

적층 방향을 고려한 축방향 자속형 전동기의 특성 해석

이병준, 조원영, 김병국, 원진국, 조운현, 전연도*, 구대현*
 동아대학교, *한국전기연구원

Analysis of Characteristic In Axial Flux Motor Considering the Laminated Stack Directions

Byung-Jun Lee, Won-Yong Cho, Byong-Kuk Kim, Jin-Kuk Won, Yun-Hyun Cho, Yon-Do Chun, Dae-Hyun Koo
 Dong-a University, *Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - In this paper, a new stator shape for axial flux motor was proposed. It consists of tooth and back-yoke laminated and be assembled with each other. The method assembling together has a significant characteristic. It is different direction of lamination between core and back-yoke. This paper shows analysis method considering the lamination direction and analyze characteristic of axial flux motor with stator proposed using 3D finite element method.

1. 서 론

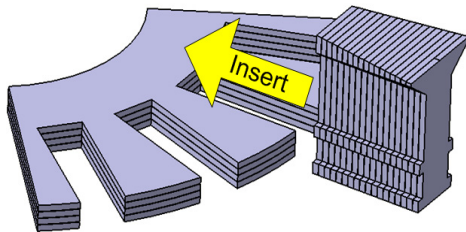
축방향 자속형 영구자석 전동기는 동일 체적 동일 중량의 방사형 타입 전동기에 비해 단위 체적당 고 토크를 발생할 수 있는 장점을 가지고 있어 최근 전기자동차 견인용전동기, 전기추진 선박, 풍력발전 등 다양한 분야에서 활발한 연구가 진행되고 있다. 또한 회로특성 영구자석과 같은 우수한 성능을 지닌 재료 기술 및 컴퓨터의 성능 향상으로 인한 설계 기술의 발달로 전동기의 크기를 줄이고, 성능을 더욱 향상시키게 되었다. 이러한 설계기술로부터 오래전부터 와류손을 줄이기 위한 방법으로는 전기기기의 코어를 얇은 판의 형태로 가공하여 여러장을 적층을 하는 방법으로 손실을 줄이는 방법을 사용해 왔다. 본 논문에서는 기존의 축방향 자속형 전동기가 갖는 롤링 형태의 코어를 컷팅하여 만든 구조와는 달리 외경에서 내경방향으로 슬롯팅된 원판 고정자 코어에 적층된 고정자 치를 삽입하는 새로운 타입으로써 기존 전동기와 비교할 때 고정자 제작이 용이하고 제작비가 절감되는 장점을 가지고 있는 새로운 형태의 전동기를 제안하였다.[1]

기존의 롤링 타입에 비해서 본 논문에 제시된 고정자 형상의 가장 큰 특징은 치의 적층방향은 축방향에 대하여 수직인 반면에 치와 결합되어지는 백요크의 적층 방향은 축방향과 일치하는 방향으로 적층이 되어진다는 것이다. 그래서 본 논문에서는 이러한 적층방향이 치와 백요크가 서로 다른 형상을 고려한 해석 방법을 제시한다. 그리고 제시된 방법으로 본 고정자로 구성된 축방향 자속형 전동기의 특성을 3D 유한 요소법을 사용하여 해석하여 특성을 알아본다.

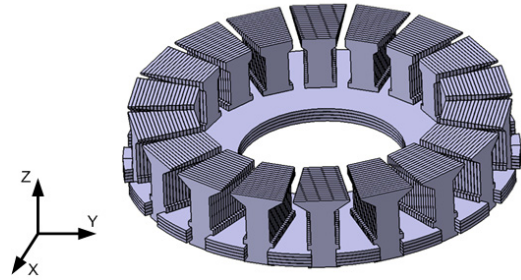
2. 본 론

2.1 새로운 타입의 축방향 자속형 전동기 고정자

본 논문에서 제시하는 고정자 형상은 규소강판을 사용하여 백요크를 디스크 형태로 제작한 다음 치를 끼워 넣을 수 있도록 슬롯을 내어준다. 그리고 치는 금형을 통하여 규소강판을 사용하여 적층시켜 제작한다. 아래의 <그림1>에서 보는 것과 같이 기존의 롤링 타입과 같이 일체형이 아닌 치와 백요크를 따로 제작하여 결합하는 방식을 사용하였다. 이러한 방법은 치를 따로 제작함으로써 제작이 용이하고 권선 작업이 쉬운 장점이 있다. <그림2>는 이러한 방법으로 제작하여 본 논문에서 특성을 파악할 18 slot을 가지는 축방향 자속형 전동기의 고정자의 완성된 모습을 나타내었다.



