

# 오일펌프 내장형 밸런스 샤프트 모듈의 동특성 시험

## The Dynamic Characteristic Test of Oil pump Integrated Balance Shaft Module

성은제† · 강대규\* 정찬용\*, 한창수\*, 김명수\*

Eunje Seong, Daegyung Kang, Chanyong Jeong, Changsoo Han, Myungsoo Kim

**Key Words** : Oil Pump (오일펌프), Balance Shaft Module(밸런스 샤프트 모듈), Vibration(진동), Unbalance Weight(불평형 질량), 동특성 시험 (Dynamic Characteristic Test), 실험적 모달해석(Experimental Modal Analysis)

### ABSTRACT

According as diesel automobile are produced, reduce noise and vibration that is occurred by characteristic of diesel engine, and need engine room layout optimization and research for light weight of parts. Balance Shaft Module is module parts for vehicles engine to improve performance and efficiency of engine and reduce noise and vibration. These days, an oil pump integrated balance shaft module and an oil sump integrated balance shaft module is on the rising for optimizing of engine room. In this study, produced prototype of oil pump integrated type balance shaft module, and achieved dynamic characteristic test about experimental modal analysis and noise/vibration of balance shaft module.

### 1. 서 론

최근 자동차 업계에서는 저연비, 저소음, 저진동, 친환경 차량에 초점이 집중되고 있다. 저연비 차량의 대안으로 전기 자동차, 하이브리드 자동차 등의 미래형 자동차들에 대한 연구가 계속되고 있으나, 보편화되기까지 해결해야 할 과제들이 많이 남아있는 실정이다. 이에 따라 기존의 인프라를 활용하면서 주어진 조건을 만족시키기 위한 연구가 이루어져야 한다. 특히 디젤 엔진 차량의 개발 시 엔진 자체의 성능 및 효율을 향상시키고 동시에 디젤 엔진의 특성상 발생하는 소음과 진동을 저감시킬 수 있는 방법의 개발이 요구되며, 이와 같은 디젤 엔진의 단점을 향상시키는 핵심 부품에 대한 연구가 필요하다. 또한 디젤 승용 차량이 출시됨에 따라 엔진룸 내 레이아웃의 최적화 및 부품 경량화를 위한 연구가 필요하다.

밸런스 샤프트 모듈은 엔진 구동 시 발생하는 불평형 우

력 및 자유력을 줄이는 목적으로 사용되는 부품으로써, 1개 이상의 편심 로터의 회전에 의해, 가진 위상이 반대되는 방향으로 힘을 작용시켜, 가솔린 엔진에 비해 진동이 큰 디젤 엔진의 진동을 저감시켜주는 역할을 하며, 2000CC 이상의 고급차량에 대해 가솔린 엔진 차량까지 확대 적용되고 있다.<sup>1,2)</sup> 해외 선진업체의 경우 밸런스 샤프트 모듈에 대한 활발한 연구가 진행되어 왔으며, 독자적인 설계기술 및 시험평가에 대한 기술을 갖춰 시장 선점에 나서고 있다. 하지만 국내 개발 현황은 밸런스 샤프트 모듈에 대한 생산 기술만을 확보하는 상황이며, 원천 핵심기술은 해외 선진업체에 의존하고 있는 실정이다.

동보는 밸런스 샤프트 모듈을 생산하고 있는 업체로써 다년간 밸런스 샤프트 모듈에 대한 핵심기술 연구와 함께 엔진룸 내 공간 활용을 극대화·경량화를 위한 오일펌프 일체형 밸런스 샤프트 모듈에 대한 연구를 진행하고 있다. 현재 해외 선진업체의 오일펌프 내장형 밸런스 샤프트의 벤치마킹 및 성능시험을 거쳐 모델을 선정, 역설계 및 요소설계를 통해 오일펌프 내장형 밸런스 샤프트 모듈의 시제품을 제작하였다. 본 논문에서는 오일펌프 내장형 밸런스 샤프트 모듈의 동특성 시험에 대한 연구 과정 및 결과를 논하고자 한다.

