

단상 SRM의 구동 특성 해석

이종한, 이은웅, 조연찬
충남대학교

Dynamic Characteristic Analysis of Single Phase SRM

Jong-Han Lee, Eun-Woong Lee, Yeon-Chan Jo
Chungnam National University

Abstract - The single phase switched reluctance motor(SRM) is simpler in control circuit because the number of switching devices is fewer than the poly phase SRM. The energy density per unit volume is very big because all stator poles are excited simultaneously by a single switching power source. But it must be provided a starting device on account of not being generated the starting torque at specific rotor positions. And also it has some demerits that have a torque ripple, noise and vibration because of being excited by switching pulse power source. Therefore, to make up for these demerits, it is realized many studies for the structure design used by computer and the operating methods by power electronics technique.

In this paper, we'll present the comparison of the single phase SRM with the various rotor pole face types, as like stepped rotor pole face type and general rotor pole face type. For the torque characteristics analysis.

1. 서 론

스위치드 릴럭턴스 모터(switced reluctance motor :SRM)은 간단하고 견고한 구조와 타전동기에 비해 저렴한 제작 비용, 높은 효율 등의 장점을 갖기 때문에 타범용 전동기와 비교하여 충분한 경쟁력을 갖는다. 최근 전력전자를 이용한 구동 및 제어회로의 개발과 컴퓨터를 이용한 구동 및 설계 기술의 발달로 실용화를 위한 많은 연구가 거듭되고 있다.[1][2]

특히, 단상 SRM은 다상 SRM에 비해 자기회로와 구동회로의 구조가 간단하고 경제적이며, 단위체적당 에너지 이용률이 크기 때문에 최근 가전기기분야에 적용하고자 하는 연구가 계속되고 있다. 특히, 효율이 낮고 제어가 어려운 단상 유도전동기의 단점을 보완하고 고효율 기기의 사용으로 에너지를 절약할 수 있도록 대체용 전동기로 단상 SRM을 개발하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만 단상 SRM은 정렬된 위치에서 기동토크가 발생하지 않아 별도의 기동장치를 필요로 하며, 고정자극의 모든 여자전선이 동시에 스위칭 on/off되기 때문에 불연속 토크가 발생할 수밖에 없다.[3]

본 논문에서는 기존의 전기기기 및 다상 SRM의 설계 이론을 바탕으로 1/2Hp 단상 SRM의 시작기 모델을 설계하였고, 유한요소법을 이용하여 특성을 해석하였다. 특히 단상 SRM의 단점인 토크 리플을 줄이고, 효율을 높이기 위해 일반적인 회전자 형상과 회전자 극면에 스텝을 갖는 형태 제안하고 이에 대한 특성을 비교하였다.

2. 단상 SRM의 해석 모델

단상SRM의 설계시 출력, 극수, 상수, 회전자 및 고정자의 구조적 요인과 부하 특성에 따른 요구사항들을 고려하여야 한다. 단상 SRM은 다상 SRM에 비해 상당 스위칭 소자의 수를 최소화할 수 있어 경제적이며, 자속경로를 짧게 할 수 있어 효율을 높일 수 있다. 단상 SRM은 사용목적에 따라 여러 형태로 제작할 수 있지만 본 연구에서는 송풍기 구동용으로 그림 1과 같이 6/6극의 내전형으로 설계하였다. 선행 연구에서 일반 회전자와 다상 SRM의 설계 이론을 참고하여 설계 파라미터를 선정하였다. 표 1은 송풍기 구동용 단상SRM의 설계사양이다. [3]

표 1 단상 SRM의 주요 설계 사양

설계 요소	단위	기호	설계값
출력	kW	P	0.4
회전자 체적당 토크	kNm/m ³	TRV	15
회전자 지름에 대한 stack 길이의 비		L_{stk}/D_r	1.5
회전자 극수	No.	N_r	6
고정자 극수	No.	N_s	6
DC 공급 전압	V	V_s	100
정격 회전 속도	rpm	n	1800

