

< 논 문 >

## 진동원으로부터 지지구조물에 전달되는 진동 파워의 추정방법

Estimation of Vibrational Power Supplied From Vibration Source  
to Supporting Structure

김 재 철\* · 이 종 원\*\*

Jae Chul Kim and Chong Won Lee

(1997년 12월 10일 접수 ; 1998년 1월 23일 심사완료)

**Key Words** : Structure-Borne Sound (고체 전파음), Statistical Energy Analysis (통계적 에너지 해석법), Mechanical Impedance (기계 임피던스), Vibrational Power (진동 파워).

### ABSTRACT

This paper proposes a method for estimating the vibrational power supplied by a machine that generates excitation force to its supporting structure via the coupling points. The basis of the method is that the vibrational power can be calculated using the mechanical impedance and the velocity at the coupling points on the supporting structure. First, a method is described to estimate the mobilities at the coupling points when the machine is not separable from the supporting structure, then the vibrational power is calculated using the estimated mobilities and measured velocities at the coupling points. The mobilities are estimated from the result of impulsive testing of the coupled structure. The method is investigated using an experimental model. The estimated and measured values of the mobilities and the vibrational power are compared. It is shown that the estimated values agree well with the measured values.

### 1. 서 론

엔진, 압축기, 전동기 등과 같이 가지력을 발생하는 기기가 선박, 항공기, 건물 등과 같은 대형 구조물에 설치되면, 구조물내에 고체전파음이 발생하여 기기와 멀리 떨어진 장소에서 소음이 발생한다. 이 고체전파음은 공기전파음에 비해서 전파경로가 복잡하고 다양하여 경로 파악이 어려워 예측 및 대책이 곤란하다.

이러한, 고체전파음을 예측하기 위해서 1962년경

Lyon이 통계적에너지해석법(Statistical Energy Analysis : SEA)<sup>(1)</sup>을 제안하여, 항공, 선박, 건축 분야<sup>(2~4)</sup>에서 많은 성과를 올렸으며, 최근에는 자동차 분야<sup>(5)</sup>에서도 활발히 연구가 진행되고 있다. 그러나 SEA법을 이용해서 구조물내의 고체전파음을 해석할 경우 모드수, 결합손실계수 및 내부손실계수 등과 함께 구조물내에 전달되는 진동파워의 추정이 필요하다. 또한 SEA법에 국한되지 않고 진동원으로부터 구조물내에 전달되는 진동파워는 고체전파음의 예측 및 평가에도 중요한 요소이다. 이러한 진동파워는 진동원과 지지구조물의 결합점에서 발생하는 힘과 속도로부터 직접측정할 수 있으나, 일반적

\* 한국철도기술연구원 차량연구부 차체연구실

\*\* 정희원, 중앙대학교 공과대학 기계공학과

으로 결합점에서 발생하는 힘을 직접 측정하기가 곤란하기 때문에 Petersson<sup>(6)</sup>과 Moorhouse<sup>(7)</sup>는 진동원과 지지구조물에 대한 결합점의 모빌리티와 속도를 이용하여 간접적인 측정방법을 제안하였다. 또한, Pinnington<sup>(8)</sup>은 진동원과 지지구조물 사이에 삽입되어진 방진고무를 간단히 모델화하여 방진고무 상하간의 속도와 방진고무의 동특성치를 이용하여 진동파워를 추정하는 방법을 제안하였다. 그러나 진동원과 지지구조물이 분리되지 않는 경우에는 결합점의 모빌리티와 방진고무의 동특성치를 측정하는 것이 매우 곤란하다. 이외에도 구조물내의 진동파워의 전파과정을 파악하는 수법인 진동인텐시티(Vibration Intensity)<sup>(9)</sup>를 이용하여 진동파워를 측정할 수 있으나, 진동인텐시티의 계측방법과 검출기의 문제로 아직 복잡한 형상의 구조물에 대한 적용이 곤란하다.

일반적으로 대부분의 산업 현장에서는 진동원과 지지구조물이 결합되면 분리할 수 없는 경우가 많기 때문에, 진동원과 지지구조물을 분리하지 않고도 지지구조물내에 전달되는 진동파워를 추정할 수 있는 방법이 요구되어지고 있다.

