

# 축방향 자속형 전동기에서 연자성복합체 코어와 적층 전기강판 코어의 철손 비교

이민혁, 남광희  
포항공과대학교 전자전기공학부

## Iron Loss Comparison between Soft Magnetic Composite Core and Laminated Steel Core in Axial Flux Machine

Minhyeok Lee, Kwanghee Nam  
Dept. of Electrical Engineering, POSTECH

### ABSTRACT

Two axial flux permanent magnet (AFPM) machines using soft magnetic composite (SMC) and lamination steel are studied. Generally stator cores of AFPM machines are manufactured using SMC because AFPM machines need 3 dimensional core structures. However, SMC cores have very disadvantages in magnetic properties. Especially permeability value is much lower than that of lamination steel, so magnetic field density is also lower. In terms of core losses, SMC cores have much larger loss values than lamination steel cores because SMC core can't be laminated. In this study, AFPM machine was designed using laminated steel, and iron losses in two machines using SMC and laminated steel were studied. Simulations were carried out by a commercial 3 D FEM tool.

### 1. 서 론

AFPM 전동기는 가벼운 무게, 작은 축 방향 길이, 높은 토크 밀도를 가져 최근 관심을 받고 있다. AFPM은 전기 자동차, 전기 바이크, 풍력 발전기의 인 휠 전동기(in wheel machine) 분야에서 보통의 방사형 자속 전동기(radial flux machine)에 비하여 더 적합하다<sup>[1], [2]</sup>. 하지만 AFPM 전동기 제작시 큰 어려움은 고정자 코어가 전기강판을 적층하여 사용할 수 없다는 점이다. 많은 기존 AFPM 전동기 프로토타입들은 연자성 복합 분말 소재(SMC)를 사용하여 제작되었다<sup>[3]</sup>. SMC는 전기강판에 비해 투자율, 기계적 강성과 손실에서 매우 불리하다<sup>[3]</sup>. 이러한 단점을 보완하기 위하여 새로운 SMC 코어 공법을 이용한 방법이 소개되었지만 성능이 전기강판을 이용한 코어에는 미치지 못하였다<sup>[3]</sup>.

이 논문에서는 전기강판을 적층하여 제작할 수 있는 인 휠 전기자동차 및 바이크용 AFPM 전동기를 제안한다<sup>[4]</sup>. 제안된 AFPM 전동기는 24 슬롯 20 극의 분수권 모터이며 집중권 권선으로 설계 되었다. 제안된 전동기의 회전자는 ferrite 영구자석을 이용하였다. 제안된 전동기의 회전자는 희토류 자석에 비해 매우 낮은 에너지를 가진 ferrite 자석을 이용하였기 때문에 ferrite 영구자석을 원주방향으로 자화하고 그 사이에 철 구조를 두어 자속을 집중시키고 자속이 충돌 후 축 방향으로 흐르게 설계하였다. 적층이 불가능한 SMC를 사용한 고정자와 적층

을 이용한 전기강판을 사용한 고정자에 대하여 철손을 비교하여, 제안된 전기강판을 사용한 경우에 크게 철손이 감소함을 3 D FEM 시뮬레이션으로 확인하였다.

### 2. 축 방향 자속 전동기 구조<sup>[4]</sup>

#### 2.1 적층 전기강판 고정자와 SMC 고정자

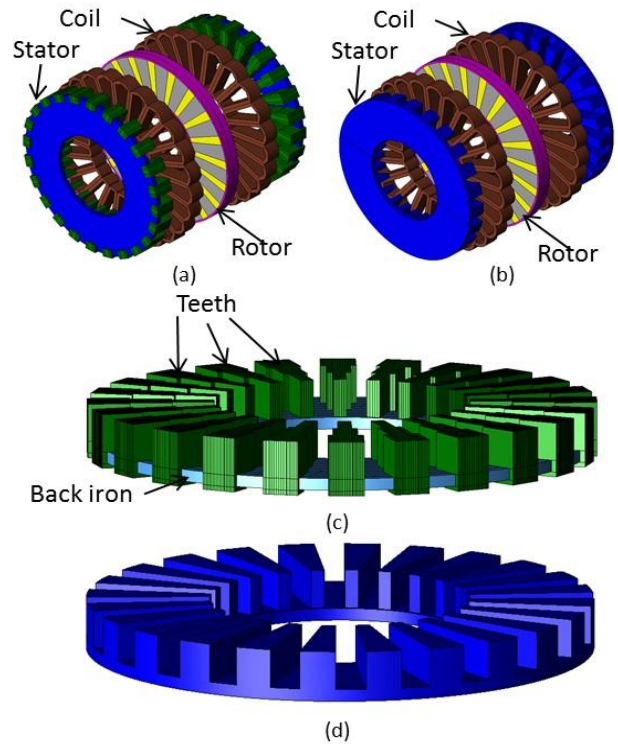


그림 1 The proposed axial flux PM machine structure : (a) overall view using laminated steel, (b) overall view using SMC, (c) laminated steel stator core view, (d) SMC stator core view.

Fig. 1 (a), (b)는 이중 고정자 사이에 하나의 회전자가 있는 전체적인 전동기 구조를 보여준다. Fig. 1 (c)에서 각각의 teeth 성분은 3종류의 전기강판을 적층하여 제작하고, Back iron은 전기강판을 등갈래로 말아서 제작하여 Back iron에 각각의 teeth를 조립할 수 있게 설계되었다. Fig. 1 (d)는 일반적인 SMC로 제작한 고정자를 보여준다.

