

고속 블로워 시스템용 2상 SRM의 설계 및 해석

이동희, 코이, 마룰리, 안진우
경성대학교 메카트로닉스공학전공

Design and Analysis of the 2-Phase SRM for High Speed Blower System

Dong-Hee Lee, Huynh Khac Minh Khoi, Marully Tanujaya, Jin-Woo Ahn
Dept. of Mechatronics Engineering, Kyungsung University

ABSTRACT

This paper presents a design and analysis of torque characteristics of a two-phase SRM(Switched Reluctance Motor) for high speed blower system. To reduce the electrical frequency and core losses at high speed region, In order to reduce torque ripple and torque dead-band, variable rotor air-gap structure is adopted and the air-gap is optimized according to torque production. The optimized torque output is verified by the FEM results.

1. 서론

최근 산업용 블로워 및 컴프레서는 전체 시스템의 크기를 간소화하고 시스템의 효율을 높이기 위하여 고속화 시스템으로의 전환을 시도하고 있으며, 기존의 운전속도 범위를 향상시키기 위하여 다양한 제어기의 시도가 이루어지고 있다^[1-3].

기존에 증속기어 및 증속장치가 고속 전동기와 직결된 블로워로 대체되면서 기계장치에서의 손실부분이 억제되고, 기구의 크기가 최소화되며, 시스템이 간략화 되고 있다. 하지만, 여전히 고속 시스템은 고속 영역에서의 운전 안정성으로 인한 높은 기술적인 문제를 가지고 있으며, 이에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다.

SRM(Switched Reluctance Motor)은 기계적인 강인성과 구조의 단순성 및 높은 견인 특성으로 인하여 고속 운전에 유리한 조건을 가지고 있으나, 기계적인 소음과 진동이 비교적 높은 단점으로 인하여 산업적 응용분야에 제한적으로 적용되어져 왔다. 비교적 소음과 진동에 제한이 낮은 블로워는 SRM의 가장 적합한 응용분야 중 하나로 생각되고 있으며, 실제 산업용 청소기의 블로워용 SRM이 적용된 사례가 있다. 또한 고속 운전을 위한 응용에도 비행기의 연료펌프 분야에 40,000[rpm]급의 SRM이 적용되고 있으며, 고속 시스템에서의 활용이 점점 가시화 되고 있다^[4].

고속 운전에서는 전동기의 철손은 운전 주파수의 상승에 따라 급격하게 증가하는 특성을 가지고 있으며, 이를 감소하기 위해서 SRM의 설계에서 회전자와 고정자의 극수는 제한적으로 적용된다. 특히, 전체 시스템의 경제성을 고려하면, 드라이브의 간략화를 위해 2상 전동기의 적용이 유리해지면서, 2상 4/2극 SRM에 대한 고속 전동기의 적용이 연구되고 있다.

2상 4/2극 SRM은 3상 전동기에 비하여 드라이브 구조가 간

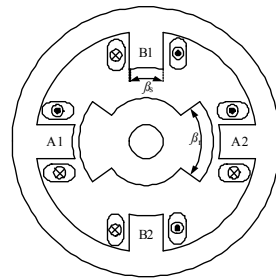
단하고, 전기적인 주파수가 다른 SRM에 비하여 낮은 장점은 있지만, 기존의 구조에서는 발생 토크가 제한적이어서, 자기동이 발생하지 않은 영역이 존재하며, 토크 리플이 매우 심하여 제한적으로 적용되었다.

본 논문에서는 2상 4/2극 SRM이 가지는 자기동 문제와 토크 리플을 억제하기 위한 다양한 전동기의 구조를 제시하며, 각 구조에서 가지는 특징과 장단점을 종합하여 이 중에서 단방향 회전 특성에 유리한 비대칭 가변 공극을 가지는 4/2극 SRM을 설계하고 그 특성을 해석하였다. 제시된 2상 SRM에서 가변 공극은 단 방향 회전 구간에서 영토크 영역을 억제하고 정전류 상태에서 일정한 토크를 발생하도록 공극의 구조가 비선형적으로 가변하는 구조를 가지고 있으며, 공극의 크기는 회전각에 따라 일정한 토크를 발생하도록 설계 되었다.

