

회전자 형상에 따른 단상 SRM의 특성 해석

이종한, 이은웅, 김준호, 조연찬

충남대학교

Characteristic Analysis of Single Phase SRM Considering Rotor Shape

Jong-Han Lee, Eun-Woong Lee, Jun-Ho Kim and Yeon-Chan Jo

Abstract - SRM has a characteristic of a robust, simple structure and wide operating ranges. So, recently it has studied and developed in many kinds and forms with the technology of power electronics and analysis and design by use of computer. Also, It is used in a very wide range of industrial applications.

In particular, single phase switched reluctance motor has a merit in practical use because it has simple operating drives and control systems, very high energy density per unit volume comparing with three phase SRM. But it must have a starting device.

In this paper, the shapes of the single phase SRM rotor are designed to reduce the torque ripple, to improve the efficiency.

1. 서 론

송풍기는 산업의 발달과 함께 환풍과 같은 간단한 기능에서부터 가스 등의 유체 운송수단, 또는 각종 집진장치 등에 이르기까지 다양한 목적으로 사용되는 기계적 장치이다. 특히 터보형 송풍기의 경우 일반 팬과는 달리 높은 효율과 안정된 동작, 적은 소음으로 많은 분야에서 쓰임이 증가하고 있으며 집진기와 펌프류에 많이 사용되고 있다. 이런 송풍기의 구성요소 중 구동용 전동기의 선택은 공조시스템의 안정성에 많은 영향을 준다. [1]

유체부하를 다루는 팬용 송풍기나 펌프용 전동기는 부하의 토크 특성이 속도의 2제곱에 비례하여 증가하므로 운전시 급격한 부하변동의 적고, 큰 기동 토크를 필요로 하지 않기 때문에 소용량의 경우에는 단상유도전동기가 주로 사용되고 있다. 하지만 효율이 낮고 제어가 어려운 단상유도전동기의 단점을 보완하고 고효율을 기기의 사용으로 에너지를 절약할 수 있도록 대체용 전동기 개발이 요구되고 있다. [2]

단상 스위치드 릴레턴스 모터(switched reluctance motor, SRM)은 구조 및 제어회로가 간단하고 단상 SRM에 비해 단위체적당 에너지 밀도를 높일 수 있는 장점 때문에 최근에는 가전기기 분야에서 사용이 되고 있다. 또한 유체 부하구동용 단상유도전동기 대체용으로 사용코자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다.[1] 하지만, 단상 SRM은 회전자극과 고정자극이 정렬된 위치에 있거나 비정렬된 위치에서 정지해 있으면 기동토크가 발생하지 않아 영구자석, 회전자형상변경 등의 방법을 사용하여 기동문제를 해결해야 하고, 단상 여자에 의한 불연속 토크 발생으로 토크리플이 크다는 단점이 있다. 그래서 최적의 자기회로를 구성하거나 제어회로의 특성을 개선하여 단상 SRM의 토크리플을 줄이는 방법이 연구되고 있다.[2]

본 연구에서는 산업 전반에 걸쳐 널리 사용되고 있는

송풍기 구동용 단상 SRM의 설계에 있어 회전자 형상에 따른 특성을 해석하여 토크리플을 저감할 수 있는 설계 변수를 얻고자 한다.

2. 송풍기 구동용 단상 SRM의 설계

2.1 송풍기 구동용 전동기의 특징

팬, 펌프, 송풍기 등과 같이 유체를 이동시키는데 사용되는 전동기의 토크는 정상상태에서 회전속도의 제곱에 비례하고, 전동기의 출력은 회전속도의 3제곱에 비례한다. 이와 같이 유체부하를 다루는 전동기로 정토오크의 속도제어가 가능한 전동기를 사용하면 충분히 운전이 가능하고 감속시에는 토크의 여유가 생기게 된다.

