

도시형 풍력발전기용 AFPM 발전기의 전자기적 구조설계에 관한 연구

조준석, 최세권, 김주용, 정태욱
경남대학교

A Study on Electromagnetic Structural Design of AFPM Generator for Urban Wind Turbine

Jun-Seok Cho, Se-kwon Choi, Ju-yong Kim, Tae-Uk Jung
Department of Electrical Engineering, Kyungnam University

Abstract - Wind power system attracts most interest because of high-energy efficiency with environment-friendly. Small scale wind power applications requires a cost effective and mechanically simple generator in order to be a reliable energy source. The use of direct driven generators, instead of geared machines, reduces the number of drive components, which offers the opportunity to reduce costs and increases system reliability and efficiency. This paper presents the development of a coreless axial-flux permanent magnet(AFPM) generator for a urban wind power system. It is analyzed by electromagnetic simulation program Maxwell 3D

1. 서 론

최근 화석연료의 고갈과 에너지 수요의 증가로 인한 에너지문제가 신재생 에너지원의 개발 및 공급확대를 촉진시키는 계기가 되었다. 또한, 화석연료의 사용으로 인한 온실효과 및 오존층 파괴는 지구생태계를 위협하는 가장 큰 요인이 되고 있다. 대기오염 문제에 대한 보다 체계적인 대책을 마련하기 위한 기후변화 협약(Kyoto Protocol)을 발효해 각국의 이산화탄소 배출량을 의무적으로 감축하게 하였으며, 이는 대체에너지 개발에 대한 세계 각국의 관심을 더욱 고조시키는 원인이 되고 있다.

경제성, 환경적 측면과 효율의 측면을 고려할 때 풍력발전의 활용성이 높아 풍력발전에 대한 연구개발이 활발히 이루어지고 있는데, 우리나라는 지리적 환경적 제약을 많이 받는 풍력발전의 특성상 중·대형기 위주에 대한 연구가 집중되어 있는 모습을 볼 수 있다. 하지만 유럽을 중심으로 한 미국, 일본에서는 에너지소비 및 이산화탄소 배출이 집중되어있는 대도시에 경제성, 효율성 및 환경적 측면을 고려한 소형풍력발전시스템의 활용성이 높은 것으로 판단해 이부분에대한 많은 투자와 기술 개발에 대한 연구가 집중되고 있다.

소형풍력발전시스템의 가장 핵심은 효율의 측면으로서, 도심지의 낮은 풍속에서 일정속도 이상의 발전이 가능해야 하는 것이며, 이것은 풍력발전 시스템의 발전기 성능과 가장 밀접한 관련이 있다. 기존에 주로 사용되던 수평축 발전기 보다는 효율 및 발열과 소형화에 유리한 AFPM(Axial Flux Permanent Magnet)발전기가 적합하다. AFPM기는 단위 무게 당 출력이 크고 고에너지 밀도를 갖도록 설계가 가능하며, 발전기의 효율적인 냉각 및 Slim형으로 제작이 가능하다. 또한, Slim화를 통한 Multi-stator로 제작이 가능해 보다 높은 효율을 낼 수 있다. 또한 Nd-Fe-B와 같은 고에너지 영구자석이 보급됨에 따라 비교적 큰 공극을 형성할 수 있게 되어 Coreless형으로 제작이 가능해 Cogging Torque에 대한 장점이 있다 [1]-[4].

따라서 본 논문에서는 도시형 풍력발전시스템용 Coreless AFPM발전기의 개발을 위한 Coreless형 AFPM발전기의 설계 및 전자기적 구조해석에 대해 다루고자 한다.

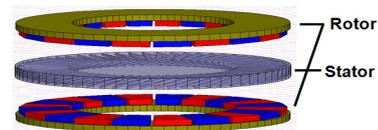
2. 본 론

2.1 Coreless형 AFPM 발전기의 원리와 특징

AFPM발전기는 회전자와 고정자가 Disc형태로 되어있으며, 공극에서의 자속 방향이 발전기의 기계 축과 평행하게 형성되어, 단위 무게 당 출력이 크고 고에너지 밀도를 갖도록 설계 할 수 있다. Coreless형의 장점은 권선의 체적 밀도를 상대적으로 높게 설계할 수 있으며, Cogging Torque에 의해 발생하는 손실을 줄일 수 있다. AFPM발전기는 공극 면이 회전축과 직교하는 형태이며, 공극 내에는 축과 평행한 방향의 자속이 발생한다. 그림 1에 Coreless형 AFPM발전기의 기본 구조를 나타내었다.

회전자는 디스크형의 원판에 영구자석(Nd-Fe-B)이 부착된 형태로 두개의 회전자 중간에 고정자가 위치해있는 형태로 구성되어 있다. 고정자 Coil의 상·하 쪽 측면을 이용하면 두 개의 회전자로 인하여 영구자석의 수는 증가되나 도체의 양쪽 측면을 동시에 이용할 수 있어 보다 고효율의 발전기를 설계할 수 있다. 또한, 영구자석이 부착된 두개의 회전

자 Disc는 팬의 역할을 하므로 고정자 권선에서 발생하는 열의 방출을 용이하게 하여 같은 용량의 권선에 비하여 더 많은 전류를 흘릴 수 있다.



