

## 보에 있어서 진동인텐시티에 관한 연구

### Study on the Vibration Intensity in a Beam

김 영 완\*, 박 병 전\*\*

(Young-Wan Kim\*, Byeong-Jeon Park\*\*)

#### 요 약

본 논문은 건축구조체 내에서 진동 에너지의 크기와 흐름을 측정하는 하나의 방법인 진동인텐시티측정법에 관한 내용이다. 진동인텐시티법의 기본적인 원리와 계측이론을 이론적 해석이 명쾌한 1차원 보를 대상으로 하여 이론 및 실험적으로 검토하였다. 또한 진동가속도레벨을 이용한 해석 결과와 비교함으로써 진동인텐시티의 계측가능성을 검토하였다.

그 결과, 근접장의 영향이 무시가능한 조건에서는 진동가속도 분포로부터 구한 계산값과 진동인텐시티법에 의한 측정값이 거의 일치하여, 이러한 류의 진동 계측에 진동인텐시티법이 응용될 가능성이 있음을 알수 있었다. 그러나 반사파의 성분이 많이 존재하는 음장, 특히 근접장에 있어서는 측정신호간의 위상차비가 적어 진동인텐시티를 계측하기 어렵다는 것을 알았다.

#### ABSTRACT

This paper purposes the measurement method of vibration intensity in building structure which is a method of measuring the intensity and the flow of vibration energy. We derived basic theory and measuring theory for a simple beam, and comparison of the experimental results with calculated results. As a result, according to the calculated value from acceleration distribution and the measurement result from the method of vibration intensity under the condition except near field of measurement zone. The measured results, show that this method is useful for measuring the vibration energy flow in building structure.

#### I. 서 론

건축구조물에 정상적인 가진력이 작용하므로써 에너지가 공급되고 이 에너지는 진동이라는 형태로 구조물 내를 전파하여 간다. 또한 그 일부는 구조물 자신 및 지지부의 스프링 요소 중에 저장되기도 하고 일부는 내부감쇠에 의해 소파된다. 그리고 남은 에너지는 고체전파음(고체음; Structure Borne Sound)으로서 건물의 각부에 전파되어 공기중에 소음으로서 방사된다.

이러한 진동 및 소음을 어떻게 조절할 것인가에 관하여 다양한 연구가 진행되어 오고 있다. 종래에는 구조물을 강체로서 취급하여 그 지지부를 방진처리하는 것에 주목하였으나 구조물을 탄성체로 간주하여 내부의 진동의 이동을 에너지의 흐름으로 파악하는 입장은 소수에 불과했다. 그렇지만 이러한 진동에너지의 흐름은 특히 굴곡진동(Bending Vibration)에 의한 고체음과 밀접한 관

계가 있으므로 이를 명확히 하는 것이 진동 및 소음의 전파경로를 파악하는 데 매우 유효하며 방진·방음대책상 큰 의미를 갖게 된다.

이러한 진동에너지의 흐름을 해석하기 위하여 D.U. Noiseux는 박판평판에서의 굴곡진동(bending vibration)에 의해 전달되는 에너지의 크기를 계측하는 방법을 제안하였고<sup>1)</sup>, G.Pavic, J.W.Verheij, P.Pasmussen<sup>2,3,4)</sup>을 시작으로 연구가 진행되어 왔다. 그러나 계측기기의 정밀도를 요하는 까닭에 당시에는 계측에 어려움이 많아서 연구의 진전이 이루어 지지 못하였다. 디지털 신호처리 기술이 진보한 오늘에 이르러서도 계측법의 실험적 검토나 실제 구조물에의 적용에 관한 보고, 이론적 해석 예 등이 미미하여 충분한 연구가 진행되지 못하고 있는 실정이다.

건축물에 있어서 구조체의 진동에 의해 발생하는 음, 즉 고체음을 저감시키기 위해서는 구조체의 기계적 에너지의 전파경로를 파악하여 에너지를 흡수하는 재료 등을 배치 하므로써 전파하는 에너지를 억제 할 필요가 있다. 이러한 경우 전파되는 진동에너지가 전파경로에 따라서 변화하지만 그 변화량이 계측될 수 있다면 진동원의 규명, 즉 진동에너지의 흐름을 해명하는데 유효하게 된다.

\* 전북대학교 건축공학과 강사

\*\* 전북대학교 건축공학과 교수

접수일자: 1997년 3월 14일

고체음에 있어서 진동에너지의 흐름은 굴곡진동에 의한 기여가 가장 크다. 따라서 이 파의 전파 특성을 명확히 하는 것은 진동·소음 경로를 파악하는 데 유효할 뿐 아니라 방진, 방음 대책상 의미가 있는 일이다. 탄성체를 전파하는 진동에 대하여도 음향 인텐시티와 같은 모양으로 진동 에너지의 크기와 방향을 나타내는 벡터량으로서 진동인텐시티(Vibration Intensity or Structural Intensity)를 정의할 수 있어, 이를 계측하므로써 진동원 및 전파경로를 파악하는 수단으로 활용할 수 있다.

