

## 운전 조건에 따른 LSRM의 동특성 해석 및 실험

장석명, 박자훈, 유대준, 조한욱, 최장영, 성호경\*  
충남대학교 전기공학과, 한국기계연구원\*

### Dynamic analysis and experiment of LSRM according to operation condition

SeokMyeong Jang, JiHoon Park, DaeJoon You, HanWook Cho, JangYoung Choi, HoKyeong Sung\*  
Dept. of Electrical Engineering, Chungnam National University, KIMM\*

**Abstract** - This paper deals with dynamic characteristics of LSRM according to drive condition. First, in experiment of LSRM, 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. Second, in dynamic characteristic of LSRM, through an experiment, we decided turn-on position of inductance profile. Also, we presented dynamic characteristic analysis model which is consisted at motor and sensor signal part, etc., and substitute circuit constant that get using magnetic equivalent circuit method, we confirmed current and voltage waveform.

### 1. 서 론

스위치드 릴럭턴스 전동기(Switched reluctance motor: SRM)는 구조가 간단하고 견고하며, 높은 효율과 낮은 제작비용, 권선은 간단한 집중권으로 고정자에만 감겨있고, 회전자에는 권선, 도체, 바, 영구자석이 없는 기계적으로 간단한 구조로 되어있다. 그러므로 다른 전동기 보다 전동기 자체의 제조단가가 저렴하고 기계적으로 견고하며, 고온 등의 열악한 환경에서도 신뢰성이 높아 유지비가 거의 들지 않는 많은 장점을 지니고 있다. 또한 광범위한 속도 제어 범위를 가지고 있으며, 초고속 운전이 용이하고, 단위체적 당 토크 및 효율 면에서도 기존 전동기보다 우수한 것으로 나타나 있으며 최근에 많은 연구가 이루어지고 있다. 그러나 스위치드 릴럭턴스 전동기는 고정자와 회전자가 이중 돌극으로 구성된 구조와 멀스 형태의 여자방식으로 인해 토크 맥동이 크고 소음과 진동이 심하다는 단점이 있다. 따라서 스위치드 릴럭턴스 전동기를 산업분야에 널리 이용하기 위해서는 저 토크 리플, 고 토크 밀도가 요구되며 이를 위한 전동기 설계와 구동 방법에 대한 연구가 필요하고, SRM의 인덕턴스 프로파일은 중요한 요소로 작용한다. 인덕턴스 프로파일은 최소인 구간과 상승 구간 그리고 최대인 구간에서 전류의 턴-온 시점에 따라서 토크 리플의 발생을 최소화 할 수 있다. 일반적으로 최소인 구간에서부터 상승구간 전에서 턴-온하고 최대인 구간에서 턴-오프를 통한 소호를 통해 전류를 회생하는 방법이 사용된다.[1][2]

본 논문에서는 유한요소해석으로 설계/제작된 리니어 스위치드 릴럭턴스 전동기의 제어반을 구성하고, 균접센서와 논리회로를 통한 구동실험에 대해 운전 조건 즉 턴-온, 턴-오프 위치를 변경하여 인덕턴스 프로파일의 위치에 따른 전류, 전압에 대한 실험을 수행하였고, 실험과 균접한 결과를 얻기 위한 동특성 해석을 수행하였다. 실험과 같은 조건에 대한 동특성 해석을 통해 앞으로의 실험에 대한 예측과 변수들의 변화에 따른 시작기의 특성

을 파악하고자 한다. 동특성 해석은 MATLAB Simulink를 사용하였다.

### 2. 턴-온 위치에 따른 실험

#### 2.1 LSRM의 설계 모델

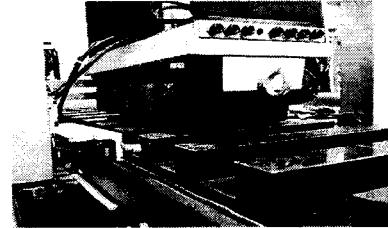


그림 1 제작된 LSRM

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

표 1 제작된 LSRM 설계 사양

형 목		사 양
가 동 자	치 폭	25 (mm)
	치 높이	50 (mm)
	극 간격	50 (mm)
	요크 높이	20 (mm)
	가동자 깊이	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 깊이	205 (mm)
	전체 길이	4000 (mm)

