

## 5MW 풍력용 Pitch Drive 구성품의 부하에 관한 연구

김동영\*, 이인범\*, 양용군\*, 류성기#

(\*,# 경상대학교 기계항공학부)

### A Study on Components Load of 5MW Wind Turbine Pitch Drive

Dong-Young Kim\*, In-Bum Lee\*, Long-jun Liang\* and Sung-Ki Lyu#

(Received 3 February 2014; received in revised form 8 February 2014; accepted 18 February 2014)

#### ABSTRACT

Wind power is a type of clean energy source which does not produce carbon dioxide. The wind turbine industry is considered as a major growth industry in many countries. The main cause of wind turbine failure arises in the wind turbine gearbox, and the main type of damage occurs in the bearings and gears. Therefore, predictions of gear and bearing damage are very important to ensure the reliability of the wind turbine reducers used in these systems. In this research, in order to optimize the wind turbine reducer, a series of simulations and redesigns was done using the tool RomaxDesigner. The RomaxDesigner model was used to analyze the bearing life of the duty cycle for a 5 MW wind-turbine pitch drive and to calculate the load in operating states. The reducer was designed to satisfy the life requirement by analyzing bearing damage and calculating the stress values of the main parts of the reducer.

Key Words : Planetary Gears(유성기어), Bearing(베어링), Pitch Drive(피치드라이브), Shaft(축)

#### 1. 서론

풍력 발전은 청정에너지원으로서 환경 파괴 없이 오랫동안 운용이 가능한 주요 에너지원으로 전 세계적으로 주목받고 있다. Global Wind Energy 보고에 따르면, 풍력 발전 산업은 2011년 이후 5년간 매년 8%의 성장률을 보일 것으로 예측하고 있다.[1] 이산화탄소를 발생시키지 않는 풍력 발전 시스템은 전 세계적으로 깨끗하고 친환경적인 발전방법으로 널리 알려져 있다. 오늘날 풍

력발전의 기술적 경향은 많은 설비비용이 들더라도 내구성과 효율성을 높이는데 중점을 두고 있는 실정이다.

그러나 풍력 발전 산업이 시작된 이후로 피치드라이브의 고장은 풍력발전기 운용에 많은 어려움을 주고 있다.[2] 풍력발전기의 피치 드라이브가 파손될 때 생기는 문제점은 메인テナンス 비용이 많이 들뿐만 아니라 풍력발전기 메인テナンス를 위해 피치 드라이브 전체를 교체해야 하는 어려움 등이 있다. 그리고 피치 드라이브의 내구성에 대한 연구는 풍력 발전기 사용 수명에 가장 중요한 해결 과제로 주목 받고 있다. 피치 드라이브 고장의 주요한 원인으로 베어링과 감속기 부품들의 정렬이 좋지 못한 경우, 베어링 및 축의 마모 등이 있다. 따라서 풍력 발전용 피치 드라이브 구성품에 대한 해석을 통해 피치드라이브 수명을 예측하는 연구가 필요하다.[3-5]

본 연구의 목적은 이론적으로 피치드라이브의 수명을 예측하고 RomaxDesigner 소프트웨어를 사용하여 피치

\* Department of Mechanical & Aerospace Engineering, Gyeongsang National University

\* C. A. : Department of Mechanical & Aerospace Engineering, Gyeongsang National University (ReCAPT)  
E-mail : sklyu@gnu.ac.kr

드라이브 구성품들에 대한 해석을 통해 부하 상태 및 작동상황에서의 상태를 예측하는데 있다. 이를 통해 앞으로 5 MW 풍력발전용 피치드라이브의 최적설계에 기여하는 것이 목적이다.

따라서 본 연구에서는 피치 드라이브에 대한 이론적인 접근을 통해 부하 및 파손에 대한 해결방안을 찾고자 한다.

