

새로운 하이브리드 극 구조의 베어링리스 SRM 설계 및 운전특성

論 文

57-12-11

A Design and Driving Characteristics of Novel Hybrid Pole Bearingless SRM

李 東 熙* · 王 惠 軍** · 安 永 珠*** · 安 珍 雨†
(Dong-Hee Lee · Huijun-Wang · Young-Joo An · Jin-Woo Ahn)

Abstract - Bearingless SRM(Switched Reluctance Motor) is researched for high speed or special applications which can not use mechanical bearing such as bio pump. In this paper, a novel hybrid pole bearingless SRM is presented. The proposed hybrid pole bearingless SRM has salient poles for torque and suspending force production. Motor torque is controlled by the phase currents in torque pole windings, and the suspending force is controlled by suspending currents in four suspending windings for radial direction suspension. Because the proposed bearingless SRM has divided pole structure, mutual effects between torque current and suspending current are very lower than the conventional one's. From this structure, the number of power devices for power converter can be reduced for bearingless SRM driving. The proposed hybrid pole bearingless SRM is verified by the FEM analysis and experimental results.

Key Words : Bearingless, SRM, Hybrid pole, Suspending force, Radial force

1. 서 론

최근 자동차 및 의료장비나 바이오 관련 산업과 반도체 장치 및 항공우주와 군사 분야에서 특수 전동기 수요가 크게 증가하고 있다. 특히, 초고속 회전을 필요로 하는 동작기기의 연삭기, 티보 분자 펌프 등과 같은 응용분야와 기계적인 베어링을 사용할 수 없는 혈액펌프, 바이오 펌프와 같은 의료기기 분야에서 베어링리스 전동기에 대한 요구가 크게 증가하고 있다[1-2]. 베어링리스 전동기는 일반적인 전동기에서 기계적인 베어링으로 지지하는 구조와 달리, 전동기 자체에서 회전력을 발생하는 구동 토크와 회전자를 일정 공극으로 지지하기 위한 축방향 지지력을 동시에 발생시키는 형태의 전동기이다[3-5]. 축방향 지지력은 기존의 전동기에서 사용하고 있는 베어링을 제거하고, 고정자 권선에서 자속을 형성하여 제어함으로써, 일정한 공극을 가지도록 한다. 베어링리스 전동기는 기존의 에어 베어링 또는 자기베어링 시스템과 달리, 고정자 권선 자체에서 축방향 지지력을 발생하도록 설계 되어 있기 때문에 자기베어링이나, 에어베어링을 설치하기 위한 별도의 공간이 필요하지 않으므로 전동기의 크기를 감소시킬 수 있으며, 시스템이 복잡하지 않고 매우 경제적인 장점이 있다[6-9].

베어링리스 SRM(Switched Reluctance Motor)은 기계적

인 구조가 단순하고, 축방향 지지력에 대한 영구자석의 감자 특성이 존재하지 않는 장점으로 인하여 많은 연구가 진행되고 있다[3-8]. 기존의 베어링리스 SRM의 경우에는 고정자 극에 토크를 발생하기 위한 권선과 축방향 지지력을 발생하는 권선을 같이 배치함으로써, 상호간의 간섭이 크게 발생하는 단점을 가지고 있다. 또한, 축방향 지지력을 발생하는 구간과 토크를 발생하는 구간이 상호 중복되므로 연속적인 지지력의 발생을 위해서는 토크 발생영역을 제한적으로 사용하게 된다. 이로 인하여 일정한 토크의 발생이 어렵고, 효율도 크게 감소하는 문제가 발생한다.

본 논문에서는 연속적인 토크의 발생과 축방향 지지력의 발생이 가능한 새로운 하이브리드 극 구조의 베어링리스 SRM을 제안한다. 제안된 하이브리드 극 구조의 베어링리스 SRM은 토크를 발생하는 고정자극과 회전자의 지지력을 발생하는 고정자극을 상호 분리하여 설계하고, 각각의 고정자극에 토크를 발생하는 상권선과 회전자 지지력을 발생하는 권선을 별도로 설치하게 된다. 이때, 안정적이고 연속적인 회전자 지지력을 발생시키기 위하여 회전자 지지력을 발생하는 극의 구조는 회전자의 극 구조를 고려하여 극호각이 설계되며, 수평축 α -방향과 수직축 β -방향에 대하여 각각 대칭적인 극 구조를 가지도록 설계하였다. 따라서, α -방향의 두 권선은 각각의 권선에 흐르는 전류에 따라 좌우의 수평방향으로 회전자를 이동시키는 지지력을 발생하게 되며, β -방향의 극권선 전류는 상하의 수직방향으로 회전자를 이동시키는 지지력을 발생하게 된다. 두 방향 지지극 사이의 고정자극은 주토크를 발생시키는 구조로 설계되며, 실제 토크는 지지극 사이의 고정자극과 회전자극 사이의 릴럭턴스에 의해 발생하게 된다.