#### 2.2 SRM의 구동원리와 실험 결과

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 자로에 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 발생

된다. 인덕턴스 파형에 의한 SRM의 동작 원리는 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]

그림 2와 3은 LSRM의 인덕턴스 프로파일과 실험결과로서, 특히 그림 2의 (a)인 위치에서 턴-온 실험을 하였을 때, 얻어지는 전류와 전압파형을 그림 3에 표현하였다. 이렇게 실험으로 얻은 전류, 전압 파형으로부터 동특성 해석을 위한 L값에 대한 턴-온 위치를 결정하였다.

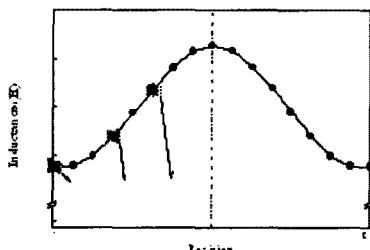


그림 2 인덕턴스 프로파일

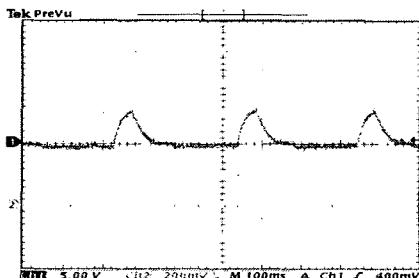


그림 3 (a)위치에서 턴-온 실험 결과

### 3. 동특성 해석 모델링 및 해석 결과

동특성 해석을 수행하기 위해서는 LSRM의 설계 사양 및 특성, 회로 정수들을 알아야 한다. 본 논문에서는 회로 정수인 R과 L값을 자기동가회로와 실험을 통해 계산하고 확인하였다. 이렇게 얻어진 R과 L값을 이용하여 LSRM을 구동시킬 때 특히 L값에 대한 턴-온 위치가 중요하게 작용한다. 그림 4는 인덕턴스에 대한 전압 인가위치와 결과로 얻어지는 전류의 파형을 보여주고 있다. 본 논문에서는 실험과 동일한 인덕턴스 프로파일의 위치에 전압을 인가한 동특성 해석을 수행하였다. 그림 5는 동특성 해석을 위한 모델링을 보여주고 있다. 그림 5는 센싱부, 인덕턴스 모델링부, 인버터부 그리고 LSRM 부로 나누어져 있다. 해석을 위해 LSRM은 1m/s로 이동한다고 가정하였다. 그림 6은 1m/s로 이동하는 LSRM에 대한 위치를 보여주고 있다. 그림 7은 해석에 사용된 인덕턴스 모델링한 파형이다. 인덕턴스는 LSRM의 한 상을 여자시켰을 때, 자기동가회로를 이용하여 위치에 따

라 3-D 퍼미언스법을 이용하여 계산하였다.

