

밸런스 샤프트 로터 거동에 따른 구조 안정성 해석

Structural Stability Analysis of a Balance Shaft Model over Dynamic Behavior

김찬중† · 이동원* · 배철용* · 권성진* · 이봉현*

C. J. Kim, D. W. Lee, C. Y. Bae, S. J. Kwon and B. H. Lee

1. 서 론

초기에 자동차 기술은 구조적 안전성과, 내구적 안전성에 비중을 두고 기술 개발이 이루어 졌었다. 자동차 기술이 발달하면서 자동차의 안전이 충족되고 자동차를 이용하는 사용자들의 감성적 기대도가 증가하면서 자동차의 소음과 진동 문제가 대두되기 시작 하였다. 자동차에서 발생하는 가장 큰 비중을 차지하는 소음 진동 문제를 해결하기 위한 일환으로 개발된 부품인 밸런스 샤프트 모듈은 엔진의 피스톤 상하 운동과 폭발력에 의해 발생하는 상하 진동과 같은 크기의 진동을 반대 위상으로 발생시켜 진동을 저감시키는 부품으로써 엔진의 하단에 장착되어 엔진의 2배 속도로 회전 하며 진동을 감소시키는 역할을 하는 진동저감 부품이다. 밸런스 샤프트 모듈이 장착된 차량의 경우, 주요 진동 하모닉 성분이 줄어드는 장점이 있는 반면, 엔진 출력의 감소 및 기어 성분들에서 발생하는 고주파의 소음원 발생이 부정적인 작용을 하기도 한다. 특히 밸런스 샤프트의 경우 과도한 불평형량에 의한 굽힘 변형 및 모멘트 성분의 발생으로 모듈 자체의 안정성에 심각한 영향을 줄 수 있다. 본 연구에서는 저자가 특허⁽¹⁾출원한 수학적 해석 모델에 대하여 서로 다른 3가지 모델을 구성한 다음, 샤프트의 굽힘 변형과 모멘트 성분에 대해 비교 평가함으로써 제안된 최적설계 방안에 대해 검증하고자 한다.

2. 본 론

2.1 선행 연구수행 내용⁽¹⁾

직렬 4기통 엔진용 밸런스 샤프트의 굽힘 변형과 모멘트 성분들을 동시에 최소화할 수 있는 최적화 정식화를 수행하였으며 여러 가지 설계 조건에 대해 최적화 방안을 검토한 결과, 동일 최적 정식 조건 아래 단일 조건의 불평형량 및

지지 베어링의 위치가 존재함을 확인하였다. 본 최적설계 밸런스 샤프트 조건은 2개의 지지베어링을 전체 길이 대비 20% 및 80% 위치에 배치하며 동시에 불평형 집중 질량이 2개의 지지 베어링 중 한곳에 위치시키는 것이다. 본 최적 설계 조건 아래에서 밸런스 샤프트의 굽힘 변형과 모멘트 성분들은 동시에 최소화가 가능하다.

2.2 해석 모델 구성

본 연구에서는 선행 연구내용에서 도시한 바와 같이 밸런스의 베어링의 위치와 질량의 위치가 각각 20% 및 80%근방에 존재해야 로터의 굽힘 변형과 모멘트 성분이 적게 작용 한다는 이론을 검증하기 위하여 앞서 선행 연구과정에서 Fig.1과 같은 이론적 모델에 대하여 Fig.2부터 Fig.4와 같이 해석 모델을 구성하여 수학적으로 도출된 최적위치에 대한 검증 해석을 수행 하였다.

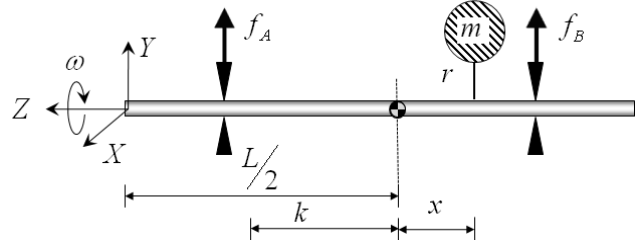


Fig.1 Equivalent balance shaft model with bearing reaction force in a inline 4-cylinder engine

Fig.2는 최적의 위치로 도출된 20%와 80%지점에 베어링을 위치시킨 해석모델의 형상이다. 또한 Fig.3과 Fig.4의 해석 모델은 최적모델과 비교평가를 위해 구성한 모델로써 Fig.3은 불평형 질량과 베어링의 위치를 40%지점과 60%지점에 위치시켜 해석 모델을 구성하였으며, Fig.4는 5%와 95%지점에 베어링과 불평형 질량을 위치시켰다.

유한요소 해석모델에서는 구동 전달 요소인 기어, 체인과 로터를 엔진에 고정시키는 하우징은 배제하고 구동요소인 밸런스샤프트를 단순 모델로 구성하였으며, 각 모델의 밸런스샤프트 불평형 질량의 양은 동일하게 구성하였다. 또한 밸런스샤프트 모듈에서 샤프트의 모멘트에 의한 하중을 1차적으로 받는 베어링을 하우징의 개념으로 구성함으로써 샤프트의 모멘트에 의해 발생하는 하중에 의한 변형을 베어링

† 교신저자; 자동차부품연구원 ICE/EV구동융합연구센터
E-mail : cjkim@katech.re.kr
Tel : (041) 559-3124, Fax : (041) 559-3340

* 자동차부품연구원 ICE/EV구동융합연구센터

에서 측정하고자 하였다.

