

유한보의 면외 진동인텐시티 측정 방법을 위한 해석 연구

Study on Analysis of a Method for Measurement of Out-of-Plane Vibration Intensity On a Finite Beam

김강천* · 김준곤* · 길현권†

K.-C. Kim, J.-G. Kim, H.-G. Kil

1. 서 론

기계 구조물의 진동과 진동으로 인하여 발생하는 고체음을 저감시키기 위해서는, 진동원의 위치 및 진동 에너지의 전달 경로를 파악함으로써 효과적으로 대처할 수 있다. 진동원의 위치 및 진동 에너지의 전달 경로는 진동 인텐시티를 측정함으로써 파악할 수 있다. 이러한 진동 인텐시티는 구조물내의 단위 폭당 진동 파워의 크기와 방향성을 갖는 벡터량을 나타낸다. 일반적으로 보에서 근접장의 영향을 제외한 지점에서 면외 진동인텐시티를 측정하기 위해서는 2개의 가속도계 선형 배열을 이용하는 가속도계배열법^(1,2)과 하나의 가속도계를 갖고 주파수응답함수를 이용하는 주파수응답함수법⁽³⁾을 사용하여 왔다. 그리고 이러한 진동인텐시티 측정법들은 경계에서의 반사 파동의 영향을 최소화하기 위해서 끝단에서 감쇠조건을 갖는 무한 보의 형태에 주로 적용되어 왔다^(4,5). 그러나 실제 구조물에서는 끝단에서의 반사 파동 효과가 존재하므로, 이를 고려한 진동인텐시티 측정법의 적용에 대한 연구가 수행될 필요가 있다. 본 논문에서는 유한보의 면외 진동인텐시티 측정법의 적용을 검토하기 위한 일차적인 연구로서 측정에 대한 해석적인 시뮬레이션을 수행하고자 한다.

2. 진동 인텐시티 해석

† 교신저자; 수원대학교 기계공학과

E-mail : hgkil@suwon.ac.kr

Tel : (031) 220-2298, Fax: (031) 220-2494

* 수원대학교 기계공학과 대학원

2.1 보의 진동 해석

실험 모델은 길이 1.4m, 폭 0.03m, 두께 8mm인 알루미늄 보로서, 단순지지 경계조건을 갖는다 (그림 1). 이 경우 보에서 주파수 ω 의 점가진력에 의하여

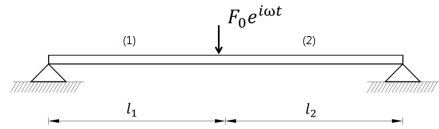


그림 1. 유한 보

발생하는 면외 진동 변위 w 는 파동 전파를 고려하는 경우, 점가진력을 기준으로 그림 1의 (1)과 (2)영역 ($m=1,2$)에서 각각 다음과 같이 표현된다.

$$w_m(x,t) = (A_m^+ e^{-ikx} + A_m^- e^{ikx} + C_m^- e^{-kx} + C_m^+ e^{kx}) e^{i\omega t} \quad (1)$$

여기서 k 는 굽힘파동의 파수를 나타낸다. 이 경우 각 파동 성분의 크기는 양단에서의 2개의 경계조건과 가진 지점에서의 4개의 가진 조건으로부터 구할 수 있다. 그리고 진동인텐시티의 시간 평균 값은 진동변위 w 를 이용하여 다음 식으로 표현된다

$$I_x = B \left\langle \frac{\partial^3 w}{\partial x^3} - \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial t} \right\rangle \quad (2)$$

여기서 $B(=EI)$ 는 보의 굽힘 강성을 나타내며 탄성계수 E 와 단면 2차모멘트 I 로 표시된다.

2.2 보의 진동인텐시티 측정 시뮬레이션

식(2)에 의하여 진동 인텐시티를 구하기 위해서는 측정 지점에서의 변위 혹은 가속도에 대한 관련 도함수 값을 알아야 한다. 이러한 관련 도함수 값들을 추정하는 방법으로 측정 지점 주위 일직선상의 4점에서의 변위를 이용하는 유한 차분 근사 방법을 활용할 수 있다. 그림 1과 같이 측정점 x_0

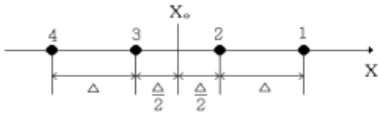


그림 2. x_0 지점 주위의 4 측정 지점

주위 Δ 간격만큼 떨어진 4지점에서의 가속도 신호 간의 크로스스펙트럼을 이용하면 면의 진동인텐시티는 식 (3)과 같이 표현된다.

