2004년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2004.7.14-16

Axial-flux type BLDC 전동기의 특성해석

박수범*, 이상호*, 남 혁*, 홍정표*, 이정종**
*창원대학교 전기공학과, **(주)코모텍

Characteristic analysis of axial-flux type Brush Less DC motor

Su-Beom Park*, Shang-Ho Lee*, Hyuk Nam*, Jung-Pyo Hong*, Jeong-jong Lee**
*Dept. of Electrical Engineering in Changwon Nat'l Univ. **Komotek Co.,LTD

Abstract - This paper presents a characteristic analysis method for an air gap flux density of axial-flux type brushless dc (BLDC) motor. The magnetic flux density for the torque, and vertical force characteristics is calculated by using analytical method, based on the concept of magnetic charge. The calculated results by the presented method is compared with those by 3 dimensional finite element method (3D FEM). Using the presented method, the characteristics of single and double sided axial-flux type BLDC motors are investigated through distributions of air gap flux density.

1. 서 론

브러시레스 DC (Brushless DC : 이하 BLDC) 전동기는 반도체 소자를 이용한 스위칭을 하기때문에 Brush type의 전동기가 갖는 기계적인 문제를 극복할 수 있어 가전기기 및 자동차 전장품 등에서 수요가 증가되고 있으며, 최근 고성능 영구자석의 사용과 전동기 제작 기술의 발달로 점차 소형, 경량, 박형화하는 추세이다.

Axial-flux type BLDC(이하 Axial BLDC) 전동기는 구조적인 특성상 토크에 기여하는 축 방향(Axial direction)의 자속이외에도 반경방향(Radial direction)과 회전방향(Theta direction)의 자속이 전동기 특성에 큰 영향을 미치므로 3차원 형상을 고려한 3차원 전자계 해석이 요구된다. 이러한 자기회로의 해석 기법 중 널리 사용되는 3차원 유한요소법 (3-Dimension Finite Element Method : 이하 3D-FEM)은 해석 시간이 길고 전처리 작업이 복잡하여 전동기의 초기 설계시의 특성해석에 활용하기에는 다소 번거롭다는 단점이 있다.[1-2]

본 논문에서는 Axial BLDC 전동기의 구조적 특성상, 큰 자기적 공극으로 인해 포화의 영향이 적고, 공심형 구조로 인해 자기적인 공극이 일정한 점에 착안하여 자하(Magnetic charge)를 이용한 해석적 방법을 제안하였으며, 해석 결과의 타당성을 검증하기 위해 3D-FEM을 이용한 결과와 비교하였다. 이 방법을 이용하여 편측식 및 양측식 Axial BLDC 전동기의 공극 자속분포를 산출하여 두 전동기의 특성을 예측하였다.

2. 본 론

2.1 토크 발생 원리

그림 1과 같은 원통 좌표계에서 임의의 점 P에서 전류밀도를 식 (1)과 같이 나타내었다.

$$\vec{J} = J_\rho \vec{a}_\rho + J_\theta \vec{a}_\theta \quad (1)$$

여기서, 축방향 전류인 $J_z \vec{a}_z$는 고려하지 않았다.

임의의 점 P에서의 자속밀도 분포가 식 (2)와 같이 분포한다고 가정하면,

$$\vec{B} = B_\rho \vec{a}_\rho + B_\theta \vec{a}_\theta + B_z \vec{a}_z \quad (2)$$

플레밍의 왼손 법칙에 의해 전동기에서 발생하는 힘은 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$d\vec{f} = (\vec{J} \times \vec{B}) \cdot dv \quad (3)$$

식 (1)과 식 (2)를 이용하여 식 (3)을 다시 정리하면 식 (4)와 같이 된다.

$$\begin{aligned} d\vec{f} &= [J_\theta B_z \vec{a}_\rho - J_\rho B_z \vec{a}_\theta + (J_\rho B_\theta - J_\theta B_\rho)\vec{a}_z] \cdot dv \\ &= df_\rho \vec{a}_\rho + df_\theta \vec{a}_\theta + df_z \vec{a}_z \end{aligned} \quad (4)$$

식(4)를 체적적분하면 식(5)와 같이 된다.

$$\therefore \vec{F} = \int d\vec{f} = F_\rho \vec{a}_\rho + F_\theta \vec{a}_\theta + F_z \vec{a}_z \quad (5)$$

따라서 발생토크와 수직력은 다음과 같이 표현된다.

