

# 스플라인의 공차가 프로펠러 샤프트의 처짐에 미치는 영향

한동섭<sup>†</sup>·이성욱\*·김용\*\*·한근조\*\*\*

## The Effect of the Gap of Spline on the Deflection of Propeller Shaft

Dong-Seop Han, Seong-Wook Lee, Yong Kim, and Geun-Jo Han

**Key Words:** Propeller Shaft(프로펠러 샤프트), Deflection(처짐), Centrifugal Force(원심력), FEA(유한요소해석)

### Abstract

A propeller shaft is the device which is used to transmit the power between two shafts in a vehicles, an industrial machinery, etc. The end of spline is worm due to the deflection of the propeller shaft, and a lifetime of it is reduced, because it for industrial machinery has the length of 2,500 mm, the weight of 300 kg<sub>f</sub>, and the sliding distance of  $\pm 250$  mm. Accordingly in this study we analyzed the effect of the gap of spline on the deflection of a propeller shaft carrying out the finite element analysis, in order to determine the proper gap of spline to minimize the deflection of it. We adopt 10-kinds of gap of spline from 0.05 mm to 0.5 mm at interval of 0.05 mm as the design parameter for the finite element analysis and the centrifugal force as the load condition.

### 1. 서 론

프로펠러 샤프트는 일직선상에 있지 않은 2개의 축이 임의의 각도를 이루어 교차할 때 자유로이 동력을 전달하기 위한 장치이며, 축 중심선들이 교차되는 고정된 또는 변경하는 각도로 하나의 축에서부터 다른 축으로 토크 또는 회전운동을 전달하는 기계 장치이다. 이러한 프로펠러 샤프트는 차량용과 산업용으로 구분되는데, 장착 시 또는 장착 후 수직 이동할 때 자동차용은 30~40 mm의 짧은 유격거리가 발생하지만 산업용 프로펠러 샤프트는 Roll의 이동거리가 크기 때문에 100~400 mm의 긴 유격거리가 발생한다. 또한 산업용 제품은 대부분

대형( $\phi 250$ 이상)이고, 300~1,000 kg<sub>f</sub> 이상의 무게를 가지고 있으며, 긴 전장으로 인해 처짐에 의한 마모가 발생하게 된다. 또한 스플라인(spline)의 피로 하중에 의한 치합 Back-lash 과대해지면, 구동 중 불균형(unbalance) 편심회전이 증가하여 이음과 크로스 키트 조립체의 파손 및 설비의 손상이 발생하게 된다.

산업용 프로펠러 샤프트의 주요 고장원인을 살펴보면 마모와 피로에 의한 스플라인의 고장이 55%, 피로에 의한 크로스 키트 베어링의 고장이 30%, 피로에 의한 요크의 고장이 10%, 기타가 5%로 나타나는데, 결국 스플라인의 마모에 의한 고장으로 인해 다른 부분들이 누적되어서 발생하는 것을 알 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 일본 KOYO Maker에서는 집중하중을 받는 구간에 탈부착이 가능한 플랜지(flange)를 장착 하여 마모 발생 시 플랜지만을 교체하여 제품수명을 3년 가까이 연장시켰다. 그러나 국내는 아직 수명이 1년 이상인 제품이 개발되고 있지 않아 주로 수입에 의존하고 있는 실정이다. 따라서 처짐을 줄이고 스플라인의 끝부분에 작용하는 집중하중을 분산시킬

---

† 회원, 동아대학교 BK21총괄사업단

E-mail : dshan@dau.ac.kr

TEL : (051)200-6989 FAX : (51)200-7656

\* 동아대학교 대학원 기계공학과

\*\* 동아대학교 대학원 기계공학과

\*\*\* 동아대학교 기계공학과

---

수 있도록 가이드 샤프트(guide shaft)와 스페이스(spacer)를 장착하고 무게를 줄이기 위한 중공형 스플라인(spline)을 가진 새로운 형태의 제품의 개발이 요구된다. 본 연구에서는 이러한 연구의 일환으로 프로펠러 샤프트의 내·외치간 공차가 처짐에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 0.05~0.5 mm까지 0.05 mm간격으로 10가지의 공차를 설계변수로 하여 유한요소해석을 수행하였다.