제안된 베어링리스 SRM은 회전자의 지지력을 발생하는 극과 토크극이 구조적으로 분리되어 있으므로 각 권선에서

* 正 會 員 : 경성대학교 전기전자메카트로닉스 공학부 조교수

** 正 會 員 : 경성대학교 공과대학 박사과정

*** 正 會 員 : 부경대학교 제어계측공학부 부교수

† 교신저자, 正 會 員 : 경성대 전기전자메카트로닉스 공학부 교수

E-mail : jwahn@ks.ac.kr

接受日字 : 2008년 7월 30일

最終完了 : 2008년 8월 28일

발생하는 전류에 의한 상호작용이 기존의 베어링리스 SRM에 비하여 매우 작고, 연속적인 토크와 회전자 지지력의 발생이 가능한 장점이 있다. 또한 시스템을 구동하기 위한 스위칭 소자의 수가 감소하는 특징을 가지게 된다.

제안된 베어링리스 SRM은 FEM 해석 및 수치해석과 실험을 통하여 그 유효성을 검증하였다.

2. 일반적인 베어링리스 SRM

그림 1은 기존의 일반적인 베어링리스 SRM에서 한상에 대한 토크 권선과 회전자 지지력을 발생시키는 권선의 구조를 나타내고 있다.

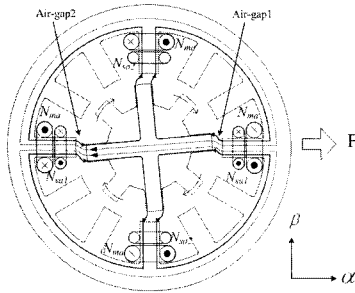


그림 1 일반적인 베어링리스 SRM의 구조
Fig. 1 Conventional bearingless SRM

그림 1에서 N_{ma} 는 회전토크 발생을 위한 A상의 주권선을 나타내고, N_{sa1} 과 N_{sa2} 는 축방향 지지력을 발생하기 위한 A상의 보조권선을 나타내고 있다. 그림 1에서 주권선 N_{ma} 는 4개의 코일이 직렬로 연결되어 있으며, 보조권선 N_{sa1} 와 N_{sa2} 는 각각 2개의 코일이 직렬로 감겨져 있다. A상과 마찬가지로 B상 C상에 대해서도 주 권선과 보조권선이 A상과 같은 방식으로 감겨져서 정렬된다. 그림 1에서 굵은 실선 부분은 주권선 N_{ma} 에 흐르는 전류 i_{ma} 에 의한 각 극에서의 자속을 나타내고 있으며, 점선은 보조권선 N_{sa1} 에 흐르는 전류 i_{sa1} 에 의한 쇄교자속을 나타내고 있다. 주권선 전류와 보조권선 전류에 의한 합성 자속은 그림 1의 공극 1(Air-gap1)에서는 합성자속이 증가하고, 공극 2(Air-gap2)에서는 합성자속이 크게 감소하게 된다. 따라서, 각 공극에서의 합성자속의 차에 의하여 α 축 방향으로 축방향 지지력이 발생하게 된다. 이와 마찬가지로 i_{ma} 와 보조권선 N_{sa2} 에 흐르는 전류 i_{sa2} 에 의한 합성자속에 의한 β 축 방향으로 지지력을 발생시킬 수 있으며, 이러한 회전자 지지력의 방향은 회전자 위치에 따라 보조권선에 흐르는 전류의 크기와 방향을 제어함으로써, 일정하게 유지시킬 수 있다.

