

함정용 고무마운트의 진동에 대한 실험적 연구

이현엽^{†*}, 신수용^{*}, 정정훈^{**}, 곽정석^{***}, 유재문^{*}

충남대학교 선박해양공학과^{*}, 한국기계연구원^{**}, (주)수퍼센츄리^{***}

An Experimental Study on the Vibration of Rubber Mounts for Naval Shipboard Equipments

Hyun Yup Lee^{†*}, Su-Yong Shin^{*}, Jung Hoon Chung^{**}, Jeong-Seok Kwak^{***} and
Jae-Moon Lew^{*}

Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Chungnam National University^{*}
Korea Institute of Machinery and Metals^{**}, Super Century Co., Ltd^{***}

Abstract

Most of the naval shipboard equipments strongly require isolation devices to keep their performance and durability from severe noise and vibration loading. The rubber mount is well-known as one of most effective way to isolate major equipments from noise and vibration. The performance of the rubber mount is determined by characteristics of shock stiffness and vibration stiffness and the frequency range of interest is up to several Kilo Hz in navy vessels. In this study, an vibration experiment method for the rubber mount has been developed as a foundation work for assessing dynamic stiffness up to high frequency. Also experiments for a typical rubber mount has been carried out and the results has been discussed.

※Keywords: Rubber mount(고무마운트), Isolation(절연), Naval shipboard equipments(함정탑재 장비), Dynamic stiffness(동적강성), High frequency(고주파)

1. 서론

함정에 탑재되는 장비는 선체의 진동 및 충격에 견디어야 하며 그 성능을 발휘해야할 뿐 아니라,

발생되는 진동이 선체를 통하여 수중으로 방사되는 것을 감소시킴으로써 피탐성을 최소화하여야 한다. 탄성마운트는 이러한 진동 및 충격의 전달을 감소시키기 위한 목적으로 선체와 탑재 장비 사이에 설치하는 것으로서, 특히 방사소음을 줄이기 위해서는 일반적으로 고무마운트가 사용되고 있으며 그 성능(전달률)은 강성 특성에 의해 결정

접수일: 2009년 3월 2일, 승인일: 2009년 3월 25일

† 교신저자: hylee@cnu.ac.kr, 042-821-6626

된다.

Nho et al.(2008)은 상용코드 비선형 구조해석 전용 상용코드인 MARC를 이용하여 고무마운트의 정적강성을 해석하는 기법을 제시하였고, Chung et al.(2004)과 Kim et al.(2004) 등은 고무마운트의 고유진동수(약 6 Hz)에서의 강성과 감쇠에 대한 실험결과를 제시하였으나, 고무마운트의 고주파수에서의 강성에 대해서는 발표된 연구는 거의 없다. Moon et al.(2008)은 능동요소(piezo)와 수동요소(고무)를 결합한 hybrid마운트에 대해서 고주파수에서의 진동 전달률에 대한 실험적 연구를 수행하였으나, 고무에 대해서보다 능동요소의 관점에서 검토하였다.

함정 탑재 장비의 고체소음(structureborne noise)에 대한 규격인 MIL-STD-740-2(1986)에 의하면 관심 주파수 범위가 10KHz 까지이므로, 함정용 고무마운트의 10KHz 까지의 강성특성의 파악이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 고무 마운트의 고주파에서의 진동특성을 파악하기 위한 기초연구로서, 탄성마운트에 대한 조화가진 진동실험기법을 개발하고자 하며 실험장치의 영향을 고려할 수 있는 이론적 해석기법을 정립하고자 한다.

2. 조화가진 진동실험

2.1 대상마운트

본 연구에 사용된 고무마운트는 MIL-STD-17508F(1990)에 의거하여 제작된 것으로 형상은 Fig. 1과 같으며 특성은 Table 1과 같다.



Fig. 1 View of the test mount

Table 1 Characteristics of the test mount loaded by 45.4 kg Mass

Natural Frequency	5.96 Hz
Stiffness at 5.96 Hz	6.37×10^4 N/m
Damping Ratio at 5.96 Hz	0.0031

2.2 실험장치 및 방법

장비를 지지하기 위해서는 최소한 탄성마운트 4개를 설치하게 되는데, 이와 같이 실험 장치를 구성하기 위해서는 실험장치가 커질 뿐 아니라 4개의 탄성마운트가 모두 같은 하중을 받는다는 보장이 없다.

따라서, 본 연구에서는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 base plate 위에 하나의 탄성마운트를 설치하고 탄성마운트 하부에 질량을 봉으로 연결시킴으로써, 탄성마운트의 상부에 질량을 올려놓은 것과 같은 효과를 얻도록 구성하였다.

