

# 주파수 응답 함수 기반 가속도와 변형량 관계 연구

## Study on the relation between acceleration and strain based on the frequency response function

배철용\*, 김경홍\*\*, 김찬중\*†, 이봉현\*, 안형준\*\*\*

Chulyong Bae, Kyounghong Kim, Chanjung Kim, Bonghyun Lee and Hyeongjoon Ahn

### 1. 서론

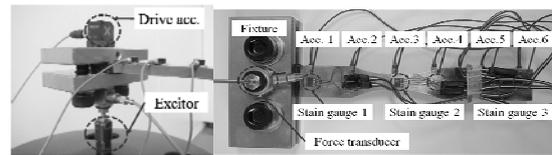
일반적인 모드 시험(modal test)은 기계시스템의 고유 동적 특성(공진점, 모드형상)을 알아내기 위해서 많이 사용되는 실험적 접근 방법이다. 모드 시험의 방법으로 가진기 또는 충격해머를 이용하여 입력을 생성한 뒤에 출력되는 가속도, 속도, 변위 등을 측정한다. 입력(힘)에 대한 출력(가속도, 변위 등)을 주파수 응답 함수(Frequency Response Function, FRF)로 생성되어 기계적 시스템의 모드 매개변수를 파악하는 연구가 널리 수행되었다. 그 중 기계적인 관심사인 변형량 주파수 응답 함수를 예측하는 연구가 진행이 되었다. 그러나 기존의 변형량 주파수 응답 함수는 시편이 노치가 없는 단순 보이며, 길이에 비해 폭이 매우 작다.

그러므로 본 논문에서는 노치가 있는 단순 보에 단축 가진기 및 가속도계와 스트레인 게이지를 이용하여 가속도 및 변형률의 동적 특성을 측정하고, 측정된 가속도와 변형률의 관계를 3개 지점의 가속도 조합하여 국부변형을 예측하는 방법을 실험적으로 제시하였다.

### 2. 노치가 있는 단순 보의 가진 시험

#### 2.1 시험장치의 구성

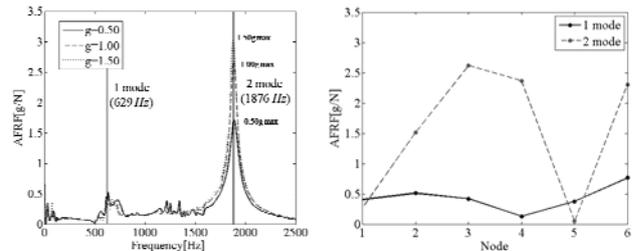
본 시험장치를 Fig.1에 나타내었다. 노치가 있는 단순 보는 한쪽 끝에 고정대(Fixture)에 의해 고정되며, 가진기와 고정대 사이에 힘을 측정하기 위한 힘 변환기(Force transducer)가 설치되었다. 가진기를 제어하기 위해 가속도 센서(Drive acc.) 및 6지점의 가속도 센서(acc.1~acc.6) 그리고 3지점 스트레인 게이지를 이용하여 1초에 5000개씩 데이터를 측정하였다.



(a) Excitor (b) Specimen  
Fig.1 Installed specimen

#### 2.2 소인 정현파 주파수 응답 특성

노치가 있는 단순 보의 소인 정현파(Sine sweep wave)를 100 Hz 부터 2500 Hz 까지 각각 가속도(0.50 g, 1.00 g, 1.50 g)의 크기를 가지고 분당 0.5 oct의 증감률로 가진하였다. 그 측정결과를 주파수 응답 함수로 Fig.2(a)와 같이 나타내었다. 여기서 오버랩(overlap)은 일반적인 차량시스템에 적용되는 비율인 80%가 사용되었다. Fig.2(a)를 통해 1 모드는 약 629 Hz 에서 발생하였으며, 2 모드는 약 1876 Hz 에서 나타났다. Fig.2(b)는 가진의 가속도의 크기가 1.00g 에서 가속도 주파수 응답함수의 크기를 나타낸 것으로 노치가 있는 3 지점에 전달 가속도가 가장 크다.



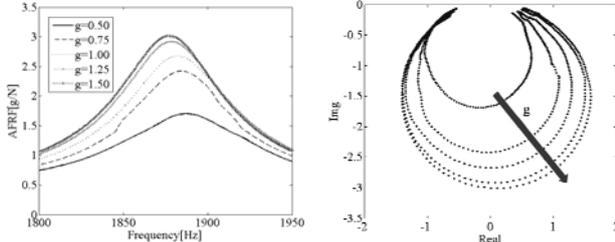
(a) Variable g control(Node 3) (b) AFRF at 1.00g  
Fig.2 Acceleration FRF in sine swept wave

#### 2.3 비선형성 검증

가속도에 크기에 따른 비선형성을 Fig.3(a)와 Fig.3(b)에 나타내었다. Fig.3(a)와 Fig.3(b)는 3지점의 2 번째 모드 부근에서 가속도 주파수 응답 함수와 나이키스트 선도이다. 2번째 모드 부근에서 가진하는 가속도의 크기가 증가함에 따라 가속도 응답 함수의 크기가 증가하고, 공진점이 주파수가 낮아진다. 따라서 노치를 갖는 단순 보는 가진하는 가속도의 크기에 따라 미소의 비선형성을 갖는다. 가진기와 단순 보 사이에 작용하는 힘을 각각의 측정된 가속도와

† 교신저자; 자동차 부품 연구원  
E-mail : cjkim@katech.re.kr  
Tel : (041) 559-3124, Fax : (041) 559-3340  
\* 자동차부품연구원  
\*\* 숭실대학교 기계공학과 대학원  
\*\*\* 숭실대학교 기계공학과