송풍기는 외부동력에 의해 날개를 회전시켜 기체에 에너지를 부여하여 풍량과 압력을 생성시켜 어떤 물질을 냉각 또는 건조시키거나 덱트 시스템을 통하여 일정량의 기체를 지정된 공간으로 강제이송시키는 유체기계이다. 풍량, 풍압을 가감할 필요가 없는 보통의 통풍기는 농형 유도전동기가 주로 사용되고, 500[kW]이상의 중용량의 송풍기는 기동특성이 좋은 퀸센형 유도전동기가 사용되고, 수천[kW]의 대형 터보송풍기 또는 압축기에는 역을 이 좋은 동기전동기가 일반적으로 사용된다. 풍량과 압력을 조절하기 위해서는 종래에는 흡입댐퍼(damper)를 사용하여 효율이 떨어졌지만 최근에는 운전효율을 높이기 위해 전동기의 속도제어방식을 이용하여 풍량 및 풍압을 제어한다. [2]

2.2 설계 모델

단상SRM은 자기회로로 구성방법이 다양하여 사용목적에 따라 여러 형태로 제작할 수 있지만 본 연구에서는 송풍기 구동용으로 그림 1과 같이 6/6극의 내전형으로 설계하였다. 선행 연구에서 일반 회전자와 달성 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	설계 값
출력	kW	P	0.4
회전자 제적당 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

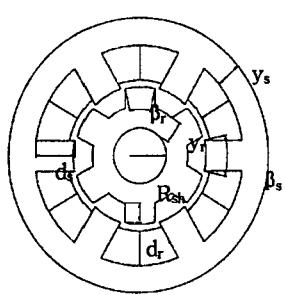
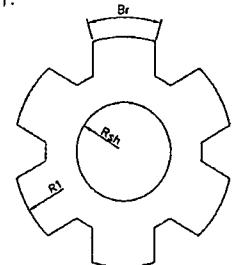


그림2. 6/6극 단상 SRM의 단면도

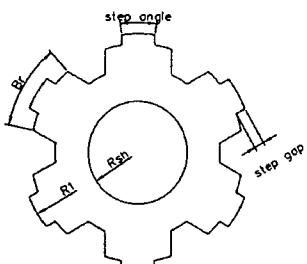
3. 회전자 형상에 따른 해석 모델

단상 스위칭 여자 전원에 의해 고정자극이 동시에 여자되기 때문에 발생 토오크가 불연속적이고, 이로 인한 토오크 리플이 필연적으로 발생한다. 토오크 리플을 줄이기 위해 토오크 리플에 영향을 주는 설계변수를 고려하여 설계하거나, 운전시 구동회로의 특성값 또는 제어알고리즘의 개발을 통해 저감시킬 수 있다. 그리고 특정 위치에서 회전자가 정지하게 되면 기동토오크를 발생시킬 수 있기 때문에 회전자의 형상을 변경하여 기동문제를 해결할 수 있다. [3]

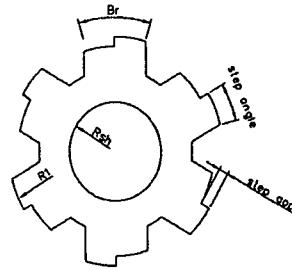
본 연구에서는 그림 3과 같이 회전자의 극면에 스텝을 내어 운전시 회전자극의 위치 변화에 따른 자속변화를 크게 하여 토오크 특성을 개선하고, 회전자 극면의 스텝 변화에 따른 토오크 리플 변화를 SRM 설계 및 해석 프로그램을 이용하여 조사하였다. 또한 정지위치와 상관없이 기동토오크를 발생시킬 수 있도록 회전자극에 스큐(skewed pole)를 주어 스큐각에 따른 토오크 리플의 변화를 조사하였다.



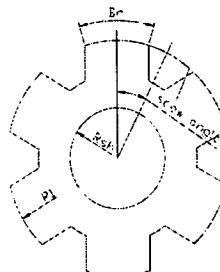
(a) 일반 회전자형



(b) 회전자극면 중앙에 대칭 스텝을 낸 경우
(Cen.)