## 2. 프로펠러 샤프트의 유한요소해석

### 2.1 해석모델

스플라인의 공차가 프로펠러 샤프트의 처짐에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 3D Modeler인 INVENTOR를 이용하여 프로펠러 샤프트의 모델링을 수행하였다. 그리고 범용 유한요소해석프로그램인 ANSYS를 이용하여 INVENTOR로 모델링된 기존 프로펠러 샤프트의 구조안정성 평가를 수행하였다. 해석을 위해 사용된 요소는 5절점 피라미드요소이며, 요소 수는 62,981개, 노드 수는 113,539개 이며, Fig. 1에 메시된 형상을 나타내었다.

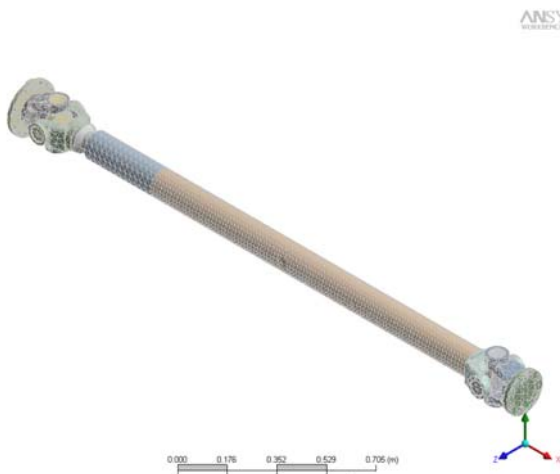


Fig. 1 Meshed shape of a propeller shaft

### 2.1 하중 및 경계조건

프로펠러 샤프트는 양쪽 플랜지 요크(flange yoke)가 다른 축에 연결되어 회전하게 되므로 요크의 끝부분이 회전이 가능하지만 기울어지지 않도록 구속조건을 설정하였다. 또한 제품의 최대 회전수는 600 rpm (62.83 rad/s)이고, 최대전달토크가 2,500 kgf-m (24700 N-m)이므로 프로펠러 샤프

트의 처짐량을 살펴보기 위하여 자중과 각속도를 작용시켰다. Fig. 2는 하중 및 구속조건을 나타낸다.

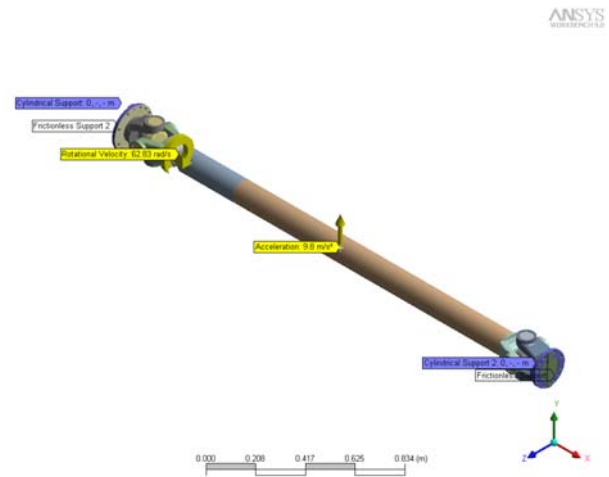


Fig. 2 Boundary conditions of the propeller shaft for the finite element analysis

## 3. 해석결과 및 고찰

유한요소해석을 통해 스플라인의 공차( $G_s$ )가 프로펠러 샤프트의 처짐에 미치는 영향을 분석하여 Table 1에 각각 나타내었다. 그리고 공차가 0.05 mm일 때 자중과 각속도(62.83 rad/s)를 작용시켰을 때 프로펠러 샤프트의 처짐 분포도를 Fig. 3에 나타내었다.

