

# V-벨트 풀리 성형 방법에 따른 피로 수명 평가

## Fatigue life evaluation of Automatic V-belt pulley on forming methods

\*박주홍<sup>1</sup>, #차용훈<sup>2</sup>, 김미애<sup>1</sup>, 정승원<sup>1</sup>

\*J. H. Park<sup>1</sup>, # Y. H. Cha (yhcha@chosun.ac.kr)<sup>2</sup>, M. A. Kim<sup>1</sup>, S. W. Jung<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 조선대학교 기계공학과 대학원, <sup>2</sup> 조선대학교 기계공학과

Key words : Crank shaft Pulley, Analysis, Fatigue life evaluation

### 1. Introduction

엔진벨트 시스템에서 Pulley는 기능적으로 벨트 운반 장치를 구동 시키는데 가장 중요하다. Crank shaft Pulley는 외형 Pulley, 고무재질인 폴리에스터 패킹 그리고 내형 Pulley로 구성이 되어 있다. Crank shaft Pulley는 에어컨, 냉각팬, 발전기, 파워 스트어링 등 과 같은 장치에 동력을 전달하고 연료분사 점화시기를 확인하는데 쓰인다. 또한 고무 패킹은 크랭크축에서 동력으로부터 발생 되는 소음과 진동을 잡아주고 동력 과부하시에 축이 파손 되지 않도록 완충 장치 역할을 한다.

Pulley는 전달 동력의 크기에 따라 설계되어지며 상호관계에 의해 모서리, 축, 압과 이들의 접촉면에서 응력과 변형이 발생한다(1,2). Pulley의 최적화된 설계를 위해서는 초기부터 각 부분의 내구성을 통해 V-belt와의 접촉면과 원심력을 고려하여 상호작용에 관해 실험적인 방법과 해석적인 방법으로 연구되어져 왔다(3). Ravikumar 은 각각의 Pulley를 유한요소법을 이용한 해석을 통해 연구하였으며(4), Gerbert는 V-belt의 작동 시에 힘과 미끌림에 관해 이론적으로 분석 하였다(5). 그리고 Lee 등은 V 벨트용 Pulley의 설계 해석 시스템을 개발하였다(6).

본 연구에서는 Crank shaft Pulley의 응력 해석 값을 기초로 Pulley의 피로 수명을 해석하여 Pulley의 내형을 설계하였다.

### 2. Finite element Analysis

#### 2.1 Pulley Friction Formula

벨트와 Pulley 사이의 마찰력은 다음과 같으며 실제 작용하는 마찰계수  $\mu$ 는 최대 정지 마찰계수보다 작은 값으로 작용하며 외형Pulley와 내형Pulley의 접촉면 영역에서도 동일하게 작용한다고 가정한다.

$$\mu' = \frac{1}{\theta} \log_e \frac{T_t}{T_s}$$

회전력을 발생하는 마찰력은  $2\mu'NR$ 이 된다.

$\theta$ 는 Pulley와 belt의 맞닿는 각이고  $T_t$ 는 belt의 긴장쪽 장력과  $T_s$ 는 belt의 이완쪽 장력을 알면 최대 정지 마찰계수를 알 수 있다.  $\mu'$ 는 유효 마찰계수로서 Pulley의 마찰력을 구할 수 있다. 이때 발생하는 유선속도와 전달동력은 다음과 같이 표현된다.

$$Fds = \frac{w}{g} \frac{v^2}{R} ds$$

#### 2.2 Pulley load Analysis

Crank shaft Pulley에는 크게 네 가지의 경계조건이 작용한다. 즉, 크랭크축에서 전달되는 동력과 belt와의 접촉면에서 발생하는 하중, 체결되는 볼트와 접촉면을 통하는 하중과 구속조건 그리고 원심력이 발생하는 경계조건이다. 본 연구에서는 Pulley의 boit를 고정하였고 외형과 내형에 접촉조건을 부여하였다. 또한 Crank shaft Pulley는 응력 분포를 고찰하기위해 H사의 제품을 분석하여 모델을 하였다. Fig.1 기존 Crank shaft Pulley를 분석하여 CATIA Program을 통하여 3D Modeling 한 것이다.

