

Maxwell을 이용한 세탁기용 외전형 BLDC 전동기의 해석 및 설계

김재민·장철혁·정태경
중앙대학교 전자전기공학부

Analysis and Design of Outer-Rotor Type BLDC Motor using Maxwell

Jae-Min Kim · Cheul-Hyeok Chang · Tae-Kyung Chung
Chug-Ang University

Abstract - 본 논문에서는 세탁기용 외전형 BLDC 전동기를 기본 모델로 하고, 이를 FEM 상용프로그램인 Maxwell을 이용하여 해석 및 설계를 하고자 한다. 본 논문에서 설계대상으로 하는 외전형 BLDC 전동기는 기존에 사용중인 모델로서, 내부의 고정 전기자는 기존의 모델에 맞도록 외경을 그대로 유지하면서 Teeth 등을 설계변수로 하였고, 외부의 회전 자석계자는 주어진 외경의 치수 범위 내에서 영구자석의 형상과 두께, 회전자 요크의 두께 등을 설계 변수로 하여 코깁 토오크가 최소가 되도록 최적 설계를 하였다. 유한요소법을 적용하여 자속분포, 코깁 토오크, 토오크 등을 해석하였고, 코깁 토오크의 최소화를 통하여 효율 및 전동기의 성능을 향상시켰다.

1. 서 론

BLDC 전동기는 기존의 DC 전동기의 Brush에 의한 기계적 정류구조를 Hall 소자와 같은 반도체 소자를 사용하여 전자화한 것으로 회전자에는 영구자석을 사용한다. 따라서 DC 전동기에 비하여 소음이 적을 뿐만 아니라 Brush에 의한 마찰 손실이 없기 때문에 장시간 사용이 가능하여 광학기기, 사무기기, 컴퓨터 주변기기, 의료기기, VCR 및 캠코더, 가전기기 등에 널리 사용되고 있다. BLDC 전동기는 전기가 권선이 있는 고정자와 영구자석이 요크 표면에 부착 또는 요크 내부에 매입되어 있는 회전자로 구성되어 있다. 영구자석 재료로는 가격이 저렴한 페라이트 재질을 가장 많이 사용하고 있으며, 고효율·고출력을 얻기 위하여 에너지 밀도가 매우 높은 Nd-Fe-B 나 SmCo 와 같은 희토류 재질의 영구자석의 사용 또한 증가하고 있다.

BLDC 전동기는 공극의 구성방식에 따라 Axial-Type 과 Radial-Type으로 나눌 수 있으며, Radial-Type 은 Inner-Rotor Type과 Outer-Rotor Type으로 분류할 수 있다. 통상적으로 Rotor측은 계자자속을 만들어 주기 위한 영구자속과 자속의 경로를 구성해 주기 위한 회전자 철심부로 구성된다.

이러한 BLDC 전동기를 정밀제어하기 위해서는 토오크 변동률을 극소화시켜야 한다. 토오크 변동을 일으키는 요인 중 외부 제어장치로는 제어가 불가능한 코깁 토오크는 전동기의 소음과 진동의 주요 원인이 되기 때문에 전동시 설계시 반드시 고려해야 한다.

본 논문에서는 상용프로그램인 Maxwell을 사용하여 기존에 사용 중인 모델의 특성을 해석하였으며, 소음 및 진동의 주 원인이 되는 코깁 토오크를 저감시키기 위하여 계자 자극의 magnet arc angle을 고려하여 영구자석을 최적 설계하였다.