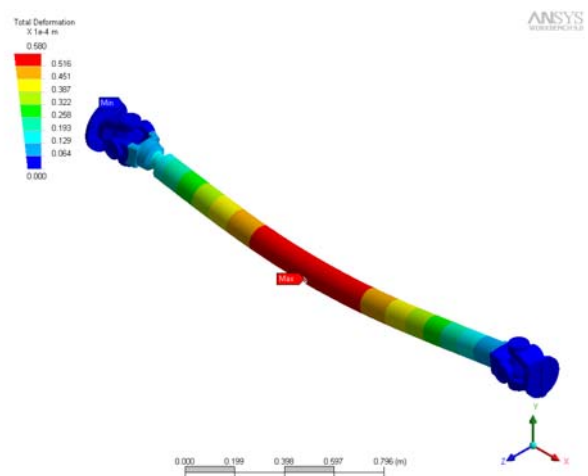


Fig. 3 Displacement distribution of the propeller shaft (as the gap is 0.05 mm)

Table 1 The maximum deflection of the propeller shaft ( $D_{f,max}$ ) with respect to the gap ( $G_S$ ) of a spline [mm]

$G_S$	$D_{f,max}$	$G_S$	$D_{f,max}$
0.05	0.058	0.30	0.073
0.10	0.061	0.35	0.078
0.15	0.063	0.40	0.083
0.20	0.066	0.45	0.087
0.25	0.070	0.50	0.092

Table 1을 살펴보면 스플라인 공차에 따른 프로펠러 샤프트의 최대 처짐은 0.058~0.092 mm로 점진적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 이 결과를 이용하여 2차식으로 curve fitting한 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

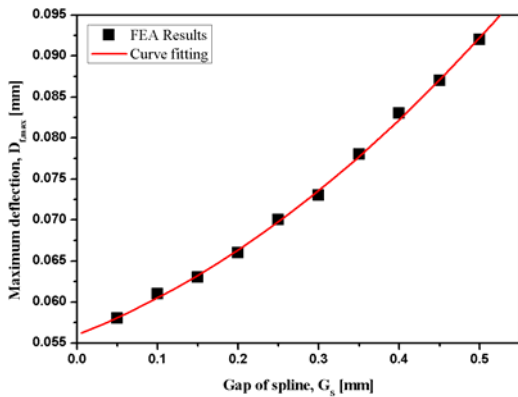


Fig. 4 Max. deflection of a propeller shaft with respect to the gap of spline

Fig. 4를 살펴보면, 처짐값이 점진적으로 증가하는 것을 알 수 있으며, 2차식으로 데이터를 curve fitting한 결과 상관도는 0.9987로 나타났으며, 스플라인의 간격( $G_S$ )에 따른 프로펠러 샤프트의 최대 처짐( $D_{f,max}$ )은 아래와 같다.

$$D_{f,max} = 0.056 + 0.037G_S + 0.069G_S^2 \quad (1)$$

즉, 프로펠러 스플라인의 공차가 크면 클수록 처짐이 2차식 형태로 증가하므로 조립을 위한 최소공차를 유지하는 것이 매우 중요하다는 것을 알 수 있다. 또한 더 나아가 스플라인의 끝에서의 응집중의 변화를 살펴봄으로써 마모 발생 정

도를 분석할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

산업용 프로펠러 샤프트는 길이가 길고 중량이 많이 나가기 때문에 처짐으로 인한 수명감소의 문제를 안고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 스플라인의 공차가 처짐에 미치는 영향을 살펴보았다. 스플라인의 공차가 증가할수록 처짐이 점진적으로 증가하게 되므로 최소 조립공차를 유지하기 위한 공차만 허용하여야 한다. 또한 처짐을 최소화시키기 위하여 가이드 샤프트(guide shaft)와 스페이서(spacer)를 채택한 새 모델에 대한 구조안정성 평가 및 경량화를 위한 최적설계를 수행하여 기존 1년의 수명을 갖는 제품을 2년 이상의 내구성을 가질 수 있도록 연구를 수행할 예정이다. 또한 성능평가용 시제품을 제작하여 외부 공인기관에 의뢰하여 제품의 마모 및 피로 수명 평가 등 구동특성 평가를 수행할 예정이다.

#### 후기

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

#### 참고문헌

- (1) Timoshenko, S. P. and Gere, J. M., 1961, "Theory of Elastic Stability," McGraw-Hill, pp. 319~347.
- (2) Yukawa, S., Timo, D. P. and Rubio, A., 1969, "Fracture Design Practices for Rotating Equipment," Fracture, Vol. 5, Academic Press.
- (3) Ugural, A. C., 1981, "Stresses in Plates and Shells," McGraw-Hill Co., pp. 59-93.
- (4) 오세욱, 1992, "재료역학," 동명사, pp. 393-395.