이러한 배경으로 본 연구에서는 진동원과 지지구조물을 분리하지 않고 결합되어 있는 상태에서 진동원으로부터 지지구조물에 전달되는 진동파워를 추정방법을 제안한다. 우선, 진동원과 지지구조물이 결합되어 있는 상태에서 가진 실험으로부터 측정되는 진동 응답을 이용해서 지지구조물상의 결합점의 기계임피던스를 추정하는 방법을 제안하고, 추정한 기계임피던스와 결합점의 속도의 측정치를 이용해서 진동원으로부터 지지구조물에 전달되어지는 진동파워를 추정한다.

## 2. 진동파워의 추정이론

### 2.1 진동파워의 계산식

Fig. 1과 같이 진동원이 구조물에 지지되어져 있는 경우, 진동원의 가진력에 의해서 지지구조물상의 결합점에 힘  $F(t)$ 과 속도  $V(t)$ 가 발생하여, 각 결합점을 통해서 진동파워가 전달되며, 이 진동파워는 다음과 같은 식으로 부터 얻어질 수 있다.

$$Q(t) = \langle F(t)V(t) \rangle_t = P(t) + jR(t) \quad (1)$$

여기서,  $\langle \rangle_t$ 는 시간평균,  $P(t)$ 는 active power 이고,  $R(t)$ 는 reactive power이다.

실제 진동원으로부터 구조물에 전달되는 진동파워는 active power  $P(t)$ 이다.

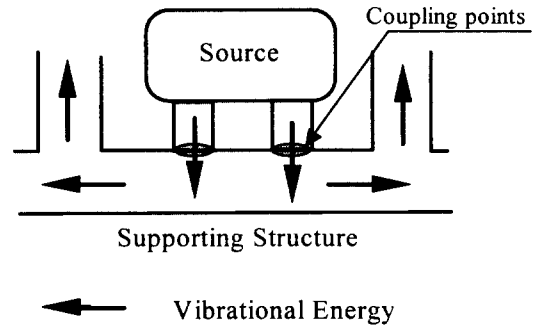


Fig. 1 Vibrational power transmitted from vibration source to supporting structure

진동원과 지지구조물 사이의 결합점에 작용하는 힘이 정현파인 경우, 식 (1)의 active power는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$P(\omega) = \frac{1}{2} \text{Re} \{ F(\omega) V(\omega)^* \} \quad (2)$$

여기서,  $V^*$ 는  $V$ 의 공액 복소수이며,  $\text{Re}$ 는 실수부를 나타낸다.

진동원과 지지구조물이 한점으로 결합되어져 있는 경우, 지지구조물의 결합점의 기계 임피던스  $Z(\omega)$ 를 이용해서 식 (2)를 표현하면 식 (3)과 같이 된다.

$$P(\omega) = \frac{1}{2} |V(\omega)|^2 \text{Re} \{ Z(\omega) \} \quad (3)$$

또한, 진동원과 지지구조물이 다점으로 결합되어져 있는 경우에는 결합점에 작용하는 힘과 속도가 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$\begin{bmatrix} F_1(\omega) \\ \vdots \\ F_n(\omega) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11}(\omega) & \cdots & Z_{1n}(\omega) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{n1}(\omega) & \cdots & Z_{nn}(\omega) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1(\omega) \\ \vdots \\ V_n(\omega) \end{bmatrix} \quad (4)$$

여기서,  $Z_{ij}(\omega)$ 는  $i=j$ 일 경우 구동점 임피던스 이고,  $i \neq j$ 일 경우에는 전달 임피던스이다.

식 (4)를 식 (2)에 대입하면, 식 (5)와 같이 각 결합점을 통해서 전달되는 진동파워를 구할 수 있다.

$$P(\omega)_i = \frac{1}{2} \text{Re} \left[ V_i^*(\omega) \sum_{j=1}^n Z_{ij}(\omega) V_j(\omega) \right]_{(i=1 \dots n)} \quad (5)$$

또한, 진동원으로부터 지지구조물에 전달되는 총진동파워, 즉 각 결합점을 통해서 전달되는 진동파워의 합은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$P(\omega)_{total} = \frac{1}{2} \text{Re} \sum_{i=1}^n \left[ V_i^*(\omega) \sum_{j=1}^n Z_{ij}(\omega) V_j(\omega) \right] \quad (6)$$

진동원의 가진력에 의해서 지지구조물의 결합점에 발생하는 힘과 속도는 일반적으로 랜덤진동으로 다음과 같이 힘과 속도의 스펙트럼을 이용해서 나타낼 수 있다.

