

이중고정자 발전기의 영구자석 형상 최적화 설계

이경찬*, 유진형*, 정태욱*
 경남대학교*

Optimal Design on Permanent Magnet Shape of Dual Stator Type Generator

Gyeong-Chan Lee*, Jin-Hyung Yoo*, Tae-Uk Jung*
 Kyungnam University*

Abstract - 오프 그리드 형태의 소형풍력발전기는 도심지 또는 사람이 거주하는 지역에 설치되므로 소음, 진동, 안전성 등에 많은 문제가 야기되고 있다. 풍력발전기 내부적으로 소음 및 진동에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 코깅토크로 발전기 회전자 회전할 때 고정자 슬롯과 회전자 영구자석 사이 공극 릴럭턴스 변화에 의해 발생한다. 또한, 코깅토크는 풍력발전기의 초기 기동 풍속에 영향을 미치며, 토크리플 증가의 원인이 되어 코깅토크 저감 설계는 소형풍력발전기 설계에서 필수적으로 이루어져야 한다. 본 논문에서는 실험계획법을 진행하여 이중고정자 발전기의 영구자석 형상 최적화 설계를 통해 코깅토크를 저감 설계를 실시하였으며, 추가적으로 발전기 출력 전압 고조파 발생을 저감시켰다.

1. 서 론

에너지 공급 확보와 기후 변화에 대처하기 위한 온실가스(GHG) 배출량 감소, 생물 다양성 보호, 신재생에너지 개발, 에너지 절약 및 효율 개선 등이 세계적으로 중요한 화두가 되고 있다. 다양한 신재생에너지 중에서 풍력에너지는 비교적 성숙 기술로 인정받고 있으며, 상용화와 대량 생산에 있어 엄청난 잠재력을 가지고 있다[1].

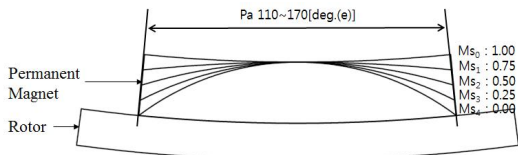
그러나, 오프 그리드 형태의 소형풍력발전기는 도심지 또는 사람이 거주하는 지역에 설치되므로 소음, 진동, 안전성 등에 많은 문제가 야기되고 있다. 풍력발전기 내부적으로 소음 및 진동에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 코깅토크로 발전기 회전자 회전할 때 고정자 슬롯과 회전자 영구자석 사이 공극 릴럭턴스 변화에 의해 발생한다. 또한, 코깅토크는 풍력발전기의 초기 기동 풍속에 영향을 미치며, 토크리플 증가의 원인이 되어 코깅토크 저감 설계는 소형풍력발전기 설계에서 필수적으로 이루어져야 한다 [2-3].

본 논문에서는 실험계획법을 진행하여 이중고정자 발전기의 영구자석 형상 최적화 설계를 통해 코깅토크를 저감 설계를 실시하였으며, 추가적으로 발전기 출력 전압 THD(Total Harmonic Distortion)를 확인 하여 고조파 발생을 저감 시켰다.

2. 영구자석 형상 설계

본 논문에서 제안한 영구자석 형상 설계는 그림 1과 같이 영구자석 극호 길이와 영구자석 끝단 형상을 등근 원형 형태로 변화시켜 영구자석과 고정자 슬롯 사이에서 발생하는 공극 릴럭턴스 변화가 저감되어 코깅토크 발생이 저감된다.

또한, 영구자석 형상 설계를 진행함에 따라 고정자 슬롯 및 공극 등에서 발생하는 자속 포화, 누설 자속 등이 저감되어 발전기 출력 전압 THD도 함께 저감되었다.



〈그림 1〉 영구자석 형상 설계

영구자석 형상설계를 내부 영구자석과 외부 영구자석 각각 극호 설계 7모델, 영구자석 끝단 설계 5모델로 선정하여 설계를 진행하였으며, 영구자석 형상 설계 변수는 표 1과 같다.

〈표 1〉 영구자석 형상 설계 변수

Pa	110	120	130	140	150	160	170
Ms	0	0.25	0.50	0.75	1.00		

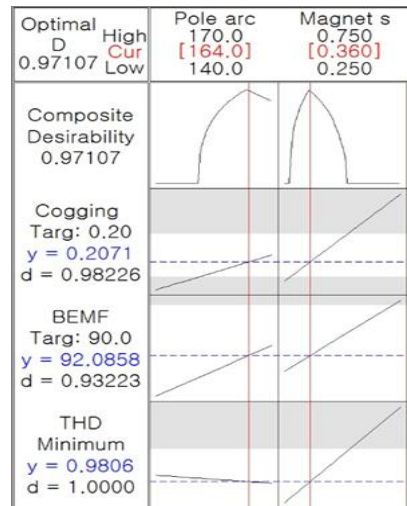
3. 최적화 설계

영구자석 형상 최적화 설계는 내부/외부에서 발생하는 출력 결과를 바탕으로 실험계획법을 진행하여 목표로 한 출력 결과를 도출하였다.

