

횡자속형 SRM의 정·동특성 해석

김경호\*, 윤선기\*, 백동철\*, 조윤현\*, 강도현\*\*, 정연호\*\*  
 \*동아대학교 전기공학과, \*\*한국전기연구원

Static and Dynamic Analysis of Transverse Switched Reluctance Motor

Kyung Ho Kim\*, Sun Ki Yoon\*, Dong Chul Baik\*, Yun Hyun Cho\*, Do Hyun Kang\*\*, Yen Ho Jeoung\*\*  
 \*Dong-A University, Electrical Department, \*\*KERI

**Abstract** - The paper is described about the static and dynamic characteristics analysis of Transverse Switched Reluctance Motor(TSRM).

To investigate the nonlinearity of magnetic circuit, parameters of the modeling are computed by the finite element method as functions of input current and angular displacement. The current, torque, back EMF and output power wave of TSRM are simulated from the motion equation by MATLAB/Simulink.

1. 서 론

스위치드 릴럭턴스 전동기(Switched Reluctance Motor)는 구조는 간단하고 기동특성이 우수하며 넓은 속도범위에서의 운전이 원활하다. 또한 유도전동기에 비해 회전자에 발생하는 손실이 거의 없어 장시간 운전이 필요하거나 기동과 정지가 빈번한 경우에 유리하다.

반면에, 전동기의 구조상 소음과 진동이 크다는 것이 단점이다. 그러나, 경제성과 제어성 때문에 스위치드 릴럭턴스 전동기는 여러 연구기관에서 가변속 구동시스템으로 활용하기 위한 연구가 활발히 진행중이다. 특히 선진국에서는 가정기나 자동차, 항공기의 오일펌프, 가스터빈 등을 중심으로 실용화되고 있다.

본 논문에서는 횡축형 스위치드 릴럭턴스 전동기의 정특성과 동특성을 해석하기 위하여, 먼저 자기회로의 자속값을 유한요소법 해석을 통하여 구하였다. 또한, 동특성 해석을 하기 위해서는 자속 값으로부터 인덕턴스와 추력계수등을 산정하였다. 부하 변화에 따른 운전 특성을 보기 위해서는 자기적 비선형을 고려한 동특성 해석을 Matlab/ Simulink을 통하여 해석하는 알고리즘을 제안하였다.

2. 본 론

2.1 구동원리 및 구조

SRM은 회전자 및 고정자가 모두 돌극형 구조로 되어 있으며, 고정자에만 집중권으로 되어 있다. SRM은 고정자 코일을 여자시킬 때 자기적 구조에 의하여 릴럭턴스와 여자에너지의 변화로 토크가 유도 된다. 릴럭턴스 전동기는 토크를 최대한 이용하기 위하여 인덕턴스의 변화율에 따른 부하전류를 일정하게 제어하기 위해서 다른 스위치를 on-off를 확립한다.

본 논문에서 사용하게 될 4상 횡자속형 스위치드 릴럭턴스 모터의 구조는 그림 1과 같다.

설계사양은 표 1과 같다. 실험에 사용된 전동기는 10(kW)급이다.

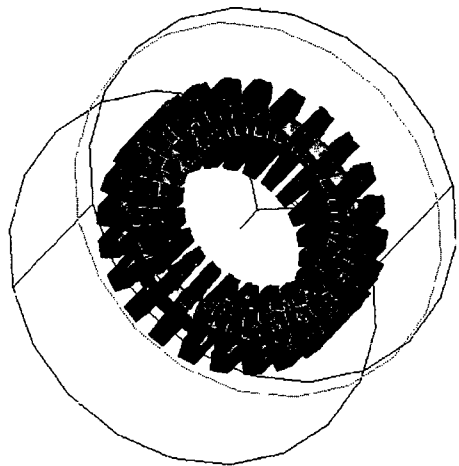


그림 1. 전동기의 1상의 구조

표 1. SRM 설계 사양

구분	사양
공극 ( $\delta$ )	0.35mm
극간격 ( $\tau_p$ )	10.45mm
슬롯폭 ( $S_w$ )	10.45mm
치폭 ( $t_w$ )	10.45mm
pole 길이 ( $h_i$ )	20mm
상수 ( $m$ )	4상
회전자 직경	160mm
회전자 길이	500mm
권선치수	1mm × 3mm
권선수(1상)	80turn
고정자,회전자 철심	35PN380

2.2 SRM Modeling

일반적으로 스위치드 릴럭턴스 전동기는 상권선 상호간의 상호 자속이 무시되는 구조로 설계되었으며, 상권선 상호간에 결합이 없는 간단한 방정식이 구성된다.

SRM 드라이브에서의 토크의 고정자 권선에 전압을 인가할 경우 전압 방정식은 식 (1)과 같다.

