한국신·재생에너지학회 2009년도 춘계학술대회논문집 pp.471~474

순수 토크 전달을 위한 풍력발전기용 증속기 반력지지 장치

*이 정훈[1], 박 현용[2], 신영호[2], 박종포[2], **박 정훈[3]

Pure Torque Reaction System for Wind Tubine Gearbox

*JungHun Lee, HyunYong Park, YoungHo Shin, JongPo Park, **JungHun Park

Key words : Reaction System(반력지지 시스템), Pure Torque Reaction(순수 토크에 대한 반력), Gearbox(증속기), Drive Train System(동력전달계)

Abstract : Gearbox is used to converter the power with high torque and low speed into the power with low torque and high speed. Gearbox housing should be sustained to prevent rotation of gearbox itself due to the difference between input and out torque. Uneven wind causes the reaction system to have unwanted reactive loads together with predictable pure torque. These unwanted reaction loads often cause the failure of gearbox due to bad gear mesh. In this paper, pure torque reaction system is proposed to prevent the failure of gearbox. Effectiveness and functionality of the proposed reaction system are demonstrated through the numerical analysis.

1. 서 론

풍력발전기용 동력전달계는 로터를 통해 들어오는 바람의 동력을 발전기로 전달하는 서브시스템으로, 주축, 메인베어링, 증속기, 증속기 반력지지 장치, 슬립링, 그리고 커플링 등으로 구성된다. 주요 구성품 중 증속기는 주축을 통하여 전달된 저회전 (15~40 rpm) 고토크 입력을 고회전 (1000~1800 rpm) 저토크로 변환한다. 증속기의 속도비로 인해 증속기 입력토크와 출력토크에는 토크차가 발생하고 토크차에 의한 증속기 자체의 회전을 방지하기 위해 반력지지 장치가 사용된다. 증속기 반력지지 장치는 증속기의 입출력 토크 차이 만큼 발생하는 반력을 지지하는 동시에 토크 외에 로터에 의한 하중과 저속축 굽힘 하중을 지지해야한다. 로터에 의한 하중과 저속축 굽에 의한 반력은 기어박스의 하우징을 변형시키고 하우징 변형은 기어 물림을 나쁘게 한다. 토크 외 입력되는 하중은 증속기 고장의 주요 원인으로 알려져 있어 풍력발전기 제조사[(1)] 및 반력시스템 제작사는[(2)] 동력전달계의 특성을 고려하여 유해한 반력을 줄이는 설계를 하거나 시도하고 있다.

본 논문에서는 복열테이퍼 롤러 베어링을 메인 베어링으로[(3)] 사용하는 경우의 반력지지 시스템을 제안한다. 제안된 반력지지 시스템은 순수한 토크에 대한 반력만 지지하고 나머지 반력은 부하지지 능력이 큰 메인 베어링에 의해지지 된다. 수치해석을 통해 제안된 시스템의 기능과 효과성을 검증하였다.

2. 반력지지 시스템

2.1 동력 전달계

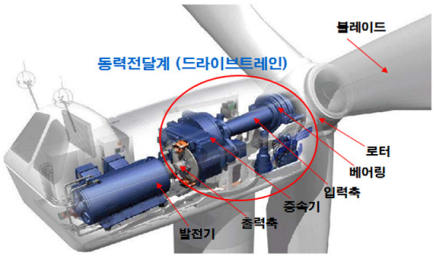


그림 1 동력전달계

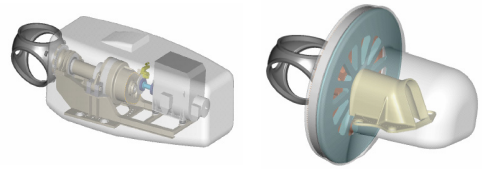
그림 1은 풍력발전기 너셀 및 동력 전달계를 보여준다.

풍력발전기 동력 전달계는 크게 기어타입, 기어리스 타입으로 나눌 수 있다. 그림 2는 기어타입과 기어리스타입을 보여준다.