하지만, 그림 1의 베어링리스 SRM에서 토크를 발생시키기 위한 자속과 자기 부상력을 발생시키는 자속이 서로 상호 작용을 하게 되므로, 두 가지를 동시에 제어하기는 매우 어렵다. 그림 2는 일반적인 베어링리스 SRM의 토크 및 회전자 지지력 특성을 나타내고 있다. 그림 2의 베어링리스 SRM의 토크 및 회전자 지지력 특성에서 한 상의 극 구조에서 회전자 지지력과 토크 발생영역이 상호 중복되는 구간이 발생하게 되는데, 이 구간에서는 토크 또는 회전자 지지

력 중 하나를 선택적으로 사용하여야 한다. 따라서, 안정적인 회전자 지지력을 발생시키기 위해서는 토크 발생영역을 제한적으로 활용하게 되므로, 토크 리플이 증가하고, 운전 효율이 감소하게 된다.

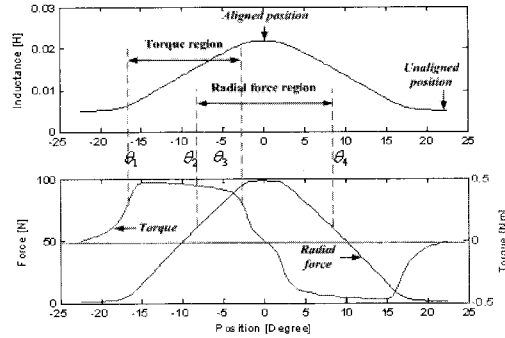


그림 2 일반적인 베어링리스 SRM의 토크 및 지지력 특성
Fig. 2 Torque and radial force in conventional bearingless SRM

3. 제안된 하이브리드 극 구조의 베어링리스 SRM

그림 3은 본 논문에서 제안하는 하이브리드 극 구조의 베어링리스 SRM의 구조를 나타내고 있다.

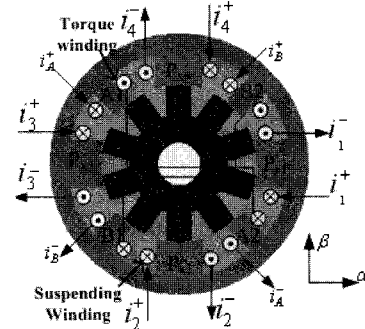


그림 3 제안된 베어링리스 SRM의 구조
Fig. 3 Proposed bearingless SRM

그림 3의 제안된 SRM은 8/10극의 구조를 가지고 있으며, 이 중에서 P_{x1} 과 P_{x2} 는 α 축 방향의 지지력을 발생하기 위한 권선이며, P_{x3} 와 P_{x4} 는 β 축 방향의 지지력을 발생하기 위한 권선을 나타낸다. 또한 A_1 과 A_2 는 A상 권선을 의미하며, B_1 과 B_2 는 B상 권선을 나타내고 있다. 즉, 제안된 베어링리스 SRM은 실제 A상과 B상의 권선 전류에 의해 토크를 발생시키는 2상 SRM이며, 나머지 P_{x1} , P_{x2} , P_{x3} 및 P_{x4} 는 회전자 지지력을 발생하게 된다. 제안된 방식에서는 회전자 지지력을 발생시키는 권선과 토크를 발생시키는 상권선이 상호 분리되어 있으므로, 기존의 베어링리스 SRM에서 문제가 되는 토크 발생영역의 제한이 해결될 수 있다.

이때, 회전자의 지지력은 고정자 극과 회전자 극의 상호 작용에 의해 발생되므로, 연속적인 회전자 지지력을 발생시키기 위해서는 고정자 극호에 대한 고려가 반드시 필요하게

된다. 본 논문에서 제안된 베어링리스 SRM에서는 회전자극과 고정자극의 상호작용을 해석하여, 회전자 지지력을 발생하는 고정자 극의 극호각이 그림 4와 같이 회전자 극피치가 되도록 설계하였다. 따라서, 회전자극이 α 축 방향의 고정자극이 접근하여 불일치 위치에서 일치하는 위치로 접근하였다가 다시 완전 불일치 위치로 멀어지게 되면, 인접한 회전자극이 다시 일치하는 위치로 접근하게 되므로 연속적인 자기회로의 구성이 가능하게 된다.