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

토크 방정식은 식 (2)와 같다.

$$T(i, \theta) = \frac{\partial W_c}{\partial \theta} \quad (2)$$

진압방정식은 식 (1)로부터 식 (3)과 같이 된다.

$$\begin{aligned} V(t) &= Ri(t) + \frac{\partial \lambda(i, \theta)}{\partial i} \frac{di}{dt} + \frac{\partial \lambda(i, \theta)}{\partial \theta} \frac{d\theta}{dt} \\ &= Ri(t) + L \frac{di}{dt} + i \frac{dL}{d\theta} \omega \end{aligned} \quad (3)$$

식 (3)의 우변의 첫째항은 각 권선의 저항에 의한 전압강하, 둘째항은 리액턴스 전압강하이며, 셋째항은 속도 기전력이다.

기계적인 토크 방정식은 식(4)와 같이 나타내면 이는 (2)에 나타난 전기적인 토크 방정식에서 같은 값을 가진다.

$$T(i, \theta) = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega + T_L \quad (4)$$

$J$ 는 관성 모멘트,  $B$ 는 마찰계수,  $T_L$ 은 부하토크이다.

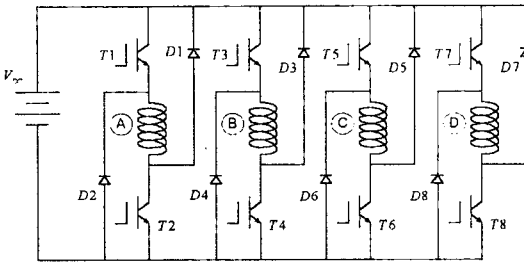


그림 2. SRM 제어회로도

그림 2는 4상 제어를 하기 위한 회로도이며, 여기서는 스위칭 소자에 의해서 PWM의 파형을 발생시킨다. 인가 전압은 500(V)이며, 기준속도는 50(rad/s)로 두었다.

그림 3~6은 각 파라미터의 특성을 3차원으로 나타낸 그림이다.

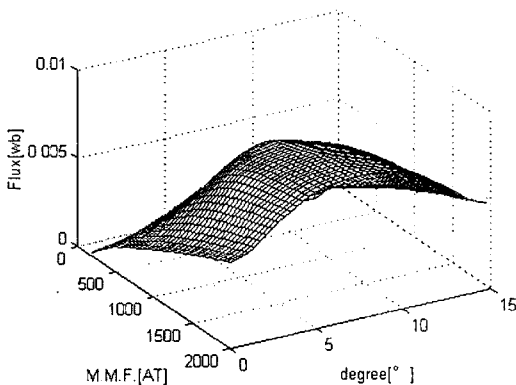


그림 3. 자속 특성곡선

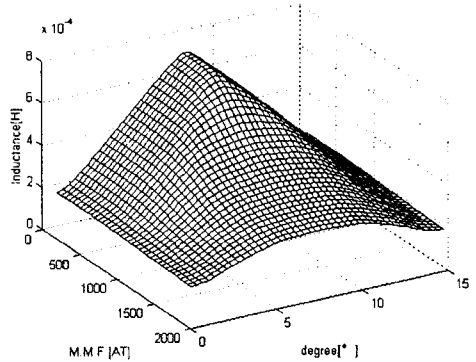


그림 4. 인덕턴스 특성곡선

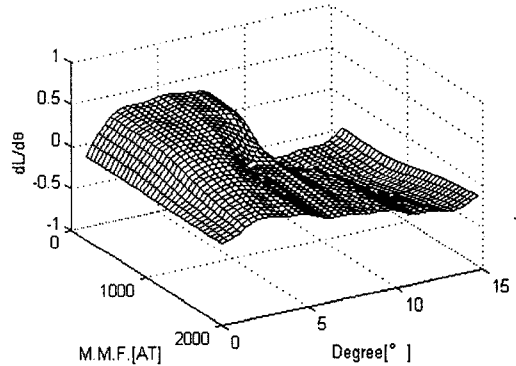


그림 5.  $dL/d\theta$  특성곡선

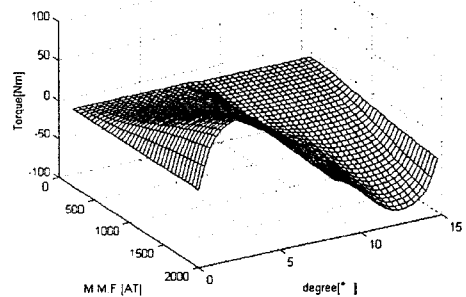
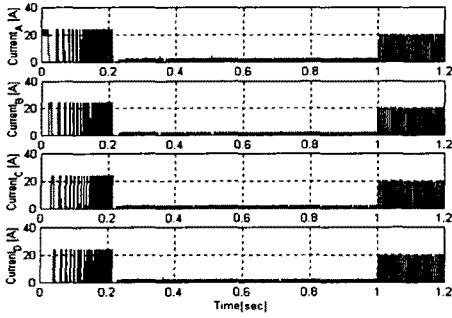
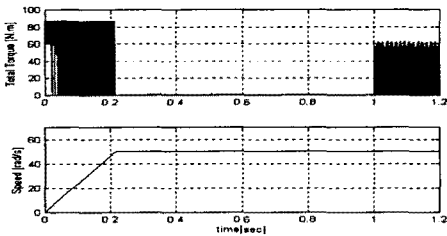


