

# 교차각이 프로펠러 샤프트의 강도에 미치는 영향

## Strength evaluation of a propeller shaft according to the cross angle

\*한동섭<sup>1</sup>, 이수홍<sup>2</sup>, #한근조<sup>3</sup>

\*D. S. Han<sup>1</sup>, S. H. Lee<sup>2</sup>, #G. J. Han<sup>3</sup> (gjhan@dau.ac.kr)

<sup>1</sup> 동아대학교 기계공학과, <sup>2</sup>동아대학교 기계공학과 대학원, <sup>3</sup>동아대학교 기계공학과

Key words : Propeller shaft, Cross angle, Strength, FEA, Commercial vehicle

### 1. 서론

차량의 동력 전달계는 엔진으로부터 차륜까지 엔진의 구동력을 전달하는 장치들의 조합이다. 동력 전달계의 프로펠러 샤프트와 같은 주요 부품들은 대부분 회전하는 부품으로 구성되어 있으며, 동력의 전달 과정에서 공진 및 회전 불평형 등의 원인으로 비틀림 및 굽힘을 일으킨다. 구동력이 토크의 형태로 전달되며 각 구성 부품이 회전운동을 하고 있으므로 동력 전달계에서의 진동, 소음 발생현상은 비틀림의 지배를 받는다고 볼 수 있다.

프로펠러 샤프트는 일직선상에 있지 않은 2개의 축이 임의의 각도를 이루어 교차할 때 자유로이 동력을 전달하기 위한 장치이며, 축 중심선들이 교차되어 고정된 또는 변경하는 각도로 하나의 축에서부터 다른 축으로 토크 또는 회전운동을 전달하는 기계장치이다. 프로펠러 샤프트는 교차각(Cross angle)에 의한 속도변화를 2개의 유니버설 조인트로 상쇄시켜 원활하게 동력을 전달한다. 스플라인의 피로하중에 의한 백래시(Back-lash)가 과대해지면, 구동 중 불균형 편심회전이 증가하여 이음과 크로스 키트 조립체의 파손 및 설비의 손상이 발생하게 된다.

최근 차량용 프로펠러 샤프트의 경우 좁은 공간에서 큰 각도로 동력전달이 요구되어 프로펠러 샤프트의 설계 시 고각도의 교차각이 요구됨에 따라본 연구에서는 교차각에 따른 프로펠러 샤프트의 강도변화를 범용 해석툴인 ANSYS Workbench 를 사용하여 평가하고자 한다.

### 2. 프로펠러 샤프트의 모델 및 해석조건

본 연구에서는 교차각에 따라 프로펠러 샤프트의 강도를 평가하기 위해 Fig.1과 같이 구동축(DS), 피동축(WS)과 연결되는 요크와 프로펠러 샤프트(PS)의 교차각( $\theta_c$ )를 설계변수로 정의하였으며 0°~20°까지 2.5°간격으로 총 9개의 교차각을 설정하였다.

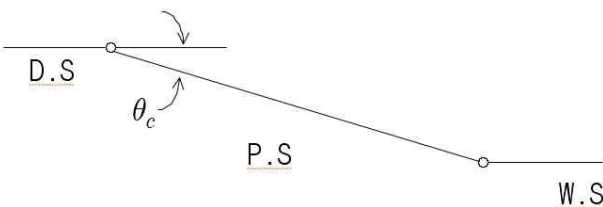


Fig. 1 The cross angle of propeller shaft

그리고 상용차에 보편적으로 사용되는 모델을 대상으로 선정하였다. 프로펠러 샤프트는 스플라인샤프트, 슬리브요크, 튜브요크, 십자베어링으로 구성되며 각 부품에 사용된 재료와 항복강도를 Table 1에 나타내었다. 3D Modeler인 INVENTOR를 사용하여 프로펠러 샤프트를 모델링하였으며 5절점 피라미드 요소를 사용하여 요소분할 하였다. Fig. 2에 메시된 형상을 나타내었다.

Table 1 Materials and yield strength of each part

Parts	Journal bearing	Sleeve yoke	Spline shaft	Tube
Materials	scm440	sm45c	scm440	stkm13b
Yield strength [MPa]	840	490	840	305

ANSYS

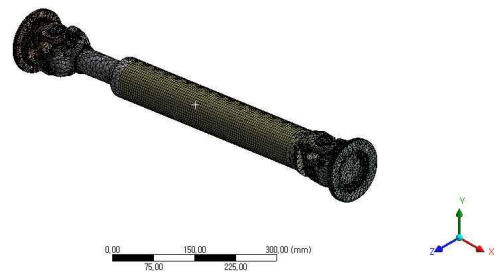


Fig. 2 Mesh shape of propeller shaft

프로펠러 샤프트는 엔진 및 구동축에 의해 토크를 받게 된다. 진동 및 충격의 영향, 스플라인의 백래시 등은 고려하지 않았으며 시험 요구사항이 최대 허용 토크가 219kg·m 이상이므로 본 연구에서는 Fig. 3과 같이 프로펠러 샤프트의 길이를 일정하게 구속하고 양단에 219kg·m의 토크를 적용하여 각 부품의 강도를 살펴보았다.



Fig. 3 Boundary condition of propeller shaft

### 3. 해석 결과 및 고찰

범용해석 프로그램인 ANSYS를 사용하여 9가지 교차각에 따른 프로펠러 샤프트의 강도평가를 수행하였으며, Fig. 4에서 교차각이 10°일 때 응력상태를 나타내었다.