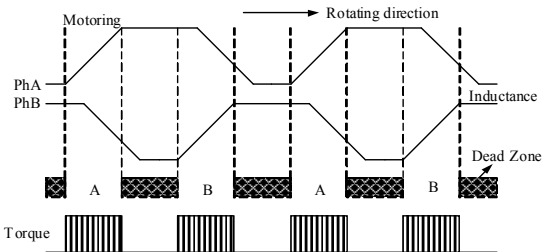
제안된 2상 4/2극 SRM의 특성은 FEM(Finite Element Method)으로 토크 및 인덕턴스 특성이 해석되었다.

2. 일반적인 4/2극 SRM의 특성 해석

그림 1은 일반적인 4/2극 SRM의 구조 및 인덕턴스와 토크 특성을 나타내고 있다.



(a) 일반적인 4/2극 SRM의 구조



(b) 인덕턴스 및 토크 특성

그림 1. 일반적인 4/2극 SRM의 구조 및 특성

Fig. 1 Characteristics of a conventional 4/2 SRM

그림 1에서 SRM은 동일한 공극을 가지는 구조로 설계 되어 있으며, 이에 따라 이상적으로는 선형적인 가변 인덕턴스 구간과 정토크 영역을 가지게 된다. 하지만, 토크 발생영역은 각 상에서 구간적으로 제한되며, 각 상의 중첩구간이 발생하지 않아서 자기동이 실패할 수 있으며, 높은 토크 리플로 인한 소음 및 진동이 매우 심해지는 특성을 가지고 있다.

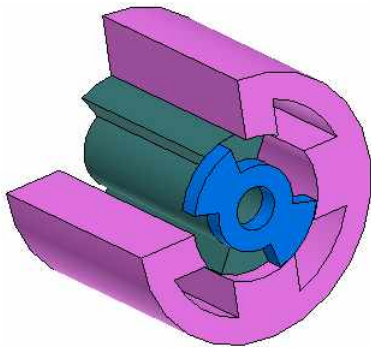
3. 토크 특성을 개선한 4/2극 SRM

그림 1의 일반적인 4/2극 SRM의 문제점은 단방향 회전특성을 가지는 응용분야에서 비대칭 인덕턴스 특성을 구현하기 위한 구조에서 개선될 수 있으며, 본 논문에서는 다양한 4/2극 구조를 제안하고 그 특징을 해석하였다.

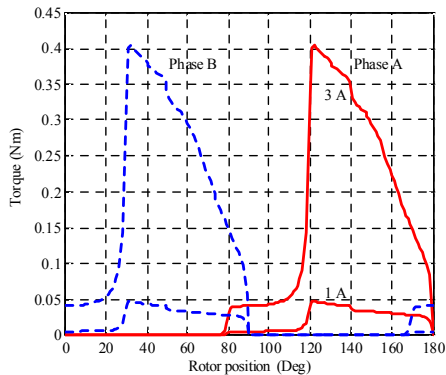
3.1 하이브리드 극 구조의 SRM

그림 2는 하이브리드 극 구조의 SRM을 나타내고 있으며, 하이브리드 극 구조의 SRM은 자기동 특성을 개선하기 위해서 주회전극과 상이한 비틀림을 가지는 다른 회전극을 가지는 구조로 설계된다.

보조극의 비틀림 각도에 따라서, 주회전극 사이에서 보조의 토크를 발생하는 특성을 가지게 되며, 이로 인하여 각 상의 발생 토크에는 중첩이 발생하는 특징이 있다. 하이브리드 극 구조의 SRM은 구조가 비교적 단순하여 제작이 용이한 장점이 있으나, 기계적인 비대칭성이 심하여 전동기의 밸런싱이 일정하지 않으며, 이로 인한 추가적인 기계적 진동과 소음이 증가하는 단점을 가지게 된다.



(a) 하이브리드 4/2극 SRM의 구조



(b) 토크 특성

그림 2. 하이브리드 4/2극 SRM의 구조 및 특성
Fig. 2 Characteristics of a hybrid 4/2 SRM

3.2 가변 인덕턴스형 SRM

그림 3은 자기회로의 공극을 변형하여 토크의 중첩이 발생하도록 설계된 3가지 구조의 SRM을 제안하고 있다.

