

축방향 자속형 동기전동기의 오버행 효과에 따른 특성 해석

이병준, 원진국, 손동혁, 조윤현
동아대학교 전기공학과

The Characteristic Analysis of Overhang Effect on Axial Flux Synchronous Motor

Byung-Jun Lee, Kok-jin Won, Yun-Hyun Cho
Electrical engineering, Dong-a University

Abstract - This paper presents the overhang effects of a novel axial flux permanent magnet (AFPM) machine, which consist of the segmented stator and fractionated slot windings, with one rotor and double stator. In addition, the overhang effect of permanent magnet of the motor has been analyzed quantitatively. The overhang is used to enhance the force density in permanent magnet machine. According to the variation of overhang length, the flux density distribution and torque are quantitatively compared. For these analysis, three dimensional finite element method (3D FEM) has been used in this paper. From the results, the proper overhang length of PM is selected to improve the performance of the AFPM machine.

1. 서 론

최근 축방향 자속형 동기전동기는 동일 체적 동일 중량의 방사형 타입 전동기에 비해 단위 체적당 고토크를 발생할 수 있는 장점을 가지고 있어 최근 전기자동차, 전기차, 전기차, 풍력발전 등 다양한 분야에서 활발한 연구가 진행되고 있다. 또한 회도류계 영구자석과 같은 우수한 성능을 지닌 재료 기술 및 컴퓨터의 성능 향상으로 인한 설계 기술의 발달로 전동기의 크기를 줄이고, 성능을 더욱 향상시키게 되었다[1]-[2]. 그러나 영구자석을 사용한 전동기는 기하학적 형상에 따라 전기적인 특성이 달라진다. 일반적으로 고정자의 적층길이보다 영구자석의 길이가 더 긴 오버행 구조를 가짐으로써 전동기의 단위체적당 출력을 높이는 효과를 얻는다. 이러한 영구자석을 사용한 전동기에 대한 오버행 구조에 대한 연구는 꾸준히 진행되고 있지만 축방향 자속형 전동기의 오버행 구조에 대한 연구는 미비한 실정이다. 본 논문에서는 축방향 자속형 동기전동기의 오버행 구조에 따른 공극에서의 자속밀도, 정토크 특성, 출력 그리고 효율과 같은 전자계적 특성을 3차원 유한요소법과 실험으로 비교 분석하였다.

2. 본 론

2.1 축방향 자속형 전동기의 구조

그림 1은 본 논문에서 제안한 축방향 자속형 전동기의 구조를 나타내었다. 디스크 형태의 회전자를 중심으로 양옆으로 고정자가 하나씩 존재하는 구조로 되어있으며, 기존의 룰팅타입의 축방향 자속형 전동기와는 다르게 고정자가 백요크와 일체형이 아닌 T형의 치와 백요크가 각기 따로 제작되어 서로 결합되는 형태로써 권선법이 용이한 장점을 가지고 있는 것이 특징이다. 그림 2는 본 논문에서 제안한 방법으로 제작된 축방향 자속형 전동기의 시작품 사진이고 아래 표 1에 자세한 전동기 사양을 나타내었다.

