한국소음진동공학회 2009년 추계학술대회논문집, pp.571~572

회전중인 축의 운전중 변형형상 측정

Meausurement of ODS of a Rotating Shaft

한순우† · 김윤영*

Soon Woo Han and Yoon Young Kim

1. 서 론

회전중인 축에 발생하는 굽힘 진동을 축 상에서 측정하기 위해서는 레이저 도플러 진동계(LDV) 등의 비접촉식 센서를 사용할 필요가 있다. 최근에 선형으로 분포한 자기장 내에서 자성체가 운동할 경우 자속밀도가 변화하는 현상을 이용한 자기(magnetic sensor) 센서가 제안된 바 있는데, 이를 이용할 경우 회전중인 축의 굽힘 진동을 비접촉으로 측정할 수 있다. 본 연구에서는 이 센서를 이용하여 정속 회전중인 강자성 축의 굽힘 진동을 측정하고 이로부터 회전축의 운전 중 변형형상을 구한 결과를 제시하고자 한다.

운전 중 변형형상(Operational Deflection Shape: ODS)는 기계의 운전 등으로 인해 주기적인 가진력이 주어지는 경우의 구조물 또는 기계의 변형 형상을 말한다. ODS 에는 고유모드, 고유 진동수 등의 정보가 포함되어 있으며 측정이 비교적 간단하므로 측정 대상의 동적 특성을 파악하는데 활용하기도 하며, 상태 감시 등에도 응용하기도 한다.

2. ODS

2.1 ODS

ODS 는 관찰자가 관심있는 임의의 주파수에서의 변형 형상을 의미한다. 이는 구조물/기계의 두 점 이상이 외력에 강제 운동하는 것으로 정의할 수 있다. 외력 $\{F\}$에 의해 강제 진동하는 구조물/기계의 주파수 ω 에서의 변형 형상 $\{X\}$는 다음 식 (1)로 표현된다.

$$\{X\} = \sum_{r=1}^{N} \frac{\{\phi\}_r^T \{F\} \{\phi\}_r}{\omega_r^2 - \omega^2 + i\eta_r \omega_r^2} \qquad (1)$$

여기에서 ω_r , $\{\phi\}_r$, η_r 은 각각 r 번째 고유진동수, 모드 벡터 및 모달 감쇠비를 의미한다. 본 연구에서는 ODS 를 측정하기 위해서 두 곳 이상의 측정점을 설정하여 그 중 한 지점을 기준점으로 고정하고 측정점 별 신호로부터 자기 파워스펙트럼을 계산하여 지점별 ODS 벡터의 크기를, 측정점과 기준점 간의 상호 파워스펙트럼을 계산하여 벡터의 위상을 구하였다.

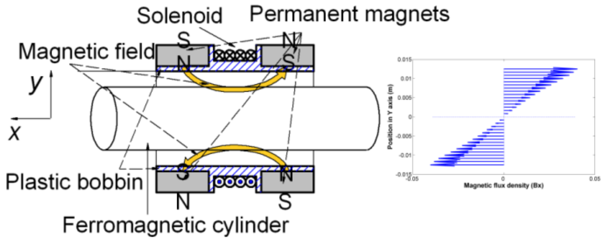
3. 회전축의 굽힘 진동 측정

3.1 굽힘 진동 측정 원리

Fig. 1(a)에는 본 연구에서 사용한 센서의 개요도를 나타내었다. 센서의 상하부에 설치된 한 쌍씩의 영구자석에 의해 센서 내부에는 Fig.1(b)와 같은 비대칭 선형 자기장이 형성되어 있다. 이러한 자기장 하에 놓여 있는 자성 축이 상하방향(Fig.1(a)의 y 방향)으로 운동하면 센서 내부의 자속(magnetic flux)은 y 방향 변위에 따라 선형적으로 변화하며 이는 솔레노이드에 유도 기전력을 발생시켜 축의 굽힘 진동을 비접촉으로 측정할 수 있다.

3.2 굽힘 진동 신호의 측정

Fig.2 에는 본 연구의 실험 구성을 나타내었다. 실험에 사용된 축의 재질은 SS41 이며 길이 1000mm, 직경 15mm 이다. 축의 양단은 볼 베어링으로 지지되어 있으며 한쪽은 1800 rpm 정속 회전 모터에 체결되어 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 ODS 를 측정하



(a) (b)

Fig. 1 The magnetic sensor used to measure ODS (a) Schematic diagram of the sensor and (b) magnetic flux density distribution inside the solenoid

---

† 교신저자; 한국철도기술연구원
E-mail : scarus@krri.re.kr
Tel : (031) 460-5537, Fax : (031) 460-5509
* 서울대학교 기계항공공학부