그리고 RomaxDesigner를 이용하여 5 MW 풍력발전용 피치드라이브를 모델링하여 실제 운용 상태에서의 피치 드라이브의 각 부하 및 여러 물리적인 성질에 대한 해석을 통해 피치드라이브를 최적설계 하였다. 이를 통해 베어링의 수명연장에 대한 결론을 얻을 수 있었으며 그 결과를 바탕으로 각 부하가 작용하는 부분을 예측하여 경량화 및 진동과 소음에 대한 최적화 설계에 기여하고자 한다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 피치 드라이브 개요

피치드라이브는 바람의 세기에 따라 블레이드의 피치각을 능동적으로 제어하는 역할을 한다. 블레이드와 허브사이에 체결되며, 바람에 대한 하중을 1차적으로 받게 된다. 수평, 수직, 비틀림의 힘이 복합적으로 작용하는 특징이 있으며, 고장률이 매우 높은 부품이다.

### 2.2 베어링 수명 계산법

#### 2.3.1 ISO 베어링 수명 계산법

표준 ISO 281에 따르면, 구름 요소 베어링의 수명은 다음과 같은 식에 의해 계산된다.<sup>[6-7]</sup>

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3 \quad (1)$$

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^{\frac{10}{3}} \quad (2)$$

여기서,

$L_{10}$ 은 베어링 정격 수명,  $C$ 는 ISO 기본 동적 용량,  $P$ 는 등가 레이디얼 부하이다.

ISO 베어링 수명계산을 위해  $C$ 는 제조업체에서 주어지고 등가 레이디얼 부하  $P$ 는 계산된다.

#### 2.3.2 Romax 베어링 수명 계산<sup>[8-9]</sup>

RomaxDesigner는 동력전달시스템 부분에서 ISO 281 산업 표준 수명 계산법과 연관 되어있다. 2개의 추가 수명 계산법은 베어링 수명에 대해 실제 베어링 작동조건을 영향을 예측하는 향상된 기능을 제공한다.

Romax adjusted life는 내부틈새, 예압, 맞춤오차, 높은 속도상의 원심효과와 내부 부하 등, ISO 수명보다 실제 작동 상황에 대한 결과가 정확하다.

다른 하나인 Romax advanced life는 궤도부합과 롤러프로파일링과 같은 ISO 281 표준이 할 수 없는 이들의 내부 파라미터에 대해 수명변화를 반영한다.

Romax adjusted life 계산법은 아래와 같이 ISO의 수명조정계수(Load zone factor,  $f_{Lz}$ )를 사용하여 계산되어진다.

$$L_{10,Adjusted} = f_{Lz} \cdot L_{10,ISO} \quad (3)$$

조정계수  $f_{Lz}$  계산식은 아래와 같다.

$$\text{볼베어링} : f_{Lz} = \left(\frac{P_e}{P_{eISO}}\right)^3 \quad (4)$$

$$\text{구름베어링} : f_{Lz} = \left(\frac{P_E}{P_{eISO}}\right)^{\frac{10}{3}} \quad (5)$$

$P_e$ 와  $P_{eISO}$ 는 구름 요소 부하들로 계산된 등가 베어링 부하값이다.

Romax adjusted life는 궤도 부하 등급과 일반 부하요소들에 기초를 둔 Lundberg-Palmgren 수명 계산법을 사용한다. 이 계산법은 아래와 같다.<sup>[8-9]</sup>

$$\text{볼베어링} : L_{10,ADV} = \left(\frac{Q_c}{Q_e}\right)^3 \quad (6)$$

$$\text{구름베어링} : L_{10,ADV} = \left(\frac{Q_c}{Q_e}\right)^4 \quad (7)$$

여기서,  $Q_c$ 는 궤도 동적 부하 등급이고  $Q_e$ 는 궤도 동적 등가 부하이다. 다른 두 베어링 회사로부터 수명 계산 방법은 일반적 카탈로그에서 쉽게 얻을 수 있다.

### 3.1 피치드라이브 설계 조건

풍력 발전용 피치드라이브는 유성기어, 축, 베어링과 감속기 하우징 등으로 이루어진 기어시스템이다. 이 모든 것들은 기계적인 결합으로 구성되어 있다.