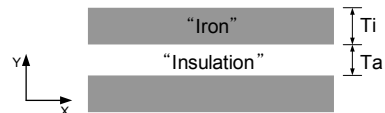
<그림 1> 새로운 타입의 고정자 결합도



<그림 2> 결합이 완료된 고정자 형상

2.2 적층 방향을 고려한 비투자율 계산

실제 적층되어있는 형상 그대로 모델링을 하여 3D 유한요소법을 사용하는 것은 계산하기 불가능할 정도로 많은 엘리먼트를 생성하기 때문에 해석에 많은 어려움이 있다. 그래서 적층 방향을 고려한 해석을 수행하기 위해서 적층방향에 따른 비투자율을 아래 제시한 식에 의해 계산하여 적용함으로써 치와 백요크의 적층방향이 다른 축방향 자속 전동기의 특성해석을 수행한다. <그림3>은 적층구조에 있어서 전체 적층길이에 대하여 실제 강판의 점적율을 나타내는 스택상수를 구하기 위한 적층 파라미터를 그림으로 표시했다.

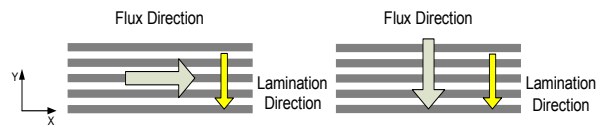


<그림 3> 적층 파라미터

여기서 T_i 는 절연물을 제외한 규소강판 한 장의 두께[mm]이고, T_a 는 규소강판 한 장에 접해있는 절연물질의 두께[mm]이다. 이 파라미터로부터 스택상수 S 는 식(1)과 같다.

$$\text{Stacking Factor } S = \frac{T_i}{T_i + T_a} \quad (1)$$

이 스택상수로부터 자속방향과 적층방향과의 관계를 고려한 식(2)와 (3)을 통하여 방향에 따른 비투자율을 계산할 수 있다. <그림4> (a)는 자속방향이 적층방향에 대해 수직인 방향이고 (b)는 적층방향과 자속방향이 평행한 경우이다. 위의 <그림2>를 참조하여 실제 모델에서 (a)는 자속이 치 부분의 X, Z방향으로 흐르는 경우와 백요크의 X, Y방향으로 흐르는 경우가 되겠고 (b)는 치부분의 Y방향, 백요크의 Z방향으로 자속이 흐르는 경우이다.



(a) 적층방향과 자속방향이 (a) 수직인 상태 (b) 평행인 상태
 <그림 4> 적층방향과 자속방향

<그림4> (a)에서와 같이 적층방향과 자속방향이 수직인 경우 X방향으로의 비투자율은 식(2)로 구할 수 있다.

$$\mu_{rx} = S(\mu_r - 1) + 1 \quad (2)$$

<그림4> (b)에서와 같이 평행인 경우 Y방향으로의 비투자율은 식(3)으로 구할 수 있다.

$$\mu_{ry} = \frac{\mu_r}{\mu_r - S(\mu_r - 1)} \quad (3)$$

<표1>은 스택팩터 S에 따른 비투자율의 변화를 위의 식(2), (3)을 통하여 계산한 결과이다. 두께 0.5[mm]를 가지는 S18 전기강판의 비투자율을 이용하여 계산한 값이며, S18 전기강판은 스택상수가 0.95 이상이므로 계산에 의한 값인 0.96 스택팩터를 가질 때의 비투자율로써 해석을 수행하였다.

<표 1> 스택팩터 S에 따른 비투자율 변화

T_i [mm]	0.49	0.48	0.47
T_a [mm]	0.01	0.02	0.03
S	0.98	0.96	0.94
μ_r (S18)	7321.1	7321.1	7321.1
μ_{rx}	7174.7	7028.3	6881.89
μ_{ry}	49.67	24.92	16.63

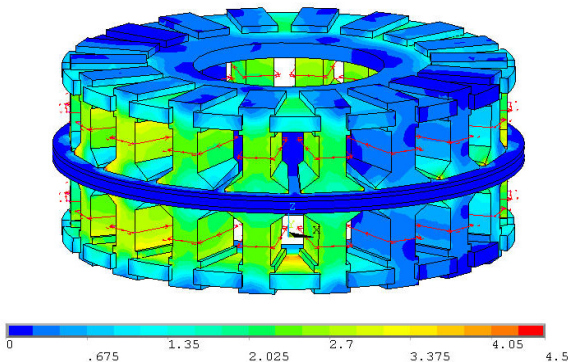
2.3 3D 유한요소법을 이용한 특성 분석

본 논문에서 해석에 사용한 축방향 자속형 전동기의 사양을 <표2>에 나타내었다. 앞에서 제시한 고정자가 회전자 양옆으로 두 개가 존재하는 형태이다. 회전자는 축방향으로 작자된 희토류 자석을 사용하였다.