† (주)동보 기술연구소  
E-mail : ejsung@dongbo.com  
Tel : (032) 812-3094, Fax : (032) 817-3093

\* (주)동보 기술연구소

### 2. 오일펌프 내장형 밸런스 샤프트 모듈 개발

## 2.1 선진제품 벤치마킹

오일펌프 내장형 밸런스 샤프트 모듈 시제품은 해외 선진업체의 제품들 중, 동급의 2000CC 엔진에 장착되는 A사의 제품을 모델로 제품 설계 및 제작을 진행하였다. A사의 제품은 로터반경을 최소화 하면서, 불평형 질량을 집중 질량에 가깝게 설계하여, 모듈 자체의 부피 및 무게를 감소시킨 모델로써, NVH 성능의 향상 외에도, 엔진룸의 레이아웃을 고려, 공간 활용도를 높인 제품이다. 또한 용이한 조립성과 부품원수의 최적화로 인해 원가절감을 이루는 한편, 장착성이 우수한 하우징 설계구조를 채택했다. Fig. 1은 A사의 오일펌프 내장형 밸런스 샤프트 모듈의 사진을 나타낸다.



Fig. 1 Oil pump integrated Balance shaft module of A company

## 2.2 시제품 제작

Fig. 2의 왼쪽 그림은 현재 동보에서 생산하고 있는 밸런스 샤프트 모듈의 동적특성을 기반으로 하여 최종 설계 보완된 오일펌프 내장형 밸런스 샤프트 모듈의 3D 모델링을 나타내며, 완성된 시제품을 Fig. 2의 오른쪽에 나타내었다.



Fig. 2 Detail concept design(left) and photograph of prototype(right)

## 3. 밸런스 샤프트 모듈 동특성 시험<sup>3)</sup>

밸런스 샤프트 모듈은 차량 엔진의 구동속도에 따라 저속영역에서 고속영역까지 다양한 구동속도를 가지며, 차량

엔진의 회전 구동력을 전달받기 때문에 차량 엔진의 회전 구동력과 연성된 동적 특성을 가지게 된다. 특히 고속영역에서의 장시간 구동은 차량 엔진으로부터 발생하는 큰 동적하중과 밸런스 샤프트 모듈 자체의 동적특성과 연계되어, 밸런스 샤프트 모듈의 성능 및 차량 엔진 내 결합 발생, 과대진동 및 과대소음 발생 등 차량의 운전 성능에 큰 영향을 가져온다. 또한 차량 엔진의 구동에 따라 발생하는 가진 주파수와 밸런스 샤프트 모듈의 고유진동수와 일치하게 되는 경우, 공진(Resonance)의 발생으로 인해 기계적 파손 및 차량의 안전성에 치명적인 문제가 발생하게 된다. 따라서 이러한 문제점을 사전에 방지하기 위해서는 밸런스 샤프트 모듈의 자체적인 동적특성이 초기 설계 시에 반영되어야 한다. 본 연구에서는 임팩트 가진(excitation)을 이용한 실험적 모달해석과 밸런스 샤프트 모듈 전용 성능/내구 시험기를 이용하여 오일펌프 내장형 밸런스 샤프트 모듈의 동특성을 분석하였다.

### 3.1 실험적 모달해석

모달정보는 밸런스 샤프트 모듈의 동적특성 중, 가장 기본이 되는 것으로써, 밸런스 샤프트 모듈의 고유한 기계적 특성을 의미한다. 모달정보에는 고유진동수(Natural Frequency), 댐핑계수(Damping Ratio), 모드형상(Mode Shape) 등이 있으며 이러한 모달정보들은 실험적 모달해석을 통해 확보할 수 있다. 확보된 모달정보는 초기 설계단계에서 기본 정보로 제공되며, CAE를 기반으로 하는 이론적 모달해석 모델의 구축 및 신뢰성 평가를 위한 기본 정보로 제공되어 진다.

본 논문에서는 오일펌프 내장형 밸런스 샤프트의 하우징 앓세이에 대한 모달해석을 수행한 후 이에 대한 모달정보를 분석하였다.

#### (1) 측정 시스템 구성

Fig. 3은 본 연구에서 수행되어진 실험적 모달해석의 전체적인 프로세스를 보여주고 있다.

