

소형 풍력용 영구자석형 발전기 특성 해석

김형길*, 공정식**
(주)셀텍*, 서라벌대학**

Characteristics Analysis of Permanent-Magnet Generator for Small Wind Turbine

Hyoung-Gil Kim*, Jeong-Sik Kong**
SeolTech Co., Ltd*, Sorabol College**

Abstract - The small wind turbines under a few kW grades has the merits of setting up with low costs by individuals, and get the energy saving effects that, it has the secured, separate markets from the big range systems, and the developing of it is continuously proceeding.

The objective of this paper is to provide the design characteristics analysis of a dual-rotor, ironless, Radial Flux Permanent Magnet(RFPM) machines for small wind turbine. This thesis is aiming mainly analyzing the characteristics of the output power of the Prototype to verify through the theoretical study and tests. The results reveal an indication of the machine best suited with respect to performance criterion for a particular design requirement.

1. 서 론

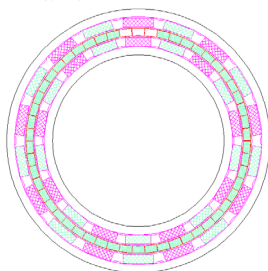
풍력발전은 에너지 위기와 환경문제 등을 겪으면서 그 이용의 필요성이 커져 세계 여러 나라들은 과거에 풍력을 이용했던 경험과 풍력발전 사업에 집중 투자하여 소형 발전 시스템에서부터 수 MW급 발전 시스템에 이르기 까지 많은 연구와 실증 실험을 하고 있으며, 특히 석유 에너지 자원이 없는 우리나라는 풍력을 이용한 에너지 절약 방법이 매우 중요하며 이와 관련된 기술의 발달로 안정된 운영이 가능할 뿐만 아니라 경제성도 과거 보다 향상되었다[1]. 수 kW급 이하의 소형 풍력 발전기들은 저 비용으로 개인이 직접 설치하여 에너지 절약 효과를 느낄 수 있는 장점이 있기 때문에 대형 시스템과는 별도의 시장을 확보 하고 있으며, 지속적으로 기술 개발이 이루어지고 있다.

본 논문에서는 소형 풍력용 Dual-Rotor RFPM(Radial-Flux Permanent Magnet) 발전기의 특성계산에 필요한 설계식을 도출하고, 이에 적합한 Prototype 영구자석형 발전기를 제작 하였으며, 특성 실험을 통해서 풍력발전용 직적 구동형 PM 발전기를 다양하게 적용 할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 풍력용 Outer-Rotor PM 발전기의 구조와 원리

바람을 이용하는 풍력발전은 풍속에 의해 1차적으로 회전 블레이드(Blade)에 의해 기계적 에너지로 변환하고, 기계적 에너지를 이용하여 발전기의 회전자로 구동시켜 최종적으로 전기에너지로 변환된다. 발전기 선택과 방식에 따라서 전체 시스템과 전력 변환 장치가 다를 수 있다. 본 논문의 Dual-Rotor PM 발전기는 코어리스 이며, 고정자 내-외측에 영구자석이 배치된 아웃로터(Outer rotor)형태로 되어 공극에서 자속 방향이 발전기의 기계 축과 수직으로 형성되어 단위 무게당 출력이 크고 고에너지 밀도를 갖도록 설계 할 수 있다[3].