$$P(\omega) = \text{Re}(G_{fv}) \quad (7)$$

여기서,  $G_{fv}$  는 힘과 속도의 크로스 스펙트럼이다 또한, 식 (5)와 식 (6)을 상식과 같이 나타내면, 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$P_i(\omega) = \text{Re} \sum_{j=1}^n (Z_{ij} G_{vjv}) \quad i=1 \sim n \quad (8)$$

$$P_{total} = \text{Re} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (Z_{ij} G_{vjv}) \quad (9)$$

### 2.2 진동파워의 추정방법

결합점에 작용하는 힘을 직접측정하는 것은 일반적으로 곤란하지만, 결합점의 속도는 측정가능한 경우가 많다. 이점을 착안해서 지지구조물의 결합점의 기계임피던스를 알고 있으면 식 (5)를 이용해서 결합점의 속도와 기계임피던스로부터 결합점을 통해서 전달되는 진동파워를 구할 수가 있으므로 지지구조물상의 결합점의 기계임피던스  $Z(\omega)_{ij}$  가 필요하다. 그러나, 상기의 방법으로 진동파워를 구할 경우, 지지구조물상의 결합점의 기계임피던스  $Z(\omega)_{ij}$  는 진동원과 지지구조물이 분리되면 지지구조물상의 결합점에 가진력을 주어 응답을 측정함으로써 구할 수 있으나, 분리되지 않는 경우에는 지지구조물상의 결합점의 기계임피던스를 추정해야만 한다.

이하에서 진동원과 지지구조물이 결합된 상태에서 측정할 수 있는 진동응답을 이용하여, 지지구조물상의 결합점에 관한 기계임피던스를 추정하는 식을 설명하기로 하자.

#### (1) 힘과 속도의 관계식

Fig. 2와 같이 진동원과 지지구조물사이에 스프링과 감쇠기로 간단히 모델화되어진 방진고무가 삽입되어 결합되어있는 모델에 대해서 결합점은 진동원과 지지구조물상의 양쪽에 존재하므로, 결합점에 대해서 진동원과 지지구조물에 대해서 결합점 이외의 점을 설정하면, 4종류의 점들로 구분할 수 있다. 이 점은 Fig. 2와 같이, 첨자  $a$ 와  $b$ 는 진동원상의 결합점 이외의 점과 결합점을 나타내고,  $c$ 와  $d$ 는 지지구조물상의 결합점과 결합점 이외의 점을 나타낸다. 다시 말해서, 방진고무의 상부가  $b$ , 하부가  $c$ 이

다. 이하에서 힘과 관계식을 유도하기 위해서 결합구조물상의 4종류의 점  $a \sim d$ 에 대해서 가진실험을 할 수 있다고 가정하고, 관계식을 구하자. 더우기, 관계식에서 사용하는 기호는 결합구조물의 모빌리티를  $T$ , 진동원의 모빌리티를  $G$ , 지지구조물의 모빌리티를  $H$ , 가진력을  $F$ , 방진고무에 발생하는 힘을  $f$ , 각 점의 속도를  $V$ 로 한다. 또 첨자  $a, b, c, d$ 는 상기의 정의에 따라서, 첨자가 2개 있는 경우에는 앞쪽이 응답점, 뒷쪽이 가진점의 위치를 나타낸다. 여기서,  $G$ 와  $H$ 는 진동원과 지지구조물의 결합에 관계가 없이, 진동원과 지지구조물에 대한 고유 특성치이다.

이상과 같이 기호를 정한 후에 각 점  $a \sim d$ 에 가진력이 작용했을 경우에 대해서 힘과 속도에 대한 관계식을 유도하면 다음과 같다

(가) 진동원의 결합점 이외의 점을 가진하는 경우

Fig. 2와 같이 진동원상의 결합점 이외의 점을 가진할 경우, 가진력과 응답점의 속도에 대한 관계식을 구하면 다음과 같다.

(i) 결합구조물에 관한 관계식

$$\begin{aligned} V_{aiaj} &= T_{aiaj} F_{aj} \quad (i=1 \dots m, j=1 \dots m) \\ V_{biaj} &= T_{biaj} F_{aj} \quad (i=1 \dots n, j=1 \dots m) \\ V_{ciaj} &= T_{ciaj} F_{aj} \quad (i=1 \dots n, j=1 \dots m) \\ V_{diaj} &= T_{diaj} F_{aj} \quad (i=1 \dots k, j=1 \dots m) \end{aligned}$$

상식을 행렬로 표시하면, 다음과 같다.

