

〈논 문〉

마운트의 음향강성 측정을 위한 시험장치 개발

A Development of the Test Apparatus for Measuring the Acoustic Stiffness of Resilient Mounts

배수룡* · 정우진* · 함일배* · 김두기* · 이헌곤*

Soo-Ryong Bae, Woo-Jin Jung, Il-Bae Ham, Du-Ki Kim and Hun-Gon Lee

(1998년 10월 12일 접수 : 1998년 12월 31일 심사완료)

Key Words : Resilient Mount(탄성 마운트), Transfer Function(전달함수), Acoustic Stiffness(음향강성), Test Apparatus(시험장치)

ABSTRACT

Resilient mounting is effective measures to reduce the structure-borne noise and radiated noise for many applications. The acoustic stiffness (frequency-dependent stiffness) of resilient mounts is an important parameter required in order to model vibration isolation with high accuracy. It is general to use measurement method for obtaining acoustic stiffness of complex resilient mounts under static preload. In this paper, the principles of measuring acoustic stiffness were described and the developed test apparatus was introduced. Also, the feasibility of the test apparatus is illustrated by measurement results of a resilient mount.

1. 서 론

합정에 탑재된 각종 기계류로부터 발생하는 진동과 소음은 선체를 통하여 수중방사소음으로 전파된다. 이때 기계류에 마운트를 설치하는 것은 매우 효과적인 소음감소 대책으로 알려져 있다. 마운트가 설치된 기계류의 진동해석이나 구조소음 전달을 해석하기 위해서는 마운트의 강성계수가 입력으로 사용되어야 한다. 마운트의 강성계수(stiffness)는 주파수 대역에 따라 정적 강성계수(static stiffness, 1~2 Hz), 동적 강성계수(dynamic stiffness, 2~20 또는 50 Hz), 음향 강성계수(acoustic stiffness, 20 Hz~20 kHz)로 나눌 수 있다⁽¹⁾. 대부분의 경우 하

중-변위의 비선형 곡선으로부터 구하는 정적 강성계수나 작용점 근처에서 히스테리시스 루프에 의한 동적 강성계수를 입력으로 하여 마운팅 시스템의 진동 해석이나 진동에너지 전달해석을 수행하고 있으나 마운트의 실제 강성계수는 작용하중, 온도, 가진 스펙트럼에 따라 달라진다.

합정에 사용되는 탄성 마운트는 보통 작게는 십 kg 단위에서 톤 단위의 정하중을 받고 있으므로 음향 강성계수를 구할 때 반드시 정하중의 영향을 고려하여야 한다. 네덜란드의 TNO와 프랑스의 DCN 등에서는 탄성 마운트에 작용하는 정하중을 고려하여 실험적으로 음향 강성계수를 구하는 시험장치를 80년대 중반부터 운용하고 있으며^(2,3), 시험장치로부터 구해진 음향 강성계수는 마운팅 시스템에서 필연적으로 나타나는 저주파수 대역에서 공진현상의 회피설계나 엔진 진동의 구조소음 전달해석에 이용

* 정회원, 국방과학연구원

하고 있다. 그러나, 국내의 경우 실험실에서 몇 kg의 작용하중에 대한 탄성계수나 손실계수의 측정 가능하지만 탄성마운트에 수 톤의 정하중을 가한 상태에서 음향 강성계수를 실험적으로 구하는 시험장치가 없는 실정이다.

본 논문에서는 마운트의 음향 강성계수를 측정하는 시험장치의 설계를 위한 이론적인 내용, 개발된 시험장치에 대한 소개와 시험장치의 개발과정에서 수행한 시험장치의 모드해석 결과를 수록하였다. 그리고 개발된 시험장치^(4,5)를 이용하여 측정된 시험용 마운트의 전달함수와 음향 강성계수의 결과로부터 시험장치 개발의 필요성을 검증하였다.

2. 탄성 마운트를 통한 구조소음 전달

2.1 구조소음 전달의 이론적인 모델 및 마운트의 임피던스

기계류로부터 마운트, 함정 구조물(ship structure)을 통하여 관측점까지의 구조소음 전달 모델링은 Fig. 1과 같이 나타낼 수 있으며, 만약 기계가 n개의 동일한 마운트로 지지될 경우 관측점에서의 응답 r은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$r = \sum_{k=1}^n \left\{ \sum_{j=1}^6 \left[H_{jk} \sum_{i=1}^6 (Z_i)_{ji} (V_m)_{ik} \right] \right\} \quad (1)$$

여기서, H_{jk} 는 마운트에서 관측점까지의 전달함수이며, 하첨자들은 6 자유도 방향을 나타낸다. 또한, V_m 은 기계에 의하여 발생하는 마운트 상단의 속도, Z_i 는 마운트의 차단 전달임피던스(blocked transfer