토 크: $\vec{T} = \rho_1 \vec{a}_\rho \times F_\theta \vec{a}_\theta = \rho_1 F_\theta \vec{a}_z$ (7)

수직력: $F_z \vec{a}_z$ (6)

Axial BLDC 전동기에서 식(1)에서 나타내는 전류는 코일에 흐르는 전기자 입력 전류, 식 (2)는 영구자석에 의한 자속밀도이다. 그리고, 영구자석에 의한 자속밀도를 정확하게 파악하면 식 (6)과 식 (7)의 전동기의 발생토크 및 수직력 분포를 파악할 수 있다.

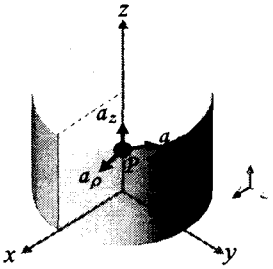


그림 1. 원통 자표계

2.2 자하를 이용한 공극자속 밀도 산출

식 (2)에서의 자속밀도 $\vec{B}$를 구하기 위한 방법으로 영구자석의 자화(Magnetizaton) M을 이용하여 영구자석을 면전류로 환산하여 이 면전류를 이용하는 방법과 자하로 환산하여 이용하는 방법이 있다. 본 논문에서는 그림 2에서 표현된 자하 $\pm Q_m$을 이용하였다.

영구자석 표면에서의 자하 dQ_m에 의한 자계의 세기 $d\vec{H}$를 나타내면 다음과 같다.

$$d\vec{H} = \frac{dQ_m}{4\pi r^2}\vec{a}_r \qquad (8)$$

여기서, $\vec{a}_r$은 영구자석 표면에서의 미소 자하 dQ_m에서 점 P로의 방향 벡터를 나타낸 것이다.

자하 dQ_m을 영구자석의 잔류자속밀도 B_r로 표현하면 식 (9)와 같이 된다.

$$dQ_m = \frac{B_r}{\mu_0} dS \qquad (9)$$

식 (8)과 식 (9)로부터 영구자석 표면에 대한 면적적분을 통하여 점 P에서의 자계의 세기 $\vec{H}$를 구할 수 있으며 자속밀도 $\vec{B}$는 식(10)과 같다.

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} \qquad (10)$$

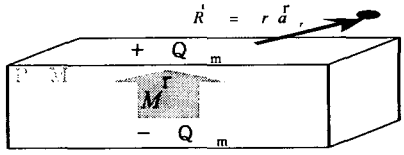


그림 2. 자하를 이용한 영구자석 모델

2.3 해석 모델 및 해석 결과

자하를 이용한 해석적 방법의 타당성을 검증하기 위해 그림 3의 해석 모델을 기준으로 그림 4에 표시된 Contour line을 따라서 3D-FEM과 자하를 이용한 해석을 수행하였으며 그림 5와 같이 해석 결과가 잘 일치함을 알 수 있다.

두 가지 방법 사이의 오차 원인은 자하를 이용한 해석 시 요크 부분의 누설자속과 공극 내에 분포하는 권선구조로 인해서 최외각턴과 최내각턴 사이에 쇄교하는 자속량이 서로 다른 점을 고려하지 못한 부분에서 발생하는 것으로 판단된다.

2.4 편측식과 양측식의 공극 자속밀도 분포

자하를 이용하여 편측식 및 양측식 Axial BLDC 전동기의 공극 자속밀도를 산정하여 두 전동기의 운전시 특징을 살펴 보았다. 그림 6에 해석 모델을 표현하였으며, 해석 결과를 그림 7과 그림8에 나타내었다.

그림 7과 그림 8의 (a)항은 토크에 기여하는 축 방향 자속의 분포를 보여준다. 두 그림의 (b),(c)항은 식 (4),(5)에서 표현된 것과 같이 축 방향의 힘을 발생시켜 전동기의 운전시 진동 및 소음의 원인으로 작용하게 된다. 따라서 편측식 Axial BLDC 전동기는 반경 및 회전 방향의 자속으로 인해 운전 상태에서 진동·소음이 발생하지만, 양측식의 경우 거의 발생하지 않으므로 보다 안정적인 운전 상태를 보이는 것을 예측 할 수 있다.

