

토크 리플을 고려한 단상 SRM의 회전자 설계

이종한*, 이은웅*, 김준호*
충남대학교*

The Rotor Design of Single Phase SRM considering the Torque Ripple

Jong Han Lee*, Eun Woong Lee*, Jun Ho Kim*
Chungnam Nat'l University*

Abstract - The single phase switched reluctance motor(SRM) has many merits in practical appliance because it has simple operating drive and control system, very high energy density per unit volume comparing with three phase SRM. But it has also problems to need a starting device and to generate the torque ripple.

One of the major problems is a torque ripple which causes increased undesirable acoustic noise and speed ripple. This paper describes an approach to determine a rotor type to minimize the torque ripple.

어 토크 변화가 감소하게 된다.

단상 SRM의 순시토크는 식 (1)과 같이 평균토크 또는 일정한 값을 갖는 토크와 시간이나 위치각에 따라 주기적으로 변화하는 값의 합으로 표현할 수 있다. 식(1)에서 주기적으로 변화하는 성분이 토크 리플의 원인이 된다. 그림 (1)은 순시토크의 변화를 나타낸 것이다.[3]

$$T(\alpha) = T_0 + T_r(\alpha) \tag{1}$$

여기서, T0 : 평균토크
Tr(a) : 주기적 성분

1. 서 론

단상 스위치드 릴럭턴스 모터(switched reluctance motor, SRM)은 구조 및 제어회로가 간단하고 다상 SRM에 비해 단위체적당 에너지 밀도를 높일 수 있는 장점 때문에 최근에는 가전기기 분야에서 사용이 되고 있다. 특히 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 고효율 기기의 사용으로 에너지를 절약할 수 있도록 대체용 전동기로 단상 SRM을 개발하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다.[1]

단상 SRM은 기동토크가 발생되지 않아 별도의 기동장치가 사용되어야 하고, 단상 여자에 의한 불연속 토크 발생으로 토크 리플이 크다는 단점이 있다. 단상 SRM의 토크 리플을 줄이는 방법으로 최적의 자기 회로를 구성하거나 제어회로의 특성을 개선하고자하는 연구가 진행되고 있다.[2]

본 연구에서는 산업 전반에 걸쳐 널리 사용되고 있는 송풍기 구동용 단상 SRM의 설계에 있어 회전자 형상에 따른 토크 특성을 해석하여 토크 리플을 저감할 수 있는 설계 변수를 얻고자 한다.

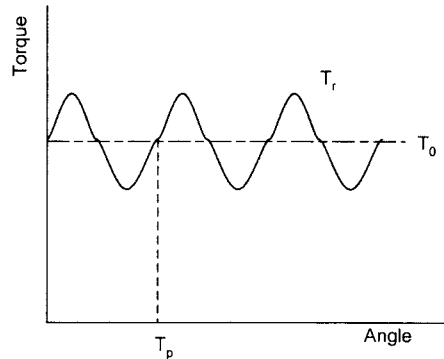


그림 1. 순시 토크 변화

단상 SRM의 토크 리플은 식 (2)에서 식 (5)과 같이 여러 방법으로 표현할 수 있는데 일반적으로 식 (3)에 의한 방법이 가장 많이 사용되고 있다.[3]

$$T_r = \frac{T_{max} - T_m}{T_{max} + T_m} \tag{2}$$

$$T_r = \frac{T_{max} - T_{min}}{T_{avr}} \tag{3}$$

$$T_r = \frac{T_{max} - T_{min}}{T_{rms}} \tag{4}$$

$$T_r = \frac{[Torque\ ripple]_{rms}}{T_{avr}} = \frac{T_{rms}}{T_{avr}} \tag{5}$$

여기서, Tr : 토크 리플값

2. 단상 SRM의 토크 리플

단상 SRM은 일반적으로 고정자와 회전자가 같은 극수로 구성이 되고 단상 스위칭 여자 전원에 의해 모든 고정자극이 동시에 여자되기 때문에 토크 발생시 토크 리플이 필연적으로 발생된다. 또한 단상 SRM의 토크 리플은 회전 속도에 따라 다르므로 운전 조건을 고려해야 한다. 일반적으로 토크 변화가 회전속도에 큰 영향을 주는 저속운전시 토크 리플이 가장 크고, 고속운전시에는 회전자의 관성이 속도변화와 진동에 영향을 주

T_{max} : 최대 순시토크 값
 T_{min} : 최소 순시토크 값
 T_{avr} : 평균 토크 값

3. 회전자 형상과 토크 리플과의 관계

3.1 해석 모델

본 연구에서 해석하고자하는 단상 SRM은 송풍기 구동용으로 속도 제에 비해하는 유체 부하의 특성을 설계시 고려하였고 표 1은 해석모델의 설계사양이다.

