

고속 LSRM의 설계 특성 및 동특성 시뮬레이션

성소영*, 성호경*, 박지훈**, 장석명**
한국기계연구원*, 충남대학교 전기공학과**

Design Characteristics and Dynamic Simulation of High Speed LSRM

So-young Sung*, Ho-kyung Sung*, Ji-hoon Park**, Seok-myeong Jang**
Korea Institute of Machinery and Materials*, Dept of Electric Eng., ChungNam National Univ.**

Abstract - This paper deals with dynamic simulation and design characteristic of Linear Switched Reluctance Motor (LSRM). First, we derived design factor from pole arc ratio of stator and mover. Second, we decided design parameter from design factor using time constant. Finally, analyze dynamic characteristics for LSRM using simulation.

1. 서 론

SRM(Switched Reluctance Motor)은 스위칭 제어 장치가 결합된 특수형태의 모터로 분류되어진다. SRM은 고정자와 회전자 모두가 돌극형 구조를 하고 있으며 각각 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 여자시킴으로써 토크를 얻게 된다. 즉, 스위칭 소자를 ON, OFF시켜 해당권선에 전압을 인가하여 전류의 크기를 조절하고, 그때의 전류 크기와 비교하는 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, 보수 필요성이 적으며, 유도전동기에 비하여 구동장치의 구조가 간단하며 단위 체적당 토크, 효율 및 컨버터의 정격 등 많은 부분에서 우수한 특성을 지니고 있다.[1] LSRM은 SRM을 축 방향으로 잘라 펼쳐놓은 형태의 기기로 회전기가 직선 추력을 얻기 위하여 기어, 벨트 등을 연결하는 반면에 직접 추력을 전달할 수 있다. 그러나 직선기의 경우 구조적으로 수직력이 크게 발생하게 되어 공극의 크기를 십 수 mm 정도로 취해야만 하므로 회전기에 비하여 역률이 나쁘다. 또 단부 효과 및 공극에서의 누설자속을 적게 하기 위하여 극 간격이 가능한 한 크게 해야 하는 등 회전기와는 구조 및 특성이 매우 다르다.[2]

본 논문에서는 고속으로 운전되는 직선형 스위치드 릴럭턴스 전동기의 설계를 다루고자 한다. LSRM의 설계는 SRM의 설계를 이용하여 진행한다. SRM의 평균 토크는 고정자의 극호(β_s)와 회전자의 극호(β_r)에 따라 값이 달라진다.[3] 본 논문에서는 요구 속도를 만족시키기 위한 극수를 선정하고 고정자의 극호의 크기에 대한 회전자 극호의 크기로부터 설계 사양을 도출한 후 속도를 만족하는지를 반복적으로 해석하여 요구 사양을 만족하는 설계 사양을 도출하였으며, 유한요소해석을 통하여 세부적인 설계 특성을 확인하였다.

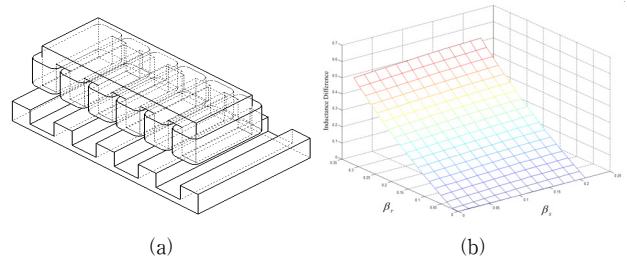
2. 고속 LSRM의 설계

2.1 설계 과정과 가정

LSRM은 6/4극의 구조로 고정자인 6극에 권선이 시행되고, 가동자(회전자)는 4극이다. 극호 비에 따른 평균 토크 특성은 $\beta_r > \beta_s$ 일 때 가장 크게 해석된다.[3] 따라서 본 논문에서는 고정자 극호의 크기 값에 대한 가동자 극호를 변화시켜 고정자 슬롯 면적에서 시행가능한 권선과 고정자와 가동자의 구조로부터 정렬과 비정렬일때의 인덕턴스를 해석하였다. 이때 고정자 슬롯에 시행되는 권선은 입력전류를 만족시키는 면적을 가지고 있으며 슬롯에 대하여 0.5의 점적율을 가지고 있다고 가정한다.