<그림 1> Coreless형 AFPM발전기 기본구조

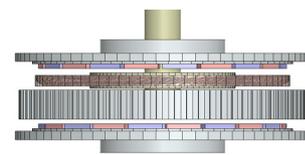
Coreless형 AFPM발전기의 또 다른 장점은 구조적으로 큰 직경과 축방향 길이가 짧기 때문에 다극기의 제작과 Multi-stator의 제작이 가능한 점이며, 고정자에 코어가 없기 때문에 권선 체적밀도를 높게 설계할 수 있다. 따라서 소형화 경량화가 가능하며 풍력발전 시스템 설치 비용을 줄일 수 있다. 또한, 고정자에는 철심을 대신해 에폭시를 주로 사용하며 이는 기계적 특성을 갖추어야 하므로 고강도 이면서 열에 강한 것을 주로 사용 한다.

2.2 전자기 해석 프로그램을 이용한 실험모델 설계

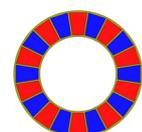
AFPM발전기의 경우 원주 방향으로 회전자 영구자석 및 고정자 권선이 대칭적 구조를 가지고 있어 2차원 설계가 가능하나, 보다 정확한 결과를 얻기 위해 본 논문에서는 전자기기 설계 및 전자기 해석프로그램인 Maxwell 3D 프로그램을 이용하여 시뮬레이션 모델을 설계 하였다. 그림 2(a)는 시뮬레이션 프로그램을 통하여 설계된 AFPM발전기의 전체적인 형상을 보여주고 있으며, 그림 2의 (b), (c)는 시뮬레이션 프로그램 상에서 전자기구조 및 출력특성 해석을 위하여 설계된 모델이다. 시뮬레이션에서는 해석시간을 줄이기 위해 회전자와 고정자를 제외한 외부형상에 대하여 실제 자계의 영향이 거의 없는 부분이므로 공기상태로 가정하고 해석하였다.

<표 1> 시뮬레이션모델 발전기 사양

상 수	3
극 수	20
상당코일수	20
코일당턴수	36
영구자석재료	Nd-Fe-B
공극길이	11[mm]



(a) 설계모델 형상



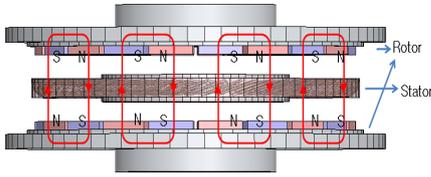
(a) 시뮬레이션모델 회전자



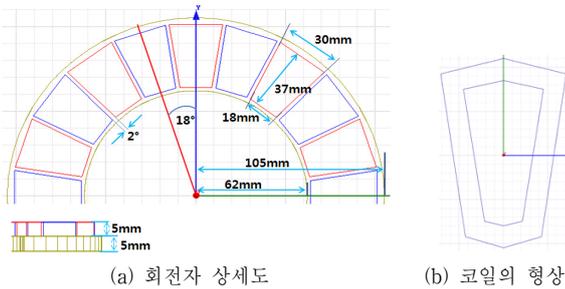
(b) 시뮬레이션모델 고정자

<그림 2> Coreless형 AFPM발전기 설계모델

그림 3은 소형 풍력 발전용 AFPM발전기의 예상 자기경로를 나타낸 것이다. 영구자석의 자기경로는 영구자석의 위치에 따라 달라지는데 그림에서 나타나듯이 Coreless형 AFPM발전기의 자로는 회전자 영구자석(N)→공극→회전자의 영구자석(S)→회전자 디스크→회전자 영구자석(N)→공극→회전자의 영구자석(S)→회전자 디스크를 통하여 자체가 형성되는 것을 알 수 있다. 이 Coreless형에서는 중앙에 철심이 없기 때문에 마주보는 영구자석의 극을 같게(N-N, S-S)할 경우, 누설자속이 매우 커져서 사용할 수 없게 된다. 따라서 그림 3과 같이 마주보는 영구자석의 극이 서로 다른 극(N-S)이 되도록 구성되어 진다.



〈그림 3〉 자기 경로



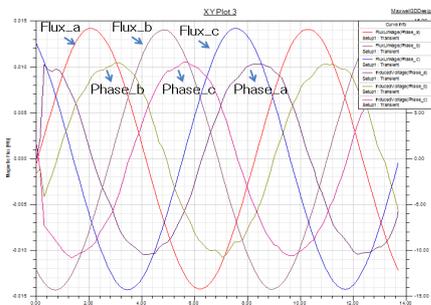
〈그림 4〉 회전자와 고정자의 시뮬레이션 모델

그림 4(a)에서는 고정자 시뮬레이션 모델의 치수와 회전자 형상을 나타내었다. 그림에서와 같이 영구자석의 최대면적 설계를 고려한 사다리꼴 형상의 영구자석을 사용하였으며, 그림 4 (b)는 모델링된 코일의 형상을 나타내었다. 6각형의 코일형상은 End-winding을 줄이고, Active Side의 도체 길이를 길게 할 수 있으며, 각 권선은 Twist를 주어 배열을 용이하게 함과 동시에 고정자의 축 방향 길이를 줄일 수 있다[5].