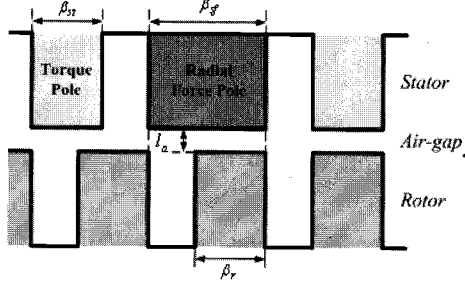
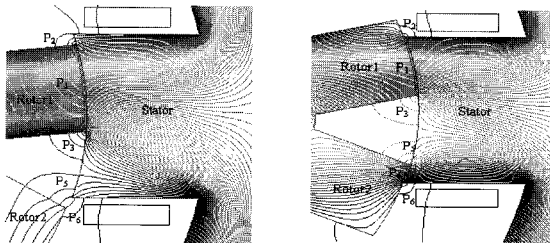


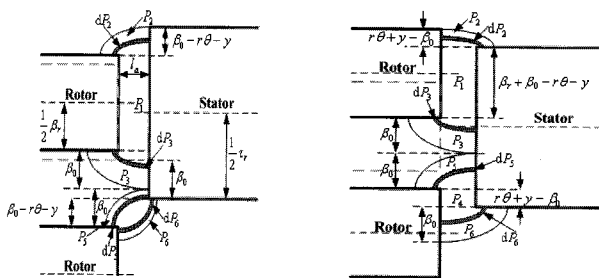
그림 4 제안된 하이브리드 극 구조
Fig. 4 Proposed hybrid pole

그림 5와 그림 6은 회전자 지지력을 발생하는 고정자극과 회전자극의 상호작용을 나타내고 있다.



(a) 한 극에 인접한 경우 (b) 두 극에 인접한 경우

그림 5 회전자 위치에 따른 자속 분포
Fig. 5 Flux distribution according to rotor position



(a) 한 극에 인접한 경우 (b) 두 극에 인접한 경우

그림 6 회전자 위치에 따른 자기회로 해석
Fig. 6 Analysis of magnetic circuit according to rotor position

그림 5(a)와 그림 6(a)는 고정자 극이 회전자의 한 극에 대하여 일치한 위치에 존재하고 있으며, 그림 5(b)와 그림 6(b)는 고정자 극에 대하여 두 개의 회전자 극이 일치하는 위치에 존재하고 있다. 그림 5와 그림 6에서 회전자 지지력

을 발생하는 고정자의 환극은 반드시 회전자의 극호각 만큼 연속적으로 자기회로를 구성하도록 설계되어 있음을 알 수 있다.

그림 6에서 β_r 은 회전자의 극호각을 나타내고 있으며, τ_r 은 회전자 지지력을 발생하기 위한 고정자 극의 극피치를 의미한다. 또한 y 는 β 축 방향으로의 이동 거리를 나타내고 있으며, $\beta_0 = \frac{\tau_r - \beta_r}{2}$ 의 관계에 있다. 회전자 위치를 θ_r 이라 하고, 회전자의 반경을 r 이라고 표기하였다. 해석의 편의를 위하여 전동기의 구조는 완전대칭으로 가정하였다. 그림 6의 자기 회로해석에서 각각의 경우에 대한 공극의 퍼미언스(Permeance) P_{x1} 은 다음과 같이 계산된다.

case 1 : $r\theta + y \leq \beta_0$

$$P_{x1} = \frac{\mu_0 l \beta_r}{l_0 - x + \frac{y\theta}{2}} + 3 \frac{\mu_0 l}{a\pi - 2} \left[a \ln \frac{a l_0 + \beta_0}{a l_0} + \frac{a\pi - 4}{\pi} \ln \frac{2l_0 + \pi\beta_0}{2l_0} \right] - \frac{\mu_0 l}{a\pi - 2} \left[a \ln \frac{a l_0 - r\theta - y + \beta_0}{a l_0} + \frac{a\pi - 4}{\pi} \ln \frac{2l_0 + \pi(-r\theta - y + \beta_0)}{2l_0} \right] \quad (1)$$

case 2 : $\beta_0 \leq r\theta + y \leq \beta_0 + 0.5\beta$

$$P_{x1} = \frac{\mu_0 l \beta_r}{l_0 - x + \frac{y\theta}{2}} + 3 \frac{\mu_0 l}{a\pi - 2} \left[a \ln \frac{a l_0 + \beta_0}{a l_0} + \frac{a\pi - 4}{\pi} \ln \frac{2l_0 + \pi\beta_0}{2l_0} \right] + \frac{\mu_0 l}{a\pi - 2} \left[a \ln \frac{a l_0 + r\theta + y - \beta_0}{a l_0} + \frac{a\pi - 4}{\pi} \ln \frac{2l_0 + \pi(r\theta + y - \beta_0)}{2l_0} \right] \quad (2)$$

단, l 은 코어의 축방향 길이를 나타내며, μ_0 는 공기 투자율이고, l_0 는 α 및 β 방향의 변위가 없는 경우의 공극을 나타낸다. a 는 유한요소해석(FEM)을 위한 계수를 의미한다.

