

다극형 고효율 풍력발전용 1kw급 발전기에 관한 연구

전승규*, 이성호**, 차현록**, 김광현* 김경수**, 이준호*
전남대*, 한국생산기술연구원**

Study of 1kW Multi pole and High Efficiency Synchronous Generator for Wind Power

Seung-Kyu Jeon*, Sung-Ho Lee**, Hyun-Rok Cha**, Kwang Heon Kim*, Kyung-Su Kim**, Jun-Ho Lee*
Chonnam National University*, Korea institute of industrial technology**

Abstract -1kW급 저속용 수직형 풍력발전기용 동기발전기 설계에 대해 설명한다. 낮은 풍량에 유리한 수직형 블레이드 특성에 맞춰 발전기는 코깁 토크가 낮아야 하며, 고효율화를 위해 다극형 설계가 유리하다. 현재 국내 수직형 풍력에 적합한 발전기가 대부분이며 수직형 풍력발전기에 적합한 낮은 코깁 토크의 발전기는 일반화 되어있지 않다.

본 논문에서는 동기발전기 최적 설계를 통해 코깁토크를 최소화 시켰고, 다극형 형태를 통해 낮은 풍량에서 고효율 출력을 만들어낼 수 있도록 200rpm에서 역기전력 96V, 1kw의 정격출력을 가지도록 설계 하였다. 수직축형태의 블레이드에 구조에 맞춰 축계통형 발전기 구조를 가지고 있고, 유한요소해석법을 이용 회전자, 고정자, 권선법, 영구자석 등의 구조를 최적화 시켰다.

1. 서 론

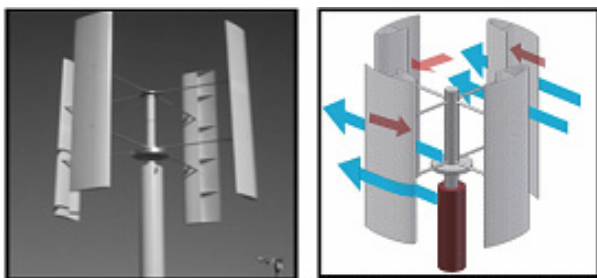
풍력발전은 바람이 가지는 운동에너지를 받아 전기적 또는 기계적 에너지 형태로 변환시키는 것으로 무공해 무한정의 바람을 이용하므로 환경에 미치는 영향이 적고, 연료비가 거의 없으며, 화석연료 대체효과가 커 단계적으로 화석연료와 대등한 가격 경쟁력을 확보할 수 있는 대체 에너지이다.

일반적으로 풍력발전기는 수평축과 수직축으로 구분할 수 있다. 수평축 풍력발전기에 가능한 바람은 평균 초속 4m/s 이상이 필요하며, 수직축에 비해 높은rpm영역에서 발전이 가능하며, 기존 발전기는 수평축 발전기에 맞춰 설계되었기 때문에 낮은rpm에서 발전 하지 못하는 문제가 발생하였다.

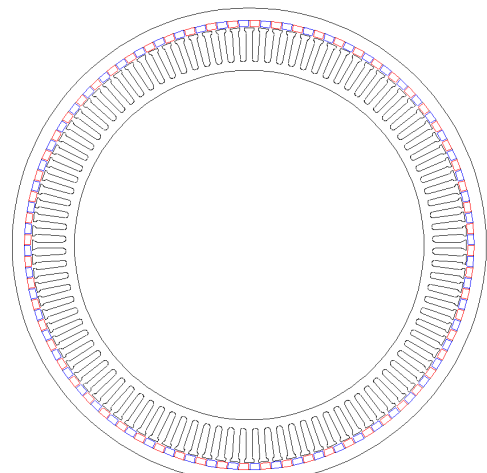
수직형 블레이드를 사용한 풍력발전은 수평형과 비교해 풍속 1m/s에 자기기동가능 하며, 2.5m/s에서 발전이 가능하며, 저 풍속에서 높은 토크를 발생 시킨다. 낮은 rpm에서 구동 가능 하도록 코깁토크를 최소로 하는 수직형 풍력발전에 적합한 풍력발전기 설계가 필요하다.