본 연구에서는 RomaxDesigner를 사용하여 피치 드라이브를 모델링하고 이를 해석하였다. 5 MW 풍력 발전용 피치드라이브 설계는 normal condition과 emergency condition 상황에 대해 고려하였다.

Normal condition은 풍력 발전기에 불어오는 바람의 변화량이 가장 보편적인 변화량에 대한 피치 드라이브의 구동조건을 설정하였고, emergency condition은 갑작스런 바람의 변화량에 따른 발전기의 브레이드의 각도를 급격히 변화 시켜야 할 경우에 대한 설계조건으로 명시하였다. 또한, 피치드라이브의 요구수명은 25년이며 위의 두 설계 조건은 Table 1과 Table 2에 나타내었다.

이를 바탕으로 피치 드라이브는 3단 유성기어로 감속기를 설계하였으며 전체 감속비는 204.73으로 설계 하였다. 설계 사양은 Table 3에 나타내었다.

### 3.2 피치 드라이브 모델링

위의 조건을 바탕으로 RomaxDesigner를 사용하여 모델링을 하였다. 각 부분에 걸리는 부하와 각종 물리적 성질의 해석을 진행한 구성품은 하우징, 유성기어 각단

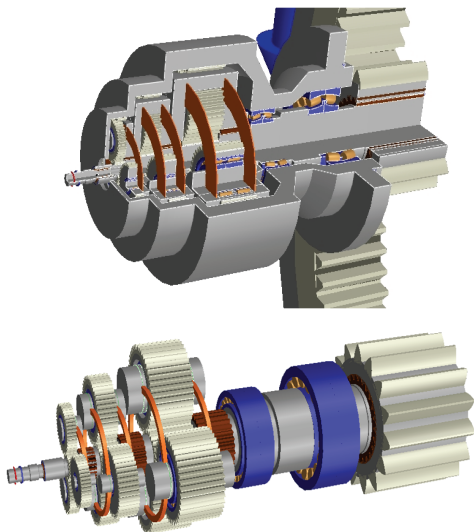


Fig. 1 Pitch drive reducer model

의 축과 캐리어, 베어링에 대해 진행하였고, 모델링한 전체적인 모습을 Fig. 1에 나타냈다.

Table 1 Pitch drive design requirement

	Ring gear speed(deg/s)	Load(kN·m)	Total ratio
Normal	5	200	200/1
Emergency	8	600	

Table 2 Design condition of duty cycle

	Total(hr)	min/day	Year(hr)	25year(hr)
Normal	180,000	1,200	7,200	180,000
Emergency	150	1	6	150

Table 3 Planetary gear specifications

		Sun	Planet	Ring
1st	Number of teeth	22	42	109
	Face width	27	25	27
	Module	2.5		
	Pressure angle	21°		
	Ratio	5.9545		
2nd	Number of teeth	22	41	107
	Face width	52	50	52
	Module	3.5		
	Pressure angle	23°		
	Ratio	5.8636		
3rd	Number of teeth	22	41	107
	Face width	114	110	114
	Module	4.5		
	Pressure angle	25°		
	Ratio	5.8636		
Total ratio		204.73		