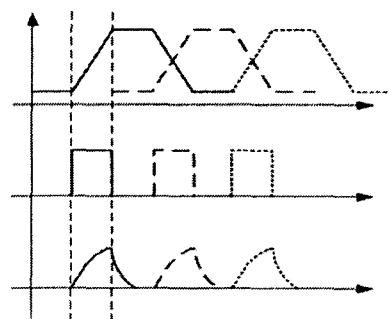


그림 4 인덕턴스와 전압, 전류 관계

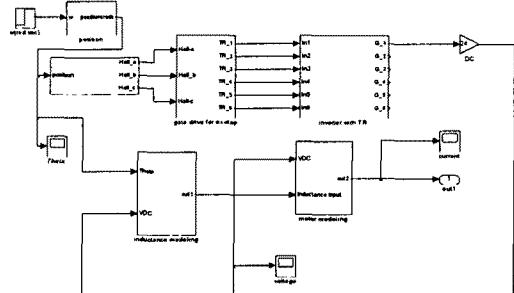


그림 5 동특성 모델링

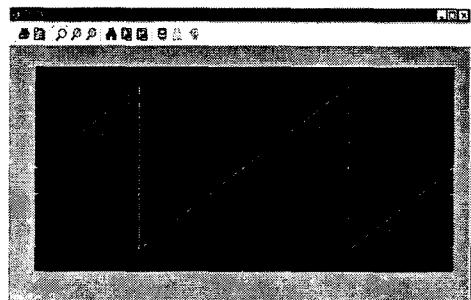


그림 6 위치 파형



그림 7 인덕턴스 파형

그림 8은 센싱부를 보여주고 있다. 그림 8의 센싱부는 실험과 같은 결과를 얻기 위한 구조로 구성되어져 있다. 그림 9는 센싱부를 통해 얻어진 센서 신호 파형이다. 실험과 같은 결과를 얻기 위해 녹리신호를 이용하여 얻어진 파형이다.

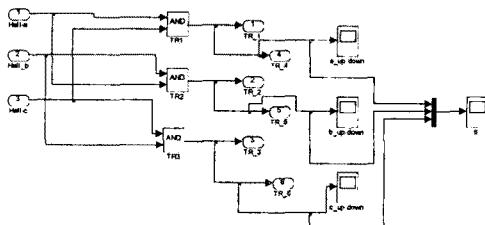


그림 8 센서부

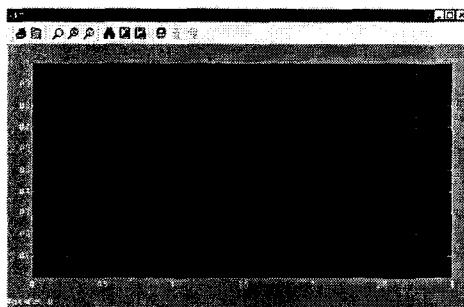


그림 9 센서신호 파형

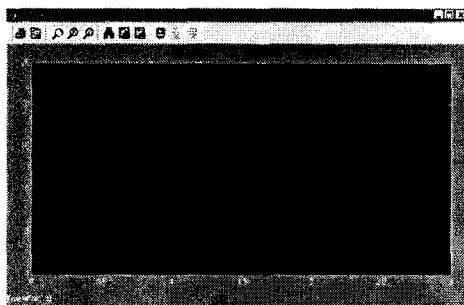


그림 10 전압 파형

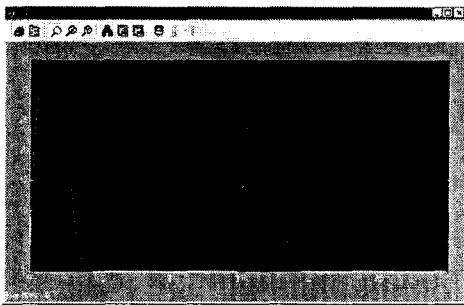


그림 11 전류 파형

#### 4. 결 론

LSRM은 구조가 간단하고 견고하며, 높은 효율과 낮은 제작비용 등 많은 장점을 가지고 있지만 기계적인 형상으로부터 토크리플이 발생하는 구조를 가지고 있다. 이러한 토크리플은 인덕턴스 프로파일로부터 텐-온 위치를 적절히 설정함으로써 다른 상파의 연계에 의해 감쇄 시킬 수 있다. 본 논문에서는 수행되어진 텐-온 위치에 따른 실험을 통하여 전류, 전압 파형을 확인하였다. 하지만 앞으로 진행될 과정을 예측하기 위해 동특성 해석이 요구되어 왔고, 이에 실험과 같은 결과를 얻기 위해 센서부와 인덕턴스 프로파일부, 인버터부 그리고 LSRM부를 설계 사양과 실험을 통해 얻어진 회로정수를 이용하여 구성하고, 해석하였다. 그림 7, 9, 10, 11로부터 얻어진 결과는 실험 결과와 동일함을 확인하였다.

#### [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, 임승빈, 최재학, 안준선, 이주, “단상 SRM 의 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

그림 10은 인덕턴스 프로파일과 LSRM의 위치를 고려하여 상에 인가되는 전압 파형을 보여주고 있다. 그림 11은 해석을 통해 얻어진 전류 파형을 보여주고 있다. 전압이 인덕턴스 모델링부와 저항과 인덕턴스로 이루어진 LSRM부를 거치면 전류 값이 출력된다.