또한, 공극의 축방향 변위는 중심 공극 l_0 로부터 다음과 같다.

$$l_x = l_0 - x + \frac{y\theta}{2} \quad (3)$$

또한, 공극의 투자율은 일정하므로, 퍼미언스는 전동기의 치수 및 변위의 함수로 되며, 공극에서의 자기에너지는 다음과 같이 표현된다.

$$W_x = \frac{1}{2} Li^2 = \frac{1}{2} P(x) i^2 \quad (4)$$

단, N 은 권선 턴수이며, i 는 권선 전류를 나타낸다.

따라서, P_{x1} 극에서 축방향 지지력 F_α 와 F_β 는 공극의 자기에너지로부터 각 α 방향 변위 x 와, β 방향 변위 y 에 대하여 다음과 같이 계산된다.

$$F_\alpha = \frac{\partial W_{x1}}{\partial x} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial P_{x1}}{\partial x} (N \cdot i)^2 \quad (5)$$

$$F_\beta = \frac{\partial W_{x1}}{\partial y} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial P_{x1}}{\partial y} (N \cdot i)^2 \quad (6)$$

그림 7과 그림 8은 유한요소해석과 간략화된 자기회로의 수치해석에 의한 P_{x1} 극에서의 회전자 위치에 따른 축방향

지지력을 해석한 결과이다. 그림에서 P_{x1} 극은 α 방향의 지지력을 생성하기 위한 극이며, 해석 결과에서 α 축 방향의 지지력 F_α 가 지배적으로 생성됨을 알 수 있다. 해석 결과에서는 기존의 베어링리스 SRM에서 나타나는 α 방향과 β 방향의 상관관계가 매우 적게 나타남을 보이고 있다. 이는 β 축방향 권선의 전류에 대한 α 축 방향의 지지력 상관관계도 매우 약하게 나타나므로, 공극의 제어에 매우 유리함을 알 수 있다.

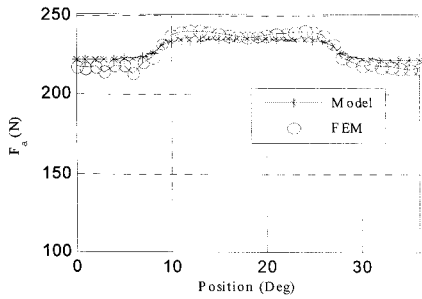


그림 8 P_{x1} 극에서의 α 축 방향의 지지력
 Fig. 8 Suspending force of α -direction in P_{x1} pole

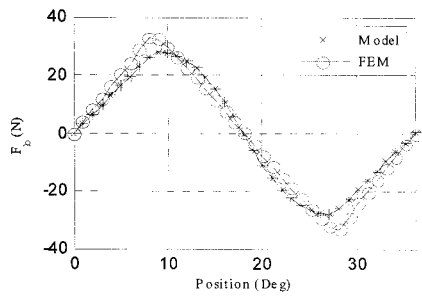
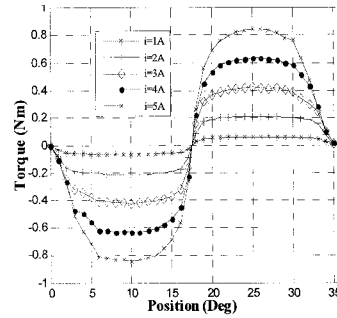


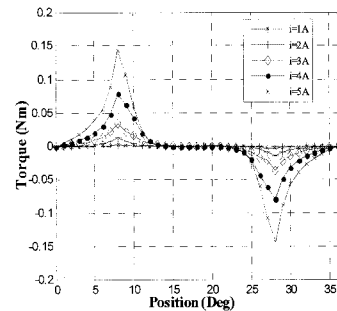
그림 9 P_{x1} 극에서의 β 축 방향의 지지력
 Fig. 9 Suspending force of β -direction in P_{x1} pole

그림 10은 토크를 발생하기 위한 권선 전류에 대한 발생 토크와 상호자속에 의한 지지력을 발생하는 극에서의 발생 토크를 해석한 결과이다. 회전자 위치에 따라 P_x 극에서도 일부 토크가 발생되기는 하지만, 토크를 발생하는 주 권선에서의 토크에 비하여 매우 약하며, 이러한 특성은 기존의 베어링리스 SRM에 비하여 매우 우수하게 나타나고 있다.