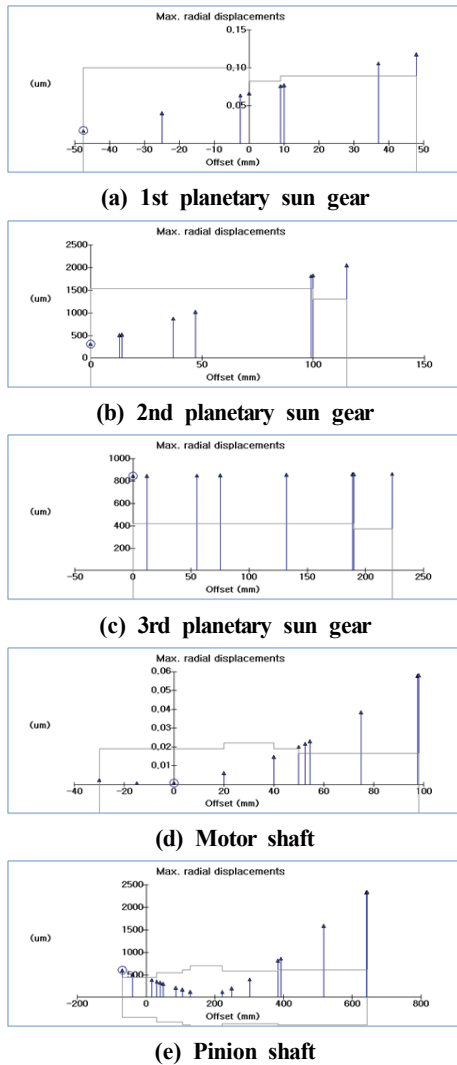


Fig. 2 Shaft displacement analysis results

## 4. 해석결과 및 고찰

### 4.1 축 해석 결과

축은 굽힘, 비틀림, 인장 응력, 축 방향 변위량 등의 해석을 하였다. 축 방향 변위량은 피치드라이브의 진동과 소음에 관련이 있다. 각 축에 대한 변위량 해석결과를 Fig 2에 나타냈다. 유격에 의해 유성기어 내부의 축 변위가 발생하는 것을 알 수 있다.

### 4.2 하우징 해석

하우징은 감속기의 전체를 고정시키는 역할을 하며 풍력발전기 날개의 움직임에 따른 부하를 받게 된다. 본 연구에서는 날개의 움직임에 의한 부하는 고려하지 않은 피치드라이브 내의 작동 중 부하에 대한 해석을 하여 해석결과를 Fig. 3과 Fig. 4에 나타냈다.

Normal condition일 때 하우징의 displacement는 74.95  $\mu\text{m}$ 이고 stress는 30.20 MPa로 나타났다. Emergency condition일 때 displacement 228.74  $\mu\text{m}$ 로 약 3.05배 증가하였고 stress는 92.28 MPa로 약 3.05배 증가하였다.

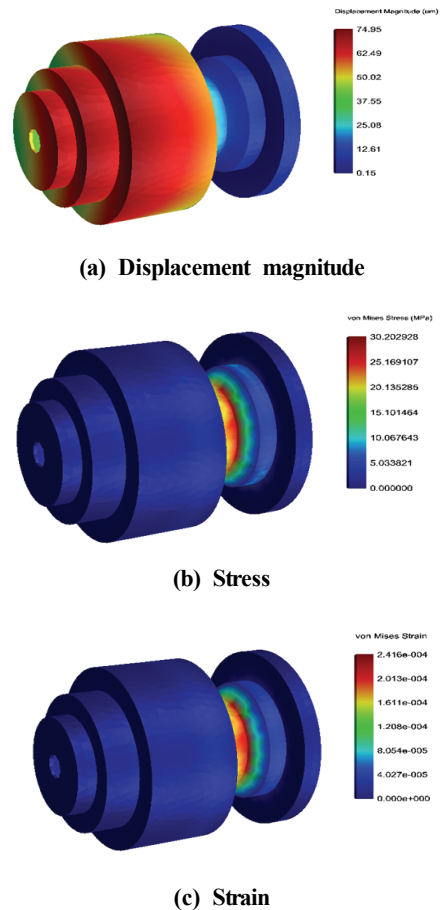
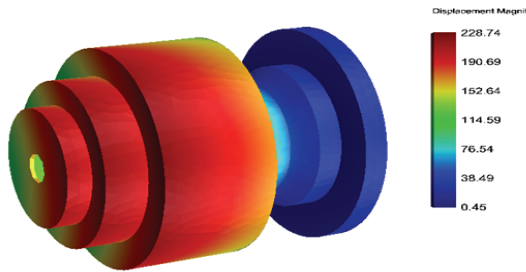
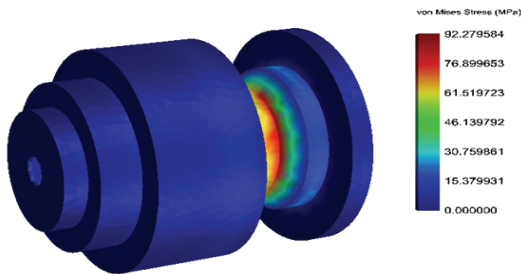