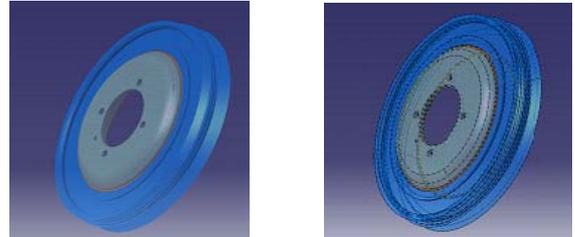


Fig.1 3D Model for CATIA program of Pulley

### 3. Solid Modeling and Boundary condition

#### 3.1 Load condition and Boundary condition

Crank shaft Pulley에는 Crank shaft축에 연결되고, V벨트에 의해 여러 부분에 연결된다. Table 1은 Crank shaft Pulley의 적용 되는 하중조건과 경계조건을 부여하였다.

Table 1 Material properties of the parts used in the FE analysis

Part	Properties	Pulley (SPCC, KSD5312)
Elastic modulus(MPa)		199890
Poisson ratio		0.30
Ultimate strength(MPa)		335
Yielding strength (MPa)		281
Hardness (BHN)		269
Alternating strength(MPa)		170
Stress range intercept(MPa)		1251

#### 3.2 Analysis

Fig.2에서와 같이 하중 조건과 구속 조건을 부여한 후 Mesh를 생성하여 CAE Analysis를 수행하였다. 모든 접촉 부위에 조건을 적용하여 해석을 수행 할 경우 많은 접촉 조건으로 시간과 해석을 하는데 어려움으로 이 연구에서는 Pulley의 CAE 과정을 정형화 하여 해석을 수행하였다. Fig.3(a)는 Solid element를 사용하여 mesh를 생성시킨 형상이고, (b)는 해석한 결과로 최대응력이  $72.1N/mm^2$  나타났다.

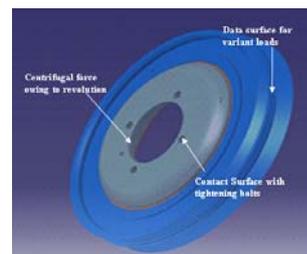
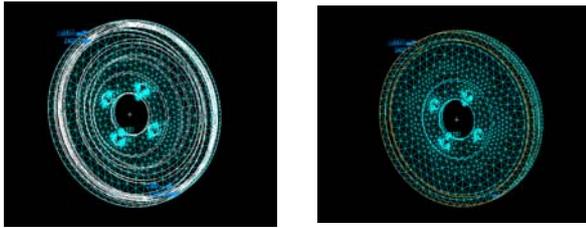
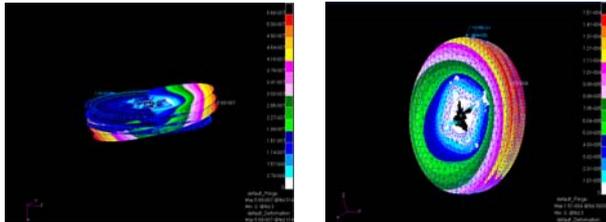


Fig.2 The solid model of Loads and restraints



(a) Mesh generation



(b) Analysis result

Fig.3 CAE Analysis

3.3 Fatigue life Analysis

재료의 피로 특성은 철의 피로 특성, 인장 특성 그리고 강도특성 사이의 경험적 관계로부터 구하였다. Crank shaft Pulley는 원심력과 V벨트의 장력에 의해 변동성이 존재하므로, 이들을 고려한 응력 및 피로해석이 필요하다. 따라서 이러한 변동성에 의한 Crank shaft Pulley의 안전성을 검토하기 위하여 피로해석 프로그램을 이용하여 하중에 따른 Crank shaft Pulley의 피로수명을 평가하였다. Pulley의 피로 수명은 누적 손상이론에서 기초하여 계산되었다. 1회전 할 때의 손상으로 해석의 결과 값에 기초하여 계산 수행한다. 다축하중을 고려하여 피로 해석 프로그램을 수행하여 얻은 피로 해석의 결과 값은  $7,12 \times 10^6$ 으로 나타났다.

4. Optimum Design Conduct

피로 수명 해석을 통하여 Pulley의 형상에 따라 강도에 영향을 주는 인자가 조금씩 다름을 알 수 있었다. 체결된 볼트의 범위에서 가장 높은 응력이 나타나므로 내형 Pulley에 곡률 현상을 적용시키면서 볼트에 집중된 응력을 분산하고 Crank shaft에서 전달되는 동력을 효과를 높이기 위해 Remodel을 한 것을 Fig.4에 나타내었고 또한 Fig.6에서와 같이 시제품을 만들었다. 최상의 설계를 구조해석Fig.5와 피로해석을 수행한 결과 Table 2와 같이 나타났다. Table 2에서는 기존의 Pulley와 형상 설계된 Pulley 피로 수명을 비교 분석한 것이다. 내형 Pulley 형상이 설계된 Pulley가 기존의 Pulley에 비해 높은 것으로 나타났다.