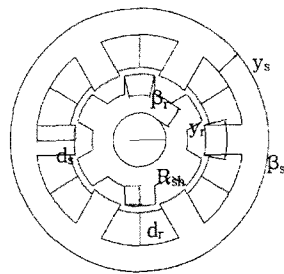
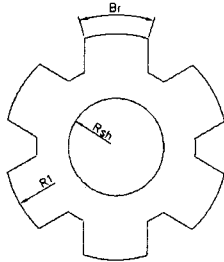


그림 1. 6/6극 단상 SRM의 단면도

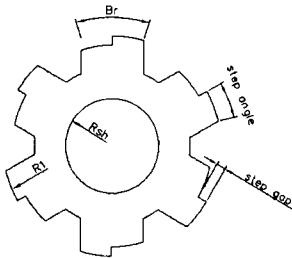
단상 스위칭 여자 전원에 의해 고정자극이 동시에 여자되기 때문에 발생 토크가 불연속적이고, 이로 인한 토크 리플이 필연적으로 발생한다. 토크 리플을 줄이기 위해 토크 리플에 영향을 주는 설계변수를 고려하여 설계하거나, 운전시 구동회로의 특성값 또는 제어 알고리즘의 개발을 통해 저감시킬 수 있다. 그리고 특정 위치에서 회전자가 정지하게 되면 기동토크를 발생시킬수 없기 때문에 회전자의 형상을 변경하여 기동문제를 해결할 수 있다. [3]

본 연구에서는 그림 2와 같이 회전자 극면 형상이 다

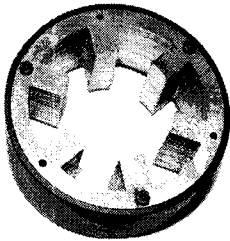
른 두가지 회전자 형태에 대해 특성을 해석하였다. 그림 2(b)와 같이 회전자의 극면에 스텝을 내어 그림 2(a)의 일반형태의 회전자에 비해 운전시 회전자극의 위치 변화에 따른 자속변화를 크게 하여 토크 특성을 개선하고자 하였다. 그림 3은 사전 연구에서 설계된 파라미터를 이용하여 제작된 유체부하 구동용 단상 SRM의 시작기이다.



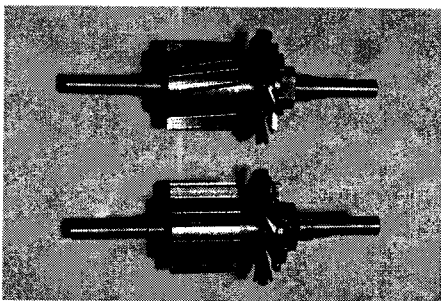
(a) 일반 회전자형



(b) 회전자극면에 비대칭 스텝을 낸 경우
그림 2. 극면 형상에 따른 회전자 형상



(a) stator



(b) rotor

그림 3. 단상 SRM 시작기의 고정자와 회전자

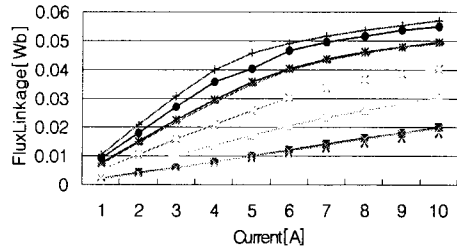
3. 특성 해석

설계된 단상 SRM에 대한 정확한 특성 해석을 위해서는 직접 제작하고 실험하여야 하지만 직접 제작하기에 앞서 전기기기 해석 프로그램을 통해 시뮬레이션을 하고 이를 통한 특성 예측 및 수정 작업을 통해 최적의 설계 파라미터를 얻어내는 방법이 사용되고 있다. 본 연구에서는 선행 연구를 통해 해석된 단상 SRM중에서 토오크 리플 저감 특성이 가장 좋은 스텝형 회전자를 갖는 단상 SRM에 대해 유한 요소 해석을 적용하여 자기회로의 포화 현상과 회전자의 위치에 따른 자속밀도의 변화를 해석하고, 토크 특성을 예측하고 일반형 회전자를 갖는 단상 SRM과 특성을 비교하였다.