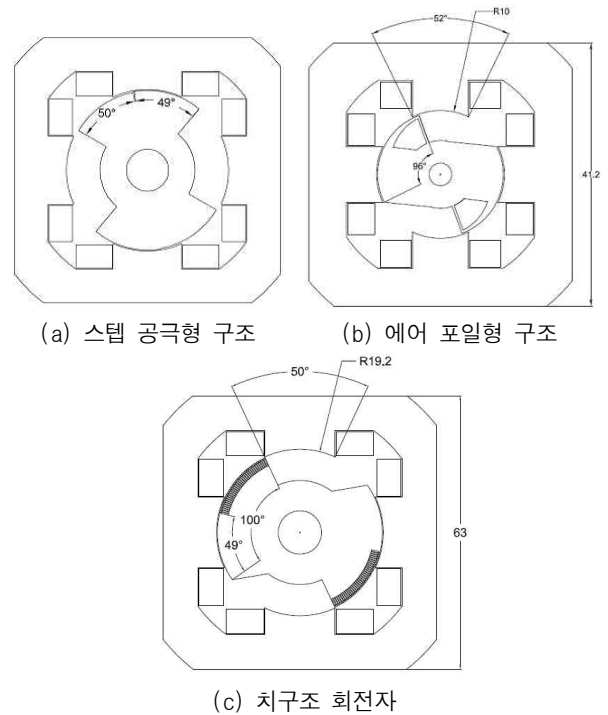
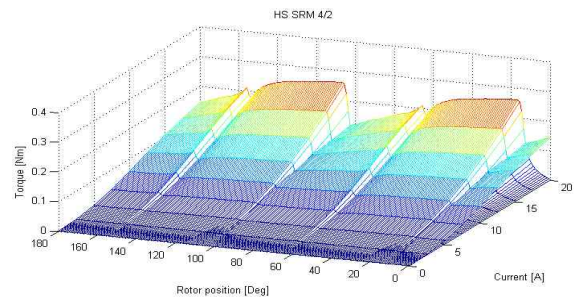


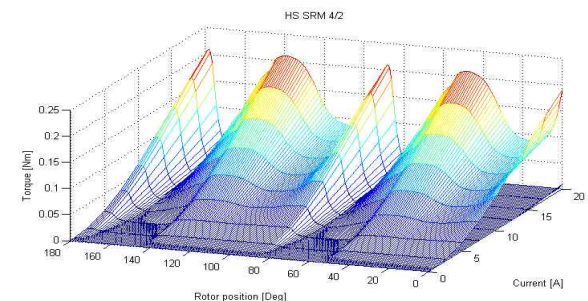
그림 3. 가변 인덕턴스형 4/2극 SRM의 구조
Fig. 3 Varying inductance type 4/2 SRM

그림 3에서 각각의 SRM은 단방향 회전에 적합하도록 회전자와 고정자의 공극이 회전자 위치에 따라 가변적으로 구성된 형상을 가지게 되며, 각 상 토크의 중첩을 위하여 회전자 극의 아크는 90도 이상을 가지도록 설계되고 있다.

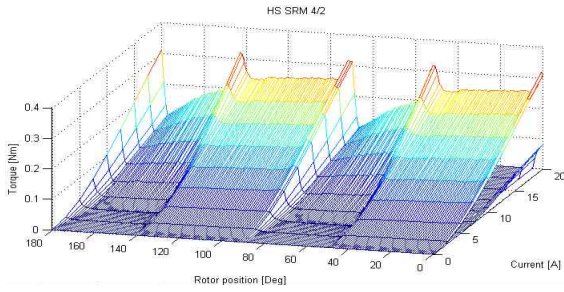
그림 4는 각 구조에 따른 토크 특성을 나타내고 있다.



(a) 스텝 공극형 구조



(b) 에어 포일형 구조



(c) 치구조 회전자
 그림 4. 가변 인덕턴스형 4/2극 SRM의 토크 특성
 Fig. 4 Output torque of the varying inductance 4/2 SRM

그림 4에서 해석된 각 SRM의 토크는 연속적으로 증첩된 토크를 발생하고 있지만, 형상의 구조에 따라서 리플이 다소 크게 나타나고 있으며, 이를 최소화하기 위해서는 각 형상에 적합한 최적의 구조가 제시되어야 한다.