(c) 회전자극면에 비대칭 스텝을 낸 경우
(Non.)



(d) 회전자극에 스큐를 준 경우(Skew)

그림 3. 극면 형상에 따른 회전자 형상

4. 해석 결과

회전자극 중심에 대해 대칭적으로 스텝을 낸 경우와 비대칭적으로 스텝을 낸 경우에 대해 스텝 각을 회전자극호의 1/2부터 1[°]씩 증가하면서 토오크, 토오크 리플, 효율의 변화를 조사하였고 스텝 간격은 단상 SRM의 공극길이 설계 조건을 고려하여 0.5[mm], 1[mm]로 해석하였다. 그리고 회전자극을 회전자 극피치 범위에서 스큐를 1도씩 증가시키면서 특성을 조사하였다.

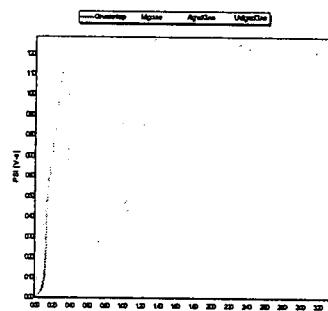


그림 4 에너지 변환 루프

단상 SRM의 토오크는 회전자 위치에 따른 자속변화에 의해 얻어지는데 그림 4와 같이 정렬위치와 비정렬위치 사이에서 자기수반에너지의 변화를 이용하여 구할 수 있다. 그림 5는 이와 같은 방법으로 구한 토오크 값이다. 회전자 형상에서 SG(step gap)는 회전자극면과 스텝면의 간격을 나타내고, Cen은 대칭 스텝형 회전자(그

그림 3. (b)), Non.은 비대칭 스텝형 회전자(그림 3.(c))를 의미한다. 스텝의 두께가 1[mm]일 때 스템각이 증가 할 수록 토오크 변화가 크게 나타났고, 스템각이 회전자극호의 1/2 정도에서 최대 토오크가 되었다. 스템두께가 0.5[mm]일 때는 스템각에 따른 토오크 변화가 심하지 않았다. 전체적으로 회전자극에 스템을 줌으로써 토오크가 증가함을 알 수 있다. 그리고, 비대칭형 스템 회전자가 대칭형 스템 회전자보다 스템각 변화에 따른 토오크 변화가 적은 것으로 나타났다.

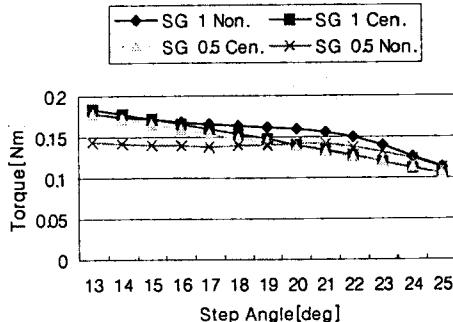


그림 5. 스템 각 변화에 따른 토오크 변화

그림 6은 스템각 변화에 따른 토오크 리플의 변화를 나타낸 것으로 스템에 의해 전체적으로 토오크 리플이 감소됨을 알 수 있다. 스템두께가 0.5[mm]이고 비대칭형 회전자 구조를 갖는 경우 토오크 리플이 가장 감소함을 알 수 있다. 스템각이 회전자극호의 2/3 정도에서 토오크 리플이 가장 감소하였고, 대칭형 스템을 갖는 회전자는 공극 변화에 무관하게 토오크 리플이 큰 것으로 나타났다.

그림 7은 스템각 변화에 따른 효율 변화를 나타낸 것이다. 대칭형 스템을 갖는 회전자는 스템각 변화와 무관하게 효율의 변화가 없고, 비대칭형 스템을 갖는 경우에는 스템각에 따라 효율이 개선됨을 알 수 있다.