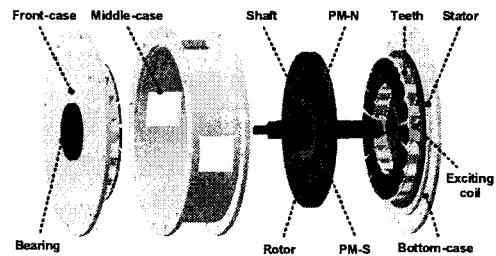


그림 1. 축방향 자속형 전동기의 구조

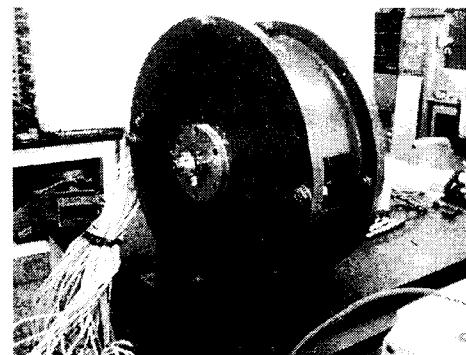


그림 2. 축방향 자속형 전동기의 시작품

표 1. 전동기 사양

Rated	Output Power, kW	7.5
	Voltage, V	3Φ-380
	Current, A	4×5.87
	Speed, rpm	1,800
	Torque, Nm	39.8
Stator	Slot number	18
	Phase	3
	Phase resistance,	0.735
	Turns per phase, turns	82
	Inner radius, mm	202
Outer radius, mm	312	
Air-gap length, mm	2	
Rotor	Pole number	16
	Inner radius, mm	191.6
	Outer radius, mm	320.4
	Thickness of PM, mm	4
	Remanent of PM, T	1.2
	Material of PM	Nd-Fe-B
	Coercivity, kA/m	970

2.2 오버행 구조

본 논문에서 제안한 축방향 자속형 전동기의 치 형상 및 자석의 형상은 그림 3과 같으며, 영구자석의 형태가 원판 형태의 회전자와 면적을 충분히 활용하기 위해서 부채꼴 모양을 가지고도록 설계된 점이 특징이다. 오버행 효과를 알아보기 위해서 3가지 경우로 나누어 해석을 수행하였다. 첫째, 오버행이 없는 경우(Case 1)와 그림 3에서와 같이 영구자석의 반경방향 길이가 L_2 만큼 치의 길이에 비해 짧은 경우(Case 2) 그리고 L_1 만큼 긴 경우(Case 3)를 해석하였으며 특성을 비교하였다. 본 논문에서는 L_1 , L_2 를 각각 +5[mm], -5[mm]로 설정하여 수행하였고, 그림 4에 Case 2, Case 3에 대한 회전자 시작부의 사진을 나타내었다.

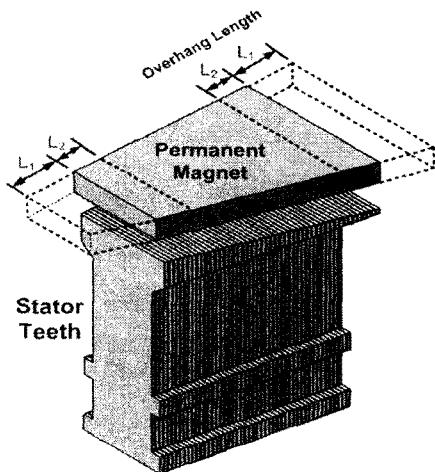


그림 3. 축방향 자속형 전동기의 오버행 구조

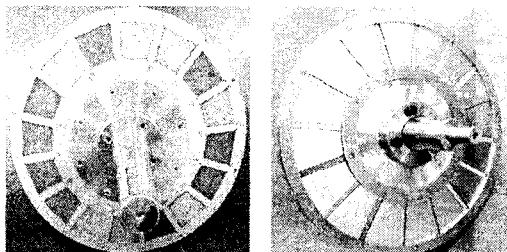
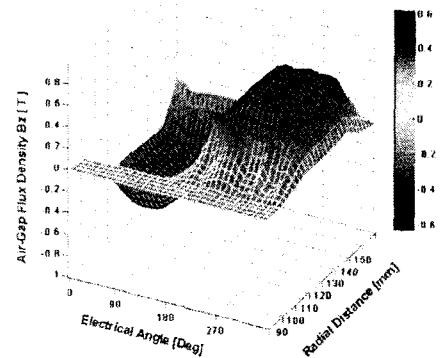


