

# 밸런싱 샤프트 모듈의 축 진동 및 비틀림 진동 측정

## The Lateral and Torsional Vibration Measurement of Balancing Shaft module

\*정세나<sup>1</sup>, #안형준<sup>1</sup>, 이동원<sup>2</sup>, 김찬중<sup>2</sup>, 이봉현<sup>2</sup>, 성은제<sup>3</sup>, 김동철<sup>3</sup>

\*S. N. Jeong<sup>1</sup>, #H. J. Ahn(ahj123@ssu.ac.kr)<sup>1</sup>, D. W. Lee<sup>2</sup>, C. J. Kim<sup>2</sup>, B. H. Lee<sup>2</sup>, E. J. Seong<sup>3</sup>, D. C. Kim<sup>3</sup>  
<sup>1</sup> 숭실대학교 기계공학과, <sup>2</sup>자동차부품연구원 에너지부품연구센터, <sup>3</sup>(주)동보 기술연구소

Key words : Balancing Shaft, Eddy Current Sensor, Lateral and Torsional vibration

### 1. 서론

최근 자동차 부품의 기술개발은 높은 효율을 위한 디젤 엔진의 성능 향상에 따라 저진동, 저소음이 가능한 방법이 요구되고 있다. 특히 밸런싱 샤프트는 자동차 엔진의 회전 에 의해 발생하는 관성력 및 관성력 및 모멘트를 감소시키기 위해 사용되며, 디젤 엔진에서 발생하는 진동 및 소음을 보완할 수 있는 중요한 부품이다.<sup>(1)</sup> 본 논문은 밸런싱 샤프트 모듈 해석 기술의 신뢰성 확보와 개발 제품의 안정성 극대화를 위한 진동 측정에 초점을 맞추고, 전용 시험기와 비접촉식 와전류 센서를 설계하여 축 진동 및 비틀림 진동을 측정하였다.

### 2. 전용 시험기

밸런싱 샤프트는 디젤엔진에서 발생하는 진동을 보상은 역할을 수행하지만, 엔진의 크랭크샤프트에 연결되어 있는 기어의 맞물림으로 작동하기 때문에 밸런싱 샤프트 자체적으로도 진동과 소음이 발생한다.<sup>(2)</sup> 따라서 밸런싱 샤프트 구동 시 발생하는 자체적인 진동을 측정하기 위해 전용 시험기를 구성하였다. Fig. 1(a)는 밸런싱 샤프트의 동일 제품을 상/하 장착 구동하여 불평형 질량을 상쇄시키기 위한 전용 시험기의 형상이며, Fig. 1(b)는 오일의 누유를 막기 위한 전용 시험기의 하우징을 나타낸다.

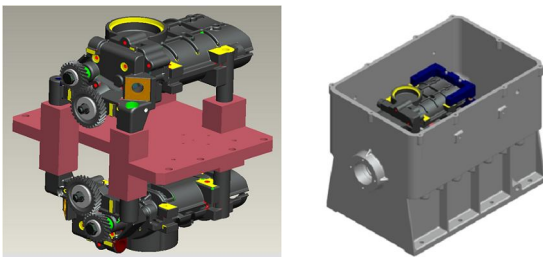


Fig. 1 Test rig for balancing shaft module

### 3. 전용 와전류 센서 개발

밸런싱 샤프트 모듈의 협소한 공간 때문에 실측에 있어 매우 까다로운 조건을 만족 시켜야 하기 때문에 비접촉 형식의 소형 와전류 센서를 개발하였다. 와전류 센서는 센서 코일에서 발생하는 고주파 자장이 측정 도체에 발생시키는 와전류에 의해 센서 코일의 임피던스가 변하는 것을 이용하여 센서 코일과 측정 도체 사이의 변위를 검출하는 센서이다.<sup>(3)</sup> 이러한 와전류의 원리를 이용한 센서PCB를 설계하여 Fig. 2(a)와 같이 앰프를 제작하였고, 센서 코일과 동축 케이블로 제작한 센서 팁은 Fig. 2(b)와 (c) 같으며, 보정 시험 결과를 Fig. 2(d)에 나타내었다. 변위에 따른 출력 전압 값이 선형적으로 비례하는 구간이 약 1~2mm 인 것을 확인하였고, 여러 개의 와전류 센서 중 보정 시험 결과가 가장 유사한 것 4개를 선별하여 밸런싱 샤프트 진동 측정에 사용한다.