$$V_{aa} = T_{aa} F_a \quad (10)$$

$$V_{ba} = T_{ba} F_a \quad (11)$$

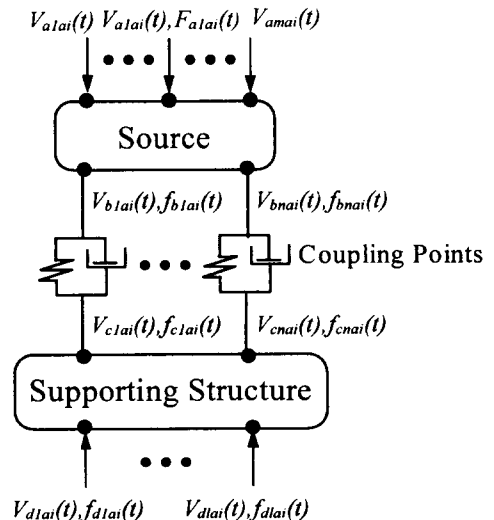


Fig. 2 Model of vibration source and supporting structure

$$V_{ca} = T_{ca} F_a \quad (12)$$

$$V_{da} = T_{da} F_a \quad (13)$$

(ii) 진동원에 관한 관계식

$$V_{aiaj} = G_{aiaj} F_{aj} + \sum_{l=1}^n G_{abli} f_{blaj} \quad (i=1 \dots m, j=1 \dots m)$$

$$V_{biaj} = G_{biaj} F_{aj} + \sum_{l=1}^n G_{bbli} f_{blaj} \quad (i=1 \dots n, j=1 \dots m)$$

상식을 행렬로 표시하면, 다음과 같다.

$$V_{aa} = G_{aa} F_a + G_{ab} f_{ba} \quad (14)$$

$$V_{ba} = G_{ba} F_a + G_{bb} f_{ba} \quad (15)$$

(iii) 지지구조물에 관한 관계식

$$V_{ciaj} = \sum_{l=1}^n H_{cicl} f_{claj} \quad (i=1 \dots n, j=1 \dots m)$$

$$V_{diaj} = \sum_{l=1}^n H_{dicl} f_{claj} \quad (i=1 \dots k, j=1 \dots m)$$

상식을 행렬로 표시하면, 다음과 같다.

$$V_{ca} = H_{cc} f_{ca} \quad (16)$$

$$V_{da} = H_{dc} f_{ca} \quad (17)$$

(나) 상기의 점 이외의 점을 가진할 경우

진동원의 결합점을 가진할 경우, 지지구조물의 결합점을 가진할 경우, 지지구조물의 결합점 이외의 점을 가진할 경우에 대해서도 동일한 방법으로 관계식을 세울 수 있다.

**(2) 지지구조물의 결합점에 관한 모빌리티의 추정식**

본 연구에서는 진동원과 지지구조물이 선형계로서 Maxwell-Battie의 상반정리가 성립된다고 가정하고, 2.2.(1)항에서 유도한 관계식을 이용해서, 지지구조물상의 결합점의 모빌리티의 추정식을 구하면 다음과 같다.

$$H_{cc} = (T_{ca} T_{da}^{-1}) \left( T_{cd}^T - T_{bd}^T (T_{ba}^T)^{-1} T_{ca}^T \right) \times \left\{ I - (T_{ba}^T)^{-1} T_{ca}^T \right\}^{-1} \quad (18)$$

식 (18)로부터 결합구조물상의 점 a, d을 가진하였을 경우 측정할 수 있는 결합구조물의 모빌리티  $T_{ba}$ ,  $T_{ca}$ ,  $T_{da}$ ,  $T_{bd}$ ,  $T_{cd}$ 로부터 지지구조물만의 모빌리티  $H_{cc}$ 를 추정할 수 있으며, 역행렬  $H_{cc}^{-1}$ 를 구하면 식 (5)의 기계임피던스  $Z(\omega)_{ij}$ 를 구할 수 있다.

**3. 실험**

본 장에서는 2장에서 제안한 기계임피던스와 진동파워의 추정방법의 타당성을 실험적으로 검토하기 위한 실험장치 및 실험방법에 대해서 설명한다.