그림 4. 오버행 구조를 가지는 회전자

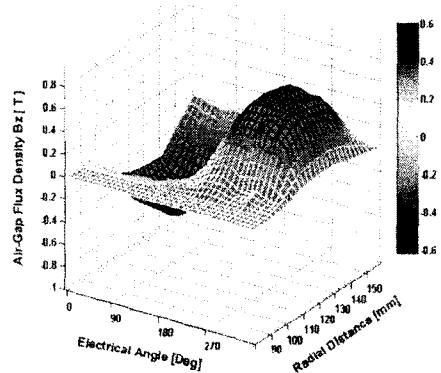
2.3 3D FEM 해석 결과

본 논문에서는 오버행 구조에 대한 전자계적 특성의 정량적 분석을 위하여 유한요소 해석을 수행하였다. 기존의 원통형 전동기의 경우 계산 시간 단축 및 모델링의 간편성 등의 이유로 2차원 해석이 주로 사용되어 왔다. 그러나 2차원 해석의 경우 단면의 수직 방향으로 기하학적, 물리적 양이 일정하다는 조건이 필요하다. 그러나 축방향 자속형 전동기는 그 구조가 2차원 해석에 적합하지 않다. 따라서 축방향 전동기에 관한 특성 해석에 3차원 유한요소법을 적용하였다[3].

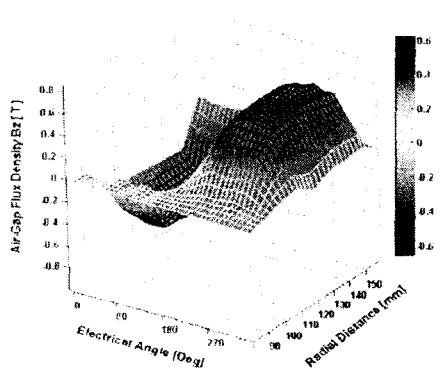
그림 5는 유한요소 해석결과 앞에서 제시한 3가지 오버행 구조를 가지는 경우 영구자석만을 고려하였을 때 한극의 공극에서의 자속밀도 분포를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 치의 적층질이보다 영구자석의 반경방향 길이가 길 경우(c) 공극에서 자속밀도가 반경방향으로 다른 두 가지 경우에 비해서 넓게 분포된다는 것을 알 수 있다.



(a) Case 1



(b) Case 2



(c) Case 3

그림 5. 오버행에 따른 공극에서의 자속밀도 분포

그림 6은 오버행 구조에 따른 정토크 특성을 나타낸 것으로써 Case 2와 Case 3를 비교하였다. +5[mm] 오버행을 가지는 Case 3의 경우 정격전류 20[A]에서 토크 특성이 Case 2에 비해서 45[Nm]정도 더 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 전류에 따른 특성으로 정격보다 낮은 10[A]를 인가하였을 때보다 정격 20[A]에서 정토크 특성이 약 2배정도 증가하는 것을 볼 수 있다. 하지만 30[A]로 증가 시켰을 경우 크게 증가하지 않는 것을 볼 수 있었는데 그 원인은 고정자 치에서 부분적인 포화현상 때문인 것으로 예상되어진다.

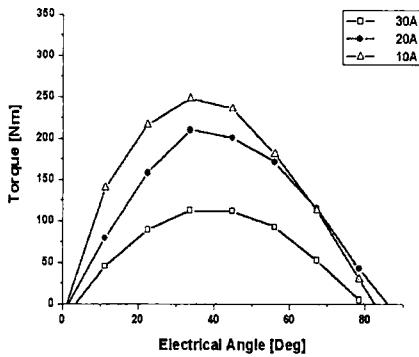


그림 6. 오버행에 따른 정토크 특성 곡선

2.4 시작품 전동기의 실험 결과

시작품 전동기의 부하실험을 통해서 오버행 구조에 따른 속도, 출력, 효율 결과를 그림 7⁹에 나타내었다. 그림 7에서와 같이 -5[mm] 오버행 구조를 가지는 경우(Case 2)에 정격 40[N]에서 정격속도 1800[rpm]을 유지하지 못하고 1690[rpm]으로 떨어지는 현상을 보였다. 그리고 출력특성을 분석해본 결과 40[Nm]에서 정격출력 7.5[kW]를 내지 못하고 출력이 떨어지는 현상도 나타났다. 이것은 앞서 FEM 해석결과에서도 나타나듯이 체적당 토크 특성이 Case 2 오버행 구조가 Case 3 오버행 구조에 비해 떨어진다는 것을 나타낸다. 그림 9는 부하토크에 따른 효율을 측정한 그래프로써 25[Nm]일때 Case 2가 약 3%정도 Case 3보다 더 높은 특성을 보였으나 역시 정격 40[Nm]에서 효율이 낮아지는 것을 볼 수 있다.