본 논문에서는 진동 에너지의 흐름을 측정하는 하나의 방법으로서 진동인텐시티법을 적용하여, 측정 원리의 검토 및 이론적 해석이 명쾌한 1차원 보를 대상으로 하여 실험적으로 검토하였다. 그리하여 진동 가속도레벨을 이용한 해석 결과와 비교함으로써 진동인텐시티의 계측 가능성 검토하였다.

## II. 기본 원리

### 2.1 진동인텐시티의 계측이론

탄성체에 전달되는 진동은 음향인텐시티와 마찬가지로 진동에너지의 크기와 방향을 나타내는 벡터량으로서 진동인텐시티가 정의 된다<sup>3)</sup>. 일반적으로 단위시간당 역학적인 에너지 전달량  $W$ 는 다음과 같이 나타내어 진다.

$$W = \langle F \cdot V \rangle_t \quad (1)$$

여기에서,  $F$ : 힘 또는 모멘트  
 $V$ : 변위속도 또는 각속도  
 $\langle \rangle_t$ : 시간 평균

(1)식으로 부터  $W$ 의 크기 및 방향을 파악 할 수 있으면 에너지의 흐름을 알 수 있게 된다. 여기에서는 단순보에 있어서 회전관성과 전단변형을 무시하는 가정하에서 고체음으로의 방사 기여도가 높은 굴곡파(bending wave)만을 고려하여 보에 작용하는 힘을 생각하기로 한다.

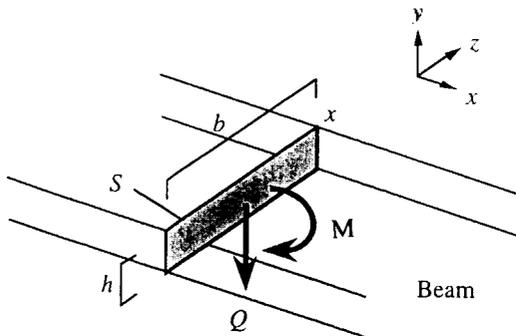


그림 1. 보에 작용하는 힘

그림 1에 나타난 바와 같이, 두께  $h$ , 영률  $E$ 의 보에 있어서  $x$ 점에서 단면  $S$ 에 작용하는 굴곡 모멘트  $M$  및 전단력  $Q$ 의 각 성분은 각각 (2), (3) 식으로 나타낸다.

$$M = -B \left( \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

$$Q = -B \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

여기에서,  $B$ :보의 굴곡 강성  $[= E h^3 / 12(1 - \nu)]$

$\xi$ :  $z$  방향 변위

$\nu$ : 푸아송 비

진동인텐시티는 단위 폭을 통과하는 진동 파워의 크기와 방향을 나타내는 벡터량으로 정의된다. 지금 단면  $S$ 를 통과하는  $x$ 방향의 진동인텐시티  $I_x$ 를 생각하면 (1)식에서 나타난 바와 같이 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_x = \langle Q_x \cdot y \rangle_t + \langle M_x \cdot \theta \rangle_t \quad (4)$$

여기에서,  $y$ : 속도

$\theta$ : 각속도

따라서 진동인텐시티는 전단력에 의한 성분과 굴곡 모멘트에 의한 성분의 합으로서 (5) 식과 같이 정의된다.

$$I = B \left\langle \frac{\partial^3 \xi}{\partial x^3} \cdot \frac{\partial x}{\partial t} - \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 \xi}{\partial x \partial t} \right\rangle_t \quad (5)$$

단,  $\langle \rangle_t$ : 시간 평균

(5)식에 근거하여 진동인텐시티를 측정하는 방법으로는 그림 2와 같이 측정점  $x_0$  근방 일직선상의 4점 또는 2점의 변위로부터 차분 근사하는 방법이 있다. 그림에서와 같이 각점의 변위  $y_1, y_2, y_3, y_4$ 를 차분 근사하므로써 (5)식의 각 성분을 구할 수 있다.

