

밸런싱 샤프트 모듈 개선 설계

The design for performance improvement of the balancing shaft module

주형준† · 김찬중* · 이봉현* · 조용화**

Hyung Jun Ju, Chan Jung Kin, Bong Hyun Lee, Yong Hwa Cho

1. 서 론

차량의 소음진동을 저감하기 위해 내연기관의 불평형 관성에 의해 발생하는 힘을 상쇄시키는 밸런싱 샤프트를 적용하는 경우가 많아지고 있다. 밸런싱 샤프트에 의해 불평형 관성력은 상쇄되나 밸런싱 샤프트 구동시의 기어 와인 소음(Whine Noise)이나 밸런싱 샤프트 모듈의 공진에 의한 소음문제가 대두되고 있다. 또한 엔진과 연결되어 차량수명이 다할때까지 내구성을 보장하여야 하므로 내구신뢰성 또한 중요하다. 본 논문은 직렬 4기통엔진에서 발생하는 수직방향의 힘을 상쇄시키는 밸런싱 샤프트 모듈의 CAE평가를 통한 제품 성능개선에 관한 연구이다.

2. 밸런싱 샤프트 모듈 개선 설계

2.1 밸런싱 샤프트 모듈 CAE해석을 통한 개선

(1) 밸런싱 샤프트 작동원리

크랭크 운동을 하는 내연기관은 피스톤 왕복운동에 의한 관성력이 발생하게 되고, 기통별 발생하는 관성력이 상쇄되거나 중복되기도 한다. 직렬 4기통엔진의 경우 크랭크 회전 1차 성분은 각 기통별 관성력이 상쇄되나, 크랭크 회전 2차 성분은 각 기통별 중첩되어 다음과 같이 크랭크 회전 2차 성분의 수직방향의 관성력을 발생시킨다.

$$F_{engine} = -m_{re} r \omega^2 \lambda \sum_{i=0}^3 \cos 2(\theta - \pi i) = -4m_{re} r \omega^2 \lambda \cos 2\theta$$

엔진에서 발생하는 수직방향의 힘을 상쇄시키기 위해 크랭크의 2배의 속도로 회전하고, 서로 반대로 회전하는 불평형 질량 샤프트를 통하여 크랭크 회전 2차성분의 수직방향의 힘을 발생시킨다.

$$F_{bs} = 8m_r a \omega^2 \cos 2\theta$$

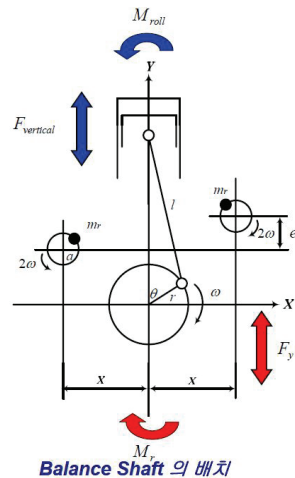


Figure 1 Principle of balancing shaft mechanism

(2) 밸런싱 샤프트 강도해석

밸런싱 샤프트 모듈에 대해 FE(Finite Element) 모델링을 수행하였다. FE모델은 사면체요소(Tetra Element)로 구성하였으며, 요소수는 814434개이다.

밸런싱 샤프트 모듈에서 최대회전수인 13200rpm 회전시 걸리는 하중을 인가하고 밸런싱 샤프트 모듈의 응력분포를 분석해 보았다. 밸런싱 샤프트 하중 전달부위의 노치부분에서 응력이 집중되어 개선이 필요하며, 밸런싱 샤프트 모듈의 하우징에서는 응력이 적게 걸려 밸런싱 샤프트 모듈의 하우징 강성이 지나치게 높게 설계된 것을 확인하였다. 따라서 응력집중 부위를 보강하고, 응력이 낮게 걸리는 부위

† 주형준 ; 자동차부품연구원
E-mail : hjju@katech.re.kr
Tel : 053-592-8975, Fax : 053-592-3169
* 자동차부품연구원
** 명화공업

의 무게를 줄여, 개선품을 설계하고, 같은 조건에서 해석을 수행하였다.

