[mm]씩 증가하도록 하여, 이동거리를 측정하였다. 이때 측정된 이동거리를 시간으로 나누어줌으로서 속도를 알 수 있다.

측정된 속도(v)는 LSRM Subcircuit 블록으로 입력되어 블록 내부에서 속도를 적분하여 다시 이동거리를 만들고 이 이동거리를 16[mm]마다 리셋하

여 광센서 신호를 만들도록 하였다.

4. 결 론

LSRM은 SRM과 마찬가지로 이동자의 정확한 위치정보가 필수적이므로 위치검출용 엔코더가 필요하다.

일반적으로 선형전동기에 사용되는 엔코더의 가격은 회전형에 비해 고가이며 전동기 길이에 따라 부가장치 비용이 증가하므로 전체 제작비에서 무시할 수 없는 부분이 된다.

본 논문에서는 정밀한 위치제어는 불가능하나 고가의 엔코더를 사용하지 않으면서 모터의 길이에 관계없이 저가의 위치검출이 가능한 반사형 광센서 방식을 제안하였다.

그리고 이 방식을 SRM에 적용하여 그 타당성을 실험을 통하여 입증하였고 시뮬레이션을 통해 LSRM에 적용 가능성을 확인하였다.

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

참 고 문 헌

- [1] 장석명 “리니어 모터 기술” 대한전기학회지 : 전기의 세계(The Proceedings of KIEE) 48권2호, pp.4-8, 1999.2
- [2] Jacek F.Gieras and Zbigniew J.Piech "LINEAR SYNCHRONOUS MOTORS" CRC Press
- [3] Do Hyun Kang; Yeon Ho Jeong; Moon Hwan Kim; "A study on the design of transverse flux linear motor with high power density", Industrial Electronics, 2001. Proceedings. ISIE 2001. IEEE International Symposium on ,Volume: 2 , 12-16 June 2001
- [4] Wai-Chuen Gan; Cheung, N.C.; Li Qiu; "Position control of linear switched reluctance motors for high-precision applications", Industry Applications, IEEE Transactions on, Volume: 39, Issue: 5, Sept.-Oct. 2003

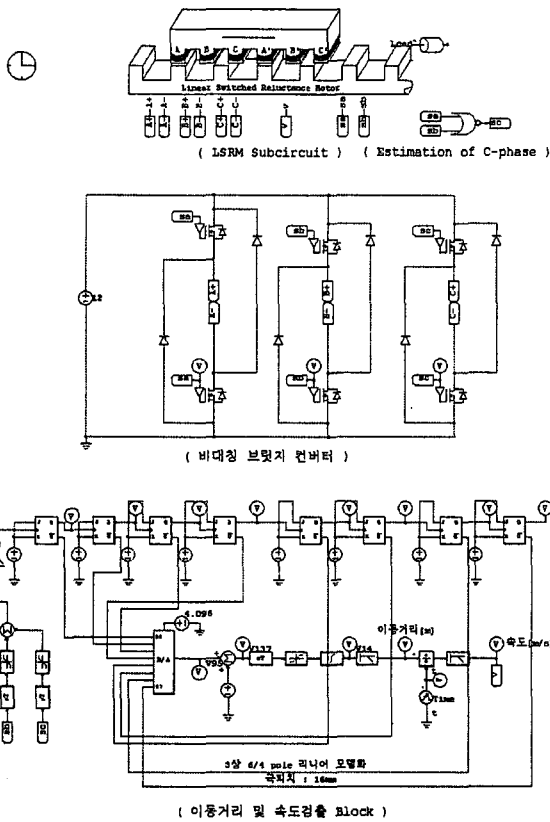


그림 6. 전체 시뮬레이션 회로도
Fig. 6. Overall simulation circuit

그림 7은 시뮬레이션 결과파형으로 광센서 신호가 입력될 때마다 이동거리가 16[mm]씩 증가하는 것을 알 수 있다.

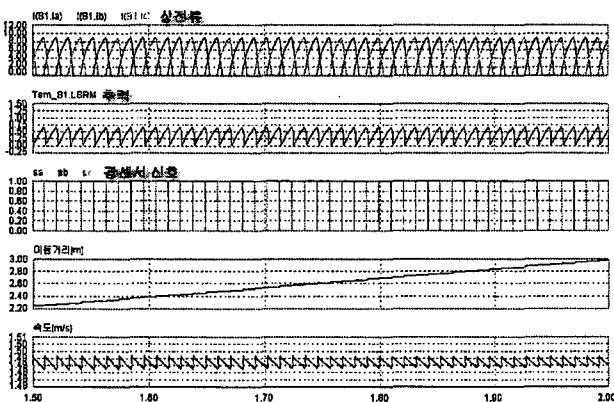


그림 7. 시뮬레이션 파형
Fig. 7. Simulation waveform