그림 11은 기존의 베어링리스 SRM과 제안된 베어링리스 SRM 구조에서의 회전자 위치에 대한 축방향 지지력을 상호 비교한 유효요소해석 결과이다. 해석 결과에서 기존의 베어링리스 SRM의 경우 회전자 위치에 대하여 축방향 지지력이 매우 비선형적으로 나타나지만, 제안된 방식에 있어서는 기존의 베어링리스 SRM에 비하여 높은 선형성을 가지고 있음을 보이고 있다. 즉, 제안된 하이브리드 극 구조의 베어링리스 SRM은 기존의 베어링리스 SRM에 비하여 축방향 지지력의 상호 연관성이 낮아 독립적인 제어가 가능하며, 축방향 지지력의 선형성이 높아 제어에 용이함을 알 수 있다. 또한 제안된 극 구조에서는 연속적인 토크 및 지지력의 발생이 가능한 구조로 설계 되었으므로, 공극의 제어 및 운전에 매우 용이하다.

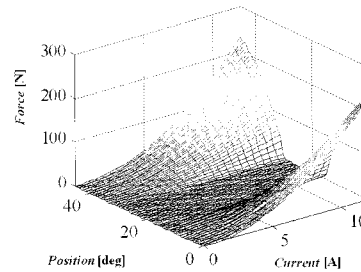


(a) 토크 권선에서의 발생 토크

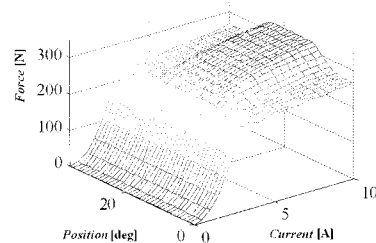


(b) Radial force 권선에서의 발생 토크

그림 10 제안된 베어링리스 SRM의 토크 특성
 Fig. 10 Torque characteristics of the proposed BLSRM



(a) 기존의 베어링리스 SRM



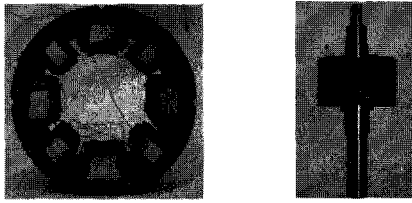
(b) 제안된 베어링리스 SRM

그림 11 축방향 지지력 해석 결과
 Fig. 11 Analysis results of radial force

4. 실험결과

제안된 하이브리드 극 구조의 베어링리스 SRM의 유효성을 검증하기 위하여 제작된 프로토타입의 베어링리스 SRM에 대하여 실험을 수행하였다.

그림 12와 표 1은 실험을 위하여 제작된 프로토타입의 베어링리스 SRM의 구조와 주요부의 치수를 나타내고 있다.



(a) 고정자 구조 (b) 회전자 구조

그림 12 제안된 베어링리스 SRM의 고정자 및 회전자
Fig. 12 Stator and rotor of the proposed bearingless SRM

표 1 프로토타입 베어링리스 SRM의 주요치수

Table 1 Specifications of the prototype BLSRM

Parameter	Value
Number of Stator Poles	8
Number of Rotor Poles	10
Turns of main winding	80
Turns of radial force winding	80
Pole arc of stator for torque [deg]	18
Pole arc of stator for radial force[deg]	36
Pole arc of rotor [deg]	18

실험을 위한 제어기는 TI사의 TMS320F2812-150MHz를 사용하여 구성하였으며, 토크를 제어하기 위한 2상 비대칭 컨버터와 회전자 축방향 지지력을 제어하기 위한 H-브릿지 컨버터로 구성하였다. 회전자 공극은 갭센서(gap sensor)를 사용하여 각각 α 방향과 β 방향의 공극을 검출하고 있으며, 검출된 공극은 DSP에 내장된 12비트 AD 컨버터를 통하여 입력된다. 회전자의 속도는 엔코더를 통하여 검출하고 있으며, 공극 제어와 회전자의 속도는 독립적으로 제어될 수 있다.