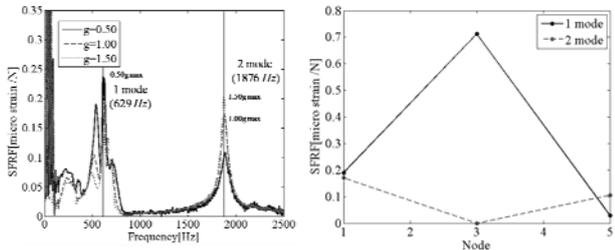
비교하여 실수 축의 허수 축의 값을 나타낸 나이키 스트 선도에서 두 원의 간격이 커지면 비선형성이 증가한다. 가진하는 가속도의 크기가 0.50 g에서 1.00 g로 변화할 때 가장 큰 비선형성을 가진다.



(a) Variable g control (b) Nyquist diagram  
Fig.3 Acceleration FRF & Nyquist at point 3 in sine sweep wave

### 2.4 변형량의 주파수 응답 특성

스트레인 게이지 측정된 변형량 주파수 응답 함수와 가진하는 가속도의 크기가 1.00g 일 때 변형량 주파수 응답 함수의 기를 Fig.4(a) 와 (b)에 나타내었다. 가속도 주파수 응답함수와 같은 주파수 영역에서 1 모드와 2 모드가 발생하며, Fig.4(a)에서는 가속도 주파수 응답 함수와 달리 변형량 주파수 응답 함수는 지점에 따라 차이는 있으나 2 번째 모드보다 1 번째 모드의 크기가 가진의 크기에 따라 0.5 배에서 2 배정도 크다. Fig.4(b)는 1 모드에서 노치가 있는 3 지점에서 가장 큰 스트레인이 형성된다.



(a) Variable g control (Node1) (b) SFRF at 1.00g  
Fig.4 Strain FRF in sine swept wave

### 3. 가속도에 따른 변형량 특성

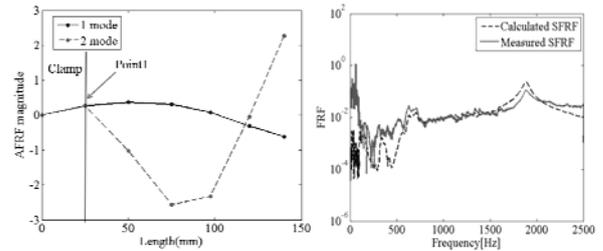
Fig.5(a)는 가속도계로 측정된 노치가 있는 단순보의 모드 형상으로 1 모드에 비해 2 모드의 변형이 크다. 그러나 Fig.4(b)에서 1 모드에 비해 2 모드가 고주파수역에 있어 변형량은 감소한다.

3 개의 지점(Node4, Node5, Node6) 에서 측정된 가속도를 이용하여 가속도 주파수 응답 함수를 구하였다. 계산된 가속도 주파수 함수는 선형화 식(1)를 이용하였으며, 비례상수인  $\eta = 0.1$  을 적용하였다(여기서  $H$ : FRF,  $l$ : 측정계간 거리). 5 지점에서 스트레인 게이지에서 측정된 변형량 주파수 응답 함수와 계산된 변형량 주파수 응답 함수를 Fig.5(b)에 나타내었다. 소인 정현파를 100 Hz 부터

가진을 하였기 때문에 100 Hz 이하의 주파수 응답 함수는 무시한다. 계산된 변형량 주파수 응답 함수는 측정된 변형량 주파수 응답 함수와 저주파수역에는 오차가 크지만 공진점 부근에서는 10% 이내 값으로 수렴한다.

$$H_{p4}^{\epsilon} = \eta_m \cdot (H_{p5}^a(\omega) - H_{p4}^a(\omega)) - \chi \quad (1)$$

$$\text{Here, } \chi = \frac{H_{p6}^a - H_{p4}^a}{l_6 - l_4} \times l_5$$



(a) Mode shape (b) SFRF at 1.00g  
Fig.5 Mode shape and SFRF at point 5 in sine sweep wave

### 4. 결론

모든 기계적 시스템들은 연속체 시스템의 형태를 가지며, 비선형성을 갖는 경우가 대부분이다. 연속적인 시스템은 모든 변수를 함께 공유하며, 그에 해당하는 관계식이 존재한다. 본 논문에서는 노치가 있는 단순 보의 가속도 및 변형량의 측정함으로써 시스템의 비선형적 특성과 함께 가속도와 변형량 간의 관계를 유지하였다.

첫 번째로 노치가 있는 단순보의 비선형성을 소인 정현파의 가진 크기변화를 통해 확인하였다. 가진하는 크기에 따라서는 미소의 비선형성을 가진다.

두 번째로 3 개의 지점에서 측정된 가속도 주파수 응답 함수를 이용하여 유추한 변형량 주파수 응답 함수와 스트레인 게이지로 측정된 변형량 주파수 응답 함수와 비교하였고, 공진점에서 10%이내의 값으로 일치하는 것을 확인하였다.

그러므로 스트레인 게이지를 이용한 측정이 어렵거나 불가능한 경우 또는 구조가 복잡한 곳에 대해 3 개의 각각 다른 측정지점에서 가속도를 측정하고, 측정된 결과 및 선형화식을 이용하면 변형량 크기를 예측할 수 있다.

### 후 기

본 논문은 동남광역경제권 선도산업 R&D 사업(과제명 : 오일펌프의 엔진상태 성능 평가기술 개발)의 성과물로서 관계자 여러분들께 감사 드립니다.