**3.1 실험장치**

Fig. 3은 가진기와 두개의 강판을 이용하여 제작

한 실험장치로서 종×횡×두께가 500×400×5 mm인 상부의 강판에 가진기를 탑재한 것을 진동원으로 하고, 종×횡×두께가 700×600×5 mm인 하부의 강판과 방진고무, 기초지지부 및 마루 전체를 지지구조물로 설정했다. 그리고, 가진기의 진동판에 직경 120 mm, 두께 20 mm의 강철 원판을 부착하여 원판의 관성반력을 이용해서 진동원의 가진력을 얻었다. 또한, 모빌리티를 측정하기 위해서 자석 스탠드에 소형 가진기를 부착하여 임펄스 신호를 보내어 가진실험을 하였다.

Fig. 4는 상하 강판의 결합부분의 상세도이며, 상하부의 강판 사이에 설치된 원통형 방진고무가 Fig. 1의 이론모델의 방진고무에 해당하는 부분이며, 방진고무의 상단이 이론모델의 결합점 b에 해당하고

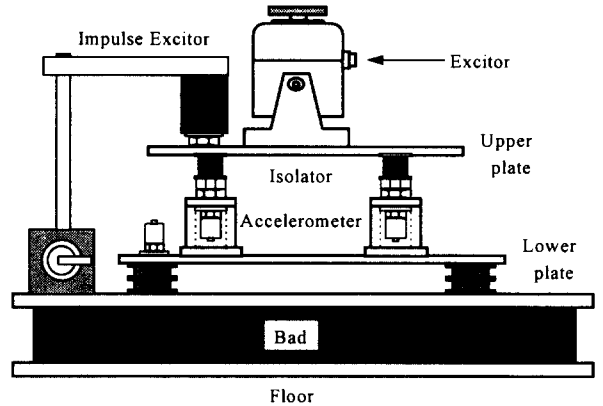


Fig. 3 Schematic diagram of machine isolator-supporting structure configuration

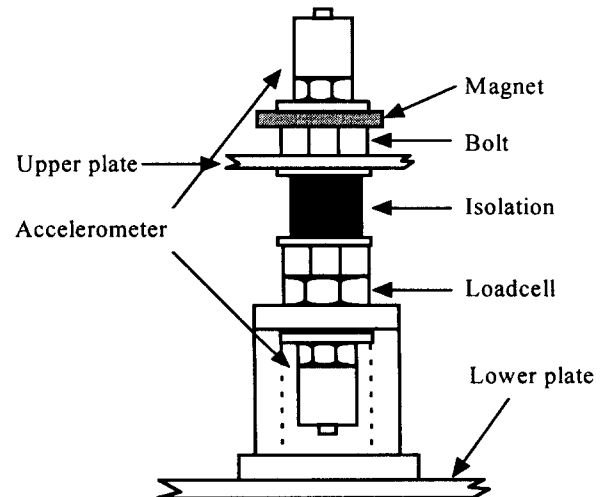


Fig. 4 Experimental layout at the coupling point

하단이 결합점 **c**에 해당한다. 결합점에 작용하는 힘과 결합점 **c**의 속도를 측정하기 위해서 원통형 지그를 제작하여 상단과 내부에 Loadcell과 가속도계를 설치하였으며, 결합점 **b**의 속도를 측정하기 위해서 상부의 강판과 방진고무를 연결하는 보울트에 가속도계를 설치하였다.

Fig. 5는 진동원과 지지구조물의 결합점 이외의 점 **a**, **d**의 위치를 나타낸 것으로서, 상하강판에 실험이 용이한 임의의 4개의 점을 선정하였다.

### 3.2 지지구조물의 모빌리티의 측정

진동원에 해당하는 가진기, 상부의 강판 및 방진고무를 제거한 상태에서 점 **c**에 해당하는 원통형 지그상단을 임펄스가진하고, 원통형 지그내부에 설치되어있는 가속도계로 응답을 측정하여 지지구조물의 결합점의 모빌리티  $H_{cc}$ 을 측정하였다.

### 3.3 결합구조물의 모빌리티의 측정

가진기, 상부의 강판 및 방진고무를 설치한 후, Fig. 5의 결합점 이외의 점 **a**, **d**에 해당하는 상하강판상의 4개의 점에 임펄스가진을 하여 결합점의 모빌리티  $T_{ba}, T_{ca}, T_{da}, T_{bd}, T_{cd}$ 를 측정하였다. 진동원과 지지구조물의 결합점 이외의 점 **a**, **d**의 응답은 가속도계를 자석으로 각 점에 부착해서 측정하였고, 진동원의 결합점의 응답은 Fig. 4에서 설명한 상부의 가속도계로 측정했다.