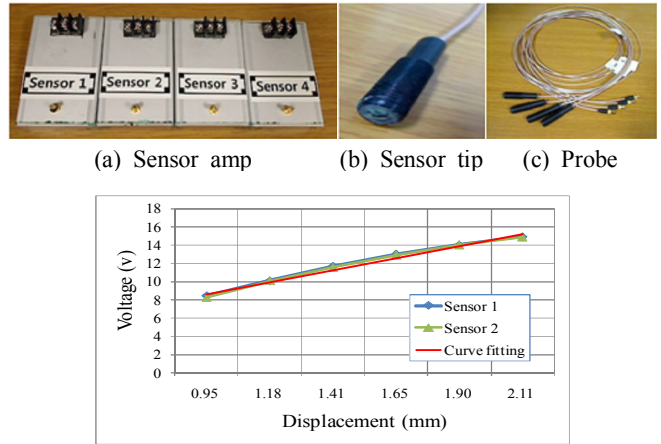


Fig. 2 The customized eddy current sensor

### 4. 시험 장치 설계 변경

비접촉 형식의 와전류 센서와 상용 센서를 장착하기 위해 밸런싱 샤프트 모듈의 전용 시험기를 설계 변경하였다. Fig. 3(a)는 밸런싱 샤프트 뒤쪽에 연장축을 억지 끼워 맞추는 것이고, Fig. 3(b)와 같은 고정 지그를 제작하여 센서를 장착할 수 있도록 하였다. 또한 밸런싱 샤프트와 연장축과 어긋나는 동심도의 보상을 위한 기준신호로 Fig. 3(c)와 같이 트리거용 센서를 장착하였다. 상용센서는 Bently Nevada의 센서이고, Fig. 3(d)는 상용센서를 장착한 실제 시험 장치의 사진이다. 제작한 와전류 센서는 Fig. 3(e)와 같이 밸런싱 샤프트 앞쪽에 장착하였으며, 탭을 이용하여 센서와 축과의 간격을 조절한다. Fig. 3(f)는 실제 시험 장치에 와전류 센서를 장착한 사진을 나타낸다.

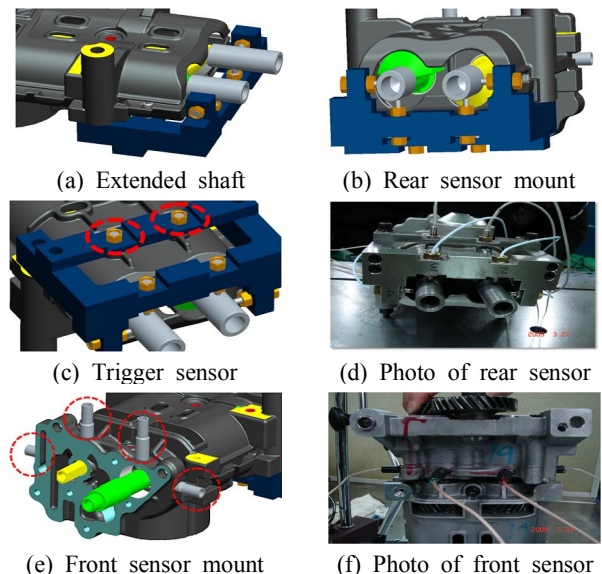
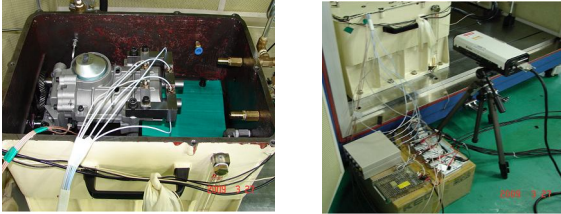