<표 2> 축방향 자속형 전동기 사양

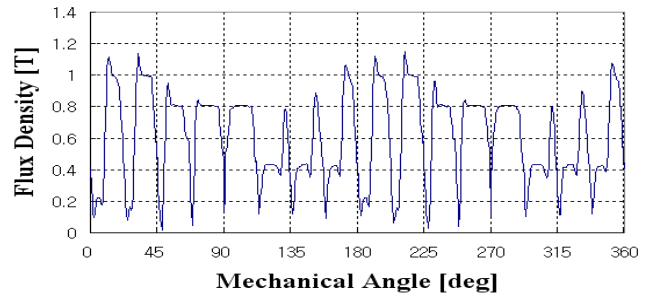
항목	치수	항목	치수
정격출력	7.5 [kW]	외경	312 [mm]
정격전압	3 ϕ -380	내경	202 [mm]
정격속도	1800 [RPM]	영구자석	Nd-Fe-B
슬롯수	18	보자력	970 [kA/m]
극수	16	잔류자속밀도	1.2 [T]

기존의 원통형 전동기의 경우 계산 시간 단축 및 간단한 모델링 절차의 이점으로 2차원 해석이 주로 사용되고 있다. 그러나 2차원 해석의 경우 단면의 수직 방향으로 기하학적, 물리적 양이 일정하다는 조건이 필요하다. 하지만 본 논문에서 해석 대상 전동기는 축방향으로 구조가 나열되어 있어 2차원 해석을 적용하지 못한다. 따라서 3차원 해석으로 해결할 수밖에 없다[4]. <그림5>는 자속방향과 적층방향에 따른 비투자율을 고려하여 축방향 자속형 전동기 해석을 수행하여 구한 자속밀도 분포도이다. 집중권을 사용하였으며 정격전류 20[A]를 인가한 정상 상태 해석의 결과이다.

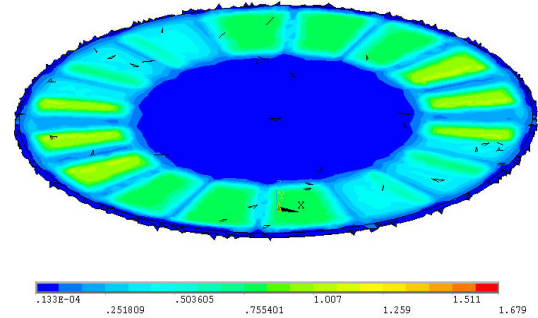


<그림 5> 자속밀도 분포

<그림6>은 양측면에 각각 3mm 공극을 가지는 전동기 해석에서 회전자의 기계각에 따른 3mm 중간 부분의 공극에서의 자속 밀도를 나타낸다. 양측면으로 두 개의 공극을 가지는 축방향 자속형 전동기에서 양측면의 공극에서의 자속밀도는 서로 같다.

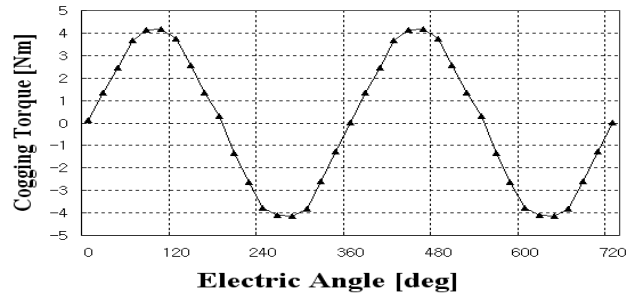


<그림 6> 공극에서의 자속밀도 분포



<그림 6> 공극에서의 자속밀도 분포

다음의 <그림7>은 부채꼴 모양의 희토류 자석을 가지는 회전자의 전기각에 대한 코깅토크 특성을 나타내었다.



<그림 7> 전기각에 따른 코깅토크

3. 결 론

본 논문에서는 축방향 자속형 전동기의 제작 방법에 있어서 새로운 형태의 고정자 구조를 제시하였다. 그리고 적층구조를 가지는 기기에 있어서 해석에 어려움이 있는 부분에 대하여 좀 더 정확한 해석을 위한 가지 방법을 제시하였으며 적층방향이 다른 축방향 전동기의 자속밀도와 코깅토크 특성을 해석하였다. 축방향 자속형 전동기 제작을 보다 용이하게 할 것이며, 적층구조를 가지는 기기의 해석에 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 에너지관리공단의 에너지·자원기술개발사업의 지원으로 수행된 논문임을 밝힙니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 조원영, "평판형 영구 자석 BLDC 전동기의 코깅토크 저감을 위한 특성해석", 대한전기학회 논문집, B권, 1180~1182, 2005
- [2] 조원영, "양측면식 평판형 영구 자석 동기 전동기의 오버행 효과에 관한 연구", 대한전기학회 논문집, B권, 1174~1176, 2005
- [3] M. Aydin, R. Qu and T. A. Lipo, Cogging torque minimization technique for multiple-rotor, axial-flux, surface-mounted-PM motors: alternating magnet pole-arcs in facing rotors, IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, Salt Lake City, 2003.
- [4] Z. Q. Zhu and D. Howe, Influence of design parameters on cogging torque in permanent magnet motors, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 15, No. 4, pp. 2000.