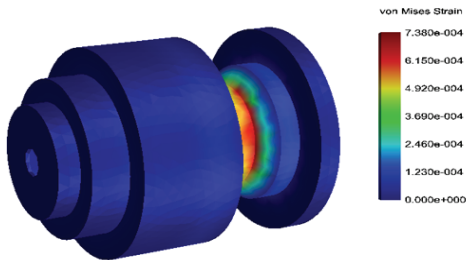
Fig. 3 Housing analysis on the normal condition



(a) Displacement magnitude



(b) Stress



(c) Strain

Fig. 4 Housing analysis on the emergency condition

### 4.3 베어링 해석

베어링은 감속기의 수명에 있어 가장 중요한 요소이다. 피치드라이브의 고장 요소 중 가장 많은 부분을 차지하는 것이 베어링에 의한 고장이다. 따라서 피치드라이브 설계에서 베어링에 대한 해석은 중요하다. 모델링한 베어링을 해석한 결과 첫 번째 유성기어의 베어링과 피니언 축의 베어링 2개(Rolling bearing 1, Rolling bearing 4)가 요구수명을 충족시키지 못하였다. 이에 대한 해석결과를 Fig. 5에 나타냈다.

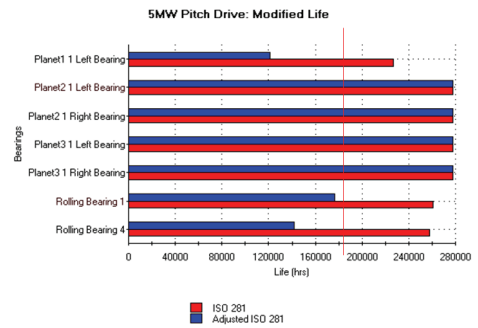
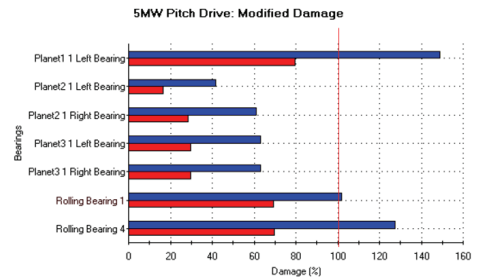


Fig. 5 Percent damage summary and bearing life

Table 4 Changed bearing specifications

	Changed planet 1	Changed bearing 1	Changed bearing 2
Rows	1	-	-
(D) Outer diameter (mm)	42	290	225
(d) Bore (mm)	25	160	150
(B) Width mm)	24	104	75
Number of rollers	11	18	26

이를 해결하기 위해 첫 번째 유성기어의 베어링과 구름 베어링 1과 4를 변경하였다. 베어링의 사양은 롤러의 크기와 개수를 조절 하였고 변경한 베어링의 설계사양을 Table 4에 나타냈다. 베어링을 변경 후 계산한 베어링수명을 Fig. 6에 나타냈다. Fig. 6에 나타낸바와 같이 베어링의 요구수명이 적합하다는 것을 알 수 있다.

