

가동 1차측 LSRM의 위치 검출각에 따른 운전 특성

장석명, 박지훈, 유대준, 조한욱, 최장영
충남대학교 전기공학과

Drive characteristics of moving primary LSRM according to position detection angle

Seok-Myeong Jang, Ji-Hoon Park, Dae-Joon You, Han-Wook Cho, Jang-Young Choi
Dept. of Electrical Engineering, Chungnam National University

Abstract - This paper deals with drive characteristics of LSRM according to position detection angle. Position of LSRM detected approximation sensor. Position choose mover of LSRM and inductance. When approved current in each phase by decided position, we made sure current and voltage according to turn-on, turn-off.

1. 서 론

SRM(Switched Reluctance Motor)은 스위칭 제어 장치가 결합된 특수형태의 모터로 분류되어진다. SRM은 고정자와 회전자 모두가 돌극형 구조를 하고 있으며 각기 다른 개수의 극을 가지고 있다. 특히, 고정자 부분에만 권선이 감겨져 있고 회전자 부분에는 권선이나 영구 자석이 존재하지 않는 간단한 구조를 가진다. SRM의 구동원리는 고정자의 각 상을 순차적으로 여자시킬 때 고정자의 쇄교자속이 최대가 되려는 방향으로 회전자가 회전하려는 특성을 이용한 것으로 회전자의 위치에 따라 고정자의 해당 권선을 여자시킴으로서 토크를 얻게 된다. 즉, 스위칭 소자를 ON, OFF시켜 해당권선에 전압을 인가하여 전류의 크기를 조절하고, 그때의 전류 크기와 비례하는 쇄교자속 수에 의해 가변속 운전이 가능하게 된다. SRM은 이러한 간단한 구조이기 때문에 제작 생산적인 측면에서 상당한 이점을 지니고 있고, 직류모터와 같이 기동특성이 좋고 토크가 큰 반면에 정기적으로 브러쉬를 교환하는 등 유지, 보수에 필요한 비용이 적으며, 유도전동기에 비하여 구동장치의 구조가 간단하며 단위 체적당 토크, 효율 및 권비터의 정격 등 많은 부분에서 우수한 특성을 지니고 있다. 그러나 SRM은 고정자와 회전자가 이중 돌극으로 구성된 구조와 펄스 형태의 여자방식으로 인해 토크 백동이 크고 소음과 진동이 심하다는 단점이 있다. 따라서 SRM을 산업분야에 널리 이용하기 위해서는 저 토크 리플, 고 토크 밀도가 요구되며 이를 위한 전동기 설계와 구동 방법에 대한 연구가 필요하다.[1]

LSRM은 SRM을 축방향으로 잘라 펼쳐놓은 형태로 직선 운동이 필요한 곳에서 직접 추력을 발생시킬 수 있는 장점을 갖고 있다. 또한 SRM은 고정자에만 권선이 설치되는 반면 LSRM은 고정자와 가동자 어느 곳이나 권선을 설치할 수 있다. 본 논문에서는 LSRM의 설계 파라미터에 의한 유한 요소해석으로 얻어진 결과로부터 가동 1차측 LSRM을 제작하였으며, LSRM 토크 리플과 관련된 턴-온, 턴-오프 구간 및 위치에 따른 실험을 수행하였고, 실험을 통해 LSRM의 턴-온, 턴-오프 구간 및 위치가 전류와 전압에 미치는 영향을 제시하고자 한다.

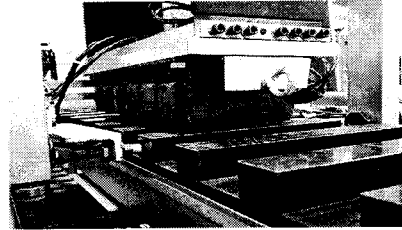


그림1. 제작된 LSRM

2. LSRM의 설계 모델과 기본 구동원리

2.1 LSRM의 설계 모델

그림 1은 유한 요소해석으로 설계/제작된 LSRM을 보여주고 있다. 제작된 LSRM의 설계 사양은 표 1과 같다.