기어방식은 로터블레이드의 고토크와 저회전의 동력을 저토크와 고회전을 갖는 동력으로 변

1) 두산중공업 원자력)방산기술팀
E-mail : junghoon.lee@doosan.com
Tel : (055)278-4312 Fax : (055)278-8501
2) 두산중공업 발전)풍력기술팀
3) 두산중공업 발전)풍력기술팀
E-mail : junghun.park2@doosan.com
Tel : (042)712-2147 Fax : (042)712-9876

환하기 위해 증속기를 이용하여 발전하는 방식이다. 기어리스타입은 증속기를 사용하지 않는 대신 발전기의 극수를 증가 시켜 저속회전에서도 발전이 가능하다.



(a) 기어방식 (b) 기어리스방식

그림 2 동력전달계 종류

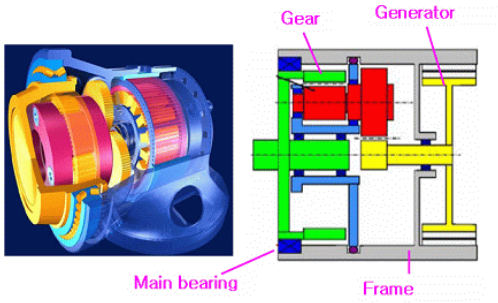


그림3 멀티브리드방식동력전달계

그림 3은 Aerodyn에서 특허를(4) 보유하고 있는 멀티브리드방식 동력전달계를 보여준다. 멀티브리드 방식은 기어박스의 고속단을 제거한 형태로 기어방식과 기어리스방식의 중간 형태를 지닌다. 증속기를 사용하지 않은 기어리스방식의 풍력발전시스템은 증속기 고장을 배제시킬 수 있다. 증속기를 제거하는 대신 발전기의 극수 증가에 의해 무게가 무거워지고 제작비용이 증가하는 단점을 지니고 있다. 발전 용량의 대형화로 갈수록 기어리스 방식은 무게와 제작비용의 증가하는 단점으로 인해 주로 기어방식이 사용되고 있다.

기어방식에 사용되고 있는 기어박스는 로터블레이드로부터 입력되는 저속회전의 높은 토크를 고속회전의 저 토크로 변환하여 발전기에서 전기생산이 가능하도록 한다. 증속기에서의 손실을 무시하는 경우 다음과 같은 관계식을 만족한다.

$$P = \omega_I \tau_I = \omega_O \tau_O \text{ or } \eta = \frac{\omega_O}{\omega_I} = \frac{\tau_I}{\tau_O} \quad (1)$$

위 식에서, P, ω, τ, 그리고 η는 각각 전달동력, 회전 각속도, 토크, 그리고 기어박스의 속도 비를 의미한다. 하첨자 I와 O는 각가 입력과 출력을 의미한다.

기어박스에 의해 입력 토크와 출력토크의 크기가 차이가 발생한다. 반력지지 장치는 기어박스 하우징이 회전하지 않도록 기어박스 입출력 토크 차만큼의 토크을 지지해야 한다. 토크를 지지하기 위해서 별도의 탄성과 감쇠특성을 갖는 지지장치를 설치하는 경우와 메인프레임이 직접 반력을 지지하는 경우로 나눌 수 있다.

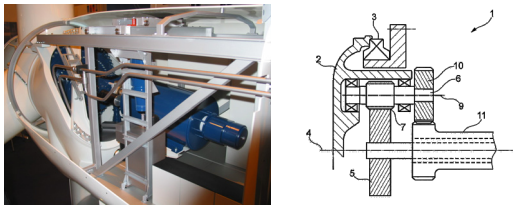


그림 4 반력지지 시스템이 없는 V90 동력전달계

메인프레임이 직접 반력을 지지하는 대표적인 경우는 멀티브리드 타입과 V90이[5] 있다. 그림 4는 복합 유성기어를 사용하고 있으며 별도의 반력지지 시스템이 사용되지 않는다. V90은 멀티브리드와 같이 반력을 메인 프레임이 지지하도록 설계되어 있다. 별도의 반력지지 시스템이 없는 경우 반력에 의한 메인프레임 또는 기어하우징의 변형으로 인해 기어 물림불량과 기어박스 고장이 발생할 수 있다.