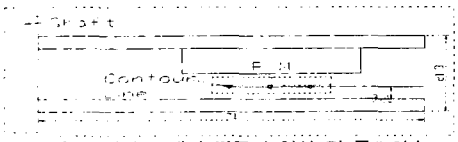


그림 3. 해석 모델의 전동기 형상 및 주요치수

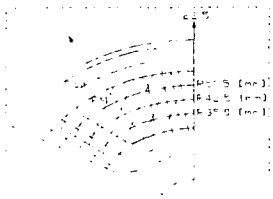
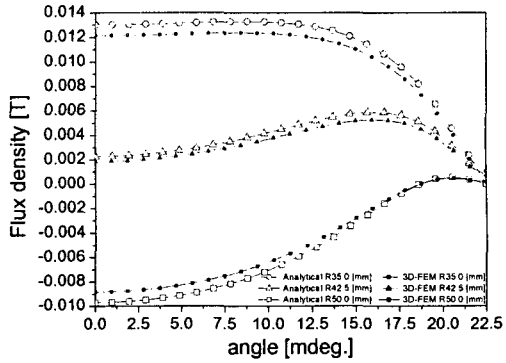
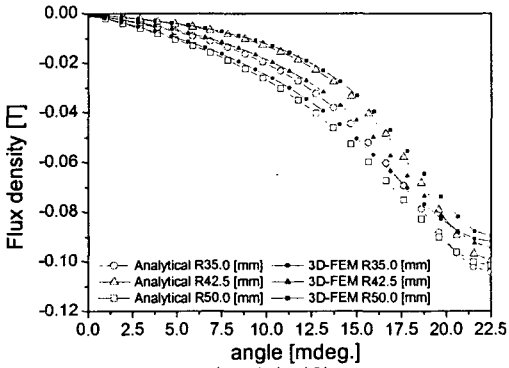


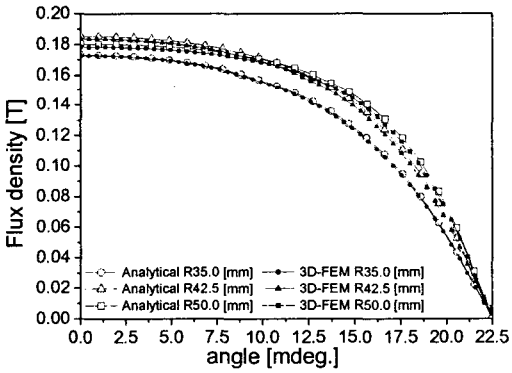
그림 4. 축 방향에서 본 Contour Line



(a) 반경 방향



(b) 회전 방향



(c) 축 방향

그림 5. 반경, 회전 및 축 방향의 공극 자속밀도 분포

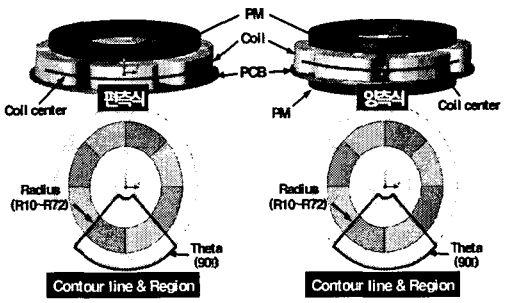


그림 6. 편측식 및 양측식 해석 모델

3. 결 론

본 논문에서는 Axial BLDC 전동기의 특성 해석 시 빠른 시간 안에 정도 높은 해석 결과를 도출하기 위하여 영구자석의 자화 M을 자하로 환산한 해석적 방법을 이용하였다. 그리고 3D -FEM의 결과와의 비교를 통하여 제안된 방법의 타당성을 검증하였다.

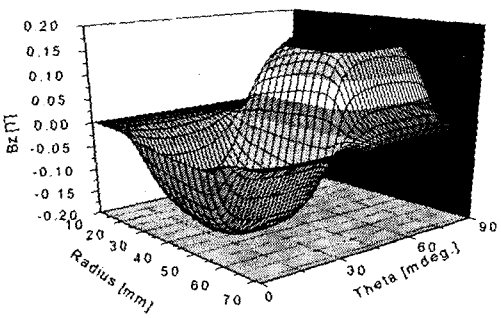
본 논문에서 제시한 방법을 이용하여 편측식 및 양측식 Axial BLDC 전동기의 자속밀도 분포로부터 두 종류의 전동기에 대한 특성을 예측할 수 있었다.