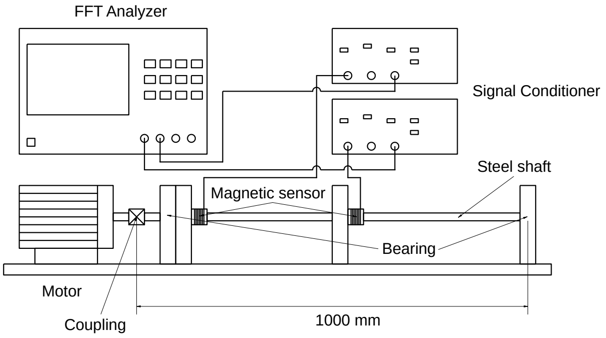


Fig. 2 Experimental setup

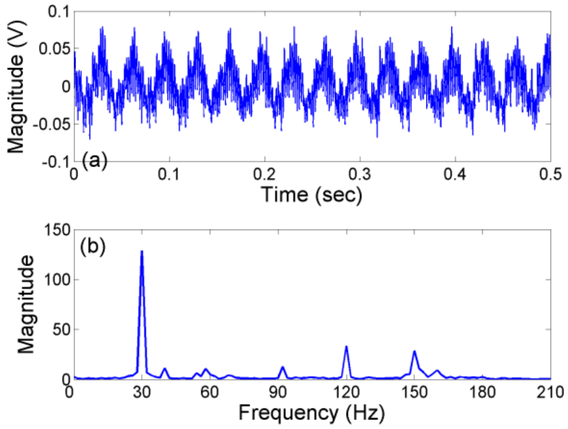


Fig. 3 Vibration signal of the rotating shaft (a) time domain representation and (b) frequency domain

기 위해서는 기준점과 측정점 2 군데에서 신호를 측정해야 하므로 그림에서와 같이 자기 센서를 두 군데에 설치하였으며 우측의 센서는 축의 좌측에서 우측으로 50mm 간격으로 이동하면서 신호를 측정하여 축의 전체적인 ODS 를 나타내고자 하였다. 각 센서의 측정 신호는 voltage amplifier 에서 증폭되어 FFT 분석기에서 신호 처리되었으며, STAR-MODAL 을 이용하여 ODS 를 구하였다.

회전 시에 자기 센서에서 측정한 축의 진동 신호를 Fig.3(a)에 나타내었다. 축이 1800 rpm 으로 회전하므로 굽힘 진동 신호의 주된 주파수 성분은 30 Hz 및 그의 몇몇 조화 성분으로 이루어져야 하는데 측정된 신호의 주파수 분석 결과(Fig.3(b))에 이러한 점이 잘 나타내 있다. 즉 자기 센서를 이용하여 회전중인 축의 굽힘 진동 신호를 측정할 수 있었다.

3.2 회전축의 ODS 측정

ODS 를 구하기 위해 기준점은 고정시키고 측정점을 축 방향으로 50mm 씩 이동시키면서 총 16 개소에서 신호를 측정하여 30 Hz 및 그의 조화 성분들에서 ODS 를 관찰하였다. (Fig. 4 참조)

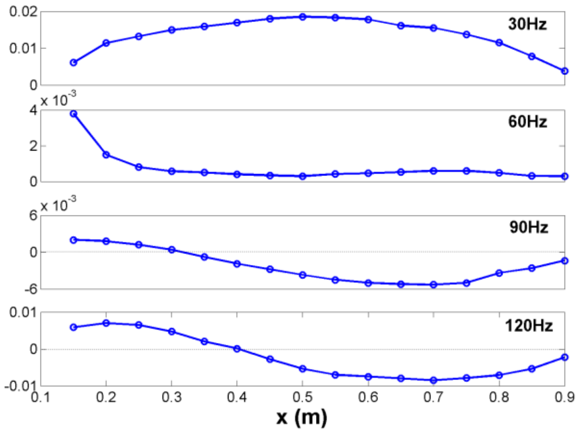


Fig. 4 ODS of the rotating shaft

모달 테스팅 결과 실험대상 회전축의 고유 진동수는 44Hz, 148Hz, 320Hz 에 존재하며 양단 고정보의 모드형상을 나타내고 있는데, Fig. 4 의 ODS 를 보면 30Hz 에서는 1 차 고유 모드형상의 영향이, 90Hz 및 120Hz 에서는 2 차 고유 모드형상의 영향이 나타나는 것을 볼 수 있으며 이는 ODS 가 관찰 주파수에 인접한 고유 모드에 영향을 받는다는 것을 보여준다. 즉, 제안한 방식에 의해 회전중인 축의 ODS 를 잘 측정해 낼 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 비대칭 자기장 구조를 가진 자기 센서를 사용하여 회전중인 강자성 축의 굽힘 진동을 비접촉으로 측정하고 이에 기반하여 축 회전시의 ODS 를 측정한 결과를 제시하였다. 제안한 방식을 통해 회전중인 축의 굽힘 진동을 잘 측정할 수 있음을 알 수 있었고 ODS 가 인접한 고유 모드에 영향을 받음을 확인하였다.