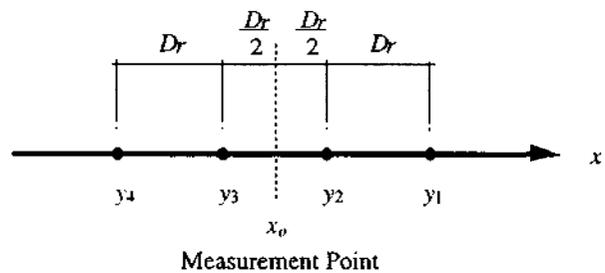


그림 2. 4점법에 의한 차분근사

$$\begin{aligned}
 y &\equiv \frac{1}{2} (y_2 + y_3) \\
 \frac{\partial y}{\partial x} &\equiv \frac{1}{\Delta r} (y_2 - y_3) \\
 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} &\equiv \frac{y_1 - y_2 - y_3 + y_4}{2(\Delta r)^2} \\
 \frac{\partial^3 y}{\partial x^3} &\equiv \frac{y_1 - 3y_2 + 3y_3 - y_4}{(\Delta r)^3} \quad (6) \\
 \frac{\partial y}{\partial t} &\equiv \frac{\partial}{\partial t} \cdot \frac{y_2 + y_3}{2} \\
 \frac{\partial^2 y}{\partial x \partial t} &\equiv \frac{\partial}{\partial t} \cdot \frac{y_2 - y_3}{\Delta r}
 \end{aligned}$$

위의 (6)식을 (5)식에 대입하면,

$$I = \frac{B}{(\Delta r)^3} \left\{ y_3 \int (y_1 - 2y_2 + 3y_3) dt - y_2 \int (y_2 - 2y_3 + y_4) \right\}_t \quad (7)$$

가 된다. 이 식을 이용하여 계측하는 경우에는 시간평균을 취하지 않으면 순간인텐시티가 된다.

이 시스템은 음향인텐시티의 직접법과 같은 모양으로, 어느 주파수에서의 진동인텐시티를 구하고자 할 때는 통과대역, 위상특성 모두가 완전하게 일치 하는 대역필터가 필요하게 된다. 그러나 아날로그 회로에서 이와같은 필터를 구성하는 것은 매우 어려운 일이므로 디지털 필터로 구성하는 크로스스펙트럼법(Cross-Spectrum Method)을 이용한 방법이 있다.

2.2 계측원리

상기의 (7)식과 같은 시간영역의 식과 등가의 관계로서 주파수영역의 표현이 가능한 크로스스펙트럼법을 이용한 진동인텐시티를 구하는 방법에 관하여 논한다.

어느 주파수 영역에 있어서 진동인텐시티  $I(\omega)$ 는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$I(\omega) = \frac{1}{2} \text{Re}\{Q \cdot V^* + M \cdot \Omega^*\} \quad (8)$$

여기에서  $Q \cdot V^*$ 는  $Q$ 와  $V$ 의 크로스스펙트럼,  $M \cdot \Omega^*$ 는  $M$ 과  $\Omega$ 의 크로스스펙트럼이다.

단,  $Q$  : 전단력

$M$  : 모멘트

$V^*$  : 속도의 복소공역

$\Omega^*$  : 각속도의 복소공역

전술한 보에서의 진동인텐시티 (5)식을 푸리에 변환하여 표현하면 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned}
 I(\omega) &= \frac{ESX^2}{2} \text{Re} \left\{ \left( \mathcal{F} \frac{\partial^3 y}{\partial x^3} \right)^* \mathcal{F} \left( \frac{\partial y}{\partial t} \right) \right. \\
 &\quad \left. - \left( \left( \mathcal{F} \frac{\partial^3 y}{\partial x^3} \right) \right)^* \mathcal{F} \left( \frac{\partial^2 y}{\partial x \partial t} \right) \right\} \quad (9)
 \end{aligned}$$

단,  $\mathcal{F}$  : Fourier Transformation

(8)식에 (6)식을 대입하고 {}부분을 변위 스펙트럼  $Y_{i\omega}$ 를 취하여 전개하면 진동인텐시티  $I(\omega)$ 는 다음 식과 같이 정리된다.

$$\begin{aligned}
 \{ \} &= \frac{1}{2(\Delta r)^3} \{ (Y_{1\omega}^* - 3Y_{2\omega}^* + 3Y_{3\omega}^* - Y_{4\omega}^*) (j\omega) (Y_{2\omega} + Y_{3\omega}) \\
 &\quad - (Y_{1\omega}^* - Y_{2\omega}^* - Y_{3\omega}^* + Y_{4\omega}^*) (j\omega) (Y_{2\omega} - Y_{3\omega}) \} \quad (10)
 \end{aligned}$$

여기에서 가속도 스펙트럼을  $A(\omega)$ 라 하면,

$$Y(\omega) = \frac{1}{(j\omega)^2} A(\omega) \quad (11)$$

따라서 이 식을 정리하면 (12)식과 같이 진동인텐시티를 구할 수 있게 된다.

$$I(\omega) = \frac{ESX^2}{2(\Delta r \omega)^3} [4\text{Im}\{G_{23}\} - \text{Im}\{G_{13}\} - 4\text{Im}\{G_{24}\}] \quad (12)$$

이와 같이 어느 주파수에서의 진동인텐시티는 (12)식으로 계측할 수 있다. 즉 근접하는 4점의 가속도 신호의 크로스스펙트럼을 측정하여 그 허수부를 취하고 이 식에 따라서 연산하면 진동인텐시티를 구할 수 있게 된다.