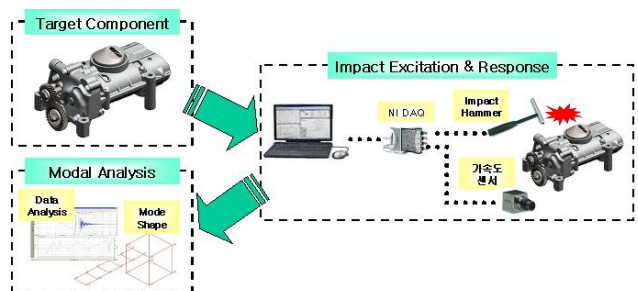


Fig. 3 Process of experimental modal analysis

모달해석을 위한 시험데이터는 입력원과 출력원에 대한

전달함수 데이터를 획득하여야 하는데, 본 연구에서는 모달 해석 수행을 위하여 PCB사의 Impact Hammer 가진을 이용하여 전대역가진(White Noise Excitation) 방식을 적용하였다. 또한 응답은 B&K사의 ICP 타입 3축가속도계(Accelerometer)를 사용하여 가진에 대한 응답을 측정하였다. 데이터 수집을 위한 DAQ 장비는 National Instrument사의 4채널 ICP 타입 DAQ 하드웨어를 이용하였다. 수집된 데이터를 측정 / 분석하기 위하여 m+p International SmartOffice Analyzer를 이용하여 측정 및 분석을 수행하였다.

(2) 실험적 모달해석 데이터 측정

모달해석은 시험대상의 한 포인트에서 가진(Excitation)에 대한응답(Response)의 특성을 통해 입력대비 출력의 상관관계인 FRF(Frequency Response Function)로 정의되며, 이를 분석하여 모달정보를 획득할 수 있다. 그리고 시험대상의 모드형상(Mode Shape)을 분석하기 위해 시험대상을 나타내는 가진 및 응답 포인트를 설정한다. 본 연구에서는 Fig. 4와 같이 시험대상인 밸런스 샤프트 모듈하우징 앞세이의 가진 및 응답 포인트를 설정하였고, Fig. 5와 같이 모드형상을 분석하기 위한 모달해석 모델을 정의하였다.

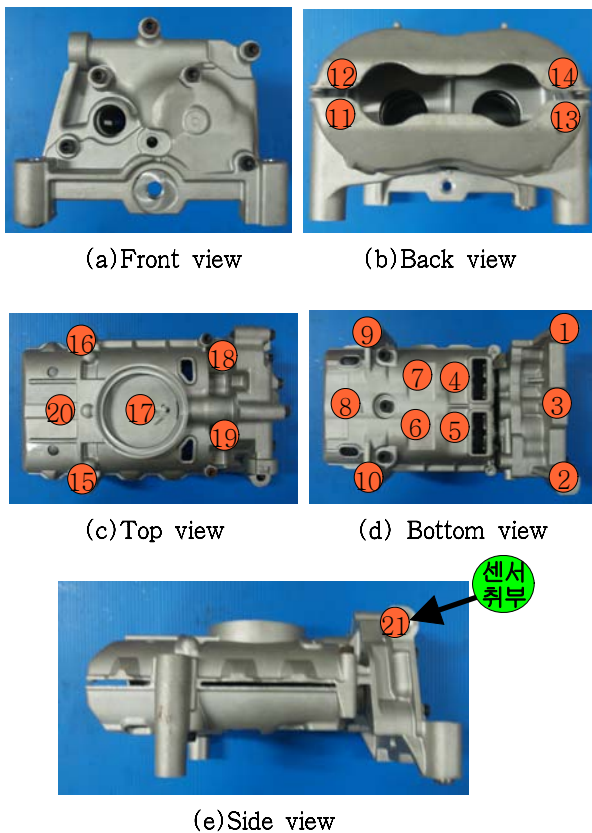


Fig. 4 Create point of excitation and response in housing ass'y

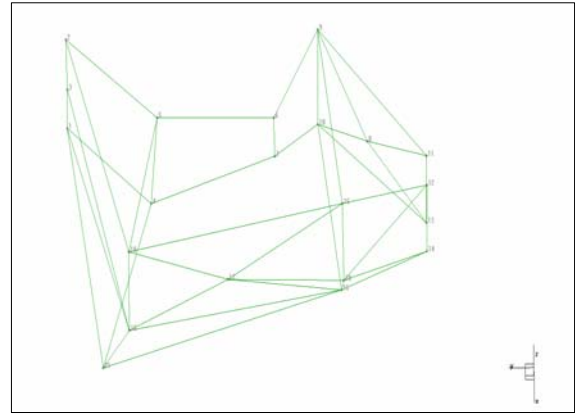
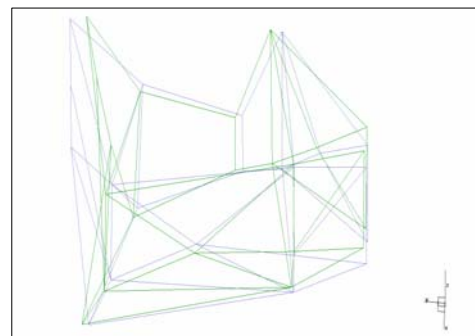