표 1. 제작된 LSRM 설계 사양

항 목		사 양
가 동 자	치 폭	25 (mm)
	치 높이	50 (mm)
	극 간격	50 (mm)
	요크 높이	20 (mm)
	가동자 길이	100 (mm)
	전체 길이	275 (mm)
고 정 자	치 폭	32 (mm)
	치 높이	25 (mm)
	극 간격	75 (mm)
	백아이언 높이	10 (mm)
	고정자 길이	205 (mm)
	전체 길이	4000 (mm)

2.2 SRM의 구동원리

SRM은 고정자 권선이 여자될 때, 단일 자계가 발생하고 릴럭턴스 토크는 회전자가 최소 릴럭턴스 위치로 움직이도록 발생하는 원리에 의해 동작하는 전동기이다. 전류가 고정자의 상권선에 흐르면, 상권선에 흐르는 전류는 자속을 발생시키고, 생성된 자속에 의해 회전자는 릴럭턴스가 최소인 방향과 인덕턴스가 최대인 방향으로 움직이게 된다. 즉, 토크는 회전자가 여자된 고정자의 극에 정렬하는 방향으로 발생되며 발생 토크의 방향은 고정자가 여자된 상에 대한 회전자 위치에 의해 결정되고, 전류 방향과는 무관하다. 또한 연속적인 토크는 회전자 위치에 대해 고정자 각상을 순차적으로 여자하면서 발생된다.[2] 인덕턴스 파형에 의한 SRM의 동작 원리

는 회전자의 위치를 센서가 검출하면 해당하는 상권선에 전류가 흐르게 된다. 이때의 위치는 비정렬위치이고 인덕턴스가 가장 작은 위치이다. 흐르는 전류에 의하여 자계가 발생하고 회전자는 릴럭턴스가 최소, 인덕턴스가 최대인 위치로 이동하게 되고 고정자와 회전자가 정렬하게 되면 인덕턴스는 최대가 된다. 이러한 과정으로 인덕턴스가 증가하는 구간에 대해 순차적으로 상권선에 전류를 흐르게 하면 진행방향에 대해 정토크가 발생하게 된다. 하지만 인덕턴스가 감소하는 구간에 대해 권선에 전류를 흐르게 하면 진행방향에 대해 부토크가 발생하게 된다. 그리고 인덕턴스가 일정한 구간에서는 토크가 발생하지 않는다. 따라서 연속적인 정토크를 발생시키려면 회전자가 각상의 정토크 영역에 왔을 때만 각 상의 권선을 여자시키면 된다.

2.3 SRM의 토크 특성식

SRM의 한 상의 단자에 걸리는 순시전압은 식(1)과 같이 표현된다.

$$V = Ri + \frac{d\psi(\theta, i)}{dt} \quad (1)$$

여기서 ψ 는 쇠교자속을 나타낸다. 기계적 출력은 식(2)와 같이 토크와 각속도의 곱으로 표현된다.

$$\frac{dW_m}{dt} = T\omega = T\frac{d\theta}{dt} \quad (2)$$

$$i \frac{d\psi}{dt} = T\frac{d\theta}{dt} + \frac{dW_f}{dt} \quad (3)$$

식(3)은 식(2)를 순시 전력식에 대입하여 얻을 수 있다. 토크 특성식은 식(4)와 같이 나타낼 수 있으며, 이것은 릴럭턴스 토크는 $L(\theta)$ 에 대한 함수로 얻을 수 있다.

$$T = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{d\theta} \quad (4)$$

토크 특성식의 결과로부터 릴럭턴스 토크는 가동자의 위치에 대한 인덕턴스의 크기로부터 얻어지며, 토크리플과 관련된 LSRM의 턴-온, 턴-오프에 대한 위치의 중요성을 확인할 수 있다.[3]