영구자석형 동기발전기는 고밀도 에너지를 갖는 회전자계 영구자석의 사용으로 높은 운전 효율을 갖고, 계자 권선과 전류를 필요하지 않기 때문에 구조가 단순화 가능하며, 제작에 용이하다.

본 논문에서는 저속에서 직접 구동하는 영구자석형 동기발전기 설계 모델을 제안하였고, 발전기의 코깁 토크는 최소화 되어야 하기 위해, 다극형 발전기형태를 제안 하였고, 코깁토크를 저감 할 수 있는 여러 인자들을 적용하여 유한요소법을 통해 코깁토크를 최소화 하여 저 풍속에 발전 가능한 발전기 설계를 하였다.



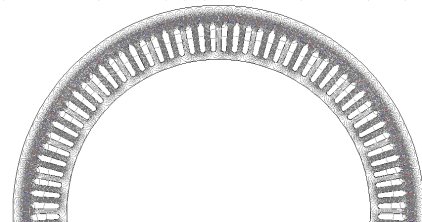
〈그림 1〉수직형 풍력발전 블레이드



〈그림 2〉제안된 모델

2.2 풍력용 다극형 발전기의 Slot과 Pole비에 따른 자계 분포 비교

수직형 풍력발전기 특성 해석 하기위해 영구자석형 동기발전기를 그림 3과 같이 제안하였다. 표. 1은 그림. 2를 해석하기 구체적인 사양을 나타내고 있다. 그림. 3은 유한요소법을 이용한 결과 값이며, Slot과 Pole비에 따른 자계 분포를 비교 분석하여 최적 설계안을 제안하고자 하였다.



〈그림 3〉 유한요소 해석 통한 자계분포

2. 본 론

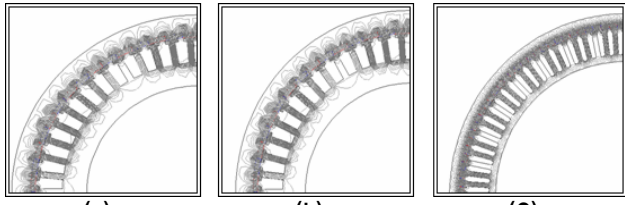
2.1 설계 제원 및 해석 방법

2.1.1 설계 제원

〈표 1〉해석 모델 설계 사양

항 목	해석 사양
정격 출력	1kW
전 압	96V
전 류	10.4A
효 율	90 %
정격 속도	460rpm
적층 높이	35mm

그림. 4는 낮은 풍량에 유리한 다극형 발전기 설계를 통해 낮은rpm에서 고효율을 위해 유한요소해석법을 이용 Slot 과 Pole변수를 찾았다. Slot 과 Pole의 비율에 따른 제안된 모델의 자속분포를 나타내고 있으며, 표. 2는 Slot 과 Pole변수에 따른 코깅토크의 값을 나타낸 것이다. 비교 결과 96Slot 128Pole의 구조를 가질 때, 코깅토크가 가장 적은 것을 알 수 있다. 이는 이전의 연구결과에서 슬롯과 극수비의 조합이 0.75임이 최저로 나타나며[1], 이를 적용 시 우리가 제안한 모델의 코깅토크 또한 최저가 됨을 알 수 있었다.

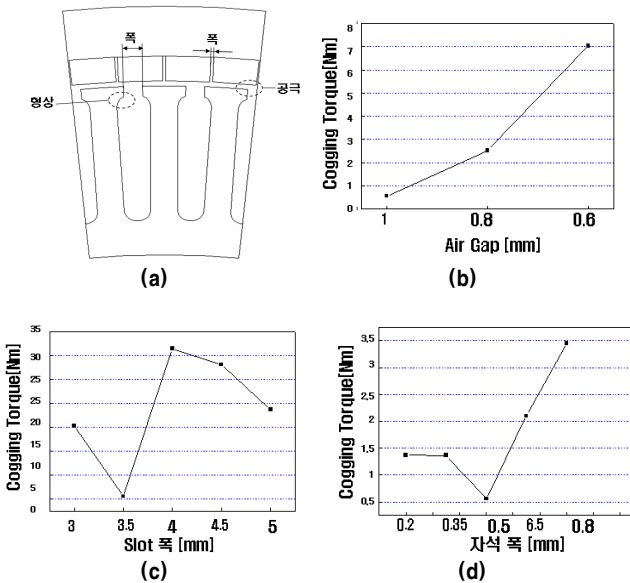


〈그림 4〉 Slot과Pole 변화에 따른 자속밀도 분포
(a)54Slot/60Pole (b)72Slot/96Pole (c)96Slot/128Pole