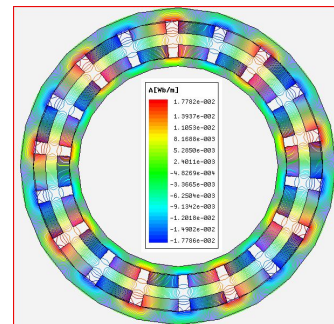


〈그림 1〉 코어리스 Dual-Rotor RFPM 발전기 구조

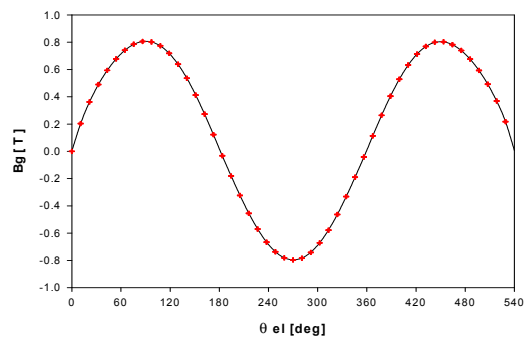
코어리스(Coreless)의 장점은 권선의 체적 밀도를 상대적으로 높게 설계 할 수 있으며, 코킹 토크(cogging torque)에 의해 발생되어지는 손실을 줄일 수 있다. RFPM 발전기는 공극면이 회전축과 평행하는 형태이며, 공극 내에는 축과 수직 방향의 자속이 발생한다. 그림. 1에 RFPM 발전기의 개략적인 구조를 나타내었다. 회전자는 Dual Yoke에 영구자석(Nd-Fe-B)이 부착된 형태로서, Ironless 고정자 양쪽 측면의 두 개의 회전자로 구성되어 있다. 또한 영구자석이 부착된 두 개의 회전자가 팬 역할을 하므로 고정자의 권선에서 발생하는 열의 방출을 용이하게 하여 같은 용량의 권선에 비하여 더 많은 전류를 흘릴 수가 있다. 고정자에 쓰이는 에폭시는 코어와 같은 기계적인 특성을 갖추어야 하므로 고강도 이면서 열에 강한 것으로 설계하였다. 발전기의 회전자가 아웃로터(outer-rotor)이므로 기어를 사용하지 않고 직접 날개를 부착하여 사용할 수 있다. Outer 발전기는 효율적인 냉각 및 Slim형으로 제작할 수 있는 장점을 가지고 있다.

2.2 FEM을 이용한 자기 회로 해석

본 논문에서는 유한요소해석법(FEM 2D)을 적용하여 다양한 형태의 자로 해석을 수행하였다. 코어리스는 중앙에 철심이 없기 때문에 마주 보는 영구자석의 극이 서로 다른 극(N-S)이 되도록 구성한다. 이와 같은 구조의 자극 배치가 그림 2에 나타나 있다.



〈그림 2〉 자속 밀도 분포-FEM



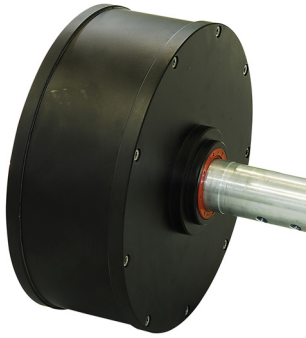
〈그림 3〉 공극에서의 자속 밀도-Bg

영구 자석형 발전기 설계에서 공극 길이와 자속 밀도와 밀접한 관계가 있으므로, 공극에 대한 자속 밀도 값을 2차원 유한요소법(FEM)으로 시뮬레이션을 통해 해석한 값을 그림 3에 나타내었다. 양쪽 회전자 자석 사이의 공극길이는 12mm이며 공극 자속 밀도는 Max 0.8 T이다. FEM

해석법을 적용한 발전기 자속 해석에서 모든 공극 부분에서 자로의 형성은 동일함을 알 수 있다. 이 과정에서 공극에서 도체와 쇠코어지 못하고 인접한 영구자석 사이에서 생성되는 누설자속과, 회전자 간의 누설이 생성됨을 확인하였다.

2.3 실험 및 결과

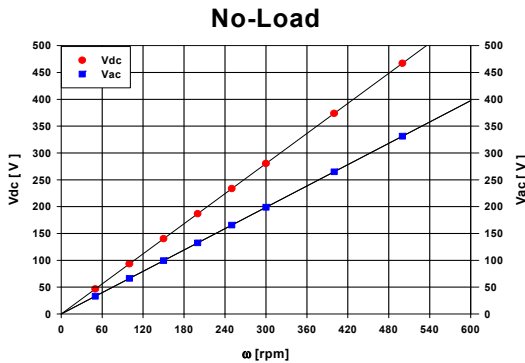
본 논문의 소형 풍력용 영구자석형 발전기는 직접 구동방식으로 18극의 다극기이며, 저속용으로 제작 되었으며, 발전기 회전자로 이어지는 중간 동력변환 장치가 없기 때문에 에너지변환 효율이 상대적으로 높게 설계 되었다. 그림 4는 Prototype Dual-Rotor RFPM 발전기를 나타내고 있다. Table 1은 실험을 위해 제작된 풍력용 영구자석형 발전기의 사양을 나타낸다. 영구자석형 AC 풍력 발전기는 AC에서 DC로 전력 변환을 한다. 발전기의 특성실험을 위하여 입력에는 풍력 대신 전동기를 사용하였으며 발전기의 3상 출력을 AC/DC 컨버터를 통하여 저항 부하단에 연결하였다. 입력의 전동기의 속도를 가변하여 무부하시 속도와 유키기전력은 그림 5에 나타내었으며, 발전기 회전속도를 500rpm까지 변화시켜 가면서 출력 선간AC, 정류 DC전압을 측정하였다. 유키기전력은 속도에 비례한다는 것을 알 수 있다.