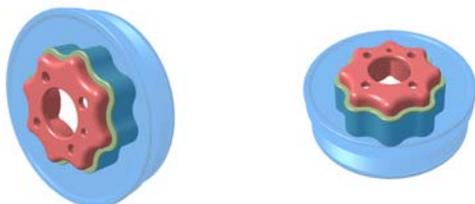
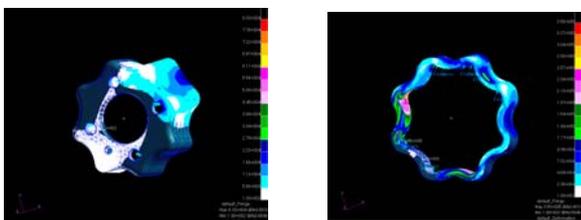
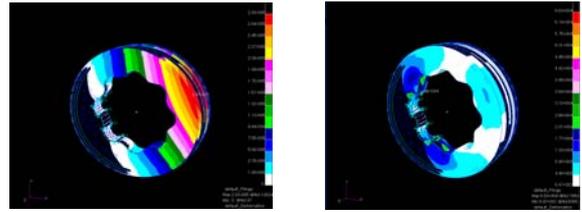


Fig.4 Optimum Design of Crank shaft Pulley



(a) Internal Pulley shape



(b) External Pulley shape

Fig.5 CAE Analysis of Crank shaft Pulley

Table 2 Comparison between Preexistence Pulley and Modification Pulley of Fatigue life

	Preexistence Pulley	Modification Pulley
Fatigue life (Cycle)	$6,87 \times 10^6$	$7,12 \times 10^6$

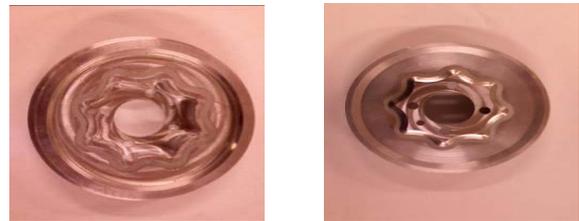


Fig. 6 Internal Pulley design analysis of Crank shaft Pulley load

5. Conclusion

설계기술 중에서 해석기술은 구조적인 안전성과 내구성에 대한 객관적 입증과정으로써 필수적이라고 할 수 있다. 해석적 방법을 실행함으로써 해당구조 부위에 대한 구조시험과정을 배제할 수 있고, 따라서 설계비용과 시간의 절감을 가져 올 수 있다. 본 연구에서는 Crank shaft Pulley에 하중을 해석을 바탕으로 Pulley의 내형 설계와 응력 해석 값을 제시하였다. 또한 이러한 기법을 활용하여 Pulley의 피로수명을 평가하고 설계된 Pulley의 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다. 요한 요소 해석을 한 결과 폴리과 볼트체결에 의하여 굽힘 현상이 발생이 되고 높은 인장응력이 발생이 되었다는 것을 알 수 있었다. 또한 피로 수명 해석을 통해 기존 모델과 비교 분석하여 응력 집중을 해결함으로써 내형 Pulley를 설계할 수 있었다. 이 Pulley를 통하여 내구 시험 및 엔진 가동 실험을 통하여 정확한 데이터를 만들 수 있는 좋은 자료가 됨을 보여주었다.

Reference

1. Mechanical Handling Engineers' Association U.K. Recommended practice for troughed belt conveyors. London, 1986
2. King T.J. Belt Conveyor pulley design-Why the failures? Bulk solids handling, 1986
3. J. Koo. Experimental study of vibration and noise on stick-slip phenomenon of V-belt. The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, 2006
4. M. Ravikumar. Integral analysis of conveyor pulley using finite element method. Computers and Structure, 1999
5. B. G. Gerbert. Force and slip behavior in V-belt. Acta polytechnica Scandinavica, Mech. Eng.series, No.67, 1972
6. K. Lee, J. Hong, J. Son and S. Lee. Development of V Belt Pulley Design / Analysis system. The Korean Society of Automotive Engineers, Vol 10, No. 6, pp209-218