3. LSRM의 위치에 따른 운전 특성 실험

그림 2는 위치 검출각에 따른 LSRM의 운전 특성을 실험하기 위해 인버터, 게이팅, 센서 그리고 출력 특성을 확인하기 위한 CT/PT로 구성된 제어반을 보여주고 있다. LSRM의 위치를 검출하기 위한 센서는 극 간격만큼 이격시켜 고정자의 위치를 확인할 수 있는 곳에 고정시켰으며 그림 3과 같다. 또한, 가동자가 이동하면서 얻어지는 센서 신호는 게이팅 신호로 사용할 수 없어 논리회로를 사용하였으며, 센서와 논리회로를 거친 신호는 그림 4와 그림 5이다. 위치 검출각에 따른 LSRM의 운전 특성을 실험하기 위해 유한 요소해석으로 설계/제작 시 얻어진 인덕턴스 파형을 기준으로 가동자와 고정자간의 센서위치를 결정하였다. 즉, 가동자의 위치에 따른 턴-온, 턴-오프 위치를 변경하여 인덕턴스가 상승하는 구간에 대하여 상권선에 전류를 인가하고, 가동자의 움직임에 따른 전류와 전압파형을 확인하였다. 그림 6은 유한 요소해석으로 얻어진 3상 인덕턴스 프로파일이다. 그림 7은 a상에 대한 인덕턴스 프로파일이며 (a), (b) 그리고 (c)는 본 논문에서 실험한 턴-온 위치를 보여주고 있다.

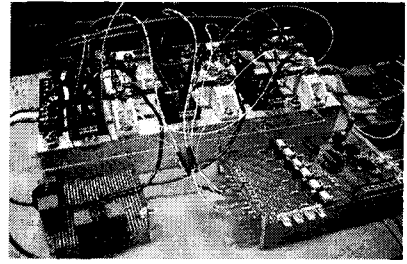


그림 2. 구성된 제어반

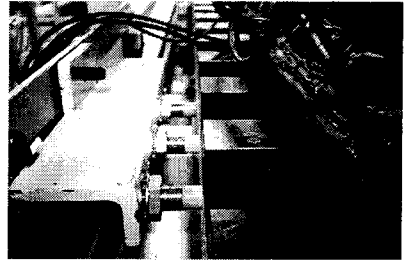


그림 3. 위치 검출에 사용된 센서

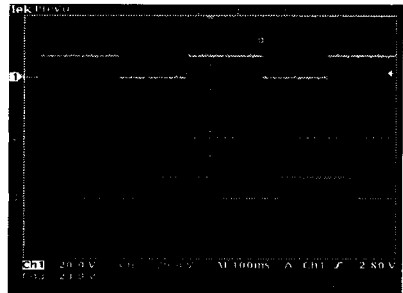


그림 4. 센서 신호(3상)

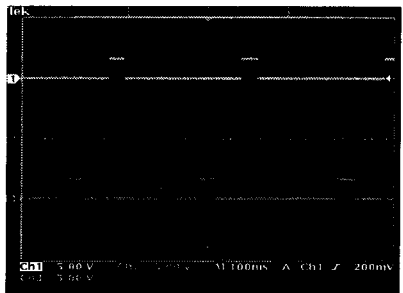


그림 5. 논리회로 신호(3상)

