

고속 하이브리드 4/6극 SRM의 특성 해석

안수용, 정광일, 안진우
경성대학교 메카트로닉스 공학과

Characteristics Analysis of 4/6 pole High Speed Hybrid SRM

Soo yong Ahn, Kwang il Jeong, Jin woo Ahn
Dep.of Mechatronics Engineering, Kyung Sung University

ABSTRACT

본 논문에서는 일반적인 스위치드 릴럭턴스 전동기 (Switched Reluctance Motor, SRM)의 고정자 철심에 영구자석과 조합된 구조를 가지는 하이브리드형 스위치드 릴럭턴스 전동기(Hybrid SRM, HSRM)을 제안하였다. 제안된 HSRM은 기존 블렌더용 2상 4/2극 SRM의 인덕턴스 및 토크 특성과 비교하였다. 그 결과 제안된 HSRM은 높은 토크 출력 및 소형화가 가능함을 확인하였다.

1. 서론

영구자석 기술과 전력전자 장치의 활발한 개발에 따라 브러시리스(Brushless) 기기의 사용 범위가 증가하고 있다. 하지만, 고속 구동을 할 경우 일반적으로 영구자석 기기는 회전자에 영구자석이 위치함에 따라 온도상승에 대한 출력이 저감되는 문제점을 가지고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서 고정자 철심에 영구자석을 가지는 HSRM이 소개되었으며, 최근까지 연구 및 개발이 이루어지고 있다.

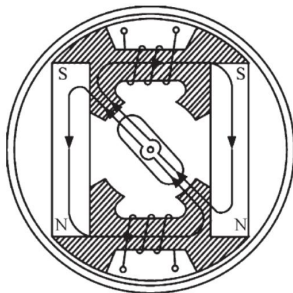


그림 1. Stator-PM alternator in 1955

본 논문에서는 고정자가 4극이고 회전자 6극의 구조를 가지는 2상 4/6극 HSRM에 대하여 제안하였다. 제안된 구조는 기존의 설계된 2상 4/2 SRM과 비교되어 출력 및 소형화가 가능함을 증명하였다.

2. 본론

2.1 HSRM 출력방정식

HSRM의 출력 방정식은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P = \frac{0.87\pi^2}{120} \frac{N_r}{N_s} k_s k_d k_e k_i A_s B_\delta D_{si}^2 l_e n_s \eta \quad (1)$$

N_s : Number of stator pole N_r : Number of rotor pole
 k_s : Skewing factor k_d : Flux leakage factor
 k_e : Phase voltage per phase back E.M.F
 k_i : Peak phase current per r.m.s phase current
 A_s : Electric loading of the stator.
 B_δ : Air gap flux density D_{si} : Bore diameter
 η : Efficiency n_s : Speed
 l_e : Stack length

2.2 Bore Diameter and Stack Length

HSRM의 출력 방정식을 통하여 고정자 안쪽 지름과 적층 길이를 산정 할 수 있다.

$$D_{si}^2 l_e = \frac{P}{\frac{0.87\pi^2}{120} \frac{N_r}{N_s} k_s k_d k_e k_i A_s B_\delta n_s \eta} \quad (2)$$

2.3 Permanent Magnet

HSRM의 자석 높이(h_{pm})와 폭(w_{pm})은 식 (3)과 (4)를 통하여 구한다. 자석의 전체 길이는 스택 길이와 동일하게 한다.

$$h_{pm} = \frac{2B_\delta g_0}{\mu_0 H_c \left(1 - \frac{B_M}{B_r}\right)} \quad (3)$$

$$w_{pm} = \sigma \frac{B_\delta D_{si}}{4B_M} (2\beta_s + \beta_r + \theta_{cr} - 2\theta_{cs}) \quad (4)$$

σ : Ratio of magnet flux to airgap flux
 β_s : Stator pole arc β_r : Rotor pole arc
 g_0 : Airgap length
 B_r : Remnant flux density of PMs
 B_M : Flux density of PMs at operating point
 H_c : Coercive force of PMs
 $\theta_{cs} = 2\pi/N_s$ $\theta_{cr} = 2\pi/N_r$

2.4 Winding Turns

식 (5)는 전기장하(electric loading)에 대해 산정하는 식을 나타낸다.

$$A_s = \frac{2T_{ph}i_p m}{\pi D_{si}} \quad (5)$$

T_{ph} : Turns per phase

i_p : Peak phase current

m : Number of phases conducting simultaneously

전기장하와 고정자 안쪽 지름의 값이 주어진다면 식 (5)를 통해 최대 상 전류와 상 당 권선 수가 계산 할 수 있다.