그런데 4점법의 경우는 4개의 가속도 신호를 계측하여 진동인텐시티를 구할 수 있으나 다수의 가속도센서의 설치에 따른 측정오차가 발생할 가능성이 매우 높다. 또한 각 센서의 위상특성을 일치시키는 것 역시 매우 어려운 문제이다. 그러나 측정점의 위치가 진동원으로부터 어느 정도 떨어진 원거리에 위치할 경우, 즉 근접장(Near Field)의 영향을 무시할 수 있는 경우에는 간편법으로서 2개의 가속도 신호를 이용하여 근사적으로 진동인텐시티를 구할 수 있다. 여기에서 말하는 근접장은 경계로부터 반사의 영향이 미치는 범위로서, 100Hz의 경우 경계로부터 약 0.25m의 범위를 말한다.

굴곡진동하는 보에서의 1차원 파동을 고려하고 동시에 자유음장(가진점 등의 불연속점에서 발생하는 감쇠파가 충분히 감쇠되어 진행파만이 존재하는 영역)을 가정하자. 이 경우에는 진술한 바와같이 그림 2의 점 2, 3에서의 변위에 의한 차분근사값을 이용하여 다음 식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}
 I(\omega) &= \frac{ESX^2}{2} \text{Re} \left\{ \left( \mathcal{F} \frac{\partial^3 y}{\partial x^3} \right)^* \mathcal{F} \left( \frac{\partial y}{\partial t} \right) \right. \\
 &\quad \left. - (\mathcal{F}(-k^2 y))^* \mathcal{F} \left( \frac{\partial^2 y}{\partial x \partial t} \right) \right\} \\
 &= - \frac{ESX^2 k^2}{2(\Delta r)^3 \omega^3} \text{Re} \left\{ \left( \frac{Y_{1\omega}^* - Y_{2\omega}^*}{\Delta r} (j\omega) \frac{Y_{1\omega} - Y_{2\omega}}{2} \right) \right. \\
 &\quad \left. - \left( \frac{Y_{1\omega}^* - Y_{2\omega}^*}{2} (j\omega) \frac{Y_{1\omega} - Y_{2\omega}}{\Delta r} \right) \right\}
 \end{aligned}$$

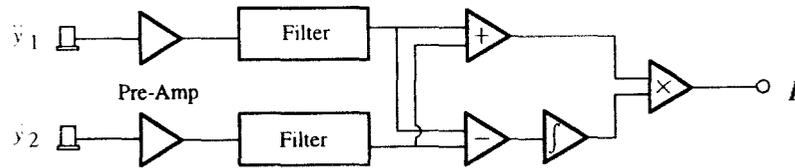


그림 3. 크로스스펙트럼법에 의한 진동인텐시티 계측 시스템

$$= \frac{ESX^2 k^2 \omega}{\Delta r} \text{Im}\{Y_1 \cdot Y_2\} \quad (13)$$

따라서 진동인텐시티  $I(\omega)$ 는 다음 식과 같이 된다.

$$I(\omega) = \frac{ESX^2 k^2}{\Delta r \omega^3} \text{Im}\{G_{12}\} \quad (14)$$

여기에서  $G_{12}$ 는 2점의 가속도 센서에 의한 가속도 신호의 크로스스펙트럼 허수부이다.

이 (12)식과 (14)식을 이용하는 방법을 크로스스펙트럼법이라 하며 FFT 분석기를 이용하여 계측할 수 있다. 이 계측 시스템은 그림 3과 같이 구성된다.

### 2.3 진동가속도 분포와 진동인텐시티의 관계

진동인텐시티법의 기본 원리를 검토하는 단계로서, 가속도 응답만의 측정으로부터 진동인텐시티가 구해지는 조건을 설정하여 양 방법을 비교 검토하므로써 진동인텐시티법의 측정정도를 검토한다.

근접장의 영향을 무시할 수 있다면 파장에 비하여 충분히 긴 보에 있어서 단일정재파의 진동장에서 진동 가속도의 실효치로부터 진동인텐시티를 구할 수가 있다.