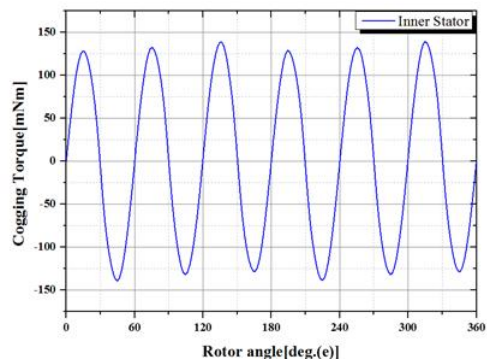
발전기 출력 설계 목표는 코깅토크 등고선도(Contour plot) 및 THD 등고선도를 우선적으로 확인하여 목표 값을 설정 하였으며, 이중 고정자 발전기에서만 설계가 가능한 고정자 위치 전이를 실시하기 위해 동일한 코깅토크가 발생되게 하였다. 또한, 영구자석 형상 설계는 내부 고정자, 외부 고정자 각각 설계하여 최종적으로 발전기 2대를 합쳐 출력 특성을 도출 하였다.

3.1 내부 영구자석 설계

영구자석 형상 최적화 설계 목표는 발전기 출력 등고선도를 확인하여 그림 2와 같이 코깅토크 0.2[Nm], THD 1.5[%] 이하, 상당 출력 전압 90[V_{rms}]가 발생되도록 실험계획법에 적용하여 목표로한 설계 결과를 확인 하였다.



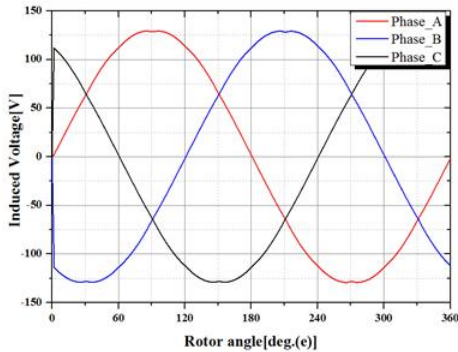
〈그림 2〉 내부고정자 영구자석 형상 최적화 설계 결과



〈그림 3〉 코깅토크 파형(내부 고정자)

그림 3과 4는 내부 고정자 영구자석의 형상 최적화 설계 결과에 따른 코깅토크 및 역기전력 발생 파형을 나타낸다. 실험계획법에 의한 최적화

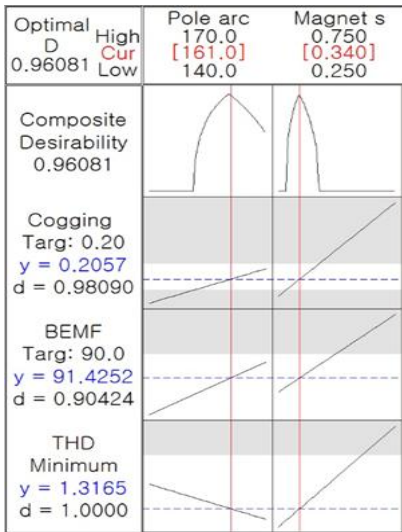
설계에서 영구자석 극호 164[deg.(e)], 영구자석 형상 0.36에서 코깅토크 0.2[Nm], THD 0.98[%]가 발생된다는 결과를 도출 하였으나, 코깅토크 0.125[Nm], THD 0.68[%]로 오차가 발생되었다. 실제 모델링 결과에서 발생한 오차는 실험계획법 프로그램 툴의 결과 피팅 및 설계 공차에 의해 발생된다고 판단된다.



〈그림 4〉 역기전력 파형(내부 고정자)

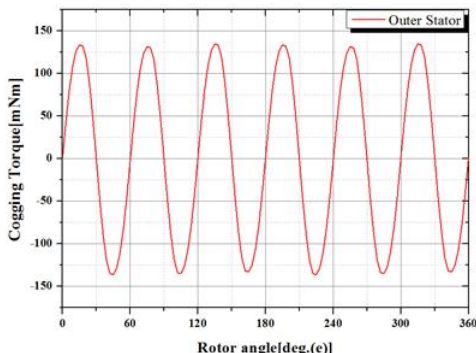
3.2 외부 영구자석 설계

외부 고정자 측의 영구자석 형상은 내부 고정자 측의 영구자석 형상 설계와 동일하게 발전기 출력 등고선도를 확인하여 그림 5와 같이 코깅토크 0.2[Nm], THD 1.5[%] 이하, 상당 출력 전압 90[Vrms]가 발생되도록 실험계획법에 적용하여 목표로 한 설계 결과를 확인 하였다.