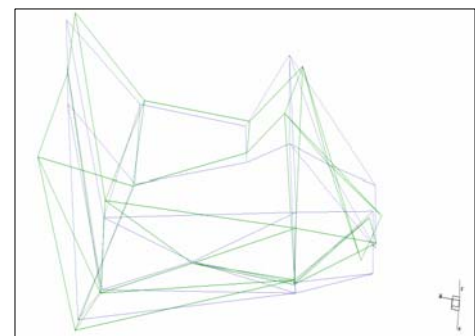
Fig. 5 Modal analysis model of housing ass'y

(3) 실험적 모달해석 결과 분석

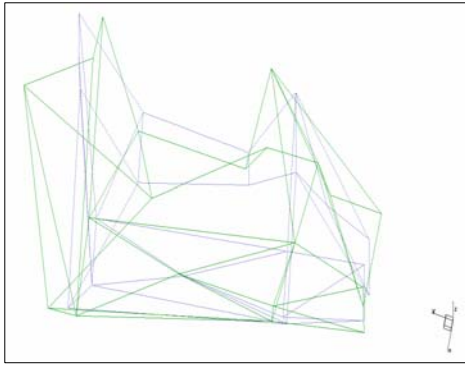
Table 1을 통해 실험적 모달해석을 통해 도출된 모달파라미터 값으로써, 3차 모드까지의 고유진동수, 댐핑 값을 나타내었다. Fig. 6은 모드해석 모델의 각 모드별 모드형상을 나타내는 그림이다. 밸런스 샤프트 모듈 하우징 앞세이의 1차 고유 진동수는 1238.5hz에서 발생하였으며, 이를 통해 실제 밸런스 샤프트 모듈 구동 시(Max. 9000rpm) 회전주파수와 큰 차이를 보이는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 모달정보들은 차후 초기 설계단계에서 공진회피 설계를 위한 데이터로 사용되며, 실제 단품들에 대한 동특성이 반영되었으므로 이론적 해석모델의 검증자료로 활용된다.



(a) 1st Mode shape(bend)



(b) 2nd Mode shape(twist)



(c) 3rd Mode shape(twist)

Fig. 6 Mode shape of experimental modal analysis in housing ass'y

Table 1 Result of modal analysis

Item	Mode	Value
Frequency (hz)	1st	1238.5
	2nd	1592.2
	3rd	2508.6
Damping (%)	1st	0.5
	2nd	0.37
	3rd	0.3
Weight (kg)		2.56

### 3.2 밸런스 샤프트 모듈 소음 성능 시험

밸런스 샤프트 모듈은 차량 엔진의 크랭크 기어에 연결되어 밸런스 샤프트 모듈의 아이들 기어와 맞물려 작동한다. 또한 밸런스 샤프트 모듈은 차량 엔진에서 발생하는 관성력을 보상하기 위한 불평형 질량의 회전운동이 발생하기 때문에, 밸런스 샤프트 모듈 자체적으로 소음과 진동이 발생한다. 그러므로 저소음, 저진동 밸런스 샤프트 모듈을 개발하기 위해서는 구동 시 발생하는 모듈의 자체적인 소음, 진동 특성이 설계 단계에서 반영되어야 한다.<sup>4)</sup> 본 연구에서는 동보가 보유하는 있는 밸런스 샤프트 모듈 전용 시험기를 이용하여 오일펌프 외장형 밸런스 샤프트 모듈 시제품의 소음 성능 시험을 수행하였다.

#### (1) 밸런스 샤프트 모듈 시험기 구성

Fig. 6은 본 연구에서 사용된 밸런스 샤프트 모듈에 대한 동특성 및 제품의 성능·내구 평가를 위해 개발된 전용 시험기의 구성을 나타낸다. 밸런스 샤프트 모듈 전용시험기는 구동장치부, 측정 및 제어시스템부, 오일공급장치로 구성되어 있으며, 각 부에 대한 사양은 Table 2와 같다. 소음 성능 시험 시 암소음의 보장을 위해 차음 챔버 안에서

측정을 수행하였다.