보의 굴곡진동 방정식의 일반해는 상기의 가정에 의한다면 다음 식과 같다.

$$y = A(e^{-jkr} + re^{-j\phi} e^{jkr}) \quad (15)$$

여기에서,  $A$  : 진행파의 진폭,  
 $re^{-j\phi}$  : 변위의 복소반사계수

이것을 (3)식을 이용하여 진동인텐시티로 표현하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I = ESX^2 k^2 \omega |A|^2 (1-r^2) \quad (16)$$

가 되어,  $A$ 와  $r$  값을 알면 진동인텐시티를 구할 수 있다.

여기에서, 정재파음장의 경우  $|A|^2(1-r^2)$  항은 가속도 실효값의 최대·최소값의 곱으로 나타낸다. 따라서 진동 가속도의 실효값으로부터 유도할 수 있다. 또한 가속도의 반사율은,

$$r = \frac{|a|_{MAX} - |a|_{Min}}{|a|_{MAX} + |a|_{Min}} \quad (17)$$

식 (15)로부터 가속도는

$$a = -\omega^2 A(e^{-jkr} + re^{j\phi} e^{jkr}) \quad (18)$$

또한, 가속도의 분포는

$$\begin{aligned} \frac{|a|^2}{2} &= \frac{a \cdot a^*}{2} \\ &= \frac{1}{2} \{-\omega^2 A(e^{-jkr} + re^{j\phi} e^{jkr})\} \cdot \{-\omega^2 A^*(e^{jkr} + re^{-j\phi} e^{-jkr})\} \\ &= \frac{1}{2} \omega^4 |A|^2 \{1 + r^2 + 2r \cos(2kr + \phi)\} \end{aligned} \quad (19)$$

이 된다.

여기에서  $\cos(2kr + \phi) = 1$  일 때  $a$ 가 최대값,  $\cos(2kr + \phi) = -1$  일 때  $a$ 가 최소값이 되므로 가속도의 실효값의 최대·최소값의 곱은,

$$|a|_{MAX} \cdot |a|_{MIN} = \omega^4 |A|^2 (1-r^2) \quad (20)$$

가 되어, 이 식을 (16)식에 대입하면 진동인텐시티를 구할 수 있다.

따라서 진동인텐시티는

$$I = ESX^2 k^3 \omega^3 |a|_{MAX} \cdot |a|_{MIN} \quad (21)$$

으로 나타낸다.

## III. 진동인텐시티의 측정

### 3.1 실험 개요

전술한 계측원리에 근거하여 1차원 보에 있어서 진동인텐시티를 측정하였다. 경계조건으로서는 단부의 조건에 따라 고정단, 자유단, 그리고 보의 종단을 무반사단으로 가정한 감쇠단의 3종류로 설정하였다.

실험 조건을 그림 4에 나타낸다. 실험 매단 보(2000×40×2 mm, Iron)의 상단에 전자형 가진기(Electro Magnetic Actuator)를 부착시켜 가진 하였다. 종단의 조건을 고정단의 경우에는 바이스로 고정하였고, 자유단의 경우에는 실험 매어 단 상태로, 그리고 감쇠단의 경우에는 그림 4와 같이 종단을 모래상자에 삽입하여 진동에너지가 반사되지 않고 상쇄되는 조건으로 설치하였다. 가진 신호

는 정재파 진동상을 형성하기 위해 복수의 정현파 합성음을 입력하였다. 측정범위는 가속도계의 간격을 10mm로 설정하였을 경우, 유한차분근사에 의한 오차를 0.5dB 이하로 유지하기 위하여 상한주파수를 2.5KHz까지로 하였고, 하한 주파수는 최저 주파수 파장의 2배의 이상의 범위에서 측정이 가능한 100Hz로 설정하여 1/3 옥타브밴드로 설정하였다. 따라서 그림 5, 6에 나타난 바와 같이 2개 또는 4개로 구성된 진동 가속도계를 10 mm 간격으로 설치하여 측정하였다. 센서의 간격을 일정하게 유지시키기 위해 2점법으로 측정할 경우에는 지름 10mm, 두께 3mm의 원형자석에 센서를 접착시켜 일체형의 센서로 측정하였다. 이때 자석을 부착하였을 경우의 오차는 거의 없음을 확인하였다.

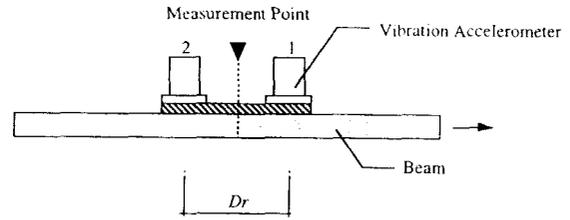


그림 6. 2점법의 가속도 센서 설치방법

3.2 실험 결과

3종류의 경계조건에 따라 각각 보의 진동 가속도 분포를 측정하여 (17)식에 의해 구한 반사율을 그림 7에 나타낸다. 이 결과에서 알 수 있는 바와 같이, 고정단과 자유단에서는 대부분의 주파수에서 반사계수가 1에 가깝게 분포하고 있다. 그러나 감쇠단의 경우에는 무반사단으로 가정한 경계조건으로 설정하였으나 반사계수가 0.5정후의 값을 나타내고 있다.