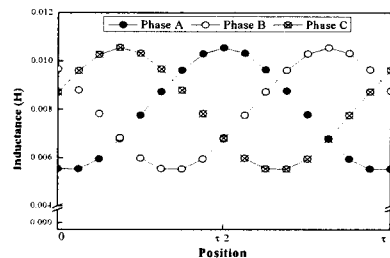


그림 6. 3상 인덕턴스 프로파일

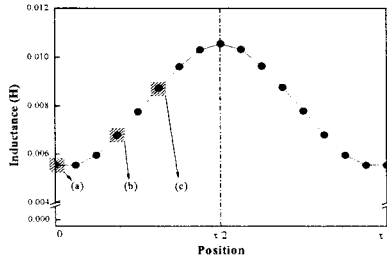


그림 7. a상 인덕턴스 프로파일

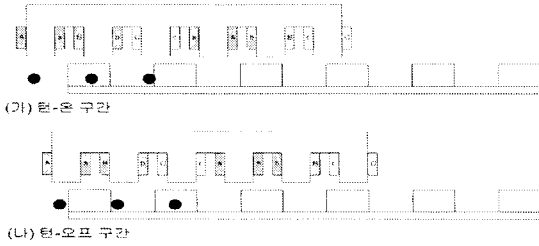


그림 8. 가동자 위치에 따른 전류, 전압파형(1)

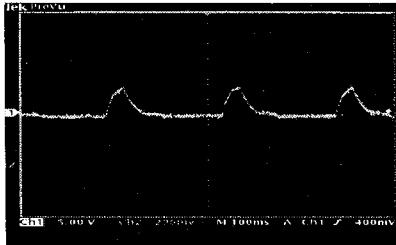


그림 9. 가동자 위치에 따른 전류, 전압파형(2)

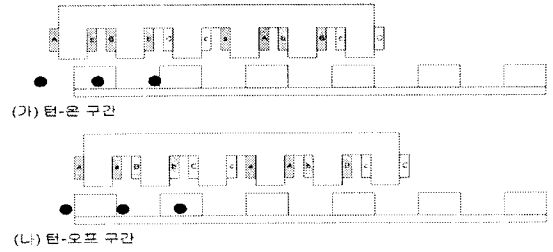


그림 10. 가동자 위치에 따른 전류, 전압파형(3)

그림 8, 9 그리고 10은 그림 7에 제시한 가동자 위치에 따른 턴-온, 턴-오프에 의한 전류, 전압파형을 보여주고 있다. a상을 기준으로 그림 7(a), (b), (c)의 위치에 센서와 가동자를 일치시키고 논리 회로에 의해 턴-온 전후 30°의 턴-오프 구간으로부터 그림과 같은 특성을 얻을 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 위치 검출각에 따른 LSRM의 운전 특성을 실험하였다. LSRM은 가동자 권선이 여자될 때, 자계가 발생하고 릴럭턴스 토크는 가동자가 최소 릴럭턴스 위치로 움직이도록 발생하는 원리에 의해 동작하는 전동기이다. 이 때 상에 전류를 흐르게 하기 위해서는 상의 위치를 검출해야 하며, 본 논문에서는 근접센서를 사용하였다. 근접센서에 의해 상의 위치가 판별되면 가동자 권선에 전류, 전압이 유기되어 토크가 발생한다. 이 때 상의 위치를 판별하는 근접센서를 가동자 위치와 인덕턴스에 의해 달리하면 흐르는 전류, 전압에 의해 발생하는 토크가 달라지며, 토크 리플이 발생한다. 따라서 본 논문에서는 토크 리플과 관련된 턴-온, 턴-오프 구간 및 위치에 따른 실험을 수행하였고, 실험을 통해 LSRM의 턴-온, 턴-오프 구간 및 위치가 전류와 전압에 미치는 영향을 제시하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 장석명, 권정기, 조한욱, 박지훈, 성호경, 김봉섭, "유한 요소법을 이용한 직선형 스위치드 릴럭턴스 모터의 설계", 대한전기학회 EMECS학회 추계학술대회 논문집, pp.80~82, 2004
- [2] 박희관, 박재범, 임승민, 최재학, 안준선, 이주, "단상 SRM의 고속 구동 제어에 관한 연구", 대한전기학회 EMECS학회 추계학술대회 논문집, pp.27~30, 2004
- [3] 김윤현, 토크 리플 저감을 위한 SRM 최적 설계 및 직접 토크 제어, 박사학위논문, 한양대학교, 2001
- [4] R. Krishnan, Switched reluctance motor drives, CRC press, 2001