

서스펜션 포스 극을 가지는 베어링리스 SRM의 특성

Huijun Wang , 김태형 , 박태홍 , 이동희 , 안진우
경성대학교

Characteristic Analysis of Bearingless SRM with Hybrid Stator Poles

Huijun Wang , Tae-Hyoung Kim , Tae-Hub Park , Dong-Hee Lee , Jin-Woo Ahn
Kyungshung University

Abstract - In this paper a novel bearingless switched reluctance motor (BLSRM) with hybrid stator poles is proposed. The operating principle of the proposed motor is presented. Further one prototype motor is designed and manufactured. Compared with existing BLSRM, it has many advantages such as lower number of switches and cost, simpler control algorithm, lower thermal load. Meanwhile through finite element method (FEM) characteristics of the proposed structure such as inductance, torque and radial force can be obtained. According to the FEM results, the above advantages of the proposed structure can be verified.

1. 서 론

산업의 자동화 및 고도화가 진행됨에 따라 분자펌프, 원심분리기, 항공기등과 같은 산업분야에서는 높은 속도에서 구동이 가능한 전동기가 요구되고 있으며, 이에 적합한 전동기구조로 단순한 기구적 구조를 가진 스위치드 릴럭턴스전동기(Switched Reluctance Motor, 이하 SRM)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. SRM은 이중돌극형과 고정자에만 권선이 위치한 집중권 방식의 전동기구조이다. 고정자권선에서 발생한 자속에 의한 릴럭턴스에 의해 토크가 발생하므로 타전동기와 달리 회전자에 자속을 생성하기 위한 영구자석 및 권선이 존재하지 않는다. 따라서 기계적으로 강인하며, 고속운전에 대해 안정적이다.[1][2][3]

실제 고속운전에서는 전동기의 전기적인 속도 특성의 기계적인 부분에서의 제약이 받게 되는데, 이중 하나가 회전자를 지지하는 기계적인 베어링이다. 일반적으로 베어링을 이용한 전동기구조의 경우 고속 또는 초고속운전에서 고속운전에서 베어링의 마찰과 이에 따른 진동소음등 많은 문제를 발생시키게 된다. 또한 이러한 베어링의 마모로 인하여 전체 전동기의 기구적 문제가 발생하게 되고, 시스템의 운전 효율을 떨어트리며 유지보수의 문제도 발생하게 된다.

이러한 고속 구동에서의 문제점을 극복하기 위해 최근 기계적인 베어링을 제거하고 전자기적으로 회전자를 부상시켜 구동을 수행하는 베어링리스 스위치드 릴럭턴스 전동기(Bearingless Switched Reluctance Motor, 이하 BLSRM)에 대해 제안되었으나, 제어가 복잡하고 구동에 제한 조건이 많다는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 하이브리드 구조를 가지는 새로운 형태의 BLSRM을 제안하였다. 제안된 BLSRM의 경우 일반적인 BLSRM에 비해 전력변환기를 구성하는데 필요한 소자의 수가 적어 가격이 낮고, 제어가 단순하다. 또한 축방향의 힘을 발생시키기 위한 전류가 기존에 비해 적게 요구되어 열이 적게 발생하며, 연속적이고 일정한 축방향의 힘을 발생시킬 수 있다는 장점을 가지고 있다.

본 논문에서는 제안된 하이브리드 형태의 BLSRM의 성능을 검증하기 위하여 일반적인 BLSRM과 제안된 하이브리드 형태의 BLSRM을 유한요소해석을 통해 분석하여, 제안된 기법의 효용성을 검증하였다.