2.2 설계 특성

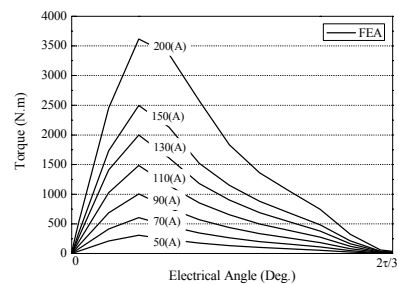
LSRM의 설계는 고정자와 가동자의 극호를 이용하여 고정자와 가동자의 치 너비, 치 높이, 요크 길이 등의 설계 변수에 대한 결과를 얻을 수 있으며, 설계 특성식은 [4]~[5]에서 서술하였으며, 설계 사양은 표 1과 같다. 설계 사양에 대한 유한요소해석을 통해 인덕턴스 프로파일, 전류 대 쇄교자속의 해석 결과를 얻을 수 있으며, 그림 2는 전류에 따른 토크 특성을 해석한 결과를 보여주고 있다. 최대 200 [A]에 대한 설계



<그림 1> (a)LSRM 모델과 (b)극호비에 따른 인덕턴스 해석 결과

<표 1> 설계 특성식을 이용한 설계 결과

항 목		사 양
가동자	치 너비	150 [mm]
	치 높이	93 [mm]
	슬롯 너비	147 [mm]
	요크 길이	107 [mm]
고정자	치 너비	99 [mm]
	치 높이	120 [mm]
	슬롯 너비	99 [mm]
	요크 길이	80 [mm]
스택 길이		200 [mm]
공극 길이		10 [mm]



<그림 2> 전류에 따른 토크 해석 결과

사양에 의한 해석 결과로부터 토크 특성을 확인할 수 있으며, 설계 모델의 중량과 관성을 고려한 유효 토크를 확인해야 한다. 또한, 설계된 LSRM의 해석 시간을 줄이기 위하여 동일한 사이즈에 대하여 원형으로 해석하였다.

3. 동특성 시뮬레이션

LSRM의 운전 특성을 파악하기 위한 동특성 시뮬레이션을 해석해야 한다. LSRM은 비정렬위치에서 턴-온하고 정렬위치에서 턴-오프하여 인덕턴스의 크기가 커지는 방향으로 힘을 내게 하는 방식으로 구동되며, 일반적으로 비대칭 인버터를 사용하여 제어한다. 본 논문에서는 Matlab

Simulink를 사용하여 설계를 통하여 얻어진 결과인 상 저항, 인덕턴스 프로파일 등을 이용하여 동특성 시뮬레이션을 수행하였으며, 상 위치와 스위칭에 대한 전압방정식은 식(1)과 같다.

$$V = Ri + L(\theta, i) \frac{di}{dt} + \frac{dL(\theta, i)}{d\theta} \omega_m i \quad (1)$$

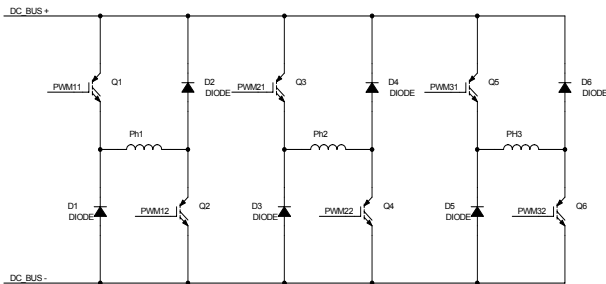
여기서 R 은 상 저항, i 는 전류, ω_m 은 각속도이며, 식(1)의 우변 첫째 항은 저항 전압 강하, 두 번째 항은 유도 전압 강하이고, 마지막 항은 역기전력을 의미한다.

전자기적 힘은 다음 식과 같이 정의된다.

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

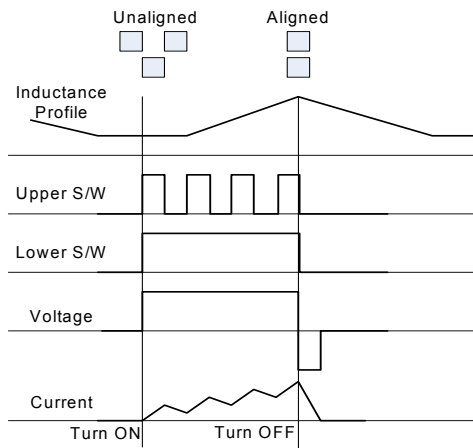
전자기적 힘은 기계적으로 나타나는 힘과 같으므로 다음 식과 같이 놓을 수 있다.

$$\frac{1}{2} i^2 \frac{dL(\theta, i)}{d\theta} - T_e = J \frac{d\omega_m}{dt} + B\omega_m \quad (3)$$