이 방법을 채택한 이유는 봉의 영향을 고려하여야 하는 단점은 있지만, 마운트 상부에 질량을

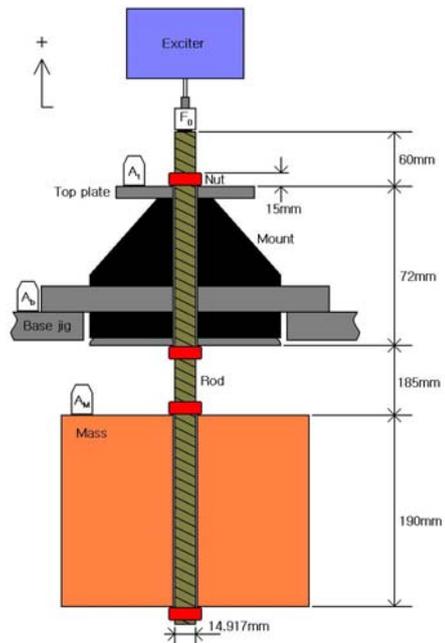


Fig. 2 Schematic diagram for the test setup

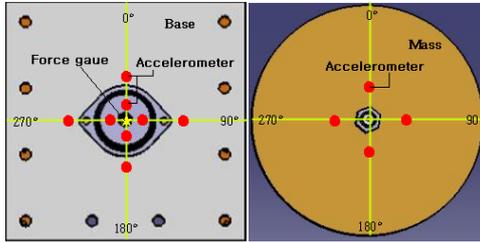


Fig. 3 View of measuring points for force gauge and accelerometer

직접 올릴 경우에는 안정성을 위한 장치가 추가로 필요하게 되고 이 장치의 영향을 고려하여야 하는 단점을 피하기 위함이다.

Fig. 2에서 보는 바와 같이 입력되는 힘(F_0)과 top plate의 가속도(A_{top}), 질량의 가속도(A_M) 그리고 base plate의 가속도(A_b)를 측정하였다.

가속도계는 top plate 윗면, base plate 상면, mass 상단에 각각 설치하였는데, 위치에 따른 변화를 보기 위해서 Fig. 3에서 보는 바와 같이 90° 간격으로 계측을 하였다.

가진 시험은 sine sweep test 방법을 사용하였으며, 전자기식 가진기로 0.1Hz에서 1000Hz까지 수행하였다.

3. 실험에 대한 해석모델

2.2절의 실험의 해석모델에 대한 자유물체도를 Fig. 4에 나타내었으며, 해석은 주파수영역에서 전달매트릭스 기법(Lee and Park 1995)을 사용하여 수행하였다.

Fig. 4에서 가진점에서 top plate 상면까지의 봉과 top plate 상면부터 질량의 상단까지의 봉은 사용된 봉과 같이 재질은 스틸(밀도=7850kg/m³, E=210 GPa)이고 단면적은 175 mm²인 균일봉으로 모델링하였다.

L_1 은 Fig. 2와 같이 60mm이고, L_2 에 대해서는 마운트 내부의 봉이 center plate라는 구조와 결합되는데, 이 영향을 고려하여 212.4mm 이다. 이는 정적변위가 같도록 결정한 등가길이이다.

질량 m은 top plate의 질량에다 center plate의 질량과 nut 질량을 추가하였고, 질량 M은 강체질

량에다 관통하는 봉의 질량과 nut 질량을 추가하였다.

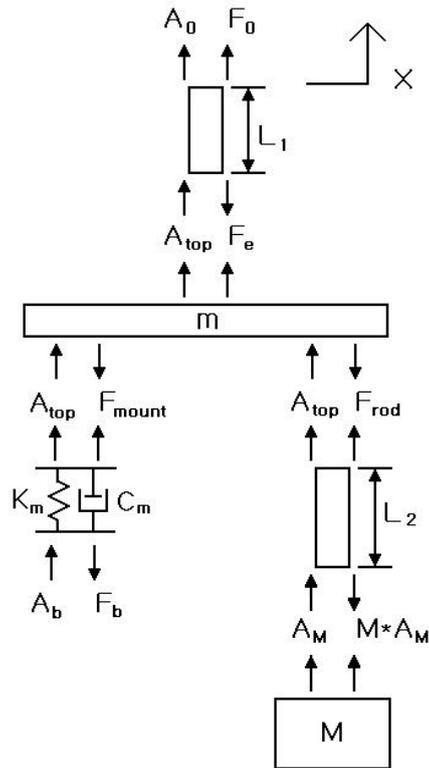


Fig. 4 Free body diagram for analysis model

4. 결과 및 검토

4.1 계측위치에 대한 영향

질량에서의 가속도는 Fig. 3과 같이 4 지점에서 계측하였는데, Fig. 5에서 보면 위치에 따른 차이가 저주파에서는 거의 없다가 고주파로 갈수록 점점 커지는데, top plate에서도 같은 경향을 보인다. 이는 상하방향으로 가진시 탄성마운트와 질량이 상하방향 운동 뿐 아니라 작지만 roll 운동도 같이 일어남을 의미한다.

