

고속 블로워 시스템용 4/2극과 6/2극 SRM의 토크 해석

김현민, 안진우, 이동희
경성대학교 메카트로닉스 공학과

Torque Analysis of 4/2, 6/2 SRM for High Speed Blower System

Hyun Min Kim, Jin Woo Ahn, Dong Hee Lee
Dept. of Mechatronics Engineering, Kyung Sung University

ABSTRACT

torque

본 논문은 고속블로워 시스템용 2상 4/2 SRM(Switched Reluctance Motor)과 3상 6/2 SRM의 토크 리플 최소화를 위한 가변 공극형 회전자 타입을 제안하고 그에 대한 특성 해석을 수행하였다. 연속적인 토크를 얻기 위하여 정 토크 구간을 확장할 수 있는 형상을 적용하고 고속에서의 리플을 최적화 할 수 있는 가변 공극형 구조를 제안하였다. 기존에 제안되어진 2상 고속 4/2 SRM의 특성과 제안된 3상 고속 6/2 SRM의 특성을 FEM(Finite Elements Method) 해석을 통하여 비교해봄으로 고속에서의 개선된 토크 리플을 검증하였다.

1. 서론

최근 산업용 블로워 시스템은 시스템의 효율 및 크기를 고효율 간소화하려는 시도와 고속화 및 운전속도의 범위를 향상시키기 위하여, 다양한 연구가 이루어지고 있다. 실제로 증속기어, 증속 장치가 고속 전동기와 직결된 블로워로 대체되면서 기계장치에서의 손실이 억제, 기구의 크기가 최소화되었으며, 이에 따라 시스템의 구조는 간략화 되어졌다.

하지만, 고속 시스템은 고속 영역에서의 안정성에 의한 기술적 문제를 가지고 있으며, 이에 대해서 다양한 연구가 진행되고 있다. SRM은 기계적인 강인성과 구조의 단순함과 높은 견인특성으로 고속운전에 유리한 조건을 가지고 있다. 하지만 기계적인 소음과 진동이 비교적 높은 단점으로 인하여 산업적 응용분야에 제한적으로 적용되어져왔다. 소음과 진동에 제한이 낮은 블로워는 SRM을 가장 적합한 응용분야중 하나로 생각하고 실제 산업용 블로워용 SRM이 적용된 사례도 있다. 또한 비행기의 연료펌프 분야에 30,000(rpm)급의 SRM이 적용되어지고 있다. 고속으로 갈수록 SRM의 응용분야는 점점더 확대되어지고 있다. 고속 운전에서의 높은 효율을 위해 4/2극과,6/2극의 연구가 진행되어져 왔다.

본 논문에서는 고속에서의 토크 리플을 억제하기 위해 SRM에 공급 가변형 기법을 적용함으로 2상 4/2 극일때의 전동기 특성과 3상 6/2 극일 때의 전동기 특성을 FEM으로 비교 분석하였다. 보다 복잡한 6/2극 SRM을 비교 하였으며, 제안된 구조와 SRM의 특성은 FEM으로 토크 및 인덕턴스 특성이 해석되었다.

2. 고속 SRM의 설계

본 논문에서는 일반적 4/2 SRM과 6/2 SRM의 토크 데드존 구간에서의 자가 기동의 어려움을 극복하고자 비대칭 인덕턴스 형상을 가지는 넓은 회전자 극 호를 가지는 설계 채택 하였다. 정 토크 구간을 늘림으로서 오버랩 구간을 확장하여 정류 구간에서 토크 리플을 최소로 가지는 시점인 102도의 회전자 폴 아크를 선정 하였다. 또한 고속에서의 일정한 토크를 얻기 위해 가변 공극형 구조의 회전자 형상을 택하였다.