2. BLDC 전동기의 특성 해석

2.1 해석이론

Magnetic field에서의 토오크식은 다음과 같다.

$$\vec{j} = \vec{j} \times \vec{B} \quad [N/m^2] \quad (1)$$

\vec{j} : 자기력밀도 \vec{j} : 전류밀도 \vec{B} : 자속밀도

맥스웰 방정식을 이용하면

$$\vec{j} = \vec{j} \times \vec{B} = (\nabla \times \vec{H}) \times \vec{B} = \frac{1}{\mu_0} (\nabla \times \vec{B}) \times \vec{B} \quad (2)$$

이때, 자기장에서 체적 V인 물체에 작용하는 토오크T는

$$\vec{T} = \int_V (\vec{r} \times \vec{j}) dv = \int_V \frac{1}{\mu_0} \vec{r} \times [(\nabla \times \vec{B}) \times \vec{B}] dv \quad (3)$$

2.2 시뮬레이션 및 해석결과

2.2.1 기존 BLDC 전동기

본 논문에서 사용한 BLDC 전동기의 사양을 표 1에 시뮬레이션을 위한 모델링은 그림 1에 나타내었다. 코일은 집중권, 결선방식은 Y결선, 영구자석의 페라이트자석으로 Radial방향으로 착자 하였다.

표 1. 해석모델의 사양

공극 전압[V]	311	치고[mm]	32
상수	3	슬롯 개구폭[mm]	4
극수	24	치폭[mm]	6
슬롯수	36	회전자 내경[mm]	280
고정자 내경[mm]	154	회전자 외경[mm]	284
고정자 외경[mm]	258	축방향 길이[mm]	30
스큐	0	공극[mm]	1
회전수[rpm]	588	자석 두께[mm]	10
상당 턴수	1200	산류자속밀도[T]	0.33

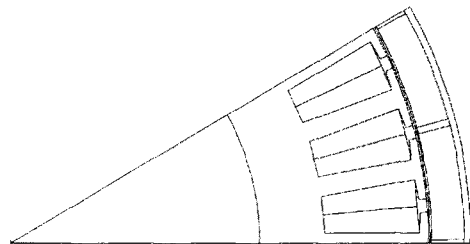


그림 1. 기존 BLDC 전동기의 모델링.

해석 모델은 24극으로 대칭구조이므로 해석 요소 수를 절감하기 위하여 전기적으로 한 주기에 해당하는 2극 즉, 전체의 1/12을 모델링 하였다. 그리고 해석의 편의상 영구자석회전자가 회전하는 대신에, 고정자가 반시계 방향으로 상대적으로 회전하는 것으로 하였다.

그림2 ~ 그림4는 기존 BLDC 전동기의 Flux Line, 무부하 회전속도, 코깅 토크를 나타내는 그래프이다.

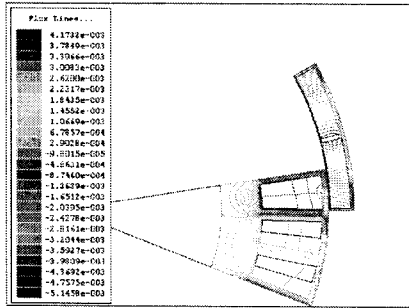


그림 2. 기존 BLDC 전동기의 Flux Line

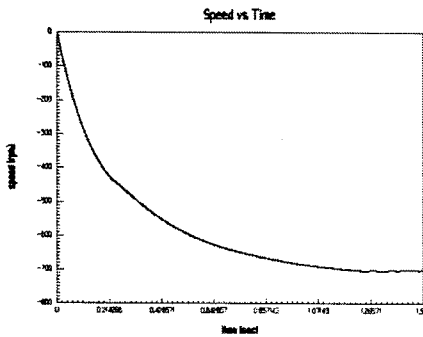


그림 3. 기존 BLDC 전동기의 무부하 회전속도

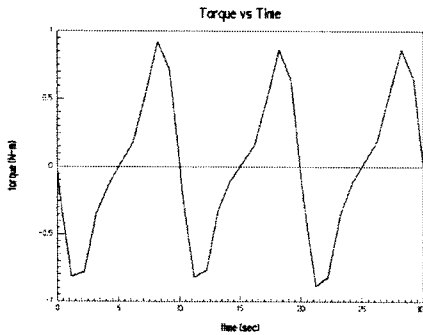


그림 4. 기존 BLDC 전동기의 코깅 토크

무부하 회전속도는 715[rpm], 그때의 코깅 토크는 0.85[N.m] 정도이다.