해석을 통해 전체적으로 회전자극에 비대칭형 스템을 넣는 경우 토오크 증대, 토오크 리플 감소, 효율 개선의 이득이 있음을 확인하였다.

그림 8은 회전자극에 스큐를 준 경우 토오크, 토오크 리플, 효율의 변화를 나타낸 것이다. 변화를 주지 않은 일반형의 회전자에 비해 토오크는 약간 감소하였지만 토오크리플과 효율에서는 큰 차이가 없고, 스템을 갖는 회전자 구조보다는 효율과 토오크 리플이 개선됨을 확인하였다.

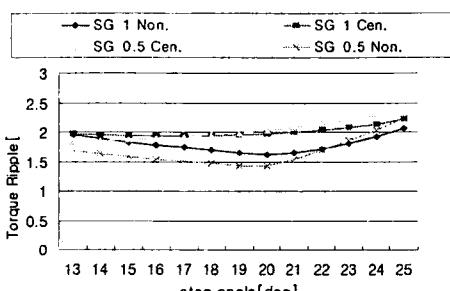


그림 6. 스템각 변화에 따른 토오크 리플 변화

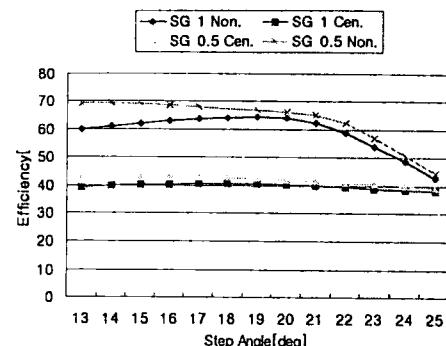


그림 7. 스템각 변화에 따른 효율 변화

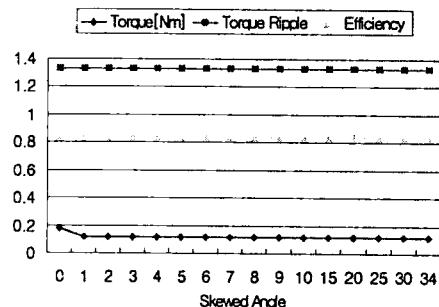


그림 8. 스템각 변화에 따른 효율 변화

5. 결 론

본 연구에서는 단상 SRM을 설계하는 과정에서 단상 SRM의 가장 큰 단점인 불연속 토오크 발생에 따른 토오크 리플을 저감시키고, 기동시의 문제점을 해결하고자 회전자의 극면에 스템을 넣는 방법과 회전자극에 스큐를 준 경우에 대해 토오크, 토오크 리플, 효율의 변화를 조사하였다.

회전자 극면에 스템을 낸 경우 회전시 공극의 자속변화를 크게 하여 토오크가 증가하였고, 회전자극의 중심에 대칭적으로 스템을 낸 경우는 토오크 리플이나 효율 면에서 큰 이점이 없지만 회전자 극면에 비대칭적으로 스템을 낸 경우 토오크 리플을 저감하는 효과가 있음을 알 수 있었다. 또한 회전자극에 스큐를 줌으로써 스템을 내는 경우보다 토오크리플이 감소하고 효율이 좋음을 확인하였다.

앞으로는 선정된 설계 조건을 바탕으로 정확한 특성을 예측하고 제작에 앞서 최적의 설계파라미터를 선정하여야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이종한, 이은웅, “토오크 리플을 고려한 송풍기 구동용 단상 SRM의 설계”, 대한전기학회 EMECS학회 추계학술대회 논문집, pp.101-103, 2004. 10
- [2] 이종한, 이은웅, “송풍기 구동용 단상 SRM의 극호 설계 조건”, 대한전기학회 EMECS학회 추계학술대회 논문집, pp.125-127, 2003.10
- [3] T.J.E. Miller, “Switched Reluctance Motors and their Control”, Magna Physics Publishing and Oxford University Press, London, 1993