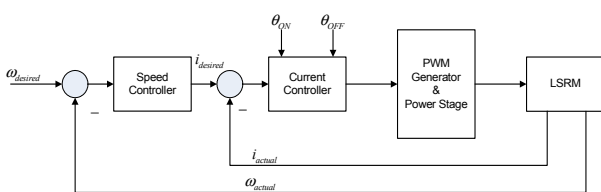


〈그림 3〉 SRM의 동특성 시뮬레이션을 위한 파워 구성도

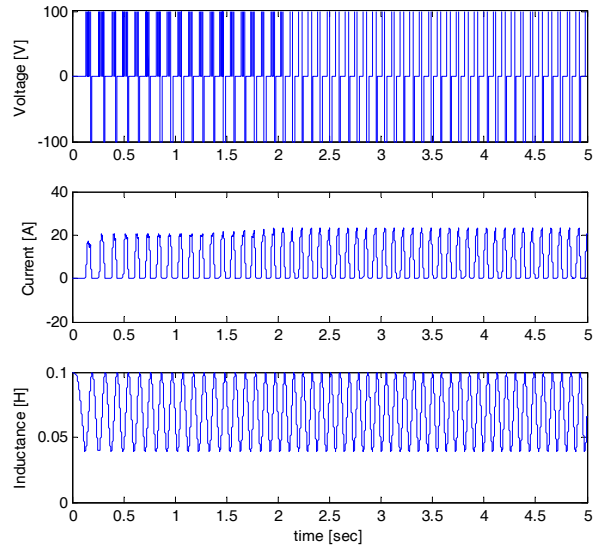
그림 3은 LSRM을 구동하기 위한 파워 회로를 보여주고 있다. 전류 제어기를 구현하기 위한 파워 스위칭 패턴을 그림 4에 보여주고 있으며, 스위칭 패턴은 각상의 스위치를 동시에 ON/OFF하는 하드스위칭 방식과 하단의 스위치를 ON한 상태에서 상단의 스위치만 제어하는 소프트 방식으로 대별되는데 본 논문에서는 소프트 스위칭 방식을 취하였다. 전체 시스템 블록도를 그림 5에 나타내었다.



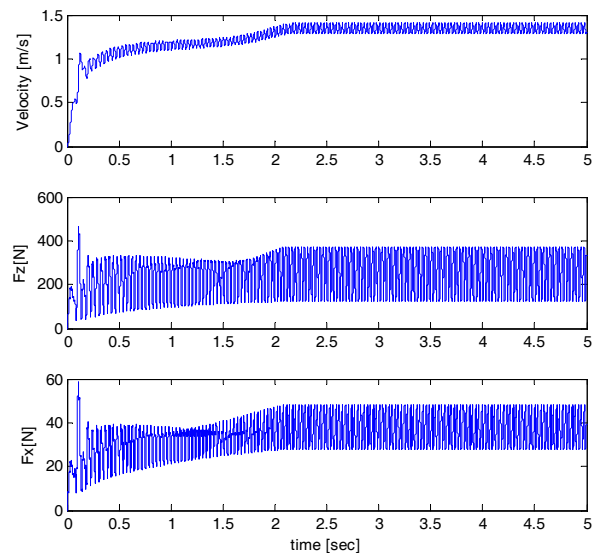
〈그림 4〉 스위칭 패턴



〈그림 5〉 시스템 블록도



〈그림 6〉 전압, 전류, 인덕턴스 프로파일



〈그림 7〉 속도와 힘에 대한 동특성 해석 결과

4. 결 론

본 논문에서는 LSRM의 설계된 특성을 이용하여 동특성 시뮬레이션을 하였다. LSRM의 제어를 위하여 설계시 계산된 인덕턴스 프로파일을 이용하였으며, 전류제어기를 구현하기 위하여 소프트 스위칭 방식을 사용하였고, 속도 제어기를 구현하여 시뮬레이션 하였다. 실제적인 LSRM에서는 공극에 따른 인덕턴스의 변화가 예상되나 본 논문에서는 고려하지 않았는데, 이 부분에 대한 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김윤현, 토크 리플 저감을 위한 SRM 최적 설계 및 직접 토크 제어, 박사학위논문, 한양대학교, 2001.
- [2] 정연호, VVVF 인버터로 구동되는 LIM의 동특성, 석사학위논문, 충남대학교, 1996.
- [3] K.N.Srinivas, R.Arumugam, "Analysis and characterization of switched reluctance motors," IECON '03, The 29th Annual Conference of the IEEE, vol.3, 2-6 Nov. 2003, pp.2690-2698.
- [4] R.Krishnan, Switched reluctance motor drives, CRC Press, 2001.
- [5] Seok Myeong Jang, Ji Hoon Park, Jang Young Choi, Han Wook Cho, "Analytical prediction and measurements for inductance profile of linear switched reluctance motor," IEEE Trans. Magnet., vol.42, Oct. 2006, pp.3428-3430.