2.2.2 영구자석 최적 설계에 따른 코깅 토크 감소
코깅 토크를 감소시키기 위하여 그림5와 같이 영구자석을 설계하였다.

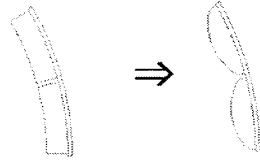


그림 5. 영구자석 최적 설계

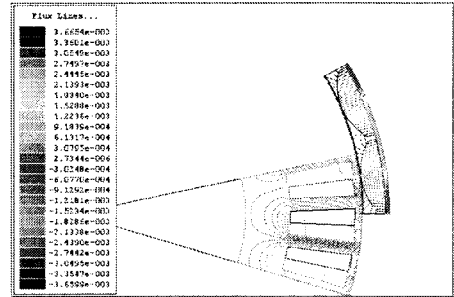


그림 6. 영구자석 형상 변화에 따른 Flux Line

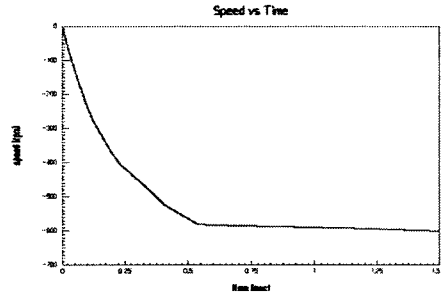


그림 7. 영구자석 최적설계시의 무부하 회전속도

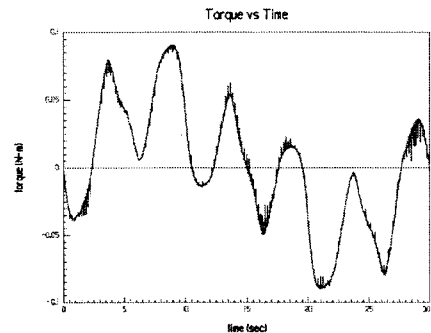


그림 8. 영구자석 최적설계시의 코깅 토크

그림5와 같이 영구자석을 최적 설계함으로써 무부하 회전속도는 715[rpm]에서 609[rpm]으로 개선되었으며, 그때의 코깅 토크는 0.85[N.m]에서 0.085[N.m]로 감소하였다. 그림7과 그림8은 영구자석 최적설계에 따른 무부하 회전속도와 코깅 토크를 나타내는 그래프이다.

2.2.3 Stator 최적설계에 따른 코깅 토포크 감소

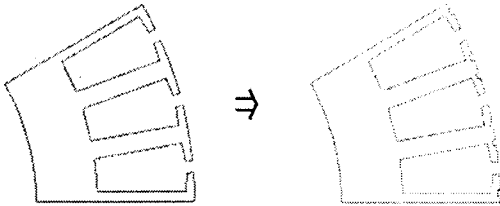


그림 9. 개선 전후의 Stator 형상

영구자석 최적설계에 의하여 코깅 토포크가 1/10로 감소되었지만 Stator 형상에 따른 코깅 토포크를 분석하고자 Stator 역시 코깅 토포크 감소를 위한 최적설계를 시행하였으며, [그림9]는 최적 설계 전후의 Stator의 형상을 나타낸 것이다.