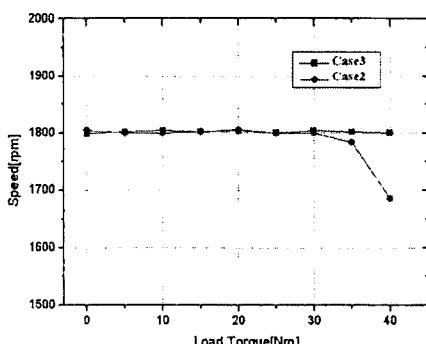


그림 7. 부하토크에 따른 속도 특성 곡선

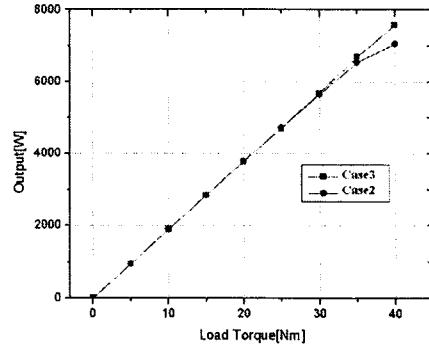


그림 8. 부하토크에 따른 출력 특성 곡선

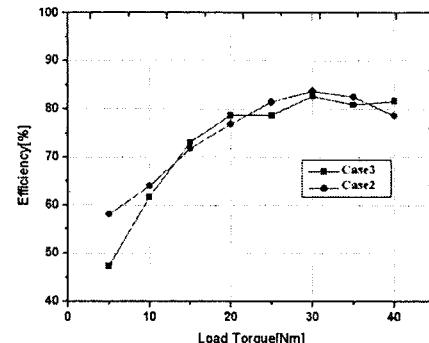


그림 9. 부하토크에 따른 효율 특성 곡선

3. 결 론

본 논문은 축방향 자속형 전동기의 오버행 효과에 따른 특성이 연구되었다. 3가지 타입의 오버행 구조를 선정하여 3차원 유한요소법을 통한 자속 밀도 및 정토크 특성을 계산하였으며 서로 비교분석 하였다. 또한 시작품을 제작하여 부하실험을 통한 부하토크에 따른 속도, 출력, 효율 특성곡선을 얻었으며 그 결과를 서로 비교분석하였다. 그리고 실험결과를 해석결과와 비교하여 해석결과가 타당함을 증명하였다.

감사의 글

본 논문은 한국전력공사에서 지원한 전력변환시스템신기술 연구센터(과제번호 2006-0273)의 사업으로 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] M. Aydin, S. Husang, and T. A. Lipo, "Optimum design and 3D finite element analysis of non-slotted and slotted internal rotor type axial flux PM disc machines", Power Engineering Society Summer Meeting, pp. 1409~1416, 2001.
- [2] F. Caricchi, F. Crescimbini, O. Honorati, and E. Santini, "Performance evaluation of an axial flux PM generator", Proceedings of International Conference on Electrical Machines (ICEM), pp. 761~765, 1992.
- [3] 조원영, 조윤현, "축방향 자속형 영구자석 BLDC 전동기의 코킹 토크 저감에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, Vol. 55B, No. 9, pp. 437~442, 2006
- [4] 조원영, 조윤현, "Design and Analysis of Axial Flux Permanent Magnet Synchronous Machine", 대한전기학회 논문지, Vol. 2, No. 1, pp. 61~67, 2007