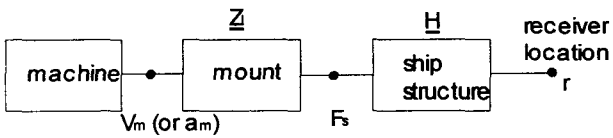


Fig. 1 Block diagram for resilient mounting system

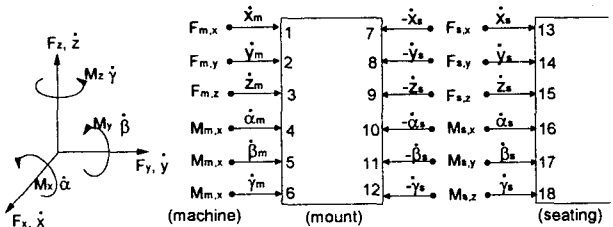


Fig. 2 Cartesian coordinate system and mechanical 12-port representing the resilient mount

impedance)를 나타낸다. 그리고 부호들의 밑줄은 복소(complex)임을 의미한다. 차단(blocked)이라 함은 무한한 임피던스로 인하여 $(V_m)_{ik}$ 이외의 속도가 0이 됨을 의미한다.

Fig. 2에서 마운트의 양단에서 6 자유도로 모델링되는 일반적인 경우에 대하여 마운트의 특성은 선형적인 12 개의 항으로 나타낼 수 있다. 병진방향 속도는 $\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}$, 회전방향 속도는 $\dot{\alpha}, \dot{\beta}, \dot{\gamma}$, 병진방향 힘은 F_x, F_y, F_z , 회전방향 모멘트는 M_x, M_y, M_z , 하첨자 m, s는 기계와 시팅(seating)을 나타낸다. 단일 마운트의 양단에서 작용하는 힘은 임피던스와 속도로 나타낼 수 있다.

$$\{F\} = [Z]\{V\} \quad (2)$$

여기서

$$\{F\} = \{F_{m,x}, F_{m,y}, F_{m,z}, M_{m,x}, M_{m,y}, M_{m,z}, F_{s,x}, F_{s,y}, F_{s,z}, M_{s,x}, M_{s,y}, M_{s,z}\}^T$$

$$\{V\} = \{\dot{x}_m, \dot{y}_m, \dot{z}_m, \dot{\alpha}_m, \dot{\beta}_m, \dot{\gamma}_m, \dot{x}_s, \dot{y}_s, \dot{z}_s, \dot{\alpha}_s, \dot{\beta}_s, \dot{\gamma}_s\}^T$$

$$[Z] = \begin{bmatrix} Z_{1,1} & \dots & Z_{1,6} & Z_{1,7} & \dots & Z_{1,12} \\ \vdots & A & \vdots & B & \vdots & \vdots \\ Z_{6,1} & \dots & Z_{6,6} & Z_{6,7} & \dots & Z_{6,12} \\ Z_{7,1} & \dots & Z_{7,6} & Z_{7,7} & \dots & Z_{7,12} \\ \vdots & C & \vdots & D & \vdots & \vdots \\ Z_{12,1} & \dots & Z_{12,6} & Z_{12,7} & \dots & Z_{12,12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}$$

위의 식에서 상첨자 T는 전치행렬을 의미한다. 행렬 Z는 가역성에 의하여 대칭행렬이며 각 요소는 $Z_{i,j} = F_i / v_j$ 로 정의된다. 부행렬 A와 D는 구동점 임피던스 행렬이며, B와 C는 차단 전달임피던스 행렬이다. 시팅에서의 힘과 모멘트는 기계의 운동속도와 행렬 C에 의하여 결정된다^(1,2).

$$\{F_s\} = [C]\{V_m\} \quad (3)$$

여기서, $\{F_s\} = [F_{s,x}, F_{s,y}, F_{s,z}, M_{s,x}, M_{s,y}, M_{s,z}]^T$

$$\{V_m\} = [\dot{x}_m, \dot{y}_m, \dot{z}_m, \dot{\alpha}_m, \dot{\beta}_m, \dot{\gamma}_m]^T$$

3. 마운트의 특성

3.1 마운트의 전달함수와 강성계수의 관계

마운트의 차단 전달임피던스는 다음과 같이 정의

된다.

$$Z_{ij} = \frac{F_{s,i}}{v_{m,j}} \quad | \quad \text{all other } v_{m,k} = 0, \quad k \neq j \quad (4)$$

마운트의 시험을 할 때, 만약 $|Z_{ij} \cdot v_{m,j}|$ 가 다른 항을 합한 값 보다 매우 크면 속도가 0이라는 조건을 충분히 만족한다. 마운트의 차단 전달함수 (blocked transfer function)는 가속도 향으로 다음과 같이 정의한다.

