

풍력발전용 자기 변속기의 기어비에 따른 특성분석

박익중*, 정상용**, 김용재*
조선대*, 성균관대**

Analysis of Magnetic Gearbox Characteristics for The Wind Power Generation by Gear ratio

Eui-Jong Park*, Sang-Yong Jung**, Yong-Jae Kim*
Chosun University*, Sungkyunkwan University**

Abstract - 최근 풍력발전의 산업이 성장함에 따라 풍력 발전기의 부속품에 대한 연구도 활발해지고 있다. 이에 본 논문에서는 풍력 발전기의 기계적 증속기의 문제점을 개선한 비접촉식 자기 기어를 제안하고 기어비에 따른 기어의 특성을 분석하였다. 각 모델들의 전체 크기 및 자석 사용량은 동일하게 고정하였으며 기어비에 따른 극수 및 회전수만을 조절하여 도출된 결과값을 바탕으로 풍력발전기용 증속기 설계 시 기어비 결정에 대한 지표를 제시하고자 한다.

1. 서 론

신재생 에너지는 화석연료를 대체하여 범지구적 문제를 개선할 수 있는 에너지로서 다양한 국가 및 기관에서 활발한 연구가 진행 중에 있다. 이러한 신재생 에너지 중 풍력발전은 육상과 해상에 걸쳐 급격하게 성장하는 분야이며 해상풍력시장은 최근 들어 육상 풍력에 비해 좋은 풍황조건과 산업고도화로 인해 대단위 단지 조성이 가능해짐에 따라 매우 높은 성장률을 보이고 있다 [1]. 하지만 풍력발전기의 부품 중 기계적 증속기는 물리적인 접촉과 부하의 급변으로 인해 기어의 마모, 피팅, 파손 등의 고장에 쉽게 노출되어 있다 [1-2]. 더욱이 해상풍력에서는 기계적 증속기의 고장 발생 시 교체가 까다롭고 많은 비용이 소모되기 때문에 고 수명, 체적 및 중량의 최소화에 대한 연구가 요구되고 있다. 따라서 본 연구팀에서는 풍력발전기의 부품 중 기계적 증속기의 물리적인 접촉 및 부하의 급변에 대한 한계를 극복할 수 있는 비접촉식 자기 증속기를 제안하였다.

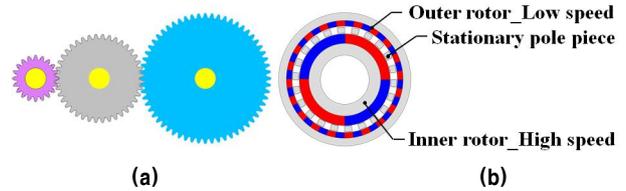
풍력발전기는 조성 단지의 풍황조건에 따라 저속, 중속, 고속으로 분류된다. 풍력발전기의 회전속도는 기어비와 밀접한 관련이 있으며 저속기의 기어비는 10:1 내외, 중속기는 40:1 내외, 고속기는 90:1 이상의 값을 주로 사용하고 있다. 이중 본 논문에서는 중속 풍력발전기의 기어비를 기준으로 기어비의 변화에 따른 비접촉 증속기의 특성에 대해 분석한다. 먼저 증속기의 내측 회전자의 극수는 고정된 채로 외측 회전자의 극수를 변화시켜 기어비를 조절한다. 다음으로 기어비의 변화에 따른 토크 및 출력특성을 비교 분석하여 효율이 좋은 기어비를 도출하고자 한다. 또한 고속부의 극수의 변화에 따른 특성도 분석하여 함께 비교한다. 각 모델은 유한요소법(FEM: Finite Element Method)을 기반으로 한 수치해석을 통해 해석하였으며 본 논문에서 분석한 각 모델들은 자석의 와류손에 대한 손실은 발생하지 않는다고 가정하였다.