<그림 4> Prototype Dual-Rotor RFPM Generator

Table 1: Prototype 소형 풍력용 발전기 사양

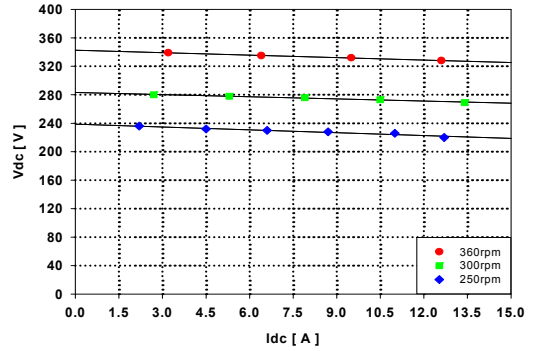
| | |
|----------------------|---------|
| Output Power | 3kW |
| Rated Speed | 360 rpm |
| Number of phase | 3 |
| Number of pole | 18 |
| Magnet type | NdFeB |
| Resistance/phase | 0.57 Ω |
| Inductance/line-line | 42.5 mH |
| Outer diameter | 360 mm |
| Stator thickness | 10 mm |
| Magnet thickness | 10 mm |
| Air gap | 12 mm |
| Total weight | 45 kg |



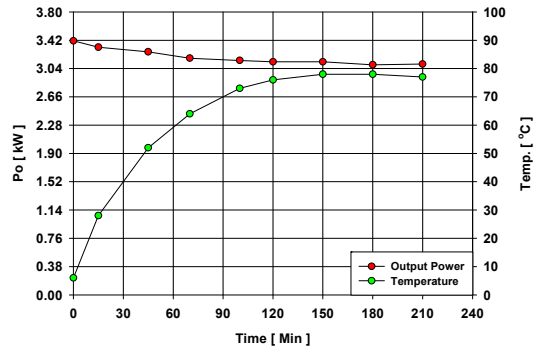
<그림 5> 부무하 실험-Voltage vs. rpm

가변 속도에 대한 부하 실험을 통하여 발전기의 출력 특성을 측정하였다. 영구자석형 발전기의 회전 속도가 200-500rpm에서 출력은 1.6-4.2 kW로 측정되었다. 또한 연속 정격 출력 실험을 통하여 발전

기의 내부 온도 특성을 알 수 있었다. 그림 7은 실내에서 발전기 3kW-360rpm시 연속 정격 실험으로써 고정자 코일 온도는 최대 78 °C 측정 되었으며 풍력 적용시 풍속에 대해서 열 방출 환경이 측정 온도 보다 낮을 것으로 예상된다. 발전기의 손실은 전기적 손실과 기계적 손실로 나누어진다. 전기적 손실에는 동손과 철손이 대부분인데, 본 논문의 발전기는 Ironless형이므로 대부분의 손실이 동손이다. 또한 AC/DC 컨버터에 의한 정류기 손실을 포함하고 있다. 저항 부하시 Prototype Dual-Rotor PM 발전기는 360rpm에서 3kW 출력시 효율이 94 %로 측정되었다.



<그림 6> 부하 실험- Vdc vs. rpm



<그림 7>연속 정격-온도 특성 실험

3. 결 론

본 논문은 3kW급 직접 구동형 PM 발전기를 설계하고 특성 해석하고, 유한요소법(FEM)을 이용하여 공극의 자속 밀도를 계산하였고 특성 해석을 바탕으로 prototype 발전기를 제작하였으며, 실험을 통해서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 영구자석형 발전기의 정격 회전속도를 저속으로 설계함으로써 풍력용으로 구조를 간략화 할 수 있었다.
- 2) 고정자 코어가 없는 구조이므로 코깅(cogging)토크에 의한 손실을 제거 하였고 전체적인 효율을 높일 수 있었다
- 3) 저항 부하 실험 결과 prototype Ironless PM 발전기는 360rpm에서 3kW 출력시 효율이 94%로 양호한 특성을 확인하였다.

앞으로 본 연구 결과를 보완하여 계통형 3kW 소형 풍력발전 시스템에 적용하고자 한다.

[참 고 문 헌]

[1] R. David Richardson, Gerald M. Mcnerney, "Wind Energy Systems," Proceedings of the IEEE, Vol. 81, No. 3, pp.378~388, March 1993.
 [2] Bechly, M.E., Gutierrez, H., Streiner, S., Wood, D.H "Modelling the Yaw Behaviour of Small Wind Turbines", Wind Engineering, 26, 4, pp. 223-239.(2002)
 [3] B.J. Chalmers, E. Spooner, "An axial-flux permanent-magnet generator for a gearless wind energy system", Energy Conversion, IEEE Transactions on, Volume 14, Issue 2 , pp. 251 -257 Jun 1999.