$$T_{ij} = \frac{F_{s,i}}{a_{m,j}} \quad | \quad \text{all other } a_{m,k} = 0, \quad k \neq j \quad (5)$$

△ (4)의 $F_{s,i}$ 를 식 (5)에 대입하면 마운트의 차단 전달함수는 다음과 같이 된다.

$$T_{ij} = \frac{Z_{ij}}{j\omega} \quad (6)$$

매우 작은 마운트의 경우 임피던스와 강성은 다음과 같은 관계를 가진다.

$$Z = \frac{k}{j\omega} = \frac{k(1+j\eta)}{j\omega} \quad (7)$$

식 (6), (7)로부터 마운트의 차단 전달함수는 강성계수의 함수로 다음과 같이 구해진다.

$$T_{ij} = -\frac{k_{ij}(1+j\eta)}{\omega^2} \quad (8)$$

여기서 $j = \sqrt{-1}$, ω 는 각 주파수(rad/s), k 는 마운트의 복소 음향 강성계수를 나타내며 η 는 마운트의 손실계수(loss factor)이다. 식 (8)로부터 차단 전달함수를 측정하면 마운트의 음향 강성계수를 구할 수 있음을 알 수 있다.

3.2 차단 전달함수의 측정 원리

Fig. 3에서 시험용 마운트는 두 개의 블록 사이에 설치되며 관심주파수 대역에서 강체로서 진동한다. 블록 상하에 위치한 매우 유연한 보조 마운트는 블록을 지지하며 정하중을 작용시키기 위하여 사용된다. 가진블록(excitation block)은

- 엔진을 지지하는 마운트의 경우 지지 마운트의 상부 플랜지가 엔진 등의 몸체에 견고하게 부착되듯이 시험 마운트의 상부 플랜지가 부착될 수 있는 역할을 하게 된다. 따라서 플랜지가 강체 운동을 할 수 있도록 충분한 강성을 유지해야 한다.
- 가진블록과 시험 마운트가 견고한 지지대 위에 설치된 시스템으로 모델링 될 경우 이 시스템의 6

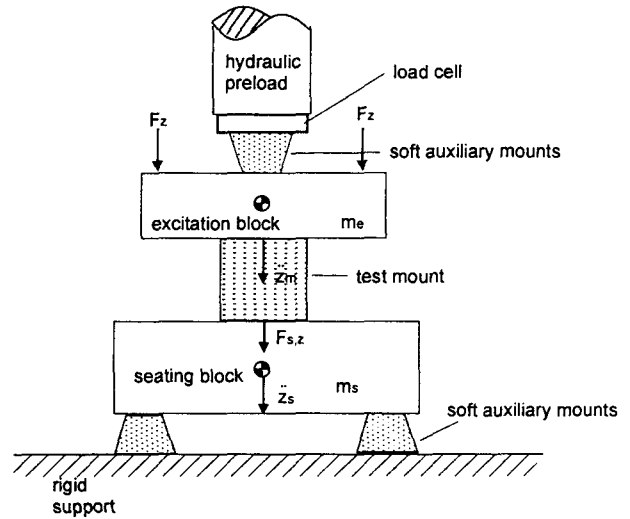


Fig. 3 Concept for measuring structure-borne transfer properties of mounts

개의 고유 진동수가 측정 주파수 범위보다 훨씬 낮게 나타나도록 가진블록의 질량과 회전 관성 모우먼트가 커야한다. 이렇게 하면 외력이 가해진 방향으로의 응답이 크고 다른 방향의 응답은 최소화 할 수 있다.

그리고, 시팅블록(seating block)은

- 마운트가 설치된 지지 구조물에 대한 경계조건을 실현하는데 사용된다.
- 질량 m_s 의 회전 관성 모멘트가 충분히 커서 마운트의 6 방향 가진 성분에 대하여 높은 임피던스가 형성되어야 한다. 이렇게 하여서 가진블록과 마찬가지로 시팅블록과 마운트들로 이루어진 시스템에서 발생하는 6 개의 고유 진동수가 측정 주파수 범위보다 훨씬 낮게 나타나도록 하여야 한다. 이와 같은 조건에서는 시팅블록 위에 설치된 시험 마운트에 의해서 발생하는 힘과 모멘트는 차단 힘과 차단 모멘트로 가정할 수 있다. 이 값들은 시팅 블록의 질량 및 각 방향으로의 극관성 모멘트들과 병진 방향 가속도 성분과 회전방향 각속도 성분들로부터 구할 수 있다.