2.2 반력지지 시스템

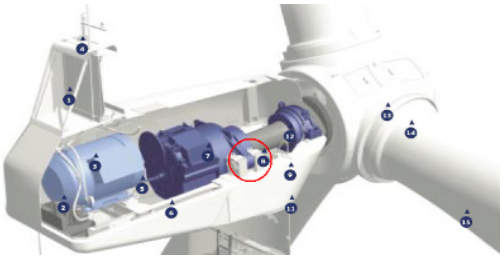


그림 5 일반적인 기어방식 동력전달계

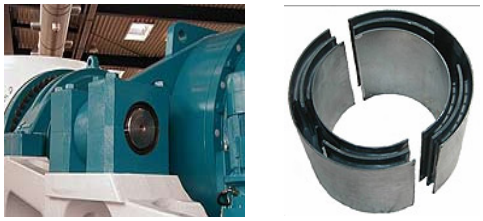


그림 6 고무부시를 사용한 반력지지 시스템

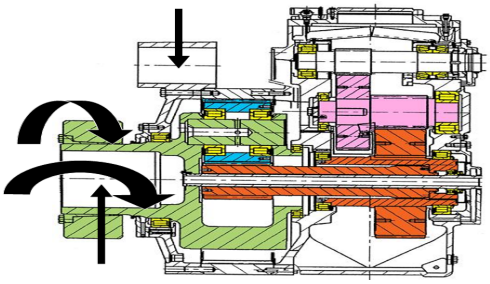


그림 7 모멘트 및 저속축 굽힘 하중에 의한 반력

그림 5는 대표적인 기어방식의 동력전달계를 보여주고 기어방식 풍력발전기는 기어박스에 그림과 같은 반력지지 시스템을 사용한다. 반력지지 시스템은 일반적으로 그림 6과 같이 2겹 이상의 고무 부시를 사용한다.

기어박스의 고장 원인의 하나는 회전 토크 외의 로터하중 및 저속축 굽힘 하중 작용에 기인한다. 그림 7은 토크 외의 로터하중이 기어박스에 작용하는 경우를 보여준다. 일반적인 반력지지 장치를 사용하는 경우 로터 블레이드나 저속축 굽힘에 의해 반력지지 장치에 작용하는 반력에 의해 기어박스 하우징 변형이 발생하게 된다. 변형된 기어하우징에 의해 기어의 물림상태가 나빠지고 이로 인해 기어박스의 고장이 발생한다.

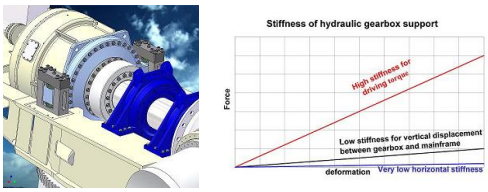


그림 8 유압 폐회로를 이용한 반력지지시스템

로터블레이드로부터 입력되는 하중과 저속축의 굽힘 하중에 의해 발생하는 반력이 기어박스에 미치는 영향을 최소화하기 위해 유압폐회로를 이용한 반력 시스템이 고안되었다. 그림 8과 같이 토크 반력지지 강성에 비해 수직방향 강성은 15%로 토크 외 기어박스로 전달되는 반력을 줄였다. 하지만 이 반력지지 시스템의 경우 여전히 토크 외 반력성분이 기어박스에 작용하고 있으며 반력시스템에서 수직방향 허용 변위에 제한을 갖는다.

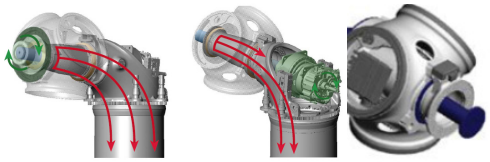


그림 9 유연 저속축을 갖는 동력전달계

그림 9는 로터 하중을 메인프레임을 통해 타워로 전달하고 허브를 관통하는 길이가 긴 저속축을 사용하여 저속축의 굽힘하중 효과를 줄인 Eccotenia의 풍력 발전기 동력전달계를 보여준다. 이 풍력발전 시스템은 기어박스의 주 고장원인을 제거하는 대신 제작에 많은 비용이 소요된다.