발전기 출력은 고정자 권선에 의한 Electric loading과 전체 영구자석에서 나오는 자속에 의한 공극의 자속 밀도에 의해 결정되어지며, 이상적인 회전자 내경과 외경의 비($k_r=0.577$)에서 최대출력을 할 수 있다. 따라서 모델링된 회전자 내경과 외경의 비(0.590)또한 이를 반영하여 설계되었다.

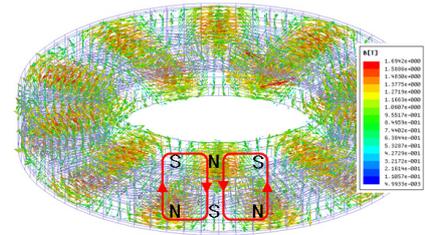
2.3 시뮬레이션 결과

그림 5는 출력 자속 및 유기기전력을 나타내었으며, 시뮬레이션을 통해 발전기의 자속밀도, 자기경로 및 유기기전력을 측정 할 수 있었으며, 영구자석에서 나온 자속에 의해 발생하는 유기기전력은 자속과 90°의 위상차가 발생 하는 것을 확인할 수 있었다.

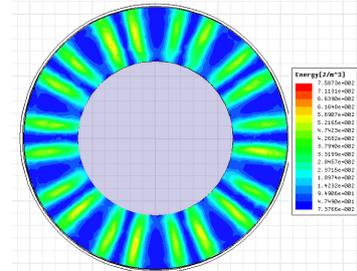


〈그림 5〉 시뮬레이션 출력 자속 및 유기기전력

그림 6 (a)는 3D시뮬레이션 자속 벡터도를 나타낸 것으로서, 그림 3에 나타낸 이론적인 자기경로와 일치함을 확인할 수 있었으며, 그림 6 (b)는 에너지밀도의 분포를 나타낸 것이다.

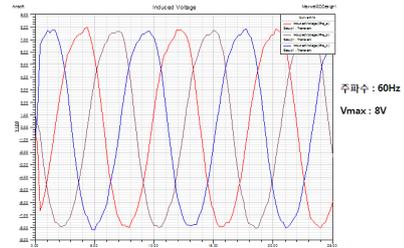


(a) 자속경로



(b) 에너지밀도 분포

〈그림 6〉 3D 시뮬레이션 출력 전자기에너지



〈그림 7〉 시뮬레이션 출력 유기기전력

그림 7은 시뮬레이션에서 나타난 유기 기전력 파형 나타낸 것이다. 시뮬레이션에서는 상용주파수인 60[Hz]의 출력을 나타내기 위해 360rpm으로 설정하여 출력하였으며 Vmax값으로 나타내었다.

3. 결 론

본 논문에서는 도시형 풍력발전기용 AFPM 발전기 개발을 위해 전자기해석 프로그램을 통한 전자기적 구조설계 및 해석을 실시하였고 Coreless형 AFPM의 출력특성 및 전자기 구조를 확인할 수 있었다. 앞으로 보다 정확한 설계를 위해서 상용되고 있는 AFPM발전기와의 비교 측정을 할 예정이며, 이 결과를 바탕으로 도시형 풍력발전기용 AFPM발전기의 개발을 위한 시뮬레이션 및 설계를 병행할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] B. J. Chalmers, W. Wu, E. Spooner, "An Axial Flux Permanent Magnet Generator for a gearless Wind Energy System", IEEE Transactions on Energy Conversion. Vol. 14 No. 2, pp. 251-257, 1999
- [2] S. El-Hasan, C. K. Luk, F. S. Bhinder, M. S. Ebaid, "Modular Design of High-Speed Permanent Magnet Axial Flux Generators", IEEE Transactions on Energy Conversion. Vol. 36 No. 5, 2000
- [3] Muljadi, C. P Butterfield, C.P, Yih-Huie Wan, "Axial-flux modular permanent-magnet generator with a toroidal winding for wind-turbine applications", IEEE Transactions on Industry Applications. Vol. 35 No. 4, pp. 831-836, 1999
- [4] 이정열, 공정식, 오철수, "Slotless Axial Flux BLDC 전동기 설계", 경북대학교 전자기술연구지, pp. 50-58, 1997
- [5] 이승훈, 김철호, 공정식, 서영택, 오철수, "소형 풍력발전기용 AFPM 발전기의 설계와 특성해석", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 18-20, 2001