

유연핀(Flexible Pin) 적용을 통한 풍력발전용 기어박스 경량화 연구

*이 기훈¹⁾, 이 근호²⁾, 박 영준³⁾, 남 용운⁴⁾

Study on Compactness of Gearbox for Wind Turbine using Flexible Pin

*Kihun Lee, Geunho Lee, Youngjun Park, Yongyun Nam

Key words : Wind turbine(풍력발전기), Gear(기어), Plexible pin(유연핀), Compactness(경량화), Planetary gear train(유성기어열)

Abstract :The gearbox for wind turbine has been increased the size by demanding of bigger power production. The optimal sizing for gearbox is demanded because of limited space on the nacelle. The volume and weight for the gearbox are influenced especially for size of it. Therefore, the purpose of this study investigates the design characteristics using flexible pin of gearbox for minimizing the volume and weight of the gearbox.

1. 서론

풍력 발전 시스템은 점차 대형화 되어 가고 있고 육지에서 해상으로 설치되어 가고 있다. 풍력 발전 시스템의 대형화는 모든 구성 부품의 대형화를 의미한다. 따라서 풍력 발전용 기어박스의 크기도 커지고 있으며, 해양에 설치되는 특징에 따라 기어박스의 설치 및 유지보수에도 많은 비용이 발생한다. 이러한 문제점으로 인해 기어박스의 경량화와 높은 신뢰성을 가지는 것이 설계 및 제작의 가장 큰 목표가 되고 있다.

기어박스의 경량화를 위해 그 동안 많은 연구들이 진행되어 왔다. 저자의 이전 보고에서는 풍력 발전 시스템용 기어박스에 가장 많이 활용되는 유성기어열의 구조에 대해 연구를 진행하였다. 유성기어열은 그 특징으로부터 많은 구조로 설계가 가능하며, 이러한 구조들의 특징을 분석하여 경량화를 위한 최적의 설계안을 찾기 위한 노력을 기울였다.

따라서 유성기어열에서 각 유성기어의 하중 분배 효과를 극대화 시키기 위한 연구가 활발히 진행되었다. 유성기어열은 유성기어의 개수에 따라 전달되는 하중을 분배하는 효과가 있지만, 이상적으로 하중이 전달되지 않고 특정 유성기어에 하중이 집중되는 현상이 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 설계자들은 경험에 의해 하중 분배계수를 적용하여 설계상의 문제를 해결할 수 있었지만, 결국 기어박스의 크기를 크게 하는 결과를 초래하였다. 이러한 문제의 해결을 위해 여러 가지 기술들에 대해서 소개되었고, 그 중 캐

리어에 유연핀(flexible pin)을 적용하여 하중분배를 원활히 하고자 하였다.

본 논문에서는 유연핀의 적용한 2MW급 풍력발전 시스템용 기어박스를 설계할 경우 하중 분배 효과에 따라 설계 파라미터들이 어떤 특징을 가지며, 또한 유연핀을 적용하지 않은 경우보다 어느 정도의 체적 및 중량의 감소효과 발생하지는지에 대한 연구를 진행하였다.

2. 기어박스의 설계

2MW급 풍력 발전 시스템의 기어박스 설계를 위해 Conventional 타입의 기어박스를 활용하였다. Conventional 타입은 허브로 전달된 동력이 캐리어(Carrier)를 통해서 입력되며 선기어로 출력되는 구조를 가진다. 이때 링기어는 고정되어 있다. Fig. 1에서는 이러한 Conventional 타입의 구조를 보여주며, 유성기어열이 두 단을 형성하며 원통기어열을 최종단으로 설계하였다. 전체 기어비는 120:1이다.