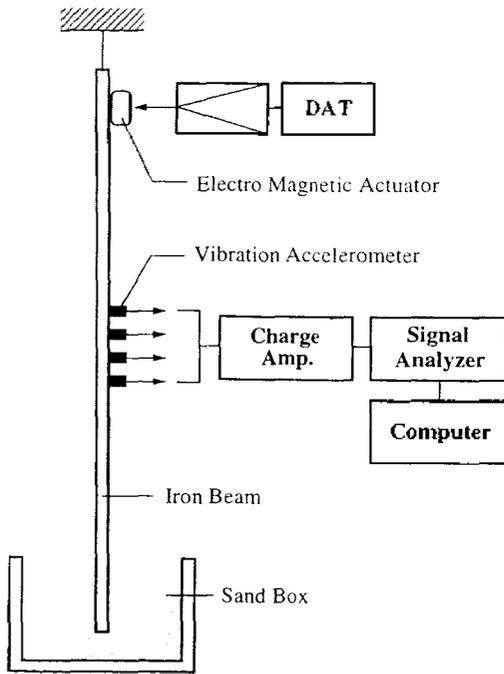


그림 4. 실험조건

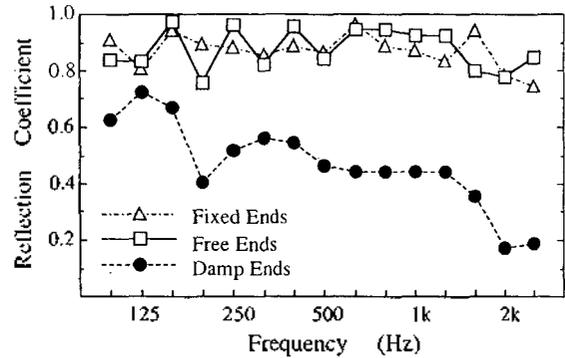


그림 7. 진동가속도의 반사계수

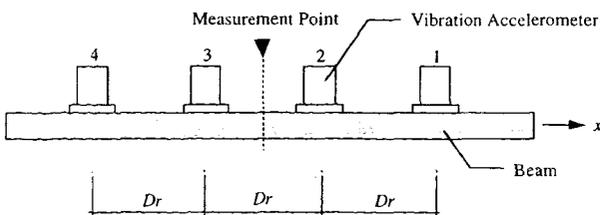


그림 5. 4점법의 가속도 센서 설치방법

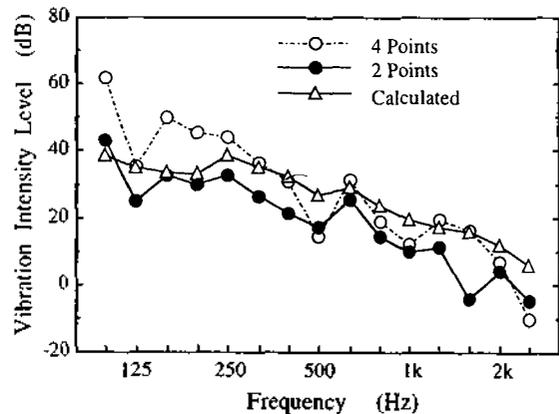


그림 8. 고정단의 진동인텐시티

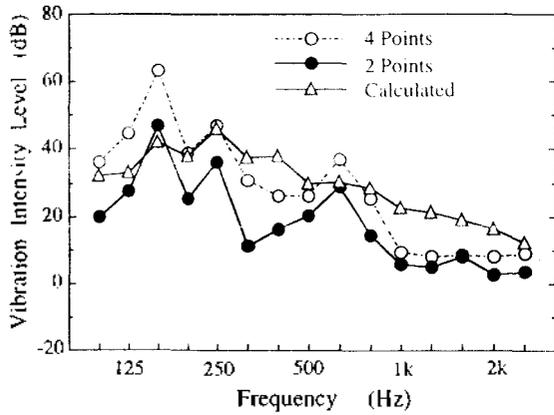


그림 9. 자유단의 진동인텐시티

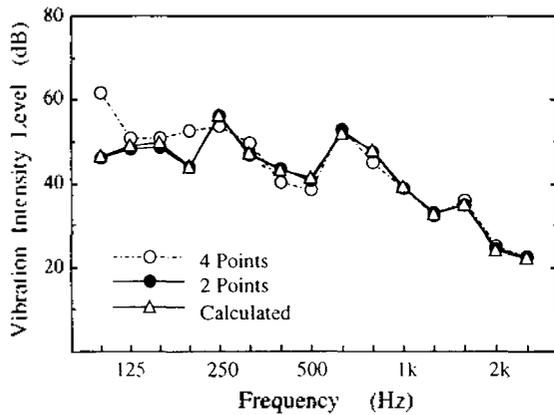


그림 10. 감쇠단의 진동인텐시티

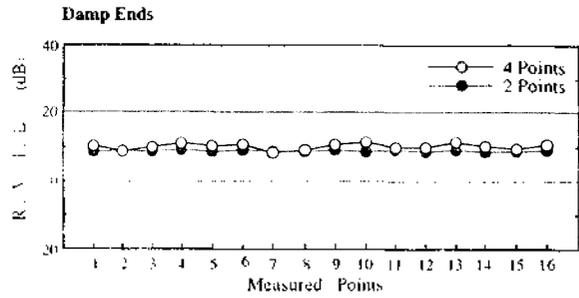
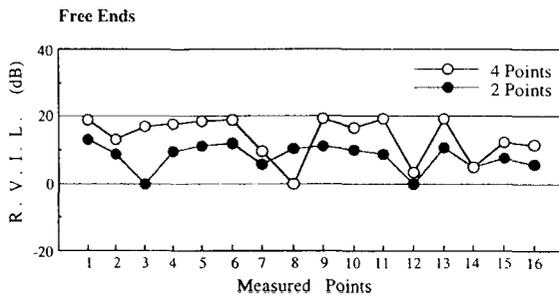
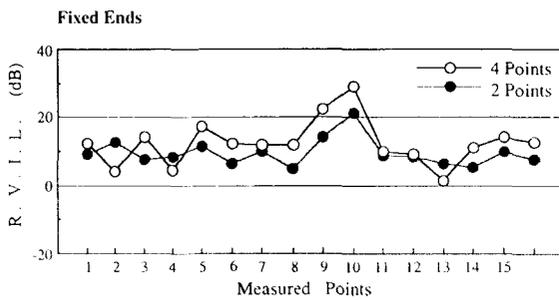


그림 11. 각 실험모델별 진동인텐시티레벨의 분포 (1kHz)

(12), (14) 식에 근거하여 가진원으로부터 임의의 지점에서 진동인텐시티를 4점법과 2점법으로 측정하였다. 그 측정 결과와 진동 가속도의 최대, 최소값으로부터 구한 계산값을 그림 8~10에 나타낸다.