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
상수	No.	m	1
정격 회전 속도	rpm	n	1800

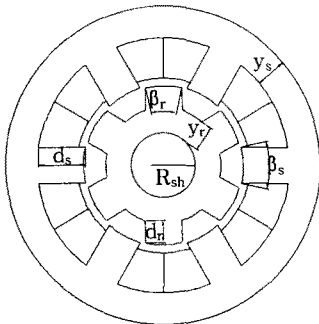


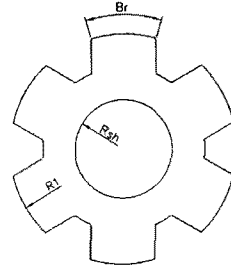
그림 2. 6/6극 단상 SRM의 단면도

3.2 해석 결과

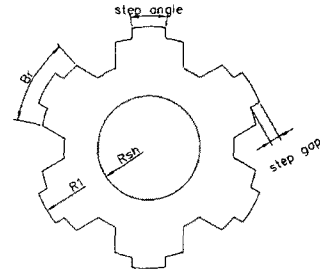
단상 SRM은 스위칭 여자 전원에 의해 고정자극이 동시에 여자되기 때문에 발생 토크도 불연속적이고, 이로 인한 토크 리플이 필연적으로 발생한다. 토크 리플을 줄이기 위해 토크 리플에 영향을 주는 설계변수를 고려하여 설계하거나, 운전시 구동회로의 특성값 또는 제어알고리즘의 개발을 통해 저감시킬 수 있다.

단상 SRM의 설계파라미터 중 구동 특성에 가장 많은 영향을 미치는 요소는 고정자와 회전자의 극호이다. 고정자극호 β_s 와 회전자극호 β_r 에 따라 인덕턴스 프로파일 결정되고 이로 인해 평균토크 및 토크 리플 등이 결정되며, 또한 구동을 위한 스위칭 각을 결정하는 기준이 된다. 선행 연구를 통해 고정자극과 회전자극의 극호비, 공기 길이 등의 설계변수가 토크 리플에 미치는 영향에 대해 살펴보았다.[1][5]

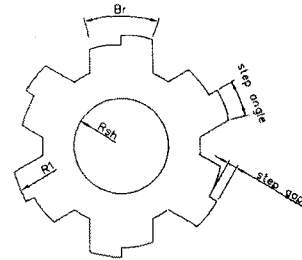
본 연구에서는 그림 3과 같이 회전자의 극면에 스텝을 내어 운전시 회전자극의 위치 변화에 따른 자속변화를 크게 하여 토크 특성을 개선하고, 회전자 극면의 스텝 변화에 따른 토크 리플 변화를 SRM 설계 및 해석 프로그램을 이용하여 조사하였다.



(a) 일반 회전자형



(b) 회전자극면 중앙에 대칭 스텝을 낸 경우 (symmetric stepped rotor type)



(c) 회전자극면에 비대칭 스텝을 낸 경우 (nonsymmetric stepped rotor type)

그림 3. 극면 형상에 따른 회전자 형상

SG는 회전자극면과 스텝면의 간격을 나타내고, Cen은 대칭 스텝형 회전자(그림 3. (b))를, Non은 비대칭 스텝형 회전자(그림 3.(c))를 의미한다. 회전자극 중심에 대해 대칭적으로 스텝을 낸 경우와 비대칭적으로 스텝을 낸 경우에 대해 스텝 각을 회전자극호의 1/2부터 1°씩 증가하면서 토크, 토크 리플, 효율의 변화를 조사하였고 스텝 간격은 단상 SRM의 공기길이 설계 조건을 고려하여 0.5[mm], 1[mm]로 해석하였다.

단상 SRM의 토크는 회전자 위치에 따른 자속변화에 의해 얻어지는데 그림 4는 정렬위치와 비정렬 위치 사이에서 자기수반에너지의 변화를 이용하여 구한 토크 값이다. 스텝각이 회전자 극호의 1/2 정도일 때 토크 값이 크게 나타났고 스텝을 주지 않은 일반형 회전자(그림 3.(a))에 비해 토크가 크게 나타났다. 또한 비대칭형 스텝 회전자가 대칭형 스텝 회전자보다 스텝각 변화에 따른 토크 변화가 적은 것으로 나타났다.