-
- 1) 한국기계연구원
E-mail : cguykh@kimm.re.kr
Tel : (042)868-7307 Fax : (042)868-7186
 - 2) 한국기계연구원
E-mail : ghlee762@kimm.re.kr
Tel : (042)868-7161 Fax : (042)868-7186
 - 3) 한국기계연구원
E-mail : yjpark77@kimm.re.kr
Tel : (042)868-7994 Fax : (042)868-7186

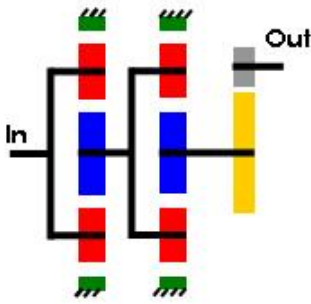


Fig. 1 Structure of gearbox

2.1 기어트레인의 설계

기어트레인은 총 세 개의 단으로 구성되며, 첫 번째 단과 두 번째 단은 유성기어열이다. 첫 번째 유성기어열의 유성기어의 개수는 5개이며, 두 번째 단 유성기어열의 유성기어의 개수는 3개이다. 마지막 단은 원통기어열이다. 유성기어의 개수가 커지면 전달되는 하중의 분배 효과는 커지

Table 1 Gear dimension of 1 stage planetary gear train

	Sun gear	Planet gear	Ring gear
Module [mm]	13		
Number of teeth	49	36	121
Pressure angle [deg.]	20		
Facewidth [mm]	295		
Gear ratio	3.472		

Table 2 Gear dimension of 2 stage planetary gear train

	Sun gear	Planet gear	Ring gear
Module [mm]	9.5		
Number of teeth	34	65	164
Pressure angle [deg.]	20		
Facewidth [mm]	208		
Gear ratio	5.814		

Table 3 Gear dimension of 3 stage cylindrical gear train

	Pinion	Gear
Module [mm]	10	
Number of teeth	114	19
Pressure angle [deg.]	20	
Facewidth [deg.]	173	
Gear ratio	6	

지만 얻을 수 있는 기어비의 한계가 있다. 따라서 120:1의 2MW급 풍력발전용 기어박스의 설계에서는 첫 번째 단에서는 전달된 하중을 줄이는데 초점을 두고, 두 번째 단에서는 원하는 기어박스를 얻을 수 있도록 하였다. 설계된 제원은 Table

1-3과 같다. 이것은 유연핀(flexible pin)의 적용 전의 제원이다.

2.2 유연핀(Flexible pin)의 적용

링기어와 선기어의 사이에 있는 유성기어는 유연핀에 의해 캐리어에 조립된다. 유연핀은 기어의 이 하중으로부터 발생하는 유성기어의 Twisting 모멘트를 최소화 하며, 반력요소의 힘을 상쇄시킨다. 유연핀의 형상은 Fig. 2에 보인다.

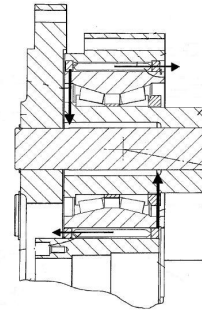


Fig. 2 Flexible pin

유연핀을 적용함으로써 특정 유성기어에 하중이 집중되거나 또는 회전 할 때 특정위상에서 하중이 집중되는 것을 최소화 할 수 있다. 이것은 Fig. 3에서 설명할 수 있다.

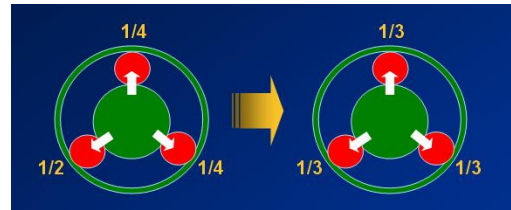


Fig. 3 Load sharing of planetary gear train

2.3 기어의 강도평가

ISO6336-2:2006⁽⁵⁾에 기준하여 기어의 접촉응력계산을 위한 물림피치원주상의 공칭 접촉 응력(σ_{H0})과 시험기어에 대한 허용 접촉 응력수-접촉 내구 한도(σ_{Hlim})를 고려한 면압 강도의 허용 접촉 응력(σ_{HP})은 식(1)와 식(2)로 계산할 수 있다.