### 3.4 진동파워의 측정

Fig. 3과 같이 진동원과 지지구조물이 결합된 상태에서 가진기에 랜덤신호를 보내어 가진기의 진동판에 부착된 원판으로부터 가진력을 얻어서 지지구조물에 진동파워가 전달되도록 하였다.

결합점을 통해서 전달되는 진동파워를 측정하기

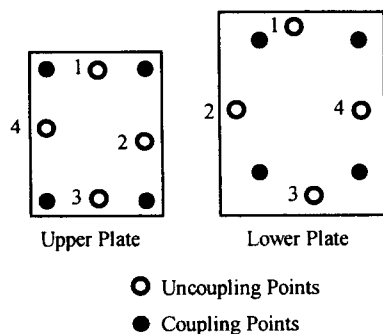


Fig. 5 Uncoupling points on machine and supporting structure

위해서 원통형 지그에 설치된 loadcell과 가속도계로부터 신호를 검출하여, 힘과 속도의 스펙트럼을 측정된 후 식 (7)에 대입하여 진동파워를 측정하였다.

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 결합구조물의 상반성의 확인

결합구조물의 선형성을 확인하기 위해서 Maxwell-Battie의 상반정리를 이용하여 진동원과 지지구조물이 결합된 상태에서 임펄스가진 실험으로 측정된 모빌리티  $T_{ad}, T_{da}$ 를 비교하였다. Fig. 6이 측정된 결과로써 실선이 지지구조물의 결합점 이외의 점 **d**를 임펄스가진하고, 진동원의 결합점 이외의 점 **a**의 속도를 측정해서 구한 모빌리티이며, 점선이 가진점과 응답점을 바꾸어서 측정된 모빌리티이다.

Fig. 6의 결과로부터 두개의 실험치가 약간의 차이는 있지만 거의 일치하고 있어, 결합구조물의 선형성을 확인할 수 있다.

### 4.2 지지구조물의 결합점에 관한 모빌리티의 측정치와 추정치

본 실험에서 사용한 장치는 진동원과 지지구조물이 4개의 점으로 결합되어있어 실험에 의한 측정과 추정으로부터 16개의 결합점의 모빌리티를 구할 수 있다. Fig. 7은 그 가운데에서 1개의 결합점에 관한 결과를 기준치 1 m/Ns인 데시벨(dB)로 표시했다. 실선은 3.2절에서 설명한 측정치이며, 점선은 3.3절의 방법으로 측정된 모빌리티를 식 (18)에 대입해서 계산한 추정치이다. 추정치와 측정치가 전반적으로 잘 일치하고 있지만, 부분적으로 약간 일치

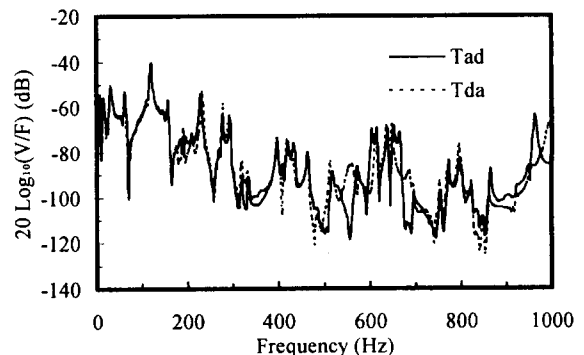


Fig. 6 Reciprocity of measured mobilities for coupled structure

하지 않고 있다. 이 오차는  $T_{ba}$ ,  $T_{ca}$ ,  $T_{da}$ ,  $T_{bd}$ ,  $T_{cd}$ 의 측정 오차가 원인으로 생각되어진다.

다음은 결합구조물의 모빌리티의 측정오차에 대한 검토에 대해서 설명한다. Fig. 7의 추정치는 결합구조물의 5개의 모빌리티  $T_{ba}$ ,  $T_{ca}$ ,  $T_{da}$ ,  $T_{bd}$ ,  $T_{cd}$ 을 이용해서 계산한 결과이다.