3.3 수직방향 차단 전달함수 측정

수직방향 전달함수를 측정하고자 할 경우에는 시팅블록을 지지하는 보조 마운트의 강성계수가 시험 대상 마운트의 강성계수보다 훨씬 작다는 가정에서 부터 출발한다. Fig. 3에서 가속도비 \dot{z}_s / \dot{z}_m 를 가속도 전달율(acceleration transmissibility) 이라고 하며 T_a 로 정의한다. 마운트들의 강성계수와 m_s

로 구성되는 6 자유도의 고유진동수가 측정 가능 최저 주파수보다 3 배 이하로 작아지도록 m_s 의 크기를 결정하면 상당히 넓은 주파수 대역에서 마운트의 차단 전달함수는 다음과 같이 구해진다.

$$\mathcal{I}_{F_x, \ddot{z}''} = \frac{F_{s,z}}{\ddot{z}_m} \cong m_s \mathcal{I}_a = m_s \frac{\ddot{z}_s}{\ddot{z}_m} \quad (9)$$

수직방향에 대한 2 자유도계 모델링으로부터 식 (9)의 가속도 전달율에 의한 차단 전달함수와 식 (8)의 차단 전달함수의 비 R 는 다음과 같이 구해진다.

$$R = 20 \log \left| \frac{m_s \mathcal{I}_a}{\mathcal{I}_{F_x, \ddot{z}''}} \right| = 20 \log \frac{\Omega^2}{[(1-\Omega^2)^2 + \eta^2]^{\frac{1}{2}}} \quad (10)$$

여기서 $\Omega^2 = \frac{\omega^2}{\omega_0^2}$, $\omega_0^2 = k/m_s$ 이다.

일반적으로 마운트는 $\eta=0.1$ 정도이므로, 마운트 고유진동수의 3 배 이상의 주파수에서 R 는 1.02 dB 이하가 되며, 위상차 $\phi_{\mathcal{I}_a} - \phi_{\mathcal{I}_{F_x, \ddot{z}''}}$ 는 0.71° 이하로 가속도 전달율에 의한 전달함수와 차단 전달함수가 거의 차이가 없어 음향 강성계수를 구할 때 가속도 전달율을 이용한 차단 전달함수를 이용할 수 있음을 알 수 있다.

3.4 수평방향 및 회전방향 차단 전달함수 측정

수직방향 전달함수 측정시와 같은 절차를 적용할 수 있으나 회전 모멘트가 발생할 수 있다는 것이 수직방향 가진의 경우와 다른 점이다. 따라서 회전 모멘트의 발생을 최소화하기 위하여 상부 블록과 마운트의 상부 플랜지까지 고려할 경우의 질량 중심에 수평방향 가진력이 작용되어야 한다.

회전방향과 관련된 측정시에는 Fig. 4와 같은 방식을 이용하는데 이때 시험 대상 마운트의 상부 플랜지에서 수평방향 성분이 발생하지 않도록 하고, 시험 대상 마운트의 하부 플랜지에서 발생하는 차단 모멘트를 측정하여야 한다. 마운트 상단의 회전변위 $\ddot{\beta}_m$ 에 의한 차단 모멘트 $M_{s,y}$ 사이의 $\mathcal{I}_{M_{s,y}, \ddot{\beta}_m}$ ($= M_{s,y} / \ddot{\beta}_m$)를 측정하는 경우, 시험 대상 마운트의 하단에서 발생하는 차단 모멘트 $M_{s,y}$ 는 다음과 같은 관계식으로부터 구할 수 있다.

$$M_{s,y} = J_{s,y} \ddot{\beta}_s - m_s \ddot{x}_s \cdot (h/2) \quad (11)$$

이때 \ddot{x}_s 는 시팅블록의 질량중심의 가속도, $J_{s,y}$ 는

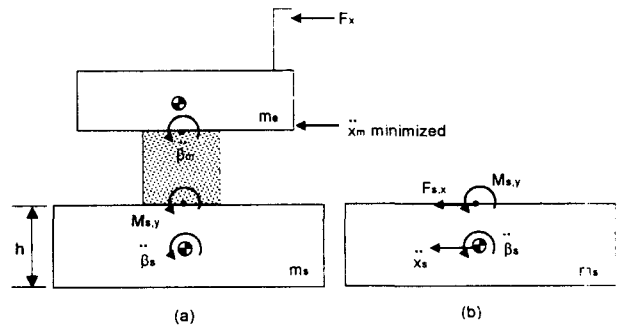


Fig. 4 Rotational excitation and measurement of blocked moment

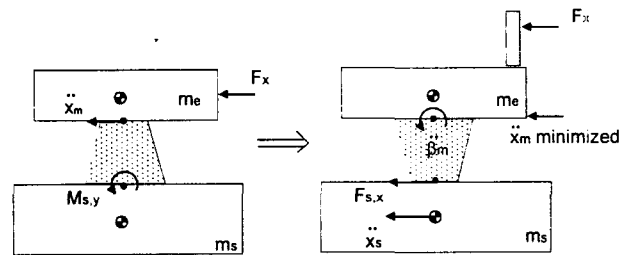


Fig. 5 Reciprocal principle: $\mathcal{I}_{M_{s,y}, \ddot{\beta}_m}$ equals $\mathcal{I}_{F_x, \ddot{x}_s}$ for the mount inverted.