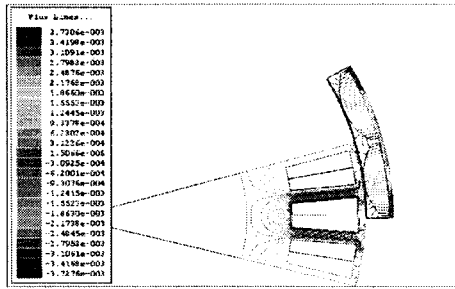


그림 10. Stator 최적설계에 의한 Flux Line

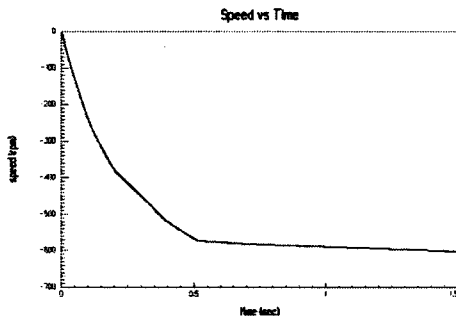


그림 11. Stator 최적설계에 의한 무부하 회전속도

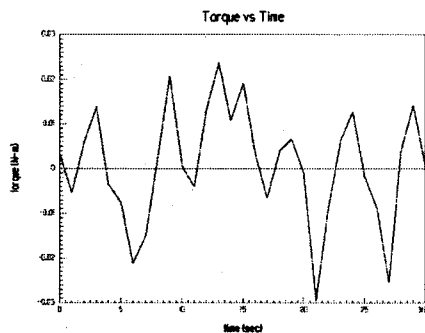


그림 12. Stator 최적설계에 의한 코깅 토포크

그림10과 같이 Stator(고정자)를 최적 설계함으로써 무부하 회전속도는 609[rpm]에서 585[rpm]으로 개선되었으며, 그때의 코깅 토포크는 0.085[N.m]에서 0.03[N.m]로 감소하였다. 그림10 - 그림12는 고정자 최적 설계에 따른 Flux Line, 무부하 회전속도, 감소된 코깅 토포크를 나타낸 그래프이다.

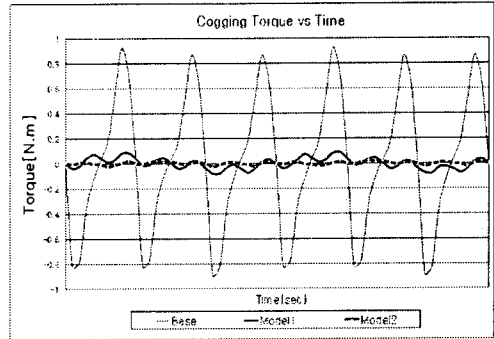


그림 13. 코깅 토포크 비교

3. 결 론

본 논문은 FEM 상용 프로그램인 Maxwell을 사용하여 기존의 세탁기용 외전형 BLDC 전동기의 코깅 토포크를 감소시키고자 하였다. 회전자의 영구자석과 고정자의 형상을 설계변수에 의하여 최적 설계함으로써 그림13과 같이 코깅 토포크가 0.85[N.m]에서 0.03[N.m]로 감소되었으며, 그에 따라 전동기의 특성 또한 향상되었음을 확인하였다. 향후 이변에 설계된 모델에 더하여 32:36(자석:슬롯)모델의 전동기를 설계한다면 코깅 토포크는 더 많이 감소될 것으로 생각한다.

[참 고 문 헌]

- [1] T.J.E. Miller, "Brushless Permanent-Magnet and Reluctance Motor Drives", Clarendon Press, 1989
- [2] J.R.Hendershot and T.J.E. Miller, "Design of Brushless Permanent-Magnet Motors", Magna Physics Publishing and Clarendon Press, 1994
- [3] S.J.Salon, "Finite Element Analysis of Electrical Machine", Kluwer Academic Publisher, 1995
- [4] Gordon R.Slemon, " Electric Machine and Drives", Addison-Wesley Publishing Company,INC, 1992
- [5] 大川光吉, "페라이트 자석회전기의 설계", 동일출판사, 1995
- [6] 임달호, "電氣界의 有限要素法", 東明社, 1987
- [7] Takeo Ishikawa, Gordon R. Slemon. "A Method of Reducing Ripple Torque in Permanent Magnet Motors Without Skewing", IEEE Trans. on Magnetics, Vol.29, No.2, pp.2028-2031, March 1993
- [8] Chang-Seop Koh, Hee-Soo Yoon, Ki-Woong Nam, Hong-Soon Choi, "Magnetic Pole Shape Optimization of Permanent Magnetic Motor for Reduction of Cogging Torque", IEEE Trans. on Magnetics, Vol.33, No.2, pp.1822-1827, 1997