2. Magnetic Gear

2.1 비 접촉식 Magnetic gear

2.1.1 접촉식 기계 기어의 한계

일반적으로 기어라 함은 그림1(a)과 같은 접촉식의 기계 기어를 상기하게 된다. 접촉식의 기계 기어는 각 기어들의 기어 이를 통해 결합이 되고 동력을 전달하게 되며 기어 이의 비율에 따라 회전속도 및 전달토크가 변동되는 구조이다. 접촉식 기계 기어는 기어 이를 통한 동력 전달로 인해 그 구조가 그림에서 보는 것과 같이 간단하여 다양한 산업현장에서 광범위 하게 사용되고 있다. 하지만 기어 이가 맞물림으로 인한 마찰에 의한 손실 및 소음이 존재하며 장시간 가동하는 풍력발전기의 특성상 마찰열에 의한 화제가 다수 보고된 바 있다 [3-4]. 특히, 풍력발전기와 같이 부하가 급변하는 시스템에서는 급작스런 토크의 변동으로 인해 기어 이에 과도한 힘이 가해져서 기어가 파손될 가능성이 매우 높다 [5-6]. 이러한 접촉식 기계 기어의 문제점들은 기어들의 상호 접촉에 의해 나타나는 문제점들이다. 나타난 문제점의 해결책으로는 비접촉식 기계 기어를 생각해 볼 수 있으나 사실상 기계식 기어를 비접촉 형태로 개발한다는 것은 모순된 발상이다. 따라서 본 연구팀은 비접촉 상태에서 흡인력을 나타내는 자석을 이용하여 비접촉식 자기 기어(이하: Magnetic gear)를 구성하고 이를 풍력발전기에 적용하고자 한다. 그림 1(b)에 비 접촉식 Magnetic gear를 나타낸다.



〈그림 1〉 접촉식 기계 기어와 비접촉식 자기 기어

2.1.2 Magnetic gear의 구성 및 원리

Magnetic gear의 구조는 고속, 저 토크, 소 극수인 내측 회전자, 저속, 고 토크, 다 극수인 외측 회전자, 그리고 내측 회전자와 외측 회전자를 자기적으로 결합해주는 폴피스, 총 3개의 영역으로 구성되어 있다. 각 3개의 영역은 모두 회전할 수 있는 회전체이나 3개의 영역 중 한 영역을 고정시키고 나머지 두 영역이 회전하는 방식으로 동력 전달을 수행하게 된다. 본 논문에서는 폴피스를 고정하였으며 이때 내측 회전자와 외측 회전자는 기어비에 따라 서로 반대방향으로 회전하게 된다. 내측 회전자의 극수를 P_{inner} , 외측 회전자의 극수를 P_{outer} , 폴피스의 개수를 $P_{pole\ piece}$ 라고 할 때 각 변수들의 관계는 식(1)과 같고 Magnetic gear의 기어비는 식(2)와 같다 [7].

$$P_{inner} + P_{outer} = 2(P_{pole\ piece}) \quad (1)$$

$$Gear\ ratio = \frac{P_{outer}}{P_{inner}} \quad (2)$$

2.2 Magnetic gear의 특성분석

2.2.1 기본 형상 및 설계변수

본 논문의 Magnetic gear의 기본형상의 제원은 표1과 같고 내측 회전자의 극수가 4극일 때와 8극일 때 기어비 30:1부터 60:1까지의 특성을 비교분석 한다. 각 모델들은 회전자의 외경 및 내경을 동일하게 하고 극수만을 변경하여 총 자석사용량은 동일하도록 통제하였다. 또한 각 회전자는 이상적인 기어비로 회전한다고 가정하여 기어비에 따른 회전속도로 회전시켰다.

〈표 1〉 기본모델의 제원

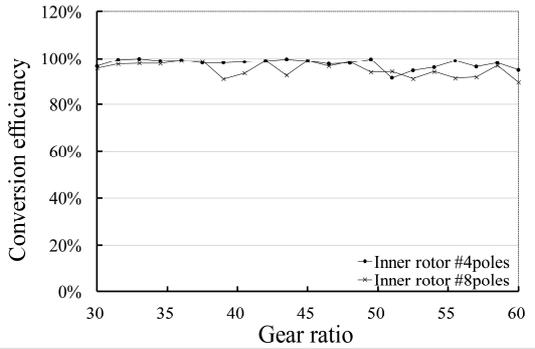
Inner rotor	Inner diameter	80 [cm]
	Outer diameter	165 [cm]
	Number of poles	4, 8 [poles]
	Rotation speed	600~1,800 [rpm]
Outer rotor	Inner diameter	198 [cm]
	Outer diameter	225 [cm]
	Number of poles	120~480 [poles]
	Rotation speed	20 [rpm]
Gear ratio		30~60:1
Air gap		1.5 [cm]