Table 2에 교차각에 따른 프로펠러샤프트의 각 부품에 대한 최대 상당응력을 나타내었으며, 그 변화추이를 Fig. 5에 나타내었다.

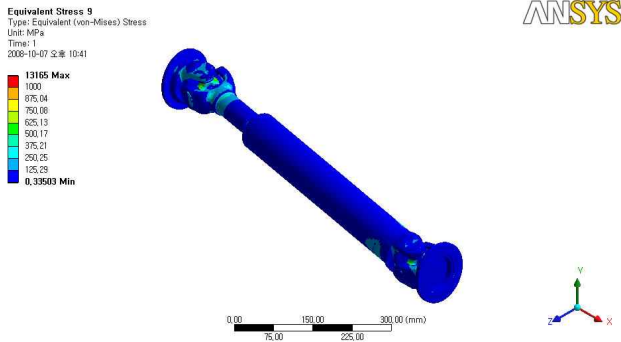


Fig. 4 Stress distribution of a propeller shaft as  $\theta_c=10^\circ$

Table 2 Max von-Mises stresses of each part of a propeller shaft

Cross angle	Maximum von-Mises stress [MPa]				
	Spider	Bearing cap	Sleeve yoke	Spline shaft	Tube
0.0°	529	313	306	625	159
2.5°	614	354	403	649	164
5.0°	710	443	428	703	162
7.5°	814	521	428	736	164
10.0°	795	813	430	716	161
12.5°	860	940	462	717	162
15.0°	1091	1264	447	730	158
17.5°	1024	2051	595	794	168
20.0°	1277	3294	691	845	156

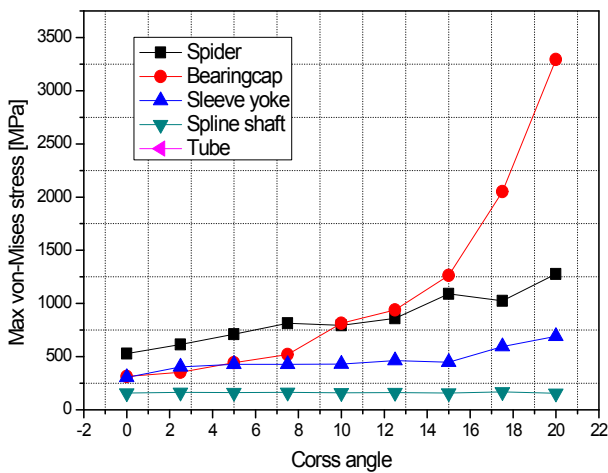


Fig. 5 Variation of stress according to cross angle

Table 2를 살펴보면 각 부품별 재료의 물성치를 바탕으로 강도를 평가한 결과 교차각이 12.5°보다 큰 경우는 재료의 항복강도를 넘는 것으로 나타났다. 반면 교차각이 커져도 튜브에 나타나는 응력은 거의 변화가 없었다.

Fig.5 에서와 같이 교차각이 증가함에 따라 베어링 캡(Bearing cap)의 발생 최대응력이 급격하게 증가하는 것을 알 수 있다. 부품의 발생 최대응력이 교차각이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였으나 베어링 캡과 같이 교차각에 민감하게 반응하지는 않는 것으로 보였다. 튜브는 교차각에 상관없이 거의 일정한 응력이 발생함을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 교차각도에 따른 프로펠러 샤프트의 강도평가를 수행 하였다. 해석은 진동, 충격, 백래시의 영향을 고려하지

않고 진행하였고, 정적 비틀림 시험기준에 맞추어 조건을 부여하였다.

1) 프로펠러 샤프트의 실제 사용 교차각인 0°~4°사이에서는 모든 부품이 재료의 항복강도보다 낮은 응력이 발생 하여 충분한 강도를 가지는 것으로 나타났으며 약 10°의 교차각 까지는 안전한 것으로 나타났다. 하지만 12°의 각도부터는 베어링 캡 등 각 부품에서 급격한 응력의 증가가 나타나 재료의 항복강도 이상의 응력이 발생하므로 12°이상의 각도에서는 사용이 불가능한 것으로 나타났다. 튜브의 경우는 교차각의 변화에 영향을 받지 않고 일정한 응력이 발생하는 것으로 나타났으며, 모두 재료의 항복응력보다 낮게 나타났다.

2) 이러한 결과를 토대로 튜브의 경우 현재의 모델보다 경량화가 가능 할 것으로 예상되며 12°이상의 교차각에서 프로펠러 샤프트를 사용하고자 할 경우 현재 모델과 다른 특별한 조치가 필요 할 것으로 예상된다.

3) 본 연구의 결과는 프로펠러 샤프트의 설계 와 12°이상의 각도에서 사용가능한 프로펠러 샤프트의 개발, 프로펠러 샤프트의 경량화 등과 같은 연구에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

#### 후기

본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음.

(IITA-2008-c1090-0801-0004)

#### 참고문헌

1. Taesung co., " WorkBench User Manual".
2. 한동섭, 이성욱, 김용, 한근조 저 "스플라인의 공차가 프로펠러 샤프트의 치짐에 미치는 영향" 대한기계학회 춘추학술대회 대한기계학회 2007도 춘계학술대회 강연 및 논문 초록집, 2007. 5, pp. 590 ~ 592.
3. 김병삼, 장일도, 이봉구, 문상도 저 "엔진과 추진축의 비틀림가진력에 관한 해석적 연구" 한국공작기계학회 논문집 Vol.16 No.3, 2007. 6, pp. 1 ~ 7
4. 하중률 외 3명저, 2004, "자동차공학" 보성각, pp. 180-189.