여기서, 2.3.(1)항의 힘과 속도의 관계식으로부터, 식 (16)과 식 (17)에 식 (12)와 식 (13)을 대입해서,  $f_{ca}$ 을 소거하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$H_{cc} = T_{ca} T_{da}^{-1} H_{dc} \quad (19)$$

그리고, 식 (18)과 식 (19)를 비교하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$H_{dc} = \left\{ T_{cd}^T - T_{bd}^T (T_{ba}^T)^{-1} T_{ca}^T \right\}^{-1} \left\{ I - (T_{ba}^T)^{-1} T_{ca}^T \right\}^T \quad (20)$$

식 (20)으로부터 결합구조물의 모빌리티  $T_{ba}$ ,  $T_{ca}$ ,

$T_{bd}$ ,  $T_{cd}$ 를 이용해서, 지지구조물만의 모빌리티  $H_{dc}$ 를 구할 수 있다. 다시 말해서, 식 (18)의 우변 5개의 모빌리티 가운데  $T_{da}$ 만이 식 (20)에 포함되지 않는다. Fig. 8은 결합점에 대한 한개의  $H_{dc}$ 의 측정치와 추정치를 나타낸 결과이다. 추정치는 진동원에 해당하는 가진기, 상부의 강판 및 방진 고무를 제거한 상태에서, 결합점에 해당하는 원통형 지그의 상단을 임펄스 가진하고 결합점 이외의 점d의 응답을 측정된 결과이며, 추정치는 결합구조물의 모빌리티  $T_{ba}$ ,  $T_{ca}$ ,  $T_{bd}$ ,  $T_{cd}$ 를 식 (20)에 대입해서 계산한  $H_{dc}$ 의 추정치이다. Fig. 8의 결과로부터 측정치와 추정치가 잘 일치하고있으며, 결국 Fig. 8과 Fig. 7를 비교하면 결합구조물의 모빌리티  $T_{ba}$ ,  $T_{ca}$ ,  $T_{bd}$ ,  $T_{cd}$ 의 측정오차는 추정결과에 크게 영향을 미치지않으며, 측정치와 추정치에 대한 오차의

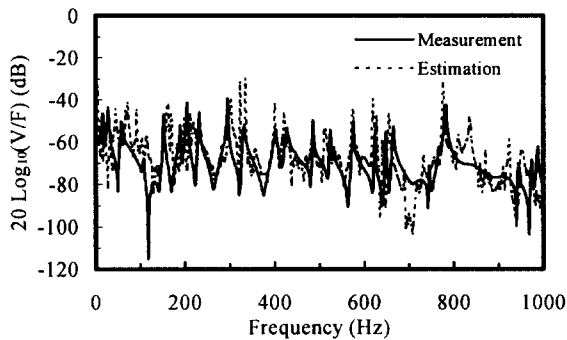


Fig. 7 Comparison of measured and estimated mobilities at the coupling point on supporting structure

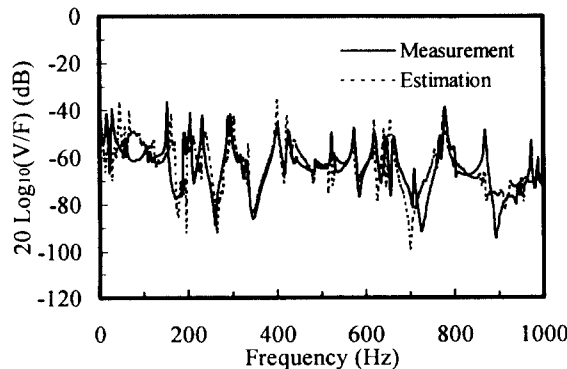


Fig. 8 Comparison between measured and estimated mobilities ( $H_{dc}$ ) for supporting structure

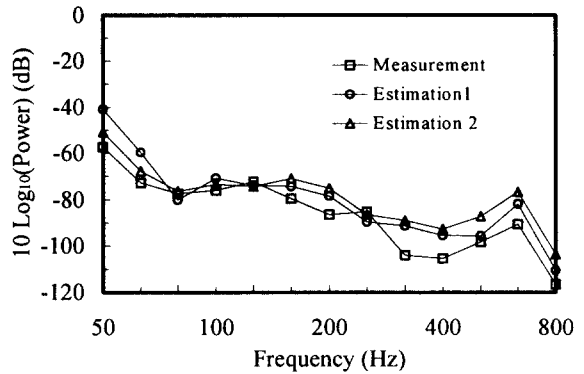


Fig. 9 Comparison between measured and estimated vibrational power

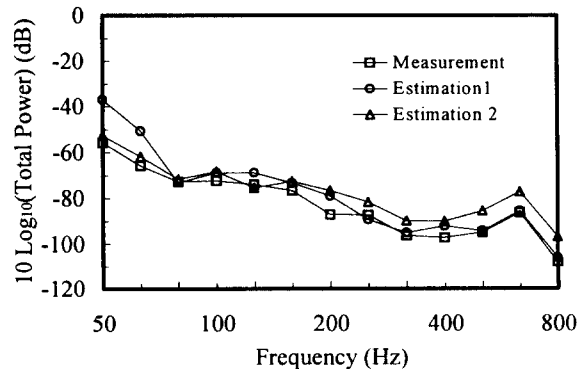


Fig. 10 Comparison between measured and estimated total vibrational power

주된 원인은 결합구조물의 모빌리티  $T_{da}$ 의 측정오차로서 추정결과에 크게 기여하는 것을 알 수 있다.