2.2.2 각 모델들의 기어비에 따른 토크 특성

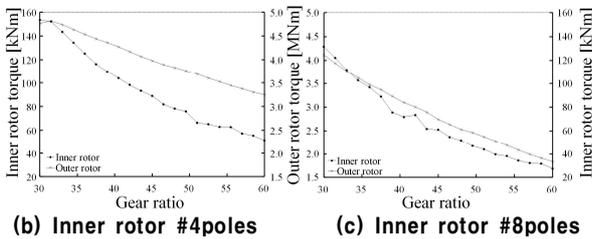
먼저 내측 회전자의 극수가 4극일 때와 8극일 때의 기어비에 따른 내측 토크와 외측 토크를 그림 2에 나타낸다. 각 모델들의 토크비는 이

상적인 기어비와 비교했을 때 전 모델이 90% 이상의 변환 효율을 나타내었다. 하지만 기어비에 따른 토크 특성은 그림3(b), (c)에서 보는 것과 같이 극수가 증가할수록, 즉 기어비가 증가할수록 토크는 감소함을 확인할 수 있다.

내측 회전자의 극수가 4극일 때와 8극일 때의 모델을 서로 비교할 시에도 극수가 증가함에 따라 감소폭은 더 크게 나타남을 확인할 수 있다. 4극 모델의 내측 회전자 토크는 기어비 30:1 모델에 비해 60:1 모델의 토크가 66.51% 감소했으며 외측 회전자 토크는 31.84% 감소했다. 반면에 8극 모델의 내측 회전자 토크는 기어비 30:1 모델에 비해 60:1 모델의 토크가 79.12% 감소했으며 외측 회전자 토크는 55.40% 감소하여 내측 회전자 및 외측 회전자 모두 극수가 증가함에 따라 토크는 감소함을 도출하였다.



<그림 2> 기어비에 따른 토크 변환 효율

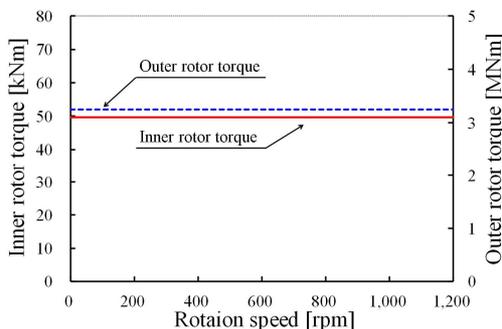


<그림 3> 기어비에 따른 토크 특성

2.2.3 속도 변화에 따른 토크 특성

일반적으로 토크의 감소는 손실에 의한 결과임을 유추해 볼 수 있다. 하지만 토크의 변환비는 그림2에서 보는 것과 같이 매우 높은 비율로 변환됨을 확인했으므로 토크의 감소가 손실에 의한 결과임을 판단하기에는 적합하지 않다.

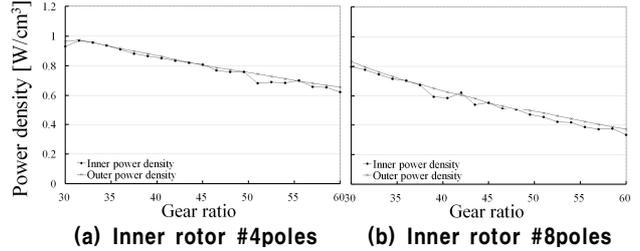
본 논문에서 각 모델들은 외측 회전자의 회전속도가 20 [rpm]으로 고정된 값이다. 따라서 기어비가 증가함은 내측 회전자의 속도가 증가함을 의미하며 회전자의 속도 증가에 따른 손실을 예상해 볼 수 있다. 우리는 속도 특성을 분석하기 위해 기어비는 고정하고 회전자의 회전속도를 변화시켜가며 토크특성을 분석하였다. 그림4에 회전수 변화에 따른 토크 특성을 나타냈으며 나타낸 모델의 내측 회전자와 외측 회전자의 극수는 4극, 240극이며 기어비는 60:1 이다. 그림4를 통해 회전수의 변화에 따른 토크는 항상 일정하게 나타남을 알 수 있었으며 기어비 증가에 따른 토크의 감소는 회전자의 회전 속도나 토크 전달에 의한 손실과는 무관한 특성을 도출할 수 있다.