2.5 Finite Element Analysis

제안된 전동기의 설계 목표는 표 1과 같다.

표 1. 설계 목표

Parameter	Value	Unit
Rated Power	1.3	kW
Rated R.P.M	18,000	rpm
Rated Torque	0.67	N m

상기의 설계 식을 통하여 산정된 값을 토대로 최종 설계된 전동기의 형상은 그림 2와 같다.

블렌더용 2상 4/2 SRM과 제안된 전동기의 사양은 표 2와 같다.

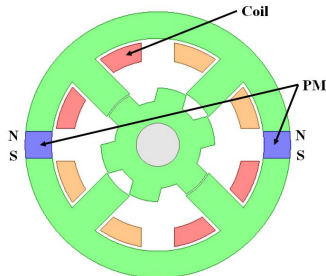


그림 2. 전동기 형상

표 2. 2상 4/2 SRM과 제안된 전동기 치수 비교

Parameter	4/2 SRM	HSRM	Unit
Outer diameter	100	80	mm
Bore diameter	45	34	mm
Stack length	30	←	mm
Stator pole arc	48	32	deg
Rotor pole arc	110	30	deg
Shaft diameter	10	12	mm
Air gap	0.25/0.8	0.25	mm
Turns per phase	120	←	turns
Winding fill factor	0.35	←	%
Wire diameter	1.291	←	mm
Current	15	←	A
width of PM		6	mm
Height of PM		6	mm

2.6 Analysis Result

그림 3은 제안된 HSRM과 4/2 SRM의 토크 특성이다.

토크 특성 중 부토크(Negative Torque)는 사용되지 않는 부분이며, 정토크(Positive Torque)만을 사용한다.

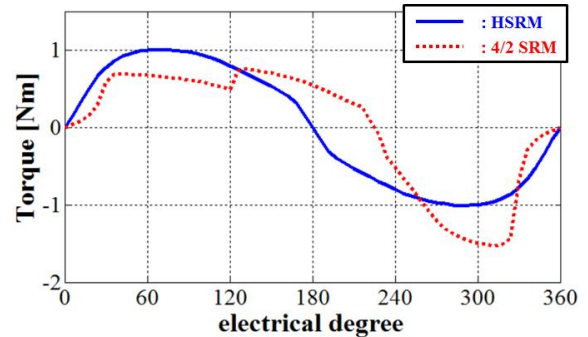


그림3. HSRM과 4/2 SRM의 토크 특성

3. 결 론

본 논문에서는 고정자에 영구자석을 삽입된 구조와 SRM이 조합된 구조인 HSRM에 대하여 제안하였다. 제안된 구조의 출력 방정식을 유도하여 기초 설계를 수행하였으며 이를 토대로 FEA 해석을 수행하였다. FEA 수행결과 기존의 2상 4/2 SRM 보다 평균 토크 값이 0.16Nm 증가하였다. 또한, 전체 외경은 기존에 비해 20mm 소형화 되었다. 이 결과를 기반으로 다양한 HSRM에 대한 설계 및 구동 파라미터에 따른 시뮬레이션 등의 연구가 진행되어야 될 것으로 생각되며, 이를 통해 성능 평가 등의 연구를 진행할 계획이다.

본 연구는 2016년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 에너지인력양성사업으로 지원받아 수행한 인력양성 성과임. (No. 20164010200940)

[참 고 문 헌]

- [1] Ming Cheng, Wei Hua, Jianzhong Zhang, Wenxiang Zhao, "Overview of Stator Permanent Magnet Brushless Machines", IEEE Trans.ind.Electron, vol58.,pp1 12, NOV. 2011.
- [2] M. Cheng, K.T Chau, and C.C Chan "Design and analysis of a new doubly salient permanent magnet motor", IEEE Trans. Magn, Vol. 37, no. 4,pp 3012 3020, Jul. 2001
- [3] K.T Chau, M. Cheng, and C.C Chan, "Performance analysis of 8/6 pole doubly salient permanent magnet motor", Elect. Mach. power Syst., vol. 27, no.10 pp.1055 1067, Oct.1999.
- [4] 안진우, "스위치드 릴럭턴스 전동기", 오성미디어, 2004
- [5] Krishnan, R, "Switched Reluctance Motor Drive : Modeling, Simulation, Analysis, Design, and Applications", CRCPress, 2001