Fig. 3 Sensor mounting for balancing shaft module

### 5. 시험 장치

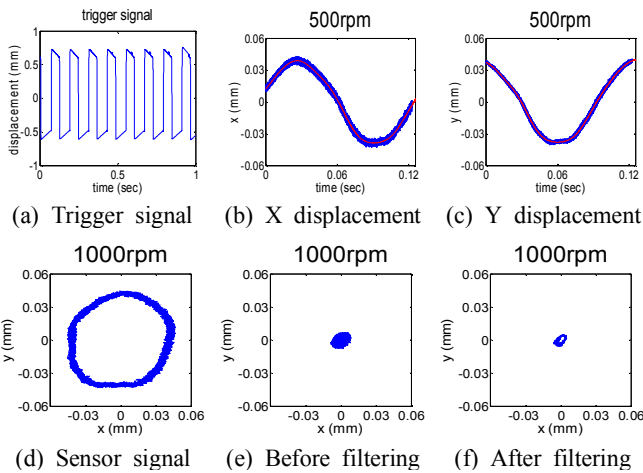
본 논문에서는 비접촉식 센서들을 이용하여 밸런싱 샤프트의 축 진동 및 비틀림 진동을 측정한다. 밸런싱 샤프트의 앞과 뒤에 와전류 센서를 장착한 전용시험기의 사진을 Fig. 4(a)에 나타내었다. 밸런싱 샤프트의 비틀림 진동은 Fig. 4(b)와 같이 레이저 센서를 이용하여 측정한다.



(a) Eddy current sensors (b) Laser vibrometer  
Fig. 4 Experiment setup

### 6. 진동 시험 결과 분석

진동 측정은 500rpm~8,000rpm 까지 500rpm 간격으로 수행하였다. Fig. 5(a)는 500rpm일 때 트리거 센서의 신호이며, 이를 이용해 1회전에 해당하는 데이터들을 추출한 후 15차로 곡선적합 하였고, 이에 따른 x축과 y축 변위를 Fig. 5(b)와 (c)에 나타내었다. 적합한 동심도 오차를 실제 데이터 Fig. 5(d)에서 제거하여 Fig. 5(e)와 같은 궤적을 얻었으며 필터링을 통하여 Fig. 5(f)와 같은 결과로 해당 rpm에 따른 진동 궤적을 표시할 수 있다.



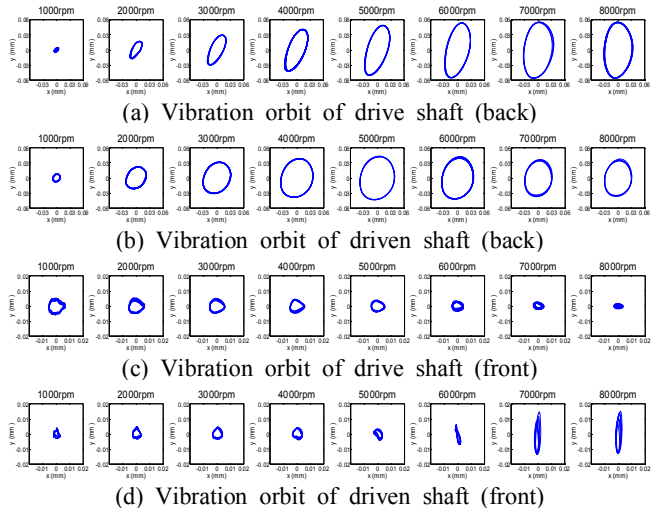
(a) Trigger signal (b) X displacement (c) Y displacement  
(d) Sensor signal (e) Before filtering (f) After filtering  
Fig. 5 Sensor signal compensation for misalignment