그림 8, 9는 가진원으로부터 80 cm 떨어진 지점에서의 고정단과 자유단의 경우에 대한 결과이다. 이 조건과 같이 반사계수가 비교적 크면 정재파비가 큰 진동장이 되어 진동의 흐름이 잘 이루어지지 않는 상태가 된다. 즉 측정 신호의 위상차비가 적게 되어 진동인텐시티를 정확하게 판명하기 어려운 상태가 되므로 측정값과 계산값의 차가 크게 나타난 것으로 생각된다. 따라서 단부의 경계조건에 따라 진동의 흐름이 잘 이루어지지 않는 경우에는 진동인텐시티의 측정이 매우 어려울 것으로 사료된다.

비교적 반사파의 영향이 적은 감쇠단에서는 2점법에 의한 결과와 가속도분포로부터 산출한 계산치가 거의 일치하는 분포를 나타냈다(그림 10). 이에 대하여 4점법의 경우에는 저주파수역에서 약간의 차이를 보이고 있다. 이것은 간편법인 2점법에 의한 측정치와 가속도 분포로부터 구한 계산치가 근접장의 영향을 무시하고 있다는 점과, 4점법의 경우 측정 오차, 즉 위상차와 유한차분근사오차가 포함된 결과인 까닭에 차이가 발생했을 것으로 생각된다. 또한 저주파수의 경우는 파장이 고주파수에 비하여 길기 때문에 근접장의 영향이 미치는 범위가 넓어 비교적 저주파수역에서 차이가 발생했다고 사료된다.