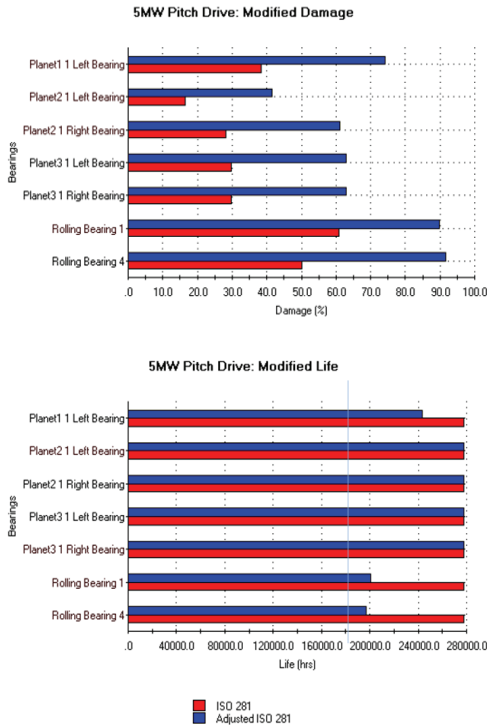


Fig. 6 Result of changed bearing

## 5. 결론

본 연구에서는 5 MW 풍력발전용 피치 드라이브의 구성품들에 대한 해석을 통해 각부의 부하에 대한 데이터 및 변위에 대한 값들을 알 수 있었다. 이를 통해 각 구성품들에서 부하가 걸리는 부분에 대한 보강을 통해 피치 드라이브의 내구성을 높일 수 있다. 그리고 베어링 해석을 통해 베어링의 수명을 예측 할 수 있었다. 베어링은 롤러의 개수와 크기에 따라 성능이 차이가 나며 이에 대한 변경을 통해 베어링의 내구성을 높일 수 있었다. 각 구성품에 대한 해석결과는 다음과 같다.

1. 각 축에 대한 부하 해석을 통해 비틀림, 굽힘, 인장 응력, 변위량을 알 수 있었다. 또한, 유격에 의해 유성기어 내부의 축 변위가 발생하는 것을 알 수 있었다.

2. 하우징과 캐리어에 대한 해석을 통해 각부에 대한 응력과 스트레인을 알 수 있었다. 하우징의 경우 하우징의 반경이 작아지는 목 부분에서 응력이 발생함을 알

수 있었고 경량화를 위해 하우징의 두께를 조절할 경우 목 부위에 대한 보강이 필요하다.

3. 베어링은 피치 드라이브의 수명에 가장 큰 영향을 미치는 부품이다. 베어링 수명해석결과 베어링은 해석상 요구수명을 만족 하였다.

4. 시뮬레이션을 통해 일반적인 상황과 긴급 상황에 대한 해석을 진행하였으며, 이를 통해서 실제 풍력발전기가 구동되는 조건에서의 피치드라이브 각 구성품들에 대한 해석을 하여 요구수명에 맞는 피치 드라이브를 설계 하였다.

## 후 기

이 논문은 한국산업기술원의 광역연계협력사업과 Romax Technology Ltd.의 Romax S/W의 지원에 의해 연구 되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고 문헌

1. GWEC, "Global Wind Energy 2011 Report", Global Wind Energy Council, Belgium, pp. 18~21, 2012.
2. McNiff, B., Musial, W.D. and Errichello, R., "Variations in Gear Fatigue Life for Different Wind Turbine Braking Strategies," Solar Energy Research Institute, Golden, Colorado USA, 1990.
3. Dorling, R., "A New Methodology for Wind Turbine Gearbox Design and Assessment," Romax Technology, England.
4. Duley, D. W., "Handbook of Practical Gear Design," CRC Press, pp. 2.7-2.24, 2002.
5. Sharma, C. S. and Profit, K., "Design of Machine Element," PHI Learning Pvt. Ltd., pp. 411-413, 2004.
6. ISO 281, "Rolling bearings-Dynamic load ratings and rating life(Second Edition)," ISO, February 2007.
7. ISO 76, "Rolling bearings-Static load ratings (Third edition)," ISO, May 2006.
8. RomaxDesigner 12.1-Bearing Application Notes, Romax Technology Ltd., UK, July 2004.
9. RomaxDesigner User Manual, Romax Technology Ltd, Nottingham, UK, 2003.