$$\sigma_{H0} = Z_H Z_E Z_\epsilon Z_\beta \sqrt{\frac{F_t}{d_1 b} \frac{u+1}{u}} \quad (1)$$

$$\sigma_{HP} = \frac{\sigma_{Hlim} Z_{NT}}{S_{Hmin}} Z_L Z_V Z_R Z_W Z_X \quad (2)$$

또한, 최대 접촉 응력(σ_H)과 허용접촉응력의 관계는 식(3)으로 표시된다.

$$\sigma_H = Z_B \sigma_{H0} \sqrt{K_A K_V K_{H\beta} K_{Ha}} \leq \sigma_{HP} \quad (3)$$

ISO6336-3:2006에 의한 기어의 굽힘강도계산을 위한 공칭이부리응력(σ_{F0})은 식(4)로 나타낼 수 있다.

$$\sigma_{F0} = \frac{F_t}{b \cdot m_n} Y_F Y_S Y_\beta \quad (4)$$

또한, 굽힘강도의 허용 굽힘 응력(σ_{FP})은 시험기어에 대한 공칭 응력수 - 굽힘내구한도(σ_{Flim})를 고려하여 식(5)로 계산된다.

$$\sigma_{FP} = \frac{\sigma_{Flim} Y_{ST} Y_{NT}}{S_{Fmin}} Y_{\delta rel T} Y_{\beta rel T} Y_X \quad (5)$$

최대 굽힘 응력(σ_F)과 허용 굽힘 응력(σ_{FP})의 관계는 식(6)으로 표시된다.

$$\sigma_F = \sigma_{F0} K_A K_V K_{F\beta} K_{F\alpha} \leq \sigma_{FP} \quad (6)$$

안전계수는 굽힘 강도에 대해서 1.5, 면압 강도에 대해서 1.2이상 되도록 하였다. 이는 GL의 추천값이다. 또한 하중 분배 계수는 GL과 AGMA에서 추천하는 값을 사용하였다. GL과 AGMA에서 추천하는 하중 분배 계수는 Table 2에 보인다.

Table 2 Load distribution factor

		3	4	5	6	7
Load Sharing	GL	1.0	1.25	1.35	1.43	1.50
Factor	AGMA	1.23	1.32	1.35	1.40	1.43

3. 기어박스의 체적 및 중량 평가

체적의 평가는 크기의 지표이며, 중량은 제작 및 유지보수에 대한 비용의 지표가 될 수 있다. 체적은 1단과 2단에 대해서 링기어의 크기로 평가할 수 있다. 또한 림의 체적을 고려하기 위해 일반적인 설계에서 활용하는 모듈의 5의 크기로 설계하였다. 3단의 경우에는 피치원 지름에 대한 크기로 평가하였다. 중량의 경우 체적과 달리 선기어, 유성기어, 링기어에 대해서 각각의 중량으로서 평가하였다. Fig. 4에서 그 형상을 나타내었다.

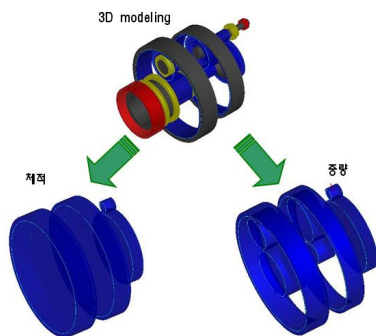


Fig. 4 Evaluation of volume and weight

체적과 중량의 비교를 위해서 하중 분배계수를 GL과 AGMA 기준을 바탕으로 하였다. GL과 AGMA에서 제시한 값을 최대값으로 정하고, 단계적으로 하중분배계수를 적게 적용하였다. 이때 기어트레인의 안전계수는 GL의 인증 값을 활용하였고, 하중분배계수의 변화에 따라 기어의 치폭과 모듈을 변경하였다. 그 결과는 Fig. 5~6에 보인다.