시팅블록의 y 축에 대한 극관성 모멘트이며, h 는 시팅블록의 높이이다. $\ddot{\beta}_s$ 와 \ddot{x}_s 는 측정값들이므로 $M_{s,y}$ 를 측정할 수 있어 차단 전달함수 $\mathcal{I}_{M_{s,y}, \ddot{\beta}_m}$ 를 구할 수 있다. 측정된 결과는 Fig. 5와 같이 상반정리를 이용하면 회전변위 가진에 의해서 측정된 전달함수들의 정확성 및 유용성 등을 확인할 수 있다.²¹⁾

4. 음향강성 측정을 위한 시험장치

4.1 시험장치의 기본 제원

마운트의 음향강성 측정을 위하여 개발된 마운트 특성 시험장치의 전체 전경은 Fig. 6과 같으며 이를 도식화하면 Fig. 7과 같다. 시험장치는 가진블록과 시팅블록, 가진블록을 가진할 가진기, 시험용 마운트에 정하중을 가하는 유압실린더, 정하중을 측정하는 로드셀, 가속도 계측시스템 등으로 구성되며 개발된 시험장치의 주요 사양은 다음과 같다.

- 제원 : 2200 × 1800 × 1310 mm(W×D×H)
- 측정 가능 주파수 : 20 Hz ~ 2 kHz
- 가진기(B & K 4808×2 EA, 112 Newton×2 EA)
- 정하중 : 100 톤까지 가능
- 가진 방향 : 가진기의 회전과 치구를 이용하여 병진 3방향, 회전 3방향 가능

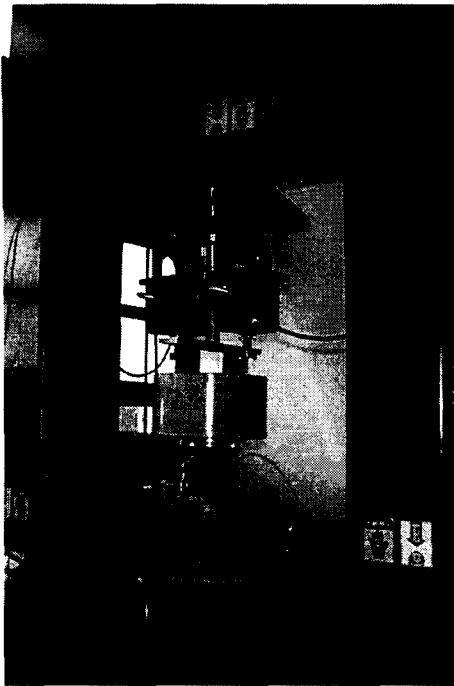


Fig. 6 Photograph of the test equipment for measuring mount properties

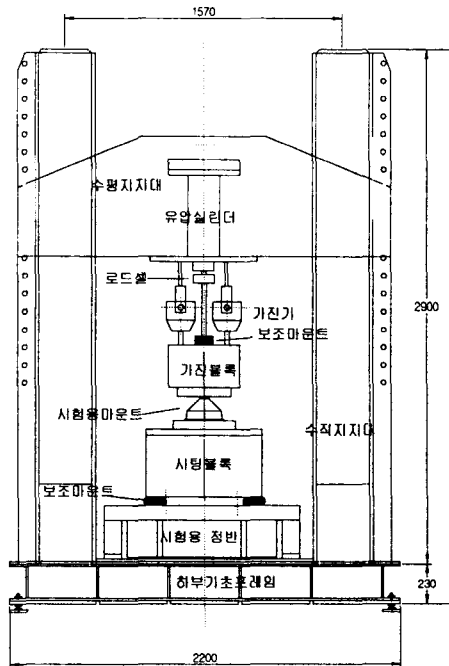


Fig. 7 Schematic of the test equipment

시험장치는 100톤의 정하중에 견딜 수 있게 구조 해석과 강도계산을 통한 설계가 수행되었으며 100톤의 하중을 가하여 시험장치의 안전성을 시험하였다.