<그림 4> 회전수 변화에 따른 토크 특성

2.2.4 각 모델들의 기어비에 따른 출력밀도 특성

기어비가 증가함에 따라 토크가 감소하더라도 회전자의 회전속도는 증가하기 때문에 내측 회전자와 외측 회전자의 출력을 비교해볼 필요성이 있다. 각 기어비에 따른 내측 회전자와 외측 회전자의 출력밀도를 그림5에 나타내었으며 그림 5를 통해 출력밀도까지 동일하게 기어비가 증가함에 따라 감소하고 있음을 본 분석을 통해 알 수 있다. 한편, 그림5에서 내측 회전자와 외측 회전자의 출력밀도는 일치하는 특성을 보임에 따라 토크 변환 효율은 매우 높게 나타남을 재증명 해주고 있다.



<그림 5> 기어비 변화 따른 출력밀도

3. 결 론

본 논문은 해상 풍력발전기의 기계식 증속기의 문제점을 개선하고자 비접촉식 자기 증속기를 제안하였으며 저속, 중속, 고속의 풍력발전기 중 증속 풍력발전기의 기어비를 기준으로 기어비의 변화에 따른 비접촉 증속기의 특성에 대해 분석하였다. 각 모델간 기어의 크기 및 자속 사용량은 고정하였으며 기어비에 따른 내측 회전자와 외측 회전자의 극수 및 회전수를 변경하여 그에 따른 기어의 특성을 분석하였다. 그 결과 토크 및 출력밀도는 기어비가 증가할수록 감소함을 보였다. 하지만 기어비에 따른 토크변환효율은 전 모델에 걸쳐 90% 이상의 효율을 나타내었으며 회전자의 회전속도에 따른 토크는 일정한 결과에 근거하여 기어비 증가에 따른 토크의 감소는 회전자의 회전 속도나 토크 전달에 의한 손실과는 무관한 특성으로 사료된다.

본 논문의 분석을 통해 비접촉 자기 기어는 동일한 크기 및 동일한 자속 사용량 일 때 극수가 증가할수록, 즉 기어비가 증가할수록 토크가 감소하는 특성을 나타낼을 도출하였다. 이는 풍력발전기의 증속기 설계 시 높은 기어비의 증속기는 다수의 극을 사용하는 새로운 구조를 도출하거나 낮은 기어비의 증속기를 결합하여 사용해야 함을 시사하고 있다.

이 논문은 한국전력공사의 제원으로 기초전력연구원의 2014년 선정 기초연구개발과제의 지원을 받아 수행된 것임. (과제번호:R14XA02-8)

[참 고 문 헌]

- [1] 나도백, 신호순, 나덕주, “해상풍력(Offshore wind power) 기술동향”, 에너지 공학, vol. 20, no. 2, pp. 143-153, 2011.
- [2] K. Atallah and D.howe, “A novel high-performance magnetic gear”, IEEE Trans. Magn., vol. 37, no. 4, pp. 2844-2846, 2001. 저자명, “논문제목”, 논문지명, 권호, 페이지, 출판년도
- [3] Yao, Y. D., Huang, D. R., Hsieh, C. C., Chiang, D. Y., Wang, S. J., and et al., “The Radial Magnetic Coupling Studies of Perpendicular Magnetic Gears”, IEEE Trans. on Magnetics, vol. 32, no. 5, pp. 5061-5063, 1996.
- [4] Furlani, E. P., “Two-dimensional Analysis for the Coupling of Magnetic Gears”, IEEE Trans. on Magnetics, vol. 33, no. 3, pp. 2317-2321, 1997.
- [5] 박노길, 이형우, “풍력발전기용 기어트레인의 특성에 관한 연구”, 한국마린엔지니어링학회지, vol. 34, no. 6, pp. 806-812, 2010.
- [6] 박영준, 이근호, 남용용, 김정길, “풍력 발전기용 증속기의 유연 편이 수명에 미치는 영향 연구”, 대한기계학회논문집 A권, vol. 36, no. 9, pp. 953-960, 2012.
- [7] T. Lubin, S. Mezani, and A. Rezzoug, “Analytical Computation of the Magnetic Field Distribution in a Magnetic Gear”, IEEE Trans. Magn., vol. 46, no. 7, pp. 2611-2621, 2010.