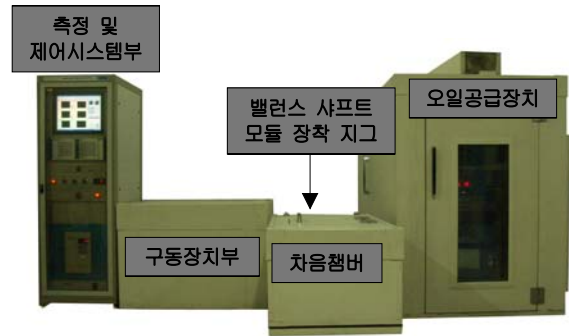


Fig. 6 Experimental apparatus for Balance Shaft Module

Table 2 Specification of Balance Shaft Module tester

각 부 명칭	사양
구동장치부	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 인버터 모터 : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dutchi 3.7Kw, 220V 3P</li> <li>• Max. rpm : 7000 rpm</li> <li>• Horizontal Type</li> <li>• Encoder(feedback control)</li> </ul> </li> <li>- 인버터 : <ul style="list-style-type: none"> <li>• 5HP, 3.7Kw, 220V 3P</li> <li>• Out Frequency :5,000Hz(300,000rpm)</li> <li>• V/F, vector control &amp; torque control</li> </ul> </li> </ul>
측정 및 제어시스템부	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3축 가속도센서 2set : ICP type B&amp;K</li> <li>- 마이크로폰 1set : ICP type</li> <li>- PC : P4 3.0G, HDD 120G, RAM 1G</li> <li>- 신호입력 및 분석 : <ul style="list-style-type: none"> <li>Ni 4472 Sound vibration Board</li> </ul> </li> <li>- 데이터 수집 : 고속 다채널 DAQ Board</li> </ul>
오일공급장치	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temp. Range : -10 ~ 120 ℃</li> <li>- PID 제어 방식</li> </ul>

#### (2) 시험 모드 선정 및 데이터 측정

밸런스 샤프트 모듈 전용 시험기를 이용하여 오일펌프 내장형 밸런스 샤프트 모듈을 1기 장착하여 동특성 시험을 수행하였다. 마이크로폰을 이용하여 소음을 측정하였으며, 시험 데이터 수집을 위한 DAQ 장비는 NI사의 4채널 ICP 타입 DAQ 하드웨어를 이용하였다. 수집된 데이터를 측정 / 분석하기 위하여 m+p International 사의 SmartOffice Analyzer를 이용하여 측정 및 분석을 수행하였다. 밸런스 샤프트 모듈의 소음 측정 시험 조건은 Table 3에 나타낸 바와 같이 10초간은 선형 가속구간과 20초간의 등속구간, 10초간의 선형 감속구간으로 설정하여 시험을 수행하였다.



Table 3. Condition of noise test

소음 시험 조건	
가속구간	10 sec.
등속구간	20 sec. (rpm : 500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000)
감속구간	10 sec.

(3) 밸런스 샤프트 모듈 소음 시험 결과 분석

시험에서 사용된 오일펌프 내장형 밸런스 샤프트 모듈 시제품은 현재 동보에서 생산하고 있는 제품의 차량 데이터를 기반으로 하여 동일 사양의 엔진 차량을 목표로 제작되었다. 따라서 시제품의 소음 성능을 비교하기 위해 동보 양산품과 구동소음 비교시험을 진행하였다.

소음 레벨을 실제 청감과 비슷하게 보정하기 위하여 A-Weighting 보정을 사용하였으며, 각 RPM별 1/3 옥타브 분석을 진행하였다. Fig. 7은 RPM별 소음레벨을 비교한 Data이며, Fig. 8은 샘플별, RPM별 옥타브 분석 Data를 나타낸다.

분석 결과 고속 회전 시 개발사양의 소음 레벨이 기존 사양보다 약 2dB 정도 크게 측정 되었으며, 이는 기어 및 단품류의 조립공차의 개선에 의해 해결 가능하다 사료된다.