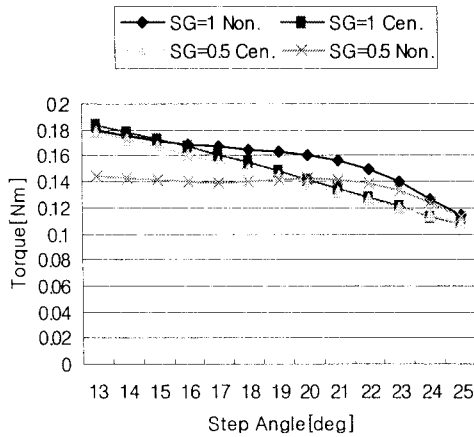


그림 4. 스텝 각 변화에 따른 토오크 변환

그림 4는 스텝각 변화에 따른 토오크 리플의 변화를 나타낸 것이다. 스텝간격이 0.5[mm]이고 비대칭형 회전자 구조를 갖는 경우 토오크 리플이 가장 감소함을 알 수 있다. 스텝각이 회전자극호의 2/3 정도에서 토오크 리플이 가장 감소하였다. 또한 대칭형 스텝을 갖는 회전자는 공극 변화에 무관하게 토오크 리플이 큰 것으로 나타났다.

그림 5는 스텝각 변화에 따른 효율변화를 나타낸 것이다. 대칭형 스텝을 갖는 회전자는 스텝각 변화와 무관하게 거의 일정한 효율을 갖지만 전체적으로 효율이 낮음을 알 수 있다.

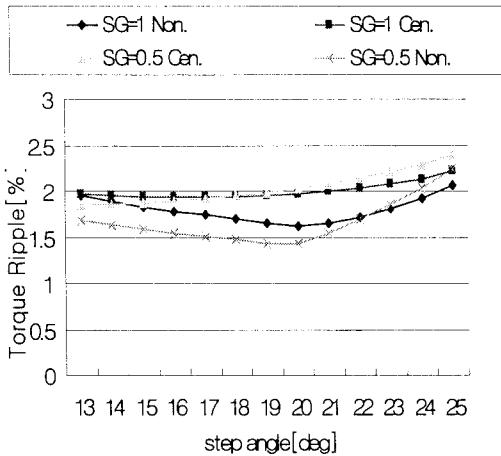


그림 5. 스텝각 변화에 따른 토오크 리플 변화

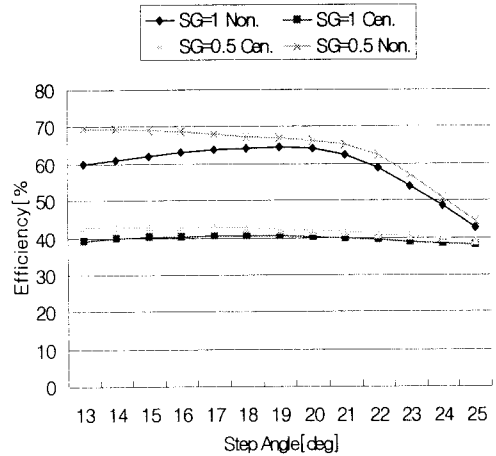


그림 6. 스텝각 변화에 따른 효율 변화

3. 결 론

본 연구에서는 단상 SRM을 설계하는 과정에서 단상 SRM의 가장 큰 단점인 불연속토오크 발생에 따른 토오크 리플을 저감시킬 수 있는 방법으로 회전자의 극면에 스텝을 넣어 토오크, 토오크 리플, 효율의 변화를 조사하였다.

회전자 극면에 스텝을 낸 경우 회전시 공극의 자속변화를 크게 하여 토오크가 증가함을 알 수 있었다. 또한 회전자극의 중심에 대칭적으로 스텝을 낸 경우는 토오크 리플이나 효율면에서 큰 이점이 없었고, 회전자 극면에 비대칭적으로 스텝을 낸 경우 토오크 리플을 저감하는 효과가 큼을 알 수 있었다.

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

[참 고 문 헌]

- [1] 이종한, 이은용, "토오크 리플을 고려한 송풍기 구동용 단상 SRM의 설계", 대한전기학회 EMECS학회 추계학술대회 논문집, pp.101-103, 2004. 10
- [2] T.J.E. Miller, "Switched Reluctance Motors and their Control", Magna Physics Publishing and Oxford University Press, London, 1993
- [3] J.R.Hendershot, T.J.E. Miller, "Design of Brushless Permanent-Magnet Motors", Magna Physics Publications Oxford Science Publications, 1994
- [4] 이종한, 이은용, 이충원, 오영용, "송풍기 구동용 단상 SRM의 기본 특성 해석을 위한 자화곡선 측정", 대한전기학회 EMECS학회 추계학술대회 논문집, pp.91-93, 2003.4
- [5] 이종한, 이은용, "송풍기 구동용 단상 SRM의 극호 설계 조건", 대한전기학회 EMECS학회 추계학술대회 논문집, pp.125-127, 2003.10