본 논문에서는 평균토크에 대해 2%이하의 토크 오차 내에서 일정한 토크를 발생하기 위한 공극의 형상을 설계 하였다. 이를 위하여 회전자각에 대하여 0.1도 간격은 노드를 형성하고 각 노드에 대하여 공극의 증감에 대해 출력 토크를 연속적으로 계산하여 이를 오차 범위 내에서 감소시키도록 공극의 변위를 조절하도록 설계하였으며, 공극의 최소 범위는 0.2mm로 하였다. 그림 1은 토크 특성 개선을 위한 공극 형상의 최적화 과정을 나타낸다.

표. 1 모터 타입
Table 1 moter type

Parameters	Value	
Rated output power	600	[W]
Rated torque	0.2	[N m]
Rated speed	30,000	[rpm]
Rated current	7	[A]
Number of stator poles	4	
Number of rotor poles	2	
Bore diameter	30	[mm]
Outer stator diameter	80	[mm]
Stack length	30	[mm]
Minimum air-gap	0.25	[mm]
Stator pole arc	46	[Deg.]
Rotor pole arc	102	[Deg.]
Number of turns tuturnsturns/phase	150	[turn]
R _{ph}	0.5	[Ohm]
L _u (unaligned inductance)	2	[mH]

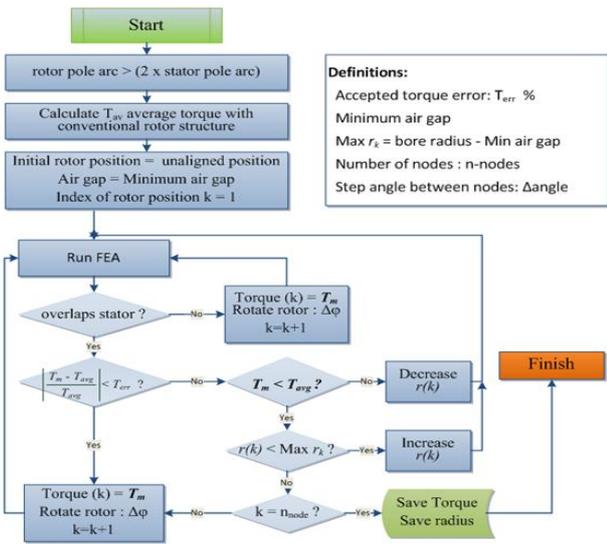


그림 1. 최적화 과정 플로우 차트
Fig. 1. Flow chart for rotor shape optimization

2.1 최적화된 SRM

그림 2는 최적화 설계된 4/2극 가변 공극형 SRM의 인덕턴스 및 토크 특성을 나타내고 있다. 그림 3에서 FEM 방식으로 해석된 토크의 구조에서 보여진 토크에 비하여 매우 일정한 토크를 나타내고 있으며, 각 상의 중첩구간도 크게 증가하고 있음을 보이고 있다. 특히 상과 상의 중첩이 발행하는 스텝 구간에서도 매우 부드러운 토크의 연속성을 가지게 되어 고속 운전에 유리한 특성을 보이고 있다.

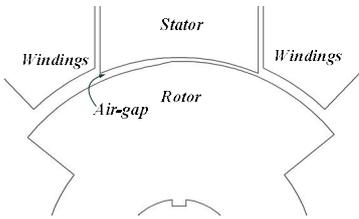
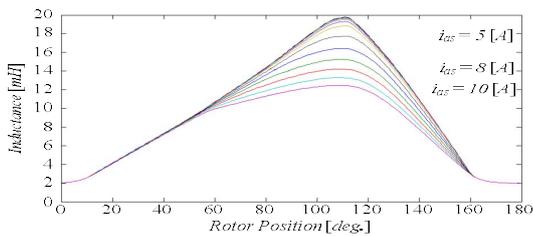
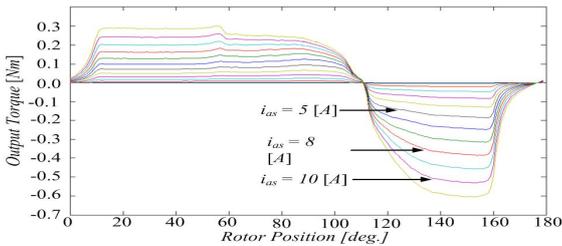