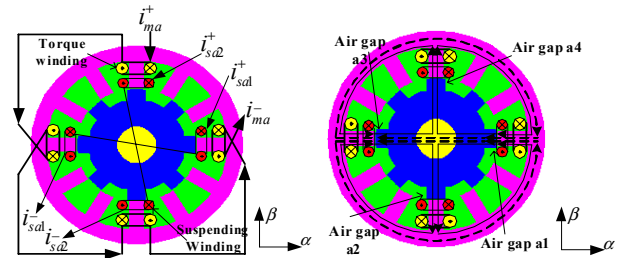
2. 제안된 하이브리드 극구조의 BLSRM의 특성

2.1 일반적인 BLSRM의 원리 및 문제점

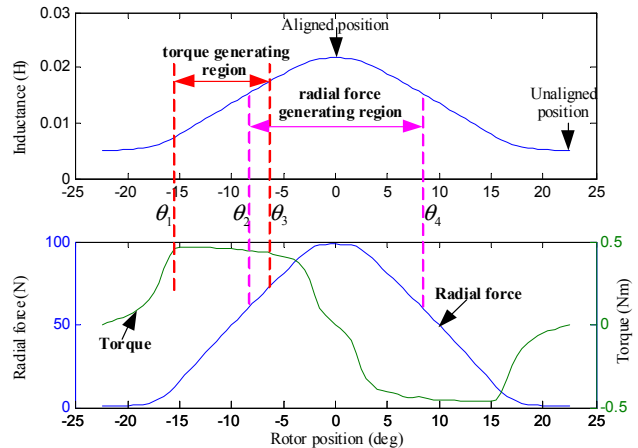
그림 1은 일반적으로 제안되고 있는 BLSRM 중 일반적인 형태로 알려져 있는 2중권선형의 BLSRM에 대해 나타내고 있다. 그림과 같이 2중 권선형 BLSRM의 경우 고정자를 구성하고 있는 각 극에 회전자를 부상시키는 자속을 발생시켜주는 권선과 회전력에 필요한 자속을 발생시키는 권선이 함께 위치하여 있다. 만일 토크권선에 전류가 흐르지 않는다면 회전자에 대한 축방향지지력을 발생시킬 수 없음을 의미하고 있다.

그림 2는 일반적인 BLSRM의 회전자 위치에 따른 인덕턴스 프로파일과 축 방향으로 발생하는 힘, 토크를 유한요소해석법을 이용하여 나타

낸 것이다. 그림에서 회전자의 위치가 θ_1 과 θ_3 사이의 구간은 회전력을 발생시킬 수 있는 구간이며, θ_2 와 θ_4 사이에서는 회전자의 지지를 위한 축방향 지지력을 발생시킬 수 있는 구간임을 알 수 있다. 회전력과 축방향 힘을 발생시킬 수 있는 중첩구간은 θ_2 에서 θ_3 까지이다. 이상적으로 중첩구간에서는 충분한 토크와 축방향 힘을 생성하는데 최적이다. 그러나 SRM의 토크와 축방향 힘의 고유특성 때문에 중첩 구간이 매우 짧고, 일반적인 구조에서는 구동점의 선택을 토크와 축방향지지력의 절충에 의해 선택되어 지므로 토크와 축방향지지력을 동시에 발생시키는 중첩구간을 전체적으로 사용하기 어렵다.