4. 공극형상의 최적화

본 논문에서는 비교적 형상의 최적화에 유리한 스텝형 구조의 회전자에 대하여 평균토크에 대해 2%이하의 토크 오차 내에서 일정한 토크를 발생하기 위한 공극의 형상을 재설계 하였다. 이를 위하여 회전자각에 대하여 0.1도 간격의 노드를 형성하고, 각 노드에 대하여 공극의 증감에 대해 출력 토크를 연속적으로 계산하여 이를 오차 범위내에서 감소시키도록 공극의 변위를 조절하도록 설계하였으며, 공극의 최소 범위는 0.2mm로 하였다.

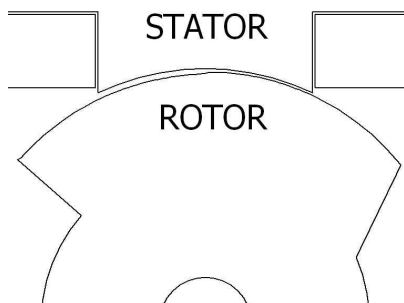
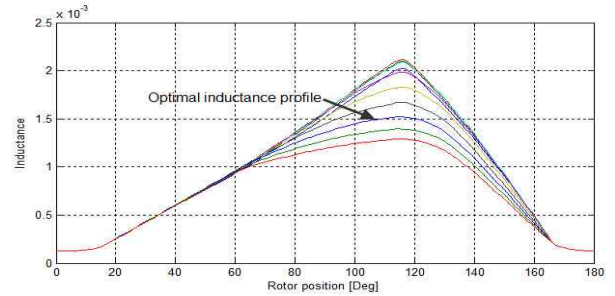


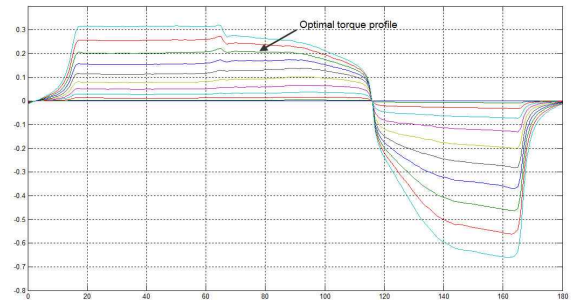
그림 5. 토크 특성 개선을 위한 공극 형상의 최적화
 Fig. 5 Optimal air-gap structure for constant torque

그림 5는 그림 3의 스텝형 회전자 구조에서 토크 리플 억제를 위해 공극의 형상을 최적화 설계한 구조를 나타내고 있다. 그림 5에서 공극은 회전자 위치에 따라 비선형적으로 가변하고 있으며, 스텝이 위치하는 부분의 형상이 비교적 완만한 형상으로 변경됨으로써, 그림 4의 토크 리플이 완만하게 억제되도록 최적화 되었다.

그림 6은 최적화 설계된 4/2극 가변 공극형 SRM의 인덕턴스 및 토크 특성을 나타내고 있다. 그림 6에서 FEM 방식으로 해석된 토크는 그림 4의 구조에서 보여진 토크에 비하여 매우 일정한 토크를 나타내고 있으며, 각 상의 증첩구간도 크게 증가하고 있음을 보이고 있다. 특히 상과 상의 증첩이 발생하는 스텝 구간에서도 매우 부드러운 토크의 연속성을 가지게 되어 고속 운전에 유리한 특성을 보이고 있다.



(a) 인덕턴스 특성 해석



(b) 토크 특성 해석

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

5. 결론

본 논문에서는 고속형 4/2극 SRM의 토크 특성 개선을 위한 4가지 구조의 전동기를 제안하고, 토크 특성의 개선에 적합한 가변 공극형 구조에 대한 최적화 설계를 수행하였다. 가변 공극형 구조는 다른 구조에 비하여 비교적 최적화 요소가 단순하여 형상 설계가 용이하며, 설계된 가변 공극형 구조의 해석에 있어서 기존의 방식에 비해 토크 특성이 크게 개선됨을 보이고 있다.

이 논문은 에너지 자원 기술개발 사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었습

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.