특정주파수에 대하여 측정점의 위치에 따른 진동에너지 흐름의 변화추이를 살펴본 것이 그림 11이다. 이 결과는 1kHz 정현파 가진시, 보를 수평으로 하고 측단에서 가진 하였을 경우 진동에너지 흐름의 상태를 10cm 간격으로 측정된 결과이다. 이론적으로는 일차원 진동장의 경우 재료의 내부감쇠가 없는 것으로 가정된 이론식이기 때문에 어느 측정점이나 같은 값을 나타내야 한다. 본 실험 결과에서 알 수 있는 바와 같이 감쇠단에서의 결과는 측정위치에 따른 진동인텐시티레벨이 거의 동일한 값을 나타내고 있다. 또한 2점법과 4점법에 의한 측정결과가 거의 일치하고 있다. 그러나 가진원 에너지가 보의 길이 방향으로 흘러가지 않는 고정단이나 자유단의 경우에는 측정위치에 따른 변동이 보의 모드진동에 따른 영향을 반영하고 있어 분포의 굴곡이 심한 것을 알 수 있다. 따라

서 입력된 진동에너지가 부재를 따라 진행하며 감소하는 특성을 수반하지 않는 진동장에서의 진동인텐시티 측정 은 용이하지 않음을 알 수 있다.

위의 결과로부터 근접장의 영향이 무시될 수 있는 진동장에서는 진동인텐시티법을 이용하여 진동 가속도 분포를 측정하지 않고서도 진동 에너지의 흐름이 계속 되므로 진동 전파를 파악하는 수단으로서 유효하게 이용될 수 있다고 사료된다. 또한 간편하게 측정할 수 있는 2점법의 경우에도 비교적 안정된 결과를 얻을 수 있는 것으로 파악된다.

#### IV. 결 론

구조체에 있어서 진동 에너지의 전파를 측정하는 하나의 방법으로서 진동인텐시티 측정법에 관한 계측이론과 진동가속도분포와의 관계를 이론적으로 고찰하고 1차원 보를 대상으로 하여 실험적으로 검토하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

근접장의 영향을 무시하는 가정 하에서 진동이 비교적 잘 전파되는 반사가 적은 조건에서는 진동가속도 분포로부터 구한 계산값과 진동인텐시티법에 의한 측정값이 거의 일치하여, 이러한 류의 진동 계측에 진동인텐시티법이 응용될 가능성이 있음을 알 수 있었다. 그러나 반사파의 성분이 많이 존재하는 음장, 특히 근접장에 있어서는 측정신호간의 위상차비가 적어 진동인텐시티를 계측하기 어렵다는 것을 알았다.

향후의 연구과제로서는 진동인텐시티의 진행파와 후퇴파를 분리하여 측정하는 방법에 관하여 고찰할 필요가 있다고 생각된다. 왜냐하면, 여기에서 취급한 측정값은 어느 한 방향을 양의 값으로 설정 하였을 경우 +, - 성분의 합으로 표시된 값이므로 보다 상세한 진동 에너지의 흐름을 파악하기 위하여 진행파와 후퇴파를 분리하여 고찰할 필요가 있을 것이다.

#### 참 고 문 헌

1. D.U. Noiseux, "Measurement of Power Flow in Uniform Beams and Plates", *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol.47-1, 238-247, (1970).
2. G.Pavic, "Measurement of Structure Borne Wave Intensity, Part I", *J. Sound Vib.*, Vol.49-2, 221-230, (1976).
3. J.W.Verheij, "Cross-Spectral Density Methods for Measuring Structure Borne Power Flow on Beams and Pipes", *J. Sound Vib.*, Vol.70-1, 133-139, (1980).
4. Gunnar Rasmussen, Per Rasmussen, "Intensity Measurements on Structures", *Proceedings of CETIM, France*, 355-360, (1990).
5. 金泳完, "一次元梁における固体音エネルギーの搬特性の解析", 東京大學大学院修士學位論文 (1992).

6. J.Y.Chung, "Cross-Spectral Method of Measuring Acoustic Intensity without Error Caused by Instrument Phase Mismatch", *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol.64-6, 1613-1616, (1978).
7. 伊勢史郎, 金泳完, 矢野博夫, 橋秀樹: "配管系におけるアクティブ振動・騒音制御", 日本音響學會講演論文集, 771-772, (1991).
8. Youngwan Kim, Shiro Ise, Hiroo Yano, Hideki Tachibana: "Experimental Study on Active Vibration and Noise Control for Pipe System in Buildings", *Japan-Korea Joint Symp.* 131-134, (1991).

#### ▲박 병 전(Byeong Jeon Park)

전북대학교 건축공학과 교수

제8권 2호 참조

#### ▲김 영 완(Young Wan Kim)

1962년 6월 18일생

1985년 2월: 전북대학교 건축공학과 졸업(공학사)

1987년 2월: 전북대학교 대학원 건축공학과 졸업(공학석사)

1992년 3월: 일본 동경대학 대학원 건축과 수료(공학수사)

1995년 3월: 동 대학원 박사과정 수료

1996년 9월~현재: 전북대학교 건축

공학과 강사