그림 2. 토크 특성 개선을 위한 공극 형상의 최적화
Fig. 2. Optimal air-gap structure for constant torque

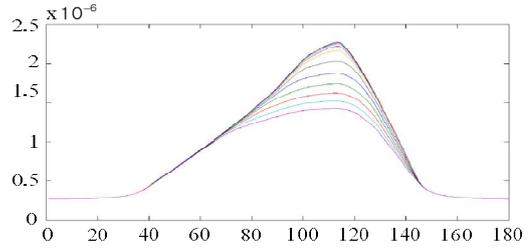


(a) 인덕턴스 특성 해석

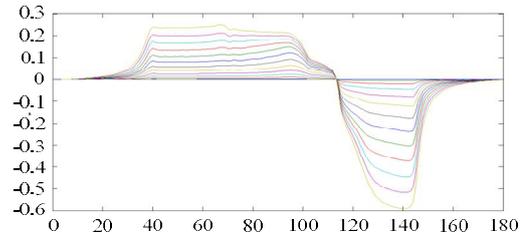


(b) 토크 특성 해석

그림 3. 공극 최적화 형상 4/2극 SRM의 특성 해석
Fig. 3. Analyzed results of a optimal air-gap 4/2 SRM



(a) 인덕턴스 특성 해석



(b) 토크 특성 해석

그림 4. 공극 최적화 형상 6/2극 SRM의 특성 해석
Fig. 4. Analyzed results of a optimal air-gap 6/2 SRM

표. 2 4/2극 및 6/2극 SRM의 토크, 인덕턴스 특성 비교
Table 2 torque, inductance Characteristics of 4/2 and 6/2 SRM

구분	4/2극	6/2극
maximum inductance	2.1[mH]	2.34[mH]
minimum inductance	1.2[mH]	1.4[mH]
maximum torque	0.3[N]	0.24[N]
minimum torque	0.62[N]	0.59[N]

3. 결론

본 논문에서는 토크 특성의 개선에 적합한 가변 공극형 구조에 대한 최적화 설계된 구조 4/2 극과 6/2극 SRM을 비교 하였다. SRM의 발생 토크는 회전자 위치각에 대한 인덕턴스의 기울기에 비례한다. 그림 3의 4/2극 SRM의 인덕턴스 특성 해석에서 인덕턴스의 최대 크기는 2.1[mH]이고, 6/2극 SRM의 인덕턴스 특성 해석에서 인덕턴스의 크기는 2.34[mH]로 4/2극에 비해 6/2극의 인덕턴스의 크기가 1.1배 정도 큼을 알 수 있으며, SRM의 토크 F LVMF 또한 4/2극은 최대 토크가 0.3[N]이고, 최소 토크가 0.62[N]이고 6/2극의 최대 토크는 0.24[N]이고 최소 토크는 0.59[N]으로 토크 리플이 4/2극에 비해 6/2극이 줄어들 수 있다.

참고 문헌

[1] K.J. Binns, P.J. Lisboa and M.S.N. AL Din "The Use of Canned Rotors in High Speed Permanent Magnet Machines"
[2] Hans Kub, Torsten Wichert and Bernard Szymanski "Design of a high speed Switched Reluctance Motor for spindle drive"
[3] A. V. Radun, "High Power Density Switched Reluctance Motor Drive for Aerospace Applications", IEEE Trans. On Ind. App., pp. 113 119, 1992.
[4] Cheewoo Lee, R. Krishnan and Lobo, N.S., "Novel Two phase Switched Reluctance Machine using Common Pole E Core Structure: Concept, Analysis, and Experimental Verification", in proc. IEEE IAS Annual Meeting, pp. 2210 2217, 2007