Table 1 The natural frequencies of the test apparatus

Mode no.	FE analysis (Hz)	Experiment (Hz)
1	13.8	11.5
2	15.9	15.6
3	28.4	29.6
4	32.8	36.5
5	49.6	51.7

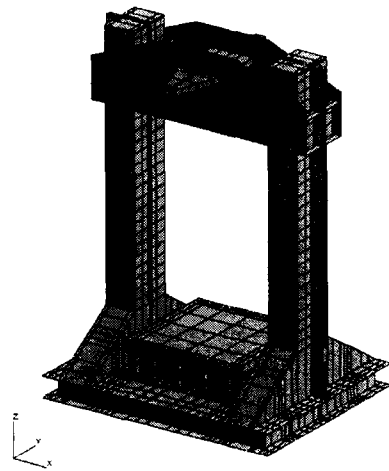


Fig. 8 The Finite Element model of the test equipment

4.2 시험장치의 유한요소 해석과 실험적 모드해석

시험장치의 자체 진동이 음향강성을 측정할 때 미치는 영향과 시험장치의 구조변경을 위하여 시험장치에 대하여 유한요소해석과 모드해석을 수행하였다. 유한요소(FE) 해석을 위한 모델은 Fig. 8에 나타나 있으며, 유한요소 모델에서 총 노드는 3892개, 총 요소는 3851개이며 MSC/NASTRAN(ver. 70)을 이용하여 해석하였다. Fig. 9와 Fig. 10은 시험장치의 1 차 모드에 대한 유한요소 해석과 실험적 모드해석 결과를 보여주고 있으며, Table 1에는 두 경우의 고유진동수를 비교하여 보여주고 있다. 두 경우가 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 시험장치의 고유진동수가 100 Hz 이하에 많이 분포하고 있음을 알 수 있으나 이는 시험장치의 크기 때문에 발생하는 것으로 마운트의 임피던스에 비하여 시험장치의 임피던스가 높으므로 큰 문제가 되지 않으며 임피던스 측정으로 확인할 수 있다.

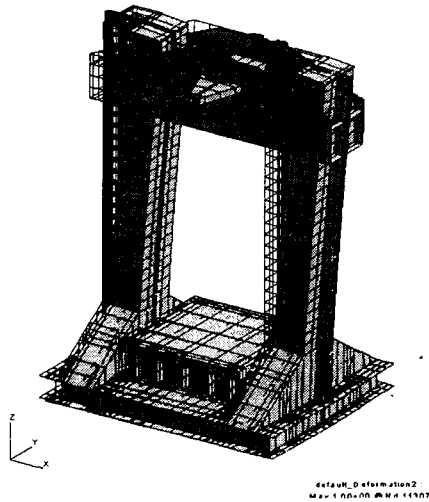
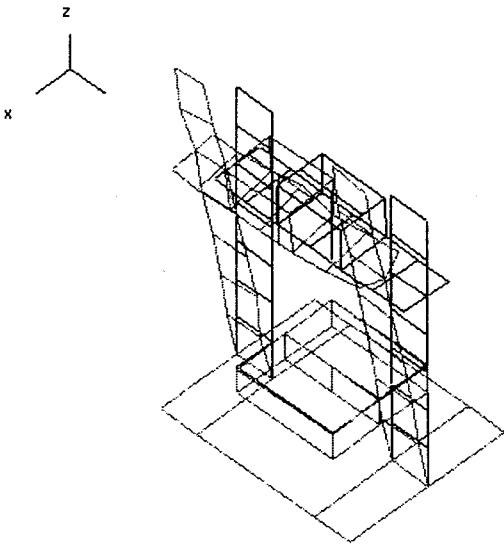


Fig. 9 The 1st mode of the test equipment by FE analysis.



01 11.495 Hz 9.47 %

Fig. 10 The 1st mode shape of the test equipment by measuring data

5. 마운트의 특성 시험 및 고찰

개발된 시험장치의 유용성과 설계목표를 확인하기 위하여 Fig. 11과 같이 시험장치를 구성하여 시험용 마운트에 대하여 음향강성 계수를 측정하였다. 가진블록은 197 kg, 시팅블록은 385 kg 이며, 가진블록과 시팅블록사이에 시험용 마운트가 설치되어 있으며 전달함수를 측정하기 위하여 6 개의 가속도계가 설치되어 있다. 시험용 마운트의 자료는 제작사가