3. 순수 토크 반력지지 시스템

본장에서는 1개의 복열 테이퍼롤러 베어링를 갖는 동력전달계를 위한 반력지지 시스템을 제안한다. 제안된 반력지지 시스템은 순수 토크에 대한 반력만을 지지하고 나머지 반력은 메인 베어링이지지하도록 설계하였다.

3.1 순수 토크 반력지지 시스템의 원리

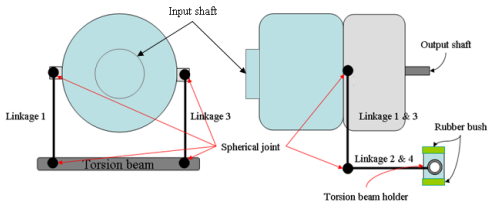
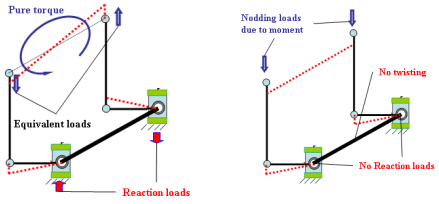


그림 10 순수 토크 반력지지를 위한 시스템

그림 10은 순수 토크 반력지지 시스템을 보여준다. 시스템은 수직링크 2개(linkange 1, 3), 2개의 수평링크(linkange 2, 4), 3자유도 회전 스페리컬 베어링 4개, 토션 빔 1개, 그리고 베어링 블록 2개로 구성되어 있다. 스페리컬 베어링은 기어박스와 수직링크의 연결과 수직링크와 수평링크간의 연결에 사용된다. 2개의 수평링크는 토션 빔의 좌우에 고정되고 토션 빔을 비트는 암 역할을 한다. 베어링 블록은 자기 윤활 특성을 갖는 플레인 베어링이 삽입되어 있으며 메인 프레임 바닥에 고정된다. 플레인 베어링은 토션 빔의 좌우에 연결되어 축방향 회전을 허용한다.



(a) 순수 토크 작용 시 (b) 모멘트 작용 시
그림 11 하중에 따른 반력지지 시스템 거동

그림 11은 순수 토크와 모멘트 작용 시 반력지지 시스템의 거동을 보여준다. 그림 11(a)는 순수 토크가 작용하는 경우 등가하중이 좌측 수직 링크에는 아래 방향으로 우측 수직링크에는 위쪽 방향으로 작용한다. 두 등가 하중에 의해 토션 빔은 비틀림을 받게 되고 좌우 베어링 블록에는 등가하중과 동일한 크기를 갖고 작용 방향이 반대인 반력이 작용한다. 그림 10(b)는 모멘트가 작용하는 경우의 반력지지 시스템 거동을 보여준다. 모멘트가 작용하는 경우, 그림과 같은 동일 방향의 등가하중이 수직 링크에 작용하고 두 수직링크와 수평링크의 움직임은 동일한 방향을 갖게 된다. 따라서 토션 빔은 비틀림을 받지 않게 된다.

순수 토크 반력을 지지하는 시스템의 설계 시 수직 링크의 움직임과 토션 빔의 비틀림 각을 제안할 필요성이 있다. 수직방향 움직임과 비틀림 각은 토션 빔의 단면 특성을 대표하는 단면 지름과 작용 토크의 크기를 결정하는 수평링크의 길

이를 조정하여 결정할 수 있다.