## 2.2 자속 집중형 회전자

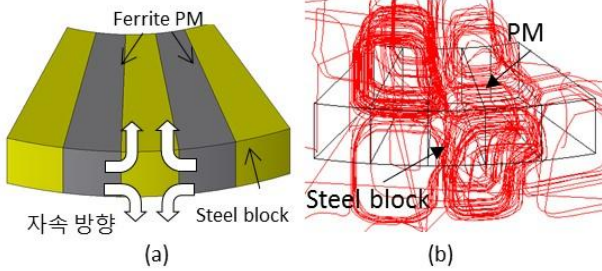


Fig. 2 flux concentrating rotor view : (a) circumferential magnetization, (b) 3D FEM simulation result.

Ferrite 영구자석은 희토류 자석에 비하여 에너지 생산량이 보통 약 1/10 이지만, 비용측면에서 희토류 자석에 대비 ferrite 자석은 1/10 값을 가진다<sup>[5]</sup>. Fig. 2는 ferrite 자석의 작은 flux 양을 보완하기 위한 자속 집중형 회전자 구조를 보여준다. Fig. 2 (b)에서 영구자석에서 나온 자속이 steel block에서 충돌 후 축 방향으로 흐르는 것을 3D FEM 결과로 보여준다.

## 3. 시뮬레이션 결과

적층 전기강판을 이용한 전동기와 SMC를 이용한 전동기, 두 종류의 전동기의 철손을 비교해보았다. Table 1은 두 전동기에 이용된 파라미터 값을 보여준다. 크기와 자석은 모두 같고 고정자 재료만 변경하여 시뮬레이션 하였다.

Fig. 3은 속도에 따른 고정자와 회전자의 steel block에서 철손을 비교한 결과를 보여준다. 회전자의 steel block에서는 양쪽 자석에 의해 자속의 변화량이 적어 철손량이 적고 고정자의 재료 변경에 크게 영향을 받지 않는 것을 확인할 수 있다. 하지만 고정자의 철손량은 적층 전기강판에서 크게 감소하는 것을 확인할 수 있다. SMC 고정자에서 약 79배의 손실 증가를 보인다. Fig. 4에서는 200rpm과 정격 전류에서의 손실량을 3D contour로 확인할 수 있으며, 적층 전기강판에서 크게 감소되는 것을 확인할 수 있다.

Table 1 Parameters of the proposed machine

Parameter	Values
Rated torque [Nm]	40
Rated speed [rpm]	200
Rated current [Arms]	40
Number of poles	20
Number of slots	24
Outer stator diameter [mm]	216
Axial length	63.6
Laminated steel	30PNF1600 (98% lamination)
Soft magnetic composite	Somaloy500+0.6LBI
Ferrite magnet	NMF 12G

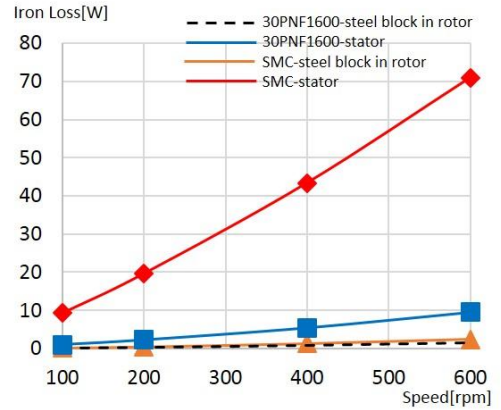


Fig. 3 Iron loss comparison in stator and steel block

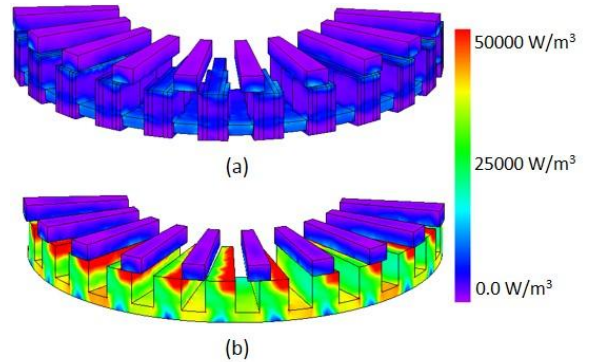


Fig. 4 Iron loss contour in stator and steel block @ 200rpm, rated current : (a) laminated steel stator core, (b) SMC stator core

## 4. 결 론

본 논문에서는 전기강판을 적층하여 설계된 AFPM 전동기를 제안하고, 제안된 전동기와 SMC를 이용하여 설계된 AFPM의 철손량을 비교하였다. 기존의 SMC를 이용하여 설계된 고정자에 비해 제안된 전동기의 철손량은 79배 감소하였다. 그 결과 효율개선에 큰 이득을 얻을 수 있다.

이 논문은 포항공과대학교의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

## 참 고 문 헌

- [1] Yicheng Chen, Pragasen Pillay, Azeem Khan, "PM Wind Generator Topologies," in *IEEE Trans. Industry Applications*, vol. 41, no. 6, pp.1619-1626, Nov. 2005.
- [2] Francesco Profumo, Zheng Zhang, Alberto Tenconi, "Axial Flux Machines Drives: A New Viable Solution for Electric Cars," in *IEEE Trans. Industrial Electronics*, vol. 44, no. 1, pp.39-45, Feb. 1997.
- [3] Patrick Lemieux, O. Jude Delma, Maxime R. Dubois, Roderick Guthrie, "Soft Magnetic Composite with Lamellar Particles Application to the Clawpole Transverse Flux Machine with Hybrid Stator" in *IEEE 2008 International Conference on Electrical Machines*.
- [4] Minhyeok Lee, Kwanghee Nam, "Flux concentrating axial ferrite magnet motor" in *IEEE 2015 International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC)*.
- [5] [http://www.novatorque.com/technology/ferrite\\_magnet\\_des\\_ign.html](http://www.novatorque.com/technology/ferrite_magnet_des_ign.html)