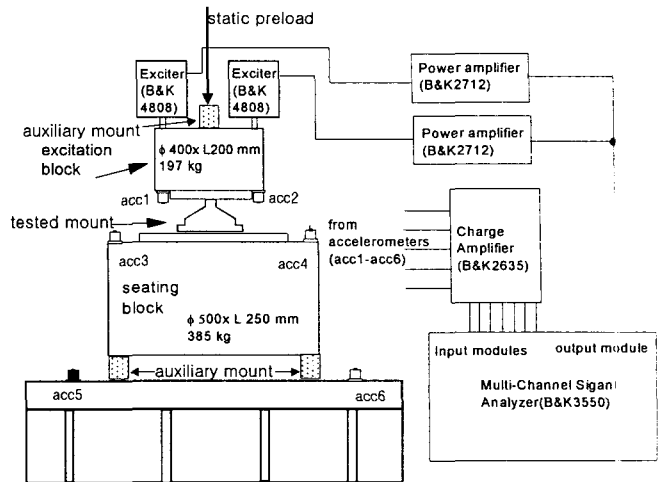


Fig. 11 Schematic diagram of experimental setup

제공한 것이며, 상/하부 보조 마운트의 동적 강성계수는 블록을 사용하여 질량과 고유진동수의 관계로부터 측정하여 구한 것이다. 시험용과 상/하부 보조 마운트의 특성은 다음과 같다.

○ 시험용 마운트

- 모델 : Vibrachoc E1N106C60
- Axial static load : 700 ~ 1000 daN
- 공진주파수
 - . Axial : 5 to 7 Hz depending on load
 - . Radial : 6 to 8 Hz

○ 상/하부 보조 마운트(고무재질)

- 재원 : φ 80 × L 100 mm
- 동적 강성계수(k_d) : 1.76×10^6 N/m
- 수량 : 상부 2 EA, 하부 4 EA

Fig. 12에는 시험용 마운트에 가해지는 2 가지 정하중에 대하여 10 Hz에서 2000 Hz 까지 전달함수 L_T 의 측정결과를 보여주고 있다. 2000 Hz 이상은 가진기의 가진력 부족으로 상관관계함수(coherence function)가 좋지 않아 측정이 불가능하였으며 일반적으로 본 시험장치와 같은 대형의 시험장치는 가진블록이나 시팅블록이 매우 무거워 고주파수 대역에서 측정의 제한을 받는다. 측정전달함수는 80~200 Hz에서 기울기가 -12 dB/Octave로 일정하게 나타나고 있으며 이는 전달함수가 정확하게 측정되었음을 알려준다. 그리고, 1000 Hz 이상에서 나타나는 전달함수의 피크는 정재파(standing wave)의 영향이며 80 Hz 이하에서 발생하는 전달함수의 공진현상은 블록들과 보조 마운트들의 마운팅에 의한 강체 고유모드 때문에 발생하는 것이다. 이 강체 고유모드는 보다 강성이 약한 보조 마운트를 사용하여 저

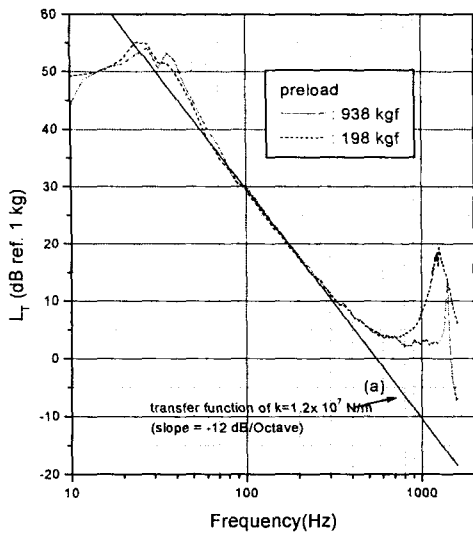


Fig. 12 Vertical transfer function $T_{F_z, z}$ of the tested mount

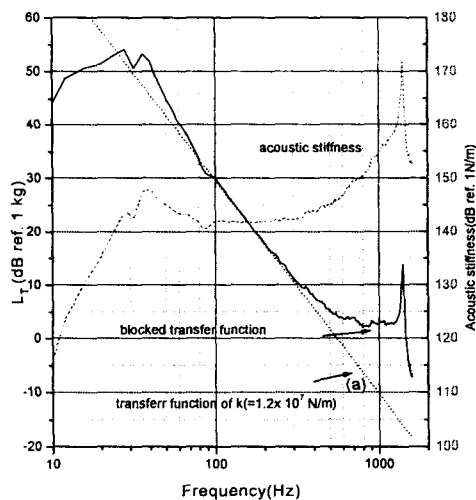


Fig. 13 Vertical acoustic Stiffness of the tested mount

주파수 대역으로 이동시켜야 측정 가능 주파수를 저 주파수 대역까지 확장 할 수 있다. 또한 측정 가능 주파수를 확장하기 위하여 가진기로부터 전달되어오는 진동의 감소, 마운트를 블록에 결합하기 위한 치구의 임피던스를 가능한 크게 하여야 한다. 그러나, 시험블록들의 질량 제한 등으로 인하여 보통의 경우 80 Hz 이하의 신뢰할 만한 측정결과를 얻기는 상당히 어려운 것으로 알려져 있으며 이 주파수 대역에서는 마운트가 순수한 스프링의 효과를 보이므로 측정된 전달함수의 기울기가 일정하게 나타나는 구역