개선된 밸런싱 샤프트 모듈에서는 응력이 고르게 분포하며, 응력집중부위에서 개선전보다 10~30% 적게 걸리는 것을 확인하였다.

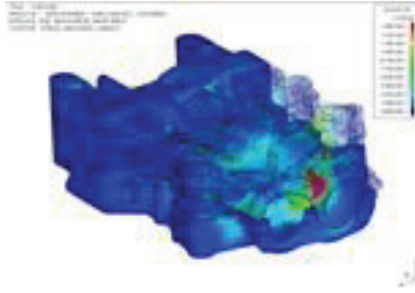


Figure 2 The strength analysis of balancing shaft module

(2) 밸런싱 샤프트 NVH 해석

밸런싱 샤프트 모듈에 대해 소음해석을 수행하였다. 밸런싱 샤프트의 불평형 질량에 의해 발생하는 가진에 의한 저주파수의 소음과 밸런싱 샤프트 모듈의 기어에서 발생하는 전달오차(Transmission Error)로 인한 고주파 와인(Whine)의 소음에 대해 분석하였다. 방사소음은 다음과 같이 해석하였다.

$$P = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \int_A p(x) \bar{v}_n(x) dA,$$

여기서 v_n 은 표면의 수직방향 속도

$$p(x) \approx \rho c \bar{v}_n(x) \text{이므로, } P \approx \frac{1}{2} \rho c \int_A |v_n|^2 dA$$

밸런싱 샤프트 모듈의 각부품에서 방사되는 소음은 다음과 같다. 밸런싱 샤프트 모듈의 소음은 공진에 의해 증폭되며, 2400Hz 이상에서 공진이 발생한다.

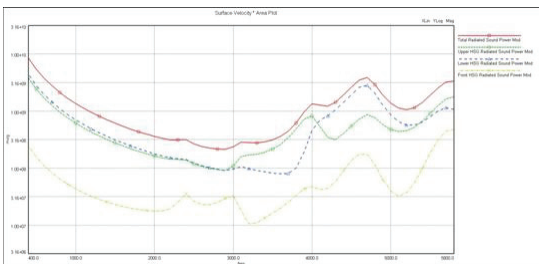


Figure 3 The radiated sound power results of balancing shaft module

(3) 밸런싱 샤프트 모듈 피로 내구해석

밸런싱 샤프트 모듈은 엔진과 같이 차량의 수명 동안 교체 없이 운영되어야 하며, 이에 대한 내구신뢰성이 중요하다. 따라서 밸런싱 샤프트 모듈의 피로 내구해석을 수행하였다. 최대회전속도(13200rpm)에서 300시간을 작동하였을 때 내구수명을 예측하였다.

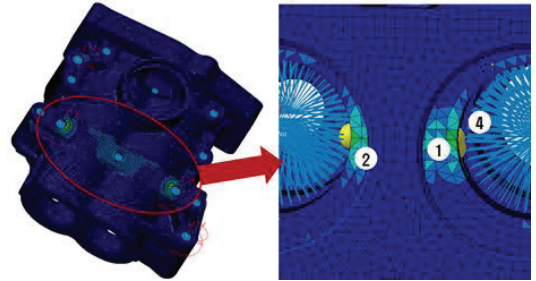


Figure 3 The fatigue life analysis of the balancing shaft module

3. 결 론

본 논문은 소음진동을 개선하기 위해 직렬 4기통 엔진에 장착되는 밸런싱 샤프트 모듈의 개선설계에 관한 내용이다. 밸런싱 샤프트 모듈의 강도, 소음해석, 피로내구해석을 수행하여 구조적 취약점을 보강하였다. 또한 구조적으로 불필요한 부분은 제거함으로써 밸런싱 샤프트 모듈의 무게를 저감시켰다.

후 기

본 연구는 지역산업기술개발사업(승용차용 고효율 밸런스 샤프트 모듈(BSM) 개발)으로 수행된 연구로 관계자분들에게 감사드립니다.