그림 13은 본 논문에서 적용한 베어링리스 SRM의 제어 구조를 나타내고 있다. 그림 13에서, 공극을 일정하게 제어하기 위해서 갭센서로부터 검출된 실제 공극과 α 및 β 축의 지령 공극과의 오차를 통하여 축방향 지지력의 지령값을 결정하고, 이 지령치와 계산된 축방향 지지력의 오차에 따라 히스테리시스 스위칭 방식에 의해 P_{x1} , P_{x2} , P_{x3} 및 P_{x4} 권선의 전류를 제어하게 된다. 회전자 속도를 제어하기 위해서는 축방향 지지력 권선의 전류에 의한 토크와 토크극 권선에서의 전류에 의한 토크를 룩-업 테이블을 통하여 계산하고, 속도 제어기의 출력과 실제 토크를 비교하여 비대칭 컨버터의 스위칭 패턴을 제어하게 된다.

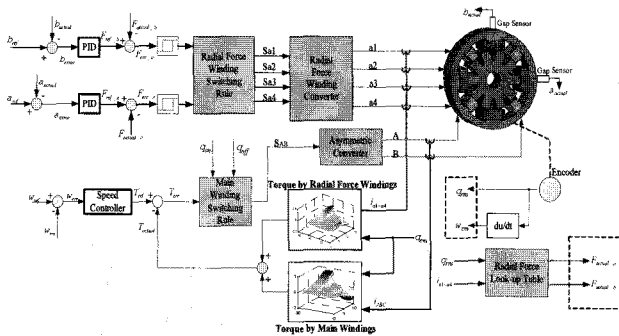


그림 13 제안된 BLSRM의 제어 블록도
Fig. 13 Proposed control scheme of the BLSRM

그림 14와 그림 15는 정지상태와 1,000[rpm] 정속 운전 상태에서의 α 및 β 방향의 공극 변위와 축방향 권선의 전류 상태를 나타내고 있다.

그림 14에서 초기의 공극은 0.6kgf의 부하를 회전자 축에 인가한 상태에서 공극을 중심에 위치 시키기 위한 전류가 인가되고 이에 따라 공극의 오차가 거의 0의 상태로 제어됨을 보이고 있다. 회전자에 인가된 0.6kgf의 부하는 회전자 상태에서 비선형적으로 작용하게 되지만, 그림 15에서 1,000[rpm]의 정속 운전 상태에서도 안정적으로 공극이 일정하게 제어됨을 보이고 있다.

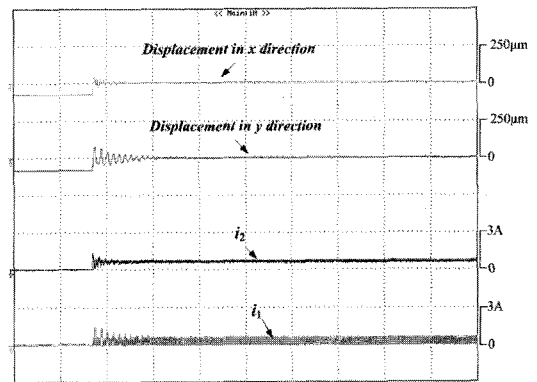


그림 14 정지상태에서의 공극 제어 특성(0.6kgf 부하)
Fig. 14 Experimental result in stop position with 0.6kgf load

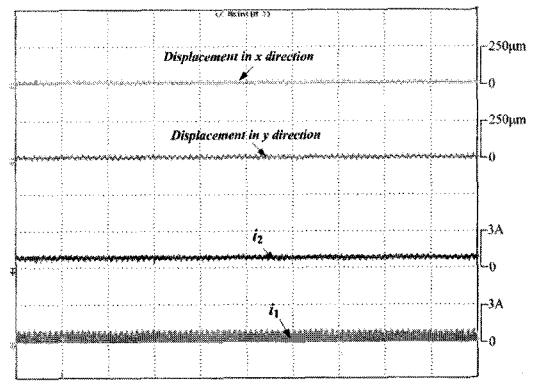


그림 15 1,000[rpm]에서의 공극 제어 특성(0.6kgf 부하)
Fig. 15 Experimental result at 1,000[rpm] with 0.6kgf load