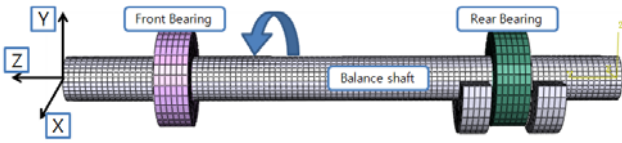


Fig.2 Shaft model: Bearing position at 20%, 80%

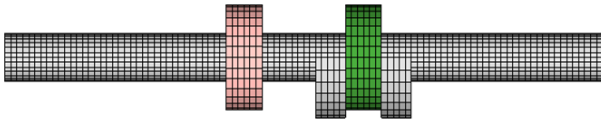


Fig.3 Shaft model: Bearing position at 40%, 60%



Fig.4 Shaft model: Bearing position at 5%, 95%

유한요소 모델은 베어링의 위치와 질량의 위치에 따라 샤프트 회전 시 샤프트의 굽힘 변형과 모멘트 성분이 하우징 베어링에 미치는 영향을 보기 위해 2개의 지지베어링 및 밸런스 샤프트에 대해 유한요소 모델을 구성하였다.

2.3 해석 조건

앞서 구성한 유한 요소모델을 이용하여 수학적 모델에서 도출한 결과를 검증하기 위하여 상용프로그램인 ABAQUS를 이용하여 해석 모델에 Table 1과 같은 물성치를 각각의 단품요소에 적용하였다. 각 단품의 물성치는 실제 밸런스샤프트 모듈을 구성하고 있는 각 파트의 기본적인 물성치로써 베어링 요소는 알루미늄 물성치를 적용하였으며, 로터에는 스틸 물성치를 적용하였다.

Table 1 Information of FE Model

	E (GPa)	ν	ρ (kg/m ³)
Bearing	170	0.25	2,700
Shaft	210	0.3	7,800

밸런스샤프트의 로터는 하우징에 구성되어 있는 베어링에 지지되어 내부에서 회전운동을 하게 된다. 이를 모사하기 위하여 베어링과 샤프트 사이에는 ABAQUS의 접촉 요소를 이용하여 경계조건을 구성하였으며, 베어링은 접지에 대하여 6자유도 방향을 구속하였다. 또한 로터를 회전시키기 위하여 로터의 축 방향 자유도를 제외한 5방향에 대한 자유도에 대하여 구속하지 않은 상태에서 축에 대한 회전 방향에 필요한 회전수를 입력하여 해석을 수행하였다.

2.3 해석 결과

밸런스샤프트의 로터는 회전을 하면서 지속적인 굽힘 변형을 일으키며, 모멘트를 발생 시킨다. 이로 인해 베어링과

하우징에 지속적인 하중을 가하게 되며, 모멘트 성분이 크게 작용하거나, 굽힘 변형이 크게 일어날 경우 베어링, 하우징에 손상을 일으키게 된다. 본 연구에서는 불평형 질량에 의해서 발생하는 모멘트 성분을 최소화시키기 위하여 수학적 모델을 구성하여 최적의 베어링 위치와 불평형 위치를 선정 하였으며 이를 검증하기 위해 유한 요소 모델을 생성하여 수학적 모델에 대한 검증을 수행하였다.

각각의 3가지 모델에 대하여 동일 조건에서 해석을 진행한 결과 베어링의 위치가 샤프트의 중심에서 떨어진 5%와 95%부근에 위치해 있을 때에는 앞쪽 지지베어링에 작용하는 하중은 작게 나타났으나 불평형 질량이 위치한 뒤쪽 지지베어링에 하중이 크게 작용하였으며, 샤프트의 중심에 가까운 40%와 60%에 위치한 경우에는 앞쪽 지지 베어링과 뒤쪽 지지베어링에 발생하는 불평형의 관성력에 의해 발생하는 하중은 크게 줄었으나 샤프트의 굽힘 변형에 의해 발생하는 하중이 발생되었다. 수학적 모델에서 최적의 위치로 선정된 20%와 80%부근에 베어링과 불평형이 위치한 경우에는 앞서 수행한 수학적 모델에서 도출한 결과와 마찬가지로 굽힘 변형에 의한 하중과 모멘트 성분에 의한 하중이 앞서 2가지의 해석 모델 보다 크게 줄었음을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 밸런스샤프트 요소단품 설계과정에서 중요 설계인자인 베어링의 위치선정과 불평형 질량의 위치 선정을 수행하기 위하여 앞서 선행 되었던 수학적 최적화 모델에 대하여 상용 해석프로그램을 이용하여 해석 모델을 구성하고 구조해석을 진행하여, 밸런스샤프트의 베어링위치와 질량의 최적의 위치에 대한 검증 해석을 진행하였으며, 앞서 수행한 수학적 최적화 모델에 대한 이론을 검증하였다. 검증해석을 진행한 결과 베어링의 위치와 불평형의 위치는 수학적 모델에서와 마찬가지로 베어링의 위치가 20%와 80%부근에 위치하였을 때 샤프트의 모멘트, 굽힘 변형율이 가장 적게 발생 되는 것을 알 수 있었다.

후 기

본 논문은 지식경제부가 주관하는 자동차기반기술개발사업(“저진동 친환경 차량을 위한 밸런싱 샤프트 개발”)의 성과물로써 관계자분들에게 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) 김찬중, 이봉현, 이동원, 권성진, 배철용, 김현철, “직렬 4기통 엔진용 밸런스 샤프트 불평형 질량과 베어링 위치 선정 방법”, 특허출원 제10-2008-0121059, 2008/12.