### 4.3 진동파위의 측정치와 추정치

본 실험에서 진동파위는 결합점의 힘과 속도를 이용한 직접적인 방법과 결합점의 기계임피던스와 속도를 이용한 간접적인 방법으로 측정할 수 있다.

여기서는 2개의 측정치와 1개의 추정치를 비교하기 위해서 3.5절의 방법으로 측정한 결과를 진동파위의 측정치라 하고, 3.2절의 방법으로 측정한 기계임피던스의 측정치(Fig. 7의 실선)와 속도의 측정치를 식 (8)에 대입해서 구한 결과를 진동파위의 추정치1라 한다. 또 3.3절의 방법에 의해서 측정한 모빌리티를 식 (18)에 대입해서 계산한 기계임피던스의 추정치(Fig. 7의 점선)와 속도의 측정치를 식 (8)에 대입해서 구한 결과를 진동파위의 추정치2라 한다. 이하에서 그림의 데시벨(dB) 표시는 기준치 1 W이다.

Fig. 9는 한개의 결합점을 통해서 전달되는 진동파위의 측정치와 추정치1, 2를 나타낸 결과이다. Fig. 10은 각결합점을 통해서 전달되는 진동파위의 합, 즉 총진동파위의 측정치와 추정치1, 2를 나타낸 결과이다.

Fig. 9와 Fig. 10으로부터 진동파위의 측정치와 추정치가 전체적으로 잘 일치하고 있으므로, 진동원으로부터 지지구조물에 전달되는 진동파위가 추정되었다고 할 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구의 결과를 정리하면, 다음과 같다.

- (1) 가진력을 발생하는 진동원이 지지구조물과 결합된 상태에서, 진동원과 지지구조물을 분리하지 않고도 가진실험을 통해서 측정한 결합구조물의 모빌리티를 이용하여 지지구조물의 결합점의 기계임피던스를 추정할 수 있는 방법을 제안 하였으며, 실험적으로 타당성을 검증하였다.
- (2) 지지구조물의 결합점에 대한 기계임피던스의 추정치와 속도의 측정치를 이용하여, 결합점을 통해서 진동원으로부터 지지구조물에 전달되는 진동파위를 추정하는 방법의 타당성을 검증하였다.

## 참 고 문 헌

- (1) Lyon. R. H., 1975, "Statistical Energy Analysis of Dynamical Systems Theory and Application," MIT Press, pp. 373.
- (2) Kihlman. Y., and Plant. J., 1976, "Prediction of Noise Levels in Ships," Proc. Int. Symp. Shipboard Acoustics, pp. 297~317.
- (3) 入江 良彦, 1992, "SEA법에 의한 고체전파음 해석," 일본음향학회지, 제 8 권, 제 6 호, pp. 433~444.
- (4) Craik. R. J. M., 1982, "The Prediction of Sound Transmission through Buildings using Statistical Energy Analysis," J. Sound. Vib, 82(4), pp. 505~516.
- (5) Steel. J. A., and Fraser. G., 1996, "Sound Transmission through Motor Vehicle Structure using Statistical Energy Analysis", 96 Inter-Noise, pp. 1415~1418.
- (6) Petersson. B, and Mondot. J. M., 1981, "Characterization of Structure-Borne Sound Sources: The Source Descriptor and the Coupling Function", J. Sound. Vib, 114(3), pp. 179~197.
- (7) A. T. Moorhouse, and B. M. Gibbs., 1993, "Prediction of the Structure-Borne Noise Emission of Machines : Development of a Methodology", J. Sound. Vib, 167(2), pp. 223~237.
- (8) Pinnington. R. J, and White. R. G., 1981, "Power Flow through Machine Isolators to Resonant and Non-resonant Beams", J. Sound. Vib, 75(2), pp. 179~197.
- Pavic. G., 1976, "Measurement of Structure-Borne Wave Intensity Part 1 : Formulation of the methods", J. Sound. Vib, 49(2), pp. 221~233.