(a) Basic structure (b) operating principle
〈그림 1〉 일반적인 BLSRM

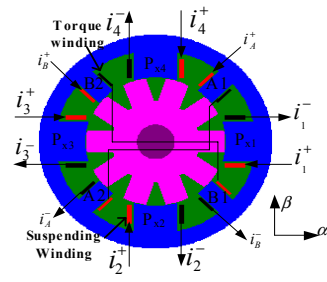


〈그림 2〉 일반적인 BLSRM의 인덕턴스, 토크, 축방향 지지력

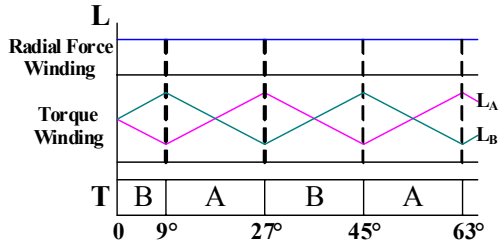
2.2 제안된 하이브리드 극 구조의 BLSRM

그림 3은 본 논문에서 제안된 하이브리드극 구조를 가지는 BLSRM의 구조를 나타내고 있다. 제안된 BLSRM의 경우 토크를 발생시키는 자속을 생성하는 A, B 두상이 존재하고 각상은 A1, A2와 B1, B2의 두개의 극에 각각 직렬로 연결한 구조를 가지고 있다. 또한 축방향 힘을 발생시켜 회전자를 부상시키기 위해 4개의 극 즉 Px1, Px2, Px3, Px4가 위치해 있으며, 각 극은 회전자를 지지하기 위해 개별적으로 제어된다. 그림 4는 제안된 BLSRM에서 회전자위치에 따라 발생하는 축방향 힘과 토크를 발생시키는 A상과 B상의 인덕턴스 프로파일을 나타내고 있다. 제안된 BLSRM은 회전자의 위치에 관계없이 일정한 축방향 힘을 생성하여 회전자를 부상시킬 수 있으며, 이와 별개로 토크를 생성하는 A상과 B상의 여자 위치에 따라 회전방향 및 발생하는 토크의 크기를 제어할 수 있다. 제안된 BLSRM의 경우 일반적인 BLSRM에서 요구되는 18개

의 스위칭소자보다 적은 12개의 소자를 이용하므로 저가의 베어링리스 시스템을 구현할 수 있다.

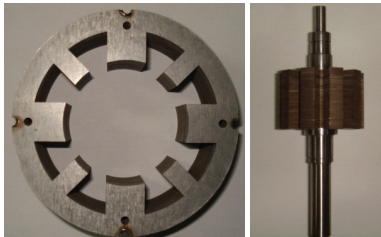


〈그림 3〉 제안된 BLSRM의 구조

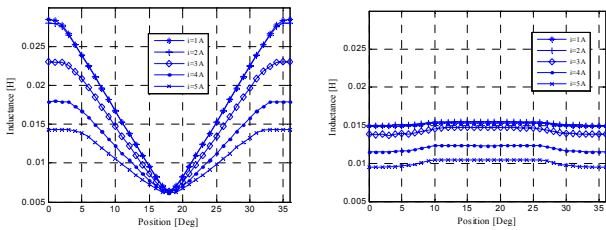


〈그림 4〉 회전자위치에 따른 제안된 BLSRM의 동작특성

그림 5는 제안된 BLSRM의 실제 외형을 나타내고 있다. 그림 5에서 넓은 폭의 구조를 가지는 극이 축방향으로 힘을 발생시키는 권선이 위치하며, 이 극은 회전자 1극의 피치에 해당하는 넓이를 가지고 있어 모든 위치에서 일정한 축방향 힘을 발생 시키게 된다. 그림 6은 제안된 BLSRM의 인덕턴스 프로파일을 유한요소해석을 이용하여 분석한 결과이다.