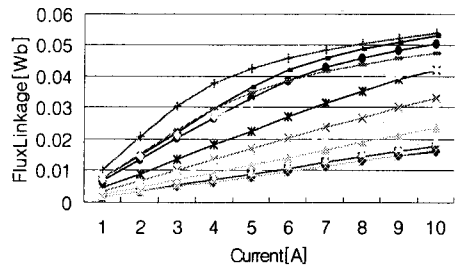
특히, 인덕턴스 프로파일은 단상 SRM의 특성을 분석하고, 정확한 제어방법을 찾기 위해 매우 중요한 자료이다. 본 연구에서는 정확한 인덕턴스 프로파일을 얻기 위해 유한요소해석과 3차 곡선 보간법을 이용하여 자속변화곡선을 구하였다.

일반형 회전자와 스텝형 회전자의 전류대 쇠교자속 곡선을 구하기 위해 회전자 위치를 정렬 위치에서 비정렬 위치까지 5[deg]씩 변화시키고, 전류값을 1[A]에서 10[A]까지 변화시키면서 각각의 값을 유한요소해석 프로그램을 이용하여 구하였다. 또한 토크 특성을 구하기 위해 자기수반에너지법을 이용하여 회전자 위치변화에 따른 coenergy 변화를 구하고 이 값을 이용하여 토크 변화를 구하였다.

그림 4는 여자 전류 변화에 따른 쇠교자속의 변화를 나타낸 것이다. 일반형 회전자에 비해 스텝형 회전자를 갖는 단상 SRM이 회전자 위치에 따른 자속변화가 크게 나타났다. 또한 전류가 커지면 철심의 포화로 자속변화가 거의 없음을 알 수 있다.



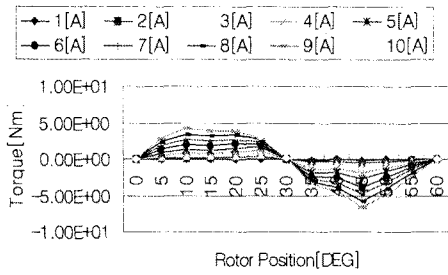
(a) 일반형 회전자



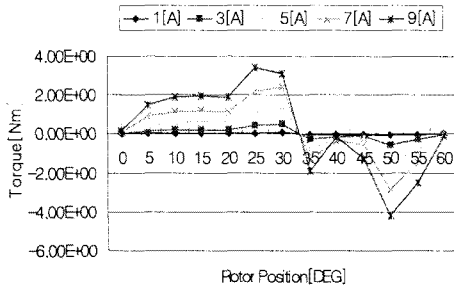
(b) 스텝형 회전자(스텝각 13[deg])

그림 4. 쇠교자속 변화

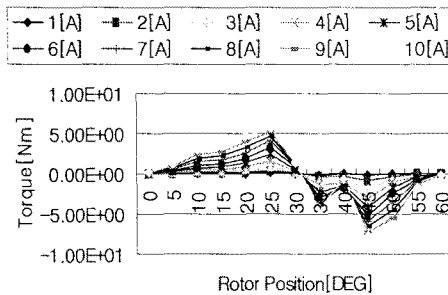
그림 5는 자기수반에너지법을 이용하여 계산한 토크 변화곡선이다. 일반형 회전자를 갖는 단상 SRM은 토크변화가 거의 정현적인 것에 비해 스텝형 회전자를 갖는 경우는 정렬위치에 부근에서 토크변화가 크게 일어남을 알 수 있다. 또한 스텝각의 변화가 클수록 토크변화가 부토크 영역에서의 토크변화가 줄어들음을 알 수 있다. 이를 통해 구동회로의 스위칭 on/off 시간을 고려할 수 있다.