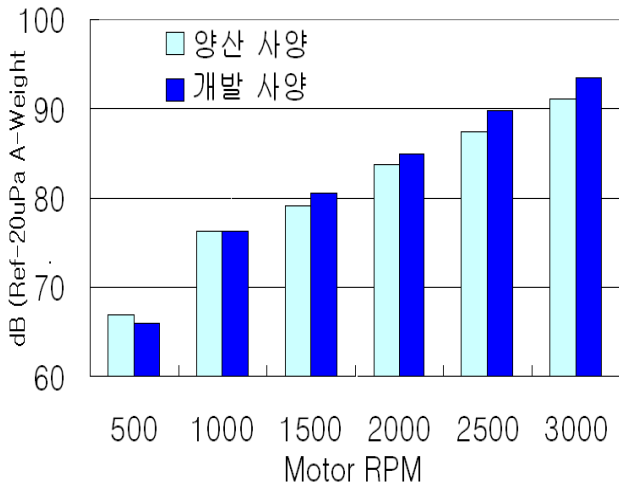


Fig. 7 Sound level comparison on the motor RPM

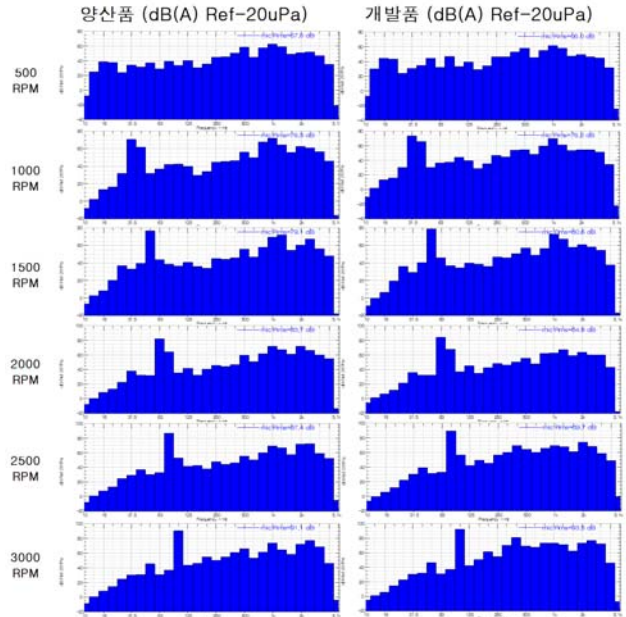


Fig. 8 1/3 Octave band analysis data

4. 결 론

본 연구에서는 동보가 보유하고 있는 밸런스 샤프트 모듈의 시험 프로세스를 이용하여 오일펌프 내장형 밸런스 샤프트 모듈에 대한 동특성 시험을 수행하였다. 실험적 모달해석 프로세스를 이용하여 모달정보를 획득하고, 밸런스 샤프트 모듈 전용 시험기를 이용하여, 제품 성능 시험을 수행하였다.

- 실험적 모달 해석 프로세스를 이용하여 밸런스 샤프트 모듈의 하우징 앳세이에 대한 모달해석을 수행하였다. 모달해석 결과 1차 고유진동수가 1238.5hz에서 발생하였다. 이러한 정량적 수치를 통해 실제 밸런스 샤프트 모듈 구동 시 회전주파수와 큰 차이를 보이는 것을 확인할 수 있다. 따라서 차량 주행 중, 엔진의 회전주파수의 가진에 의한 공진현상이 발생하지 않는다는 것을 확인할 수 있다.

- 밸런스 샤프트 모듈 전용 시험기를 이용하여 소음 성능 시험을 수행하였다. 시험결과 저속 회전 시 개발사양과 기존사양의 차이가 크게 나지 않았으나, 고속 회전 시 개발사양의 소음 레벨이 기존사양보다 약 2dB 정도 크게 측정되었다. 이는 기어 및 단품류의 가공공차 및 조립공차에 기인하는 것으로 판단되며, 공차 개선에 의해 해결 가능할 것으로 판단된다.

실험적 모달해석을 통해 획득한 정보들은 실제 단품들의 동특성이 반영된 것으로써, 제품 개발 초기 설계 단계에서

유용한 정보로 활용되며, 설계 검토 시 이론적 해석모델의 검증자료로 활용 가능하다. 또한, 실차 구동 조건을 반영한 시험을 통하여 제품의 설계 신뢰성 확보 및 완성제품에 대한 품질과 신뢰성을 한 차원 높일 수 있을 것으로 판단된다.

## 후 기

이 논문은 산업 자원부가 주관하는 자동차 기반기술 개발 사업의 성과물로써 도움을 주신 관계자 여러분께 진심으로 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- 1) Kim, C. J., Lee, B. H., Kim, D. C., Jung, I. O., "Element Design of Balancing Shaft for Reducing the Vibration in Engine Module", KSNVE, Vol.11, No.11, pp. 1084~1091, 2005.
- 2) David, M. and Martyn, R., 1998, "Balance Shaft Conversion of a Four Cylinder Engine", SAE 981084
- 3) 이봉현 등, 2007, "저진동 친환경 차량을 위한 밸런싱 샤프트 개발, 연구보고서", 자동차부품연구원, 2장.
- 4) 배철용 등, 2006, "모듈시험을 통한 밸런스 샤프트 동특성 평가", 춘계학술대회 논문집, 한국자동차공학회, pp. 2171~2176.