밸런싱 샤프트 뒤쪽에서 진동 측정을 수행한 결과, 진동 궤적은 6,000rpm까지는 계속 증가하다가 7,000rpm부터는 미세하지만 진동 궤적이 감소하는 것과 6,000rpm~7,000rpm에서 밸런싱 샤프트의 상하 진동이 가장 크게 발생하는 것을 Fig. 6(a)와 (b)를 통해 확인 할 수 있다. 특히 구동축(drive shaft)은 크랭크샤프트와 기어로 연결되어 진동이 직접 전달되는 축이기 때문에 중동축(driven shaft)보다 진동 궤적이 크다. 상하 방향으로 발생하는 엔진의 불평형 관성력이 크랭크샤프트와 밸런싱 샤프트의 연결 부분에 작용할 뿐만 아니라 회전속도가 증가에 따라 변화된 토크가 그대로 전달되어 영향을 미친 것으로 판단된다.

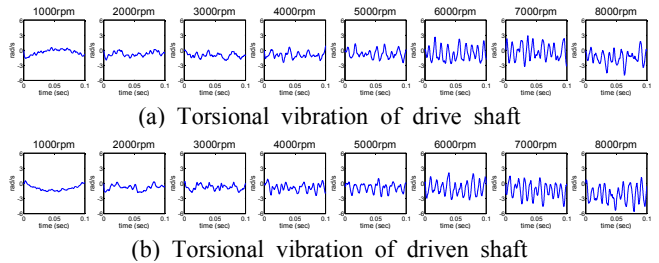
밸런싱 샤프트 앞쪽의 측정결과인 Fig. 6(c)와 (d)를 보면, 회전속도가 증가할수록 구동축의 진동은 서서히 감소하고 있으나, 중동축의 진동 궤적은 회전속도의 증가에 따라 진동 궤적이 점점 더 커지는 경향을 확인 할 수 있다.

특히 6000rpm이상의 고속 회전에서 상하 진동이 매우 크게 나타나는 것으로 보아 중동축은 오일 펌프에 따른 불평형 질량의 영향을 받은 것으로 판단된다.

비틀림 진동 측정을 통한 결과는 Fig. 7에 나타내었고, 데이터 분석 결과, 회전속도가 증가할수록 축의 비틀림 또한 점점 증가하는 것을 확인할 수 있다.



(a) Vibration orbit of drive shaft (back)  
(b) Vibration orbit of driven shaft (back)  
(c) Vibration orbit of drive shaft (front)  
(d) Vibration orbit of driven shaft (front)  
Fig. 6 Lateral vibration measurement



(a) Torsional vibration of drive shaft  
(b) Torsional vibration of driven shaft  
Fig. 7 Torsional vibration measurement

### 7. 결론

밸런싱 샤프트 모듈 설계 기술의 신뢰성 확보를 위해 축 진동 및 비틀림 진동 측정을 수행하였다. 이를 위해 비접촉 형식의 소형 와전류 센서를 개발하였고, 전용 시험기에 장착하여 축 진동과 비틀림 진동을 성공적으로 측정하였으며 진동 특성을 분석하였다. 또한 밸런싱 샤프트 구동시 발생하는 진동 특성은 앞서 수행한 다양한 해석결과와 일치하는 경향을 나타냄으로써, 밸런싱 샤프트 해석기술의 신뢰성을 확보하였다.

### 후기

이 논문은 산업자원부가 주관하는 자동차기반기술사업(저진동 친환경 차량을 위한 밸런싱 샤프트 개발)의 성과물로서 관계자분들에게 감사드립니다.

### 참고문헌

- (1) 배철용, 김찬중, "모듈시험을 통한 밸런스 샤프트 동특성 평가" 한국자동차공학회 논문집, 2171-2176, 2006.
- (2) 김찬중, 이봉현, 김동철, 정인오, "엔진진동 저감을 위한 밸런스 샤프트의 요소설계 기법 연구" 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문집, 15, 1268-1275, 2005.
- (3) 최덕수, 이항범, "와전류센서의 설계 및 특성해석" 한국정보통신설비학회 하계학술대회논문집, 63-65, 2003.