Table 2 Summary of stiffness

	Data by manufacturer		Measured data	
	Stiffness ($\times 10^6$ N/m)	Load range kN	Stiffness ($\times 10^6$ N/m)	Preload kN
Static stiffness	0.773	70 ~ 10	4.46	9.149
Dynamic stiffness	0.987 ~ 1.35	-	-	-
Acoustic stiffness	-	-	12.0	9.198

을 저주파수 대역까지 확장하여 20~30 Hz까지의 전달함수를 유추할 수 있다⁽²⁾.

Fig. 13에 왼쪽의 종축은 측정된 차단 전달함수, 오른쪽의 종축은 차단 전달함수로부터 계산한 수직 방향 음향 강성계수를 나타내고 있다. 측정결과를 신뢰할 수 있는 구역인 80 Hz 이상을 보면 정제파의 영향으로 인하여 강성계수는 주파수의 함수로 주파수에 따라 30 dB의 차이가 발생함을 알 수 있다. 이로부터 탄성 마운트의 강성계수는 주파수와 작용 하중의 함수임을 알 수 있다.

Table 2에 마운트 제작사에서 제공한 시험용 마운트에 대한 데이터와 본 연구에서 개발된 시험장치로부터 구한 측정결과를 정리하였다. Table에서 정적 강성계수와 음향 강성계수는 약 2.7 배의 차이가 있음을 알 수 있으며 이 비는 비록 다른 종류의 마운트 이지만 참고문헌 (6)에서는 4 배, 참고문헌 (7)에서는 2.8 배와 비교하여 비슷한 값이다. 시험용 마운트의 정적 강성계수는 다이얼 게이지를 이용한 처짐 측정과 로드셀에서 측정한 정하중으로부터 $k_{stat} = 4.64 \text{ MN/m} (=933 \text{ kgf}/1.97 \text{ mm})$ 로 추정되었다.

시험용 마운트에 대한 전달함수의 측정결과, 강성계수에 대한 측정결과 등을 종합하면 개발된 시험장치를 이용하여 음향 강성계수를 정밀하게 측정할 수 있음을 알 수 있어 시험장치의 유용성과 설계목표를 확인 할 수 있었다.

6. 결 론

본 연구에서는 탄성 마운트의 음향강성을 구하기 위한 시험장치의 개발과 시험장치를 이용하여 시험용 마운트의 음향 강성계수를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 개발된 시험장치를 이용하여 구한 시험용 마운트의 차단 전달함수와 음향 강성계수의 측정결과로부터 시험장치의 유용성 및 설계 목표를 확인하였다.

(2) 탄성 마운트의 강성계수는 주파수와 작용하중의 함수로 이를 측정으로부터 확인할 수 있었다.

(3) 개발된 시험장치로부터 구한 음향 강성계수는 저주파수 대역에서 엔진 같은 기계의 가진주파수가 마운팅 시스템의 강체 고유모드와 일치하지 않도록 하는 마운팅 시스템의 공진 회피와 주파수의 함수로 표현되는 정확한 음향 강성계수를 입력으로 사용하여 정도 높은 구조소음 전달해석에 활용할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- (1) ISVR Lecture Notes, "Noise Reduction of Machinery Installations by Vibration Isolation"
- (2) J. W. Verheij, 1986, "Multi-path Sound Transfer from Resiliently Mounted Shipboard Machinery", TNO-TPD.
- (3) J. W. Verheij, 1980, "Measuring Sound Transfer Through Resilient Mountings for Separate Excitation with Orthogonal Translations and Rotations", INTER-NOISE 80, pp. 723~726.
- (4) 정우진, 배수룡, 함일배, 1998, "마운트 특성 시험장치 개발결과 및 활용방안 연구", 국방과학연구소 보고서 NWSD-513-980339.
- (5) 배수룡, 정우진, 함일배, 김두기, 이현곤, 1998, "마운트의 음향강성 측정을 위한 시험장치 개발", 한국소음진동공학회, '98 춘계 학술대회논문집, pp. 530~535.
- (6) B. van der Graaf, 1983, "Structure-Borne Sound Transfer Functions of a Flexible Mounting for the s-Frigates DG-Set", NTIS N83-34384/8/HDM.
- (7) B. van der Graaf, 1984, "Structure-Borne Sound Transfer Functions of a Dunlop Super 'D' Flexible Mounting", NTIS N84-27552/8/HDM.