3.2 수치해석

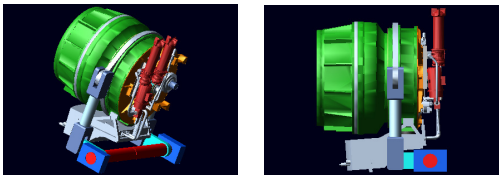


그림 12 반력지지 시스템의 기구해석 모델

그림 12는 수치해석에 사용된 기구 해석 모델을 보여준다. 그림 13은 모멘트가 작용하는 경우 토션 빔의 반력을 보여준다. 그림으로부터 모멘트가 작용하는 경우 토션 빔에는 반력이 작용하지 않음을 알 수 있다. 그림 14는 순수 토크가 작용하는 경우 토션 빔의 반력을 보여주고 그림 15는 토크와 모멘트가 동시에 작용하는 경우 토션 빔에 작용하는 반력을 보여준다. 복합하중이 작용하는 경우 모멘트 방향 움직임에 따라 반력성분의 작은 변동이 발생함을 알 수 있다. 반력의 변동 성분은 수직링크의 변위가 미소한 수평 변위를 포함하기 때문에 발생한다. 토션 빔의 최대 회전 변위를 적게 설계하거나 수직 링크를 길게 할 경우 이러한 변동성분은 미약해진다. 그림 16은 순수 토크가 작용하는 경우와 복합 하중이 작용하는 경우 토션 빔 반력의 비교를 보여준다. 수직링크의 미소한 수평변위에 의한 변동 성분을 제외하면 거의 일치함을 알 수 있다. 해석결과들로부터 제안된 반력지지 시스템은 순수 토크에 대한 반력을 효과적으로 지지하고 모멘트와 같이 기어박스에 유해한 하중에 대한 반력을 지지하지 않음을 알 수 있다.

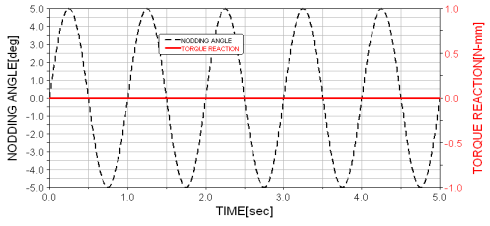


그림 13 모멘트에 대한 토션 빔 반력

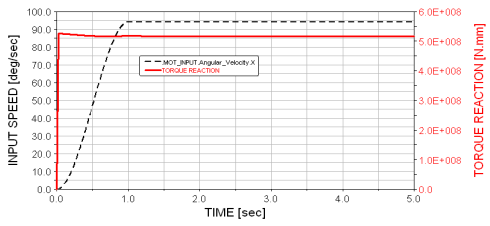


그림 14 순수 토크에 대한 토션 빔 반력

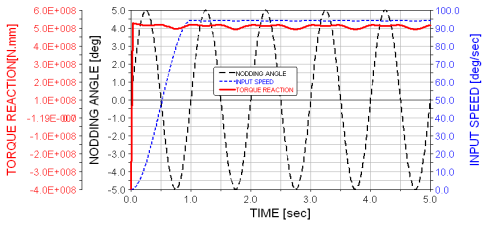


그림 15 복합하중에 대한 토션 빔 반력

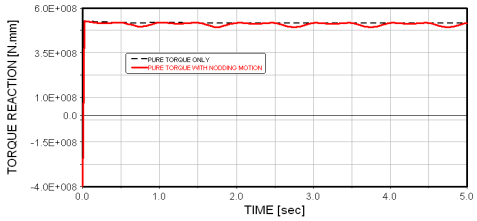


그림 16 순수 토크와 복합하중에 대한 토션 빔 반력 비교

4. 결 론

본 논문에서는 예측하기 어려운 순수 토크 외의 반력을 제거하기 위한 새로운 반력 시스템을 제안한다. 제안된 반력지지 시스템은 순수한 토크에 대한 반력만 지지하고 나머지 반력은 부하지지 능력이 큰 메인 베어링에 의해 지지 된다. 수치해석을 통해 제안된 시스템의 기능과 효과성을 검증하였다.

후 기

본 연구는 지식경제부의 출연금으로 수행한 “3MW급 해상용 풍력발전시스템 개발” 사업의 일환으로 이루어졌으며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

References

[1] Eccotecnia 80 Model Brochure, 2007.
[2] http://www.esm-gmbh.de/eng/Products/Hydraulic_gearbox_support.
[3] W. D. Joo, J. H. Lee, J. I. Kim, J. H. Park, J. H. Choi, and J. P. Park, 2007, "Conceptual Design of a 3MW Class Wind Turbine for Offshore Application,", PowerGen2007.
[4] AERODYN ENGINEERING GmbH, 2006. “Wind energy installation comprising a concentric gearbox generator arrangement”. US20060104815.
[5] VESTAS WIND SYSTEMS A/S, 2007, "A GEAR SYSTEM FOR A WIND TURBINE", WO2007/135156 A1.