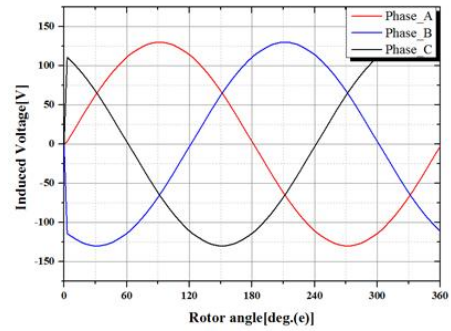


〈그림 5〉 내부고정자 영구자석 형상 최적화 설계 결과

그림 6과 7은 외부 고정자 영구자석의 형상 최적화 설계 결과에 따른 코깅토크 및 역기전력 발생 파형을 나타낸다. 실험계획법에 의한 최적화 설계에서 영구자석 극호 161[deg.(e)], 영구자석 형상 0.34에서 코깅토크 0.2[Nm], THD 1.31[%]가 발생된다는 결과를 도출 하였으나, 코깅토크 0.12[Nm], THD 0.2[%]로 내부 고정자 해석 결과와 마찬가지로 오차가 발생되었다.



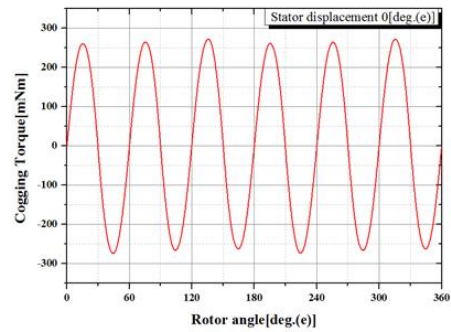
〈그림 6〉 코깅토크 파형(외부 고정자)



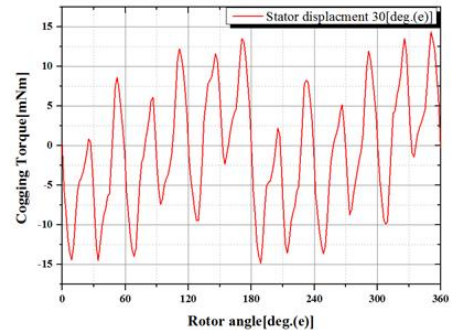
〈그림 7〉 역기전력 파형(외부 고정자)

4. 고정자 위치 전이

고정자 위치 전이는 하나의 회전자에 두 개의 고정자가 결합된 구조의 발전기에 적용 가능한 코깅토크 저감 방법으로, 내부 고정자, 외부 고정자 각각 발생하는 코깅토크 발생 위상을 180[deg.(e)] 차이나게 하여 코깅토크를 저감 시키는 방법이다.



〈그림 8〉 고정자 위치 전이 전 코깅토크



〈그림 9〉 고정자 위치 전이 후 코깅토크

그림 8과 9는 고정자 위치 전이 전·후의 코깅토크 발생 파형을 나타내며, 고정자 위치 전이 후 코깅토크가 0.1[Nm] 이상 저감되는 것을 확인할 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 실험계획법에 의거해 영구자석 형상 최적화 설계를 실시 하였다. 설계 결과 발전기 내부에 발생하는 코깅토크를 저감 시켰으며, 발전기 출력 전압 THD는 내부/외부 고정자 각각 1[%] 이하로 발생되었다.

감사의 글

본 연구는 2015년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행하였음(NRF-2013R1A1A2010691)

[참 고 문 헌]

[1] 박종규 “새롭게 부상하는 소형풍력발전” KISTI MARKET REPORT, Vol. 2 Issue 7.
 [2] P. Sivachandran, P. Venkatesh , N. Kamaraj, “Cogging Torque Reduction in Dual-Rotor Permanent MAGnet Generator for Direct Coupled Stand-Alone Wind Energy Systems”, ICSET pp. 24-27, Nov, 2008.
 [3] N. Bianchi, S. Bolognani, “ Design Techniques for Reducing the Cogging Torque in Surface-Mounted PM Motors” IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 38, No. 5 Sep.-Oct., 2002.