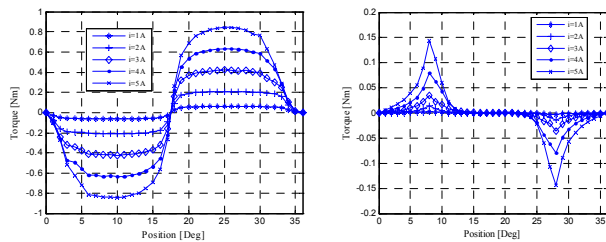


〈그림 5〉 제작된 BLSRM



(a) Torque winding (b) Radial force winding

〈그림 6〉 제안된 BLSRM의 인덕턴스 프로파일

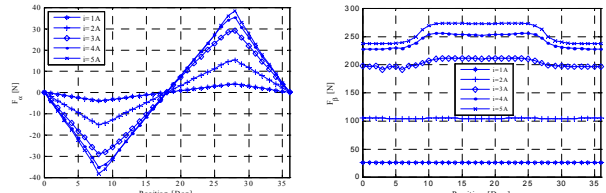


(a) Torque winding (b) Radial force winding

〈그림 7〉 제안된 BLSRM의 토크 특성

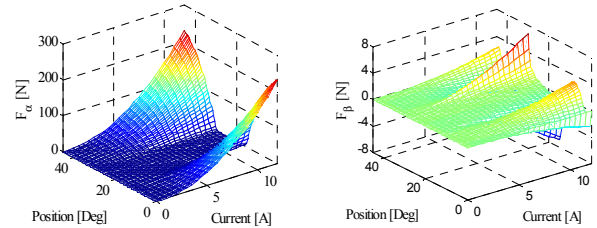
제안된 BLSRM의 경우 그림 6과 같이 회전자 위치에 따른 인덕턴스 변화가 거의 없으며, 따라서 축방향 힘을 발생시키는 코일에 의한 토크는 적다. 또한 그림 8에서와 같이 회전자의 위치에 따라 수직방향으로

일정하게 힘이 발생하므로 일정하게 회전자의 부상력을 유지할 수 있다. 또한 그림 9와 그림 10에서와 같이 적은 전류에도 큰 축방향 지지력을 발생시킬 수 있어 권선에서 발생하는 저항열이 감소됨을 알 수 있다.



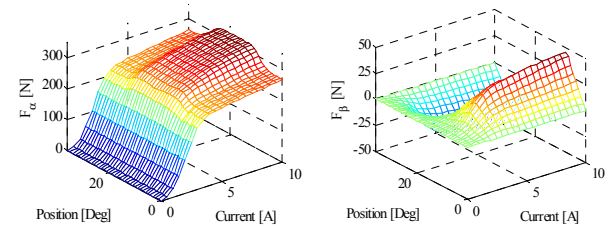
(a) Force in α -direction (b) Force in β -direction

〈그림 8〉 제안된 BLSRM의 회전자위치에 따른 축방향별 발생력



(a) Force in α -direction (b) Force in β -direction

〈그림 9〉 일반적인 BLSRM의 전류에 따른 축방향 힘



(a) Force in α -direction (b) Force in β -direction

〈그림 10〉 제안된 BLSRM의 전류에 따른 축방향 힘

3. 결 론

일반적으로 기계적 베어링을 채용한 전동기구의 경우 고속 및 초고속 운전시 베어링의 기계적 마찰로 인한 마모 및 효율저하의 문제를 가지게 된다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 고속의 운전이 적합한 SRM에서 기계적인 베어링을 제거한 새로운 형태의 BLSRM을 제안하였다. 제안된 BLSRM의 경우 회전자를 부상시키기 위한 축방향 지지력을 생성하는 고정자극과 토크를 발생시키는 고정자극의 형상을 다르게 구성하여 회전자의 변화와 무관하게 일정한 축방향 지지력을 발생시키고, 일반적인 형태의 BLSRM에 비해 낮은 전류에도 큰 축방향 지지력을 얻을 수 있는 장점을 가지며 시스템을 구성하기 위한 비용 또한 낮다. 제안된 BLSRM과 일반적인 BLSRM을 유한요소해석을 통하여 특성을 비교분석하였으며 이를 통하여 효용성을 검증하였다. 향후 제작된 BLSRM을 통하여 성능에 대한 검증을 수행할 계획이다.

본 연구는 2007년 Brain Busan 21사업 지원에 의해 수행되었음.

[참 고 문 헌]

[1] M. Takemoto, A. Chiba, H. Akagi and T. Fukao, "Radial Force and Torque of a Bearingless Switched Reluctance Motor Operating in a Region of Magnetic Saturation" in Conf. Record IEEE-IAS Annual Meeting, 2002, pp. 35-42.
 [2] Li Chen, Wilfried Hofmann, "Analytically Computing Winding Currents to Generate Torque and Levitation Force of a New Bearingless Switched Reluctance Motor", in Proc.12th EPE-PEMC, Aug, 2006, pp. 1058-1063.
 [3] Carlos R. Morrison. Bearingless Switched Reluctance Motor. U.S. Patent 6,727,618, 2004.