〈표 2〉 Slot과Pole 변화에 따른 코깅토크 설계 결과

Slot/Pole	코깅토크[N/m]
(a)54/60	1.1
(b)72/96	4.72
(c)96/128	0.5

2.3 풍력용 다극형 발전기의 코깅토크 저감을 위한 설계 방법



(a) 설계 변수 인자
(b) Air Gap 조건에 따른 코깅토크의 변화.
(c) Slot 폭에 따른 코깅토크의 변화.
(d) Rotor 자석 폭에 따른 코깅토크의 변화.

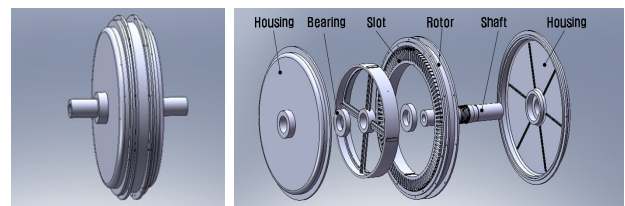
〈그림 5〉 슬롯 간격과 공극 따른 코깅토크 변화

그림 5에서와 같이 코깅토크에 영향을 주는 여러 인자를 조건을 바꿔가며, 코깅토크 값을 해석하였다. 해석 결과 슬롯의 폭은 Winding을 고려하여 3.5mm 일 때 가장 낮은 코깅토크가 발생하였고, Stator와Rotor의 Air Gap의 거리에 따른 변화는 1mm 일 때 가장 좋은 특성을 보였다. 회전자 자석의 영구자석 폭을 배치를 통하여 폭 0.5mm 일 때 코깅토크가 가장 저감된다는 것을 알 수 있다.

3. 결 론

〈표 3〉 해석 모델 최종사항

항 목	측정결과
코깅토크	0.56 Nm
토크 리플	2.9 %
효 율	89.76 %
상당 권선 수	20 Turns
선간 저항	1.195
자 석	Nd-38
자속 밀도	1.075 T
외 경	∅ 400mm
극 수	128
슬롯 수	96



〈그림 6〉 제안된 발전기 모델 구조

본 논문에서는 저 풍속에 적합한 코깅토크0.5[Nm]의 발전기 개발을 위해 3상 128극 96슬롯을 제안 하였다. 유한요소 해석법을 통해 코깅토크를 저감하는 최적의 다극형 동기발전기 설계함으로써 저 풍속에서도 발전 가능한 발전기를 설계 할 수 있었으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- ① 다극화 와 코깅 저감 인자들을 유한요소해석을 통해 코깅토크를 저감 할 수 있었고, 효율을 높일 수 있었다.
 - ②다극형 동기발전기는 200rpm에서 동작 1kW의 출력 시 효율 89.6%로 목표치에 도달함을 알 수 있었다.
- 본 논문에서 제안된 수직형 풍력발전기에 적합한 발전기 설계를 통해 저 풍속에서도 고효율 발전이 가능하며, 바람이 일정하지 않고 풍속이 적은 도시형 풍력발전시스템의 발전기로 이용 될 수 있으리라 예상된다.

[참 고 문 헌]

- [1] J.R.HENDERSHOT jr TJE MILLER "DESIGN OF BRUSHLESS PERMANENT-MAGNET MOTORS" P.3-13
- [2] Dr.Duane Hanselmen "Brushless Permanent Magnet Motor Design"
- [3] 유대일의, "BLDC 전동기의 코깅토크 저감을 위한 고정자 설계", KIEE 2006
- [4] 김병국의 "Development of Direct Drive Permanent magnet Wind Generator with Low speed and High torque" KIEE 2007
- [5] 서형석의 "2MW 풍력발전용 영구자석형 동기발전기 설계" KIEE 2007
- [6] 김경수 외"FEA 기법을 이용한 수력용 영구자석 다극 동기발전기 최적 설계"KIEE 2008