이 방법은 Axial BLDC 전동기에 발생하는 전반적인 힘의 분포 뿐만 아니라 국부적인 영향을 빠르고 정확하게 분석할 수 있을 것이며, Axial BLDC 전동기의 설계에도 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

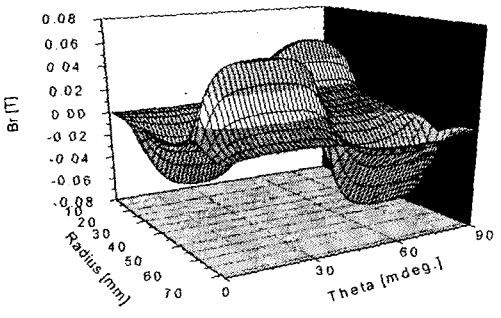
[참 고 문 헌]

[1] Kartik Sitapati, R. krishnan, Fellow, "Performance Comparisons of Radial and Axial Field, permanent Magnet, Brushless Machines", IEEE. Trans. on Industry Applycations, Vol. 37, No. 5, 9/10, 2001

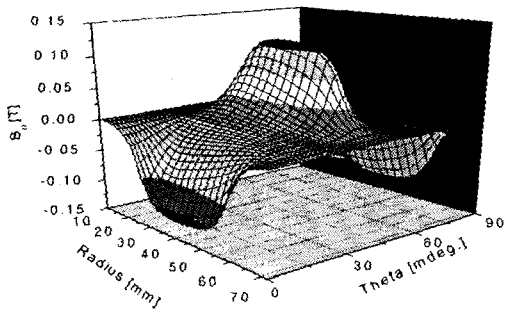
[2] J. D'Angelo, M.V.K. Chari, P. Campbell, "Three Demensional Finite Element Solution For a Permanent Magnet Axial Field Machine", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS 102, No. 1, 2, 1983



(a) 축 방향 자속밀도 분포

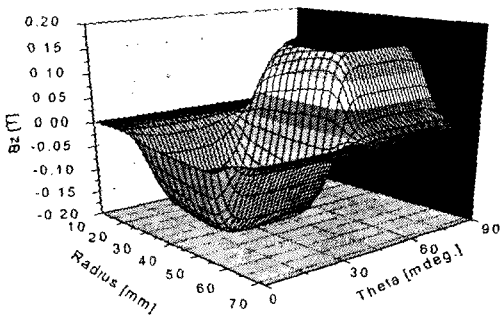


(b) 반경 방향 자속밀도 분포

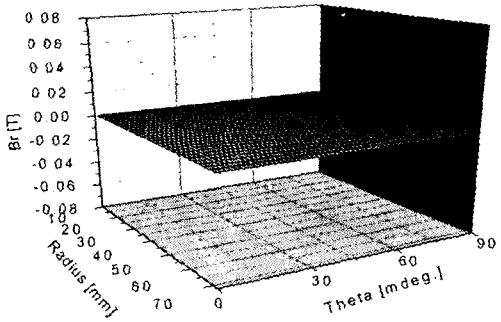


(c) 회전 방향 자속밀도 분포

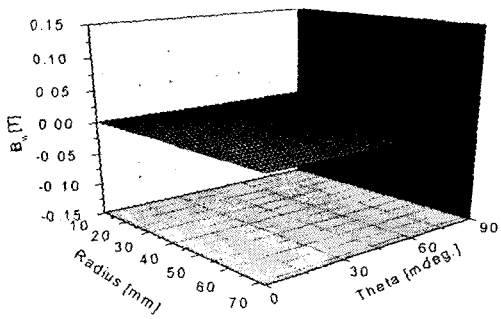
그림 7. 편측식 전동기의 자속밀도 분포



(a) 축 방향 자속밀도 분포



(b) 반경 방향 자속밀도 분포



(c) 회전 방향 자속밀도 분포

그림 8. 양측식 전동기의 자속밀도 분포