$$I_x(x, f) = \frac{B}{\Delta^3 \omega^3} (4 \text{Im}G_{23} - \text{Im}G_{24} - \text{Im}G_{13}) \quad (3)$$

$$\approx 2 \frac{\sqrt{Bm}}{\Delta \omega^2} \text{Im}G_{23} = 2 \frac{\sqrt{Bm}}{\Delta \omega^2} \text{Im}(H_{f2}^* H_{f1} G_{ff}) \quad (4)$$

여기서 G_{ij} 는 i 와 j 번째 가속도 신호간의 크로스스펙트럼을 나타낸다. 그리고 보에서 근접장의 영향을 무시하는 경우 측정 지점 x_0 주위의 2 지점에서의 가속도 신호간의 크로스스펙트럼과 주파수 스펙트럼 H_{f1}, H_{f2} 를 이용하면 진동인텐시는 식 (4)와 같이 표현된다.

3. 진동 인텐시티 해석 결과

본 연구에서는 그림 1의 유한 보의 모델에 대하여 면의 진동 인텐시티 값을 구하기 위한 해석을 수행하였다. 그리고 면의 진동 인텐시티를 측정하는 실험을 위한 시뮬레이션을 수행하기 위하여 보에서 32 측정 지점을 고려하였다. 그리고 각 지점 양쪽 주위 2지점에서 주파수 응답함수를 구함으로써 식(4)에 의하여 면의 진동인텐시티를 구하였다. 그림 3은 보가 주파수 700 Hz로 진동하는 경우, 면의 진동인텐시티에 대한 결과를 보여준다. 여기서 실험 시뮬레이션을 위하여, 측정 지점 양쪽 주위 (주파수 응답함수를 구하는) 두 지점 간의 거리는 $(0.5 < k\Delta < 1.0)$ 를 고려하여 $\Delta = 4\text{cm}$ 로 선택하였다. 그림 3의 결과로부터 가진 지점(중앙 지점 $x=0$)으로부터 진동 파워가 양쪽 끝단으로 전달되는 현상을 확인할 수 있다. 또한 그림 3의 결과는 면의 진동인텐시티에 대한 실험 시뮬레이션 결과가 엄밀해 결과를 잘 나타내고 있음을 보여준다. 그러므로 2개 가속도간의 크로스스펙트럼 혹은 주파수 응답함수를 활용하여 유한 보의 면의 진동인텐시티를 측정 할 수 있음을 보여준다. 그러나 유

한 보의 경우 공진 주파수에서는 정재파(standing wave)가 발생하여, 진동에너지를 시간 평균 값 (즉, 진동에너지 전달을 나타내는 진동인텐시티의 실수 성분인 액티브 성분)이 영의 값을 갖게 되므로 측정에 어려움이 존재한다. 이러한 점에 대해서는 현재 연구 진행 중이다.

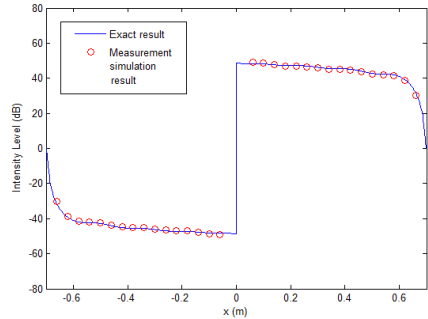


그림 3. 보의 면의 진동인텐시티 결과

4. 결론

본 논문에서는 유한보의 면의 진동인텐시티 측정을 위한 면의 진동인텐시티 측정법의 적용을 검토하기 위한 일차적인 연구로서 측정에 대한 해석적인 시뮬레이션을 수행하고, 시뮬레이션 결과를 엄밀해와 비교 분석하였다.

참고 문헌

- Noiseux, D.U. 1970, "Measurement of Power Flow in Uniform Beams and Plates", JASA, 47(1), pp. 238-247,
- Verheij, J.W., 1980, "Cross Spectral Density Methods for Measuring Structure Borne Power Flow on Beams and Pipes", JASA, 70(1), pp. 133-139,
- Linjama, J., and Lathi,T.,1992, "Estimation of Bending Wave Intensity in Beams Usingthe Frequency Response Technique", Journal of Sound and Vibration, 153(1) pp. 21-36, 1992
- 이덕영, 박성태, 1997, "반무한보의 진동 인텐시티 계측에 대한 연구", 한국소음진동공학회지, 제 7권 제1호, pp. 43-53,
- 김영완, 박병진, 1997 "보에 있어서 진동 인텐시티에 관한 연구," 한국음향학회지, 16(5), pp. 37-42,