그림 6. Torque의 특성곡선

그림 7과 그림 8은 선형적인 해석과 비선형 해석이다. 스위칭 각은 0-3°로 주었고, 1초후에 20(N.m)의 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 속도곡선을 비교해 보면 선형과 비선형시 수렴하는 속도가 차이나는 것을 알 수가 있다. 그림 9는 시뮬레이션 블록선도를 나타낸 것이며, 이 블록선도는 비교기와 스위칭 제어부와 모터등으로 나뉘어져 있다.

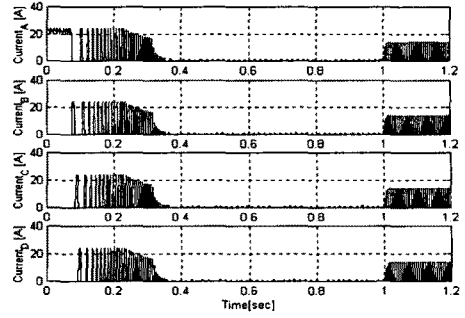


(a) 각 상의 전류 곡선

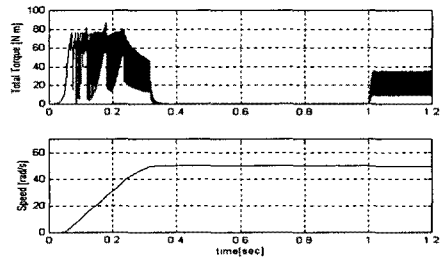


(b) 토크 와 속도 곡선

그림 7. 운전 특성 해석 (선형 해석)



(a) 각 상의 전류 곡선



(b) 토크 및 속도 곡선

그림 8. 운전 특성 해석 (비선형 해석)

(참고 문헌)

3. 결 론

본 연구에서는 자속의 자로방향이 회전자의 진행방향에 대해 횡축방향으로 자로를 형성하는 횡자속형 스위치드 릴럭턴스 전동기에 대한 정,동특성 해석에 대하여 논하였다. 횡축형 스위치드 릴럭턴스 전동기의 해석 파라미터로  $L$ ,  $dL/d\theta$ ,  $T$ 의 특성곡선은 유한요소법의 해석 결과로부터 구하였으며, 이 결과를 전압 방정식과 운동 방정식으로 구성된 상태 방정식으로부터 동특성 해석을 하였다. 이에 대한-결과로 자기 회로의 선형성과 비선형성에 따른 특성 해석 결과를 비교,고찰하였다.

- [1] TJE Millier "Switched Reluctance Motors and Their Control," Magna Physics Publishing and Clarendon Press · Oxford 1993
- [2] L.E. Unnewehr and W.H. Koch, "An Axial Air-Gap Reluctance Motor for Variable Speed Application," IEEE TRANS., PAS-93, pp367-376, 1974
- [3] G. E. Dawson, A. R. Eastham, and J. Mizia "Switched Reluctance Motor Torque Characteristics," IEEE Con LAS, pp864-869, 1989

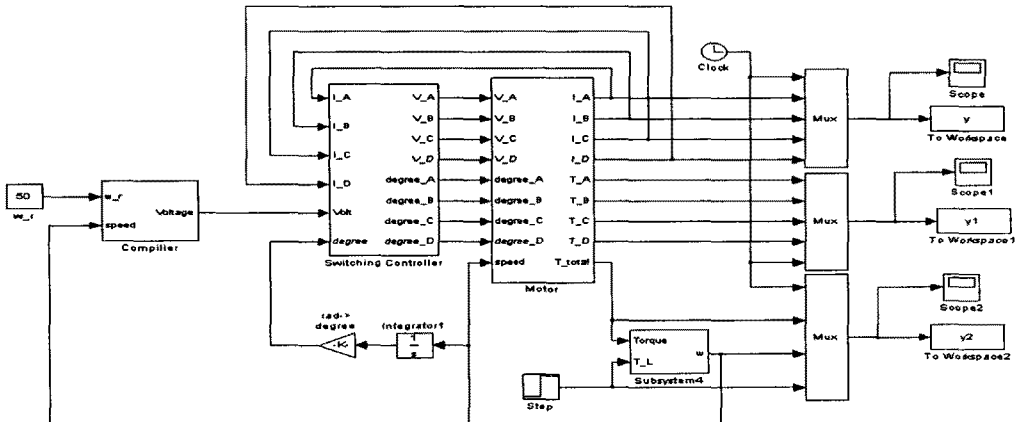


그림 9. SRM의 비선형 특성을 고려한 해석 알고리즘