5. 결론

본 논문에서는 새로운 하이브리드 극 구조의 베어링리스 SRM을 제안하고 회전자 위치에 따른 축방향 지지력 및 토크 특성을 해석하였다. 제안된 하이브리드 극 구조의 베어링리스 SRM은 축방향 지지력을 생성하기 위한 고정자 극과 토크를 발생하기 위한 회전자 극 구조를 별도로 하여 독립적인 제어가 가능하도록 설계되었다. 또한 연속적인 토크와 회전자 축방향 지지력을 생성하기 위하여 회전자의 극 구조를 고려하여 축방향 지지력을 생성하는 극 구조의 극호각을 결정하였으며, 이에 따른 축방향 지지력과 토크 특성을 개선 시켰다. 제안된 방식은 기존의 방식에 비하여 비선형성이 크게 감소하였으며, 각 권선 전류에 의한 상호 연관성

이 매우 적어서 제어에 유리한 특성을 가지게 된다.

제안된 하이브리드 극 구조의 베어링리스 SRM은 기존의 베어링리스 SRM에 비하여 토크 및 축방향 지지력의 상관성이 낮아 독립적인 제어가 가능하고, 컨버터의 구조를 단순화시킬 수 있는 장점이 있다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 지원에 의하여 기초전력연구원(R-2005-7-067)주관으로 수행된 과제임.

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, pp. 35 - 42, 2002.

[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, pp. 1058-1063, Aug, 2006.

[3] Carlos R. Morrison. Bearingless Switched Reluctance Motor. U.S. Patent 6,727,618, 2004.

[4] J. Faiz and J. W. Finch, "Aspects of design optimization for switched reluctance motors," IEEE Trans. Energy Conversion, vol. 8, pp. 704-713, Dec, 1993.

[5] A. V. Radum, "Design considerations for the switched reluctance motor," IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 31, pp. 1079-1087, Sep./Oct. 1995.

[6] M. N. Anwar, Iqbal Husain, A. V. Radun, " A comprehensive design methodology for switched reluctance machines," IEEE Trans. IAS, vol. 37, pp. 1684-1692, Nov/Dec, 2001

[7] Larsson. M., Johansson. M., Naslund, L., Hylander J, "Design and evaluation of high-speed induction machine," in Conf. IEMDC'03, vol. 1, pp. 77-82, 2003.

[8] Shuang Ye. Research on Bearingless Switched Reluctance Motors, Master's thesis, 2003.

[9] M. Takemoto, K. Shimada, A. Chiba and T. Fukao, "A Design and Characteristics of Switched Reluctance Type Bearingless Motors", in Proc. 4th Int. Symp. Magnetic Suspension Technology, Vol. NASA/CP-1998-207654, pp. 49 - 63, May 1998.

저 자 소 개



이 동 희 (李 東 熙)

1970년 11월 1일생. 1996년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 2002년~2005년 OTIS-LG 서보 R&D 선임연구원. 2005년~현재 경성대 전기전자·메카트로닉스 공학부 조교수

Tel : 051-620-4693

E-mail : leedh@ks.ac.kr



왕 혜 군 (王 惠 軍)

1980년 12월 5일생. 2003년 중국 심양공업대 전기공학과 졸업. 2006년 동대학 전기공학과 석사졸업. 2006 ~ 현재 경성대학교 산업시스템 공학과 박사과정. 주 연구 분야는 SRM 설계 제어.

Tel : 051-626-4773

E-mail : huijun024@gmail.com



안 영 주 (安 永 珠)

1957년 1월 22일생. 1986년 부산공업대학 전기공학과 졸업. 1995년 부산대 전기공학과(공학박). 1998년~현재 부경대 공대 전기제어계측공학부 부교수.

Tel : 051-629-6331

E-mail : anyj@pknu.ac.kr



안 진 우 (安 珍 雨)

1958년생. 1984년 부산대 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1998년 8월~1999년 8월 미국 위스컨신대 방문교수. 2006년 7월 ~ 2007

년 6월 미국 버지니아텍 방문교수. 2005년 3월~현재 기초전력연구원 차세대전동기기술연구센터장. 2008년 8월 ~ 현재 지식경제부 대학 전력연구센터(전동력 융합기술 연구 센터장). 현재 당 학회 편집이사. IEEE Senior Member. 1992년~년 현재 경성대 전기전자·메카트로닉스 공학부 교수.

Tel : 051-620-4773

E-mail : jwahn@ks.ac.kr