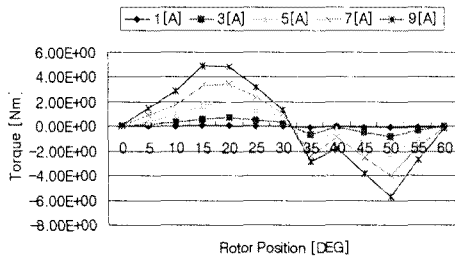
(a) 일반형 회전자



(b) 스텝형 회전자 (stepped angle 6[deg])



(c) 스텝형 회전자 (stepped angle 13[deg])



(d) 스텝형 회전자 (stepped angle 20[deg])
Fig. 5. 회전자 위치에 따른 토오크 변화

본 연구에서는 구동특성을 실험하기 위해 도통각에 따른 단상 SRM의 구동 특성을 측정하기 위해서 시작기의 턴 온/오프되는 각을 1°간격으로 변화시키면서 각각의 변화 구간에 대해 측정장비에 나타나는 전압과 전류 그리고 회전수를 측정하였다. 그림 6은 측정을 위한 실험 세트이고 그림 7은 도통각에 따른 전압전류파형을 나타낸 것이다.

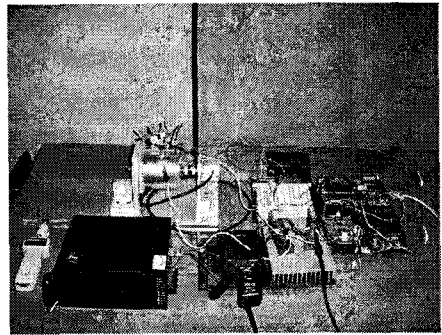


그림 6. 단상 SRM의 시작기와 구동 장치

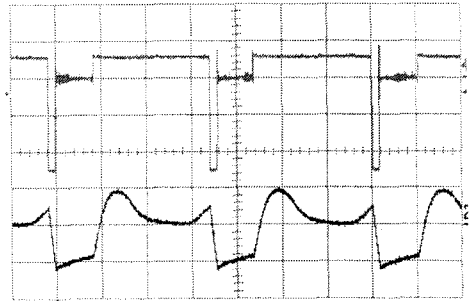


그림 7. 도통각에 대한 전압 전류 파형

4. 결 론

본 연구에서는 단상 SRM의 가장 큰 단점인 불연속 토오크를 저감시킬 수 있는 방법으로 제시된 스텝형 회전자를 갖는 단상 SRM에 대해 유한요소법을 이용하여 특성을 해석하였다. 회전자 위치와 입력전류값을 변화시키면서 쇄교자속 대 전류 특성곡선을 각각의 회전자 위치에 대해 구하였고 이를 바탕으로 인덕턴스 프로파일, 자기수반에너지, 토오크 특성 등을 계산하였다. 구동특성을 해석하기 위해서 구동회로의 도통각을 변화시켜 전압전류특성 조사하였다.

앞으로는 특성 해석 결과를 바탕으로 정확한 특성을 예측하여 토오크 리플을 저감하고 특성을 개선할 수 있는 최적의 설계파라미터를 선정하여야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] P.J. Lawrenson, J.M. Stephenson, "Variable-Speed Switched Reluctance Motors", Proceedings IEE, Vol. 127, Pt.B, No. 4, pp.253-265, July 1980
- [2] Miller, T.J.E., Switched Reluctance Motors and their Control, Magna Physics Publishing and Oxford University Press, London, 1993
- [3] 이종한, 이충원, 이은용, 오영웅, "송풍기 구동용 단상 SRM의 이론적 설계파라미터 선정", 2003년도 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템학회 춘계학술대회 논문집, pp.88-90, 2003.4
- [4] 이종한, 이은용, 김용현, 구태만, "송풍기 구동용 단상 SRM의 인덕턴스 해석", 2004년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.1025-1027, 2003.7
- [5] 이종한, 이은용, 김준호, "토오크 리플을 고려한 단상 SRM의 회전자 설계", 2005년도 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템학회 춘계학술대회 논문집, pp.49-51, 2005.4