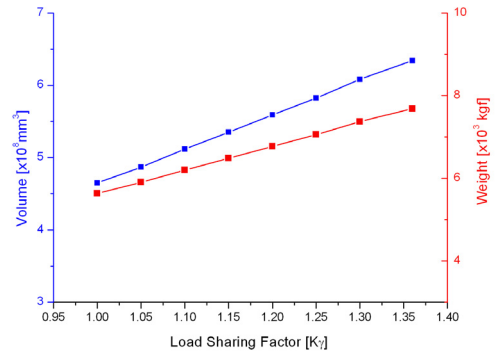


Fig. 5 Comparison of 1stage gear train

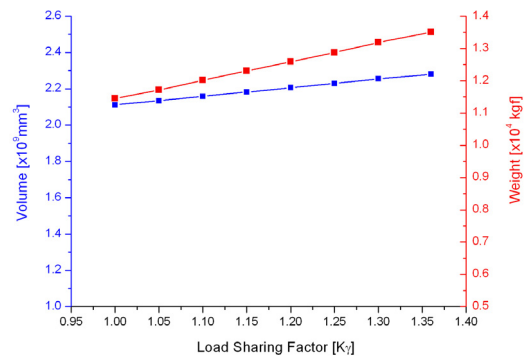


Fig. 6 Comparison of 2 stage gear train

하중분배계수의 변화에 대한 체적과 중량의 감소율을 Table 3에 정리하였다.

Table 3 Decrement of volume and weight

K_γ	1stage volume	1stage weight	2stage volume	2stage weight
1.3	2.1%	2.2%		
1.2	6.1%	6.5%	1.2%	1.2%
1.1	9.9%	10.6%	3.8%	3.9%
1.0	13.6%	14.6%	6.6%	6.8%

1단의 경우 유성기어의 개수가 5개이므로 GL과 AGMA에서 추천하는 하중분배계수가 1.35로 같고 2단의 경우 AGMA에서 추천하는 값인 1.23을 때의 값을 기준으로 하였다. 분석 결과로부터 유연핀을 적용하여 하중분배계수를 1.1정도로 낮출 경우 체적과 중량에서 13.7%와 14.5% 정도로 경량화되는 효과를 얻을 수 있다.

4. 결론

본 연구를 통해서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1. 유연핀을 적용한 풍력발전용 기어박스에서 약 10% 이상의 체적 및 중량 감소효과를 가지는 것을 확인하였다.
2. 유성기어의 개수가 많을 경우 체적 및 중량의 감소효과가 더 크게 나타난다.
3. 스트레인 게이지를 링기어의 이나 림에 부착하여 응력분포를 확인함으로써 적절한 하중분배계수를 적용하기 위한 연구가 필요하다.

후 기

본 과제(결과물)는 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원인력양성사업의 연구결과입니다.

References

- [1] 이기훈, 이근호, 배인호, 이정상, 정태형, “동력 분배형 유성기어열의 구조 특성 분석” 2008 한국신재생에너지 학회, 춘계학술대회 논문집
- [2] 이기훈, 박재희, 이근호, 남용윤, “기어열의 형태를 고려한 중대형 풍력 발전기용 기어박스의 설계 특성 연구” 2007 한국 신재생에너지 학회, 춘계학술대회 논문집
- [3] A, Singh, A. Kahraman, H. Ligata, "Internal Gear Strains and Load Sharing in Planetary Transmission: Model and Experiments" ASME, July 2008, Vol. 130
- [4] J. Peeters, D. Vandepitte, P. Sas, "Flexible multibody model of a three-stage planetary gearbox in a wind turbine," Proceedings of ISMA2004, pp. 3924-3942, 2004.
- [5] Choi. Y. H, Park. G. H, Cho. J. H, Lee. I. W, Oh. S. U, "A Study on Optimum Design of 2MW Wind turbine Gearbox Using a Integrated Design Software." Spring Conference KSNRE, pp. 249-252, 2006.
- [6] ISO 6336, "Calculation of load capacity of spur and helical gears", 2006
- [7] AGMA 6123-A88, "Design Manual for Enclosed Epicyclic Metric Module Gear Drives", 1988
- [8] KISSsoft-hirnware, rel 04/2006
- [9] Guideline for the Certification of Wind Turbines, Germanischer Lloyd, 2004