Base에서의 가속도는 Fig. 6에서 보면 위치에 따라 차이가 없으며 또한 Top plate나 질량에서의 가속도에 비해 매우 작음을 확인할 수 있었다.

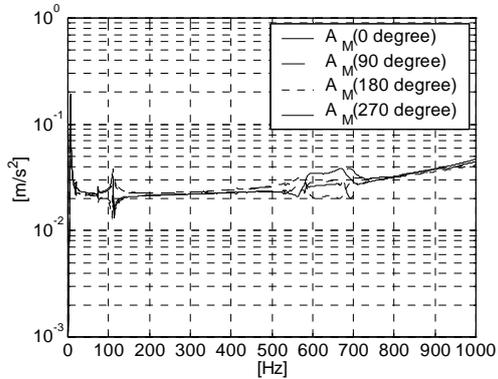


Fig. 5 Measured acceleration of the mass at 4 locations as shown in Fig. 3

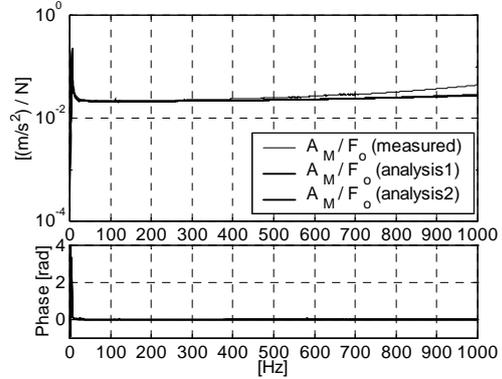


Fig. 7 Acceleration of the mass due to unit excitation force at the top

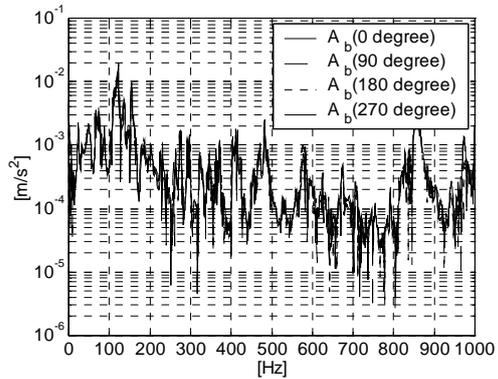


Fig. 6 Measured acceleration of base at 4 locations as shown in Fig. 3

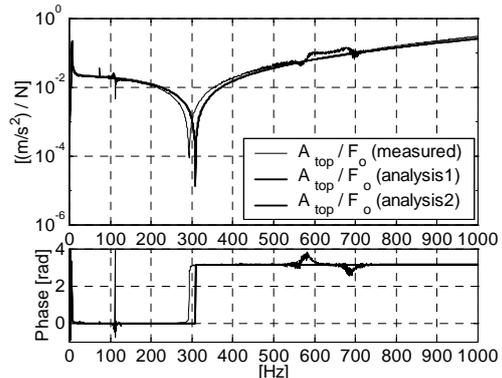


Fig. 8 Acceleration of the top plate due to unit excitation force at the top

4.2 질량과 Top plate에서의 계측결과

질량의 중심과 Top plate의 중심에서의 가속도 크기를 알기 위해, 각각 4군데에서 계측된 결과의 평균을 구하였으며, 그 결과를 Fig. 7과 Fig. 8에 이론해석 결과와 함께 나타내었다.

이론해석 결과는 Fig. 4의 해석모델에 대하여 Top plate 상면의 봉 상단에서 단위 크기의 조화 기진력이 작용할 때의 응답인데, 우선 고무마운트의 모든 주파수에서의 강성과 감쇠가 변하지 않는다고 가정하여 표1의 값을 사용하였다. 두 가지 경우에 대한 해석을 수행하였는데, Analysis1은 base에서 고정된 경우($A_b=0$)에 대한 결과이고 Analysis2는 base에서의 가속도를 계측된 값을 사용한 결과이다.

Fig. 7과 Fig. 8에서 보는 바와 같이, Analysis1의 결과와 Analysis2의 결과가 일치하는데, 이는 base를 포함 시험틀의 진동에 의한 영향을 없음을 의미한다. 또한 계측결과와 해석결과가 크기와 위상 모두 잘 일치하며, 5.96Hz의 고유진동수도 정확히 일치한다.

Fig. 8에서 보면 응답이 최소값이 되는 주파수가 보이는데, 이것은 2자유도계에서 나타나는 흡진기 주파수(Absorber frequency)로서, 이론적으로 Fig. 4에서의 봉과 질량에 의해 결정되며 다음과 같이 계산된다.

$$f_{ab} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{EA/L_2}{M}} = 308.6Hz \quad (1)$$

여기서, E와 A는 봉의 인장탄성계수와 단면적이다.

4.3 진동 전달률

Fig. 4에서 top plate에 대한 자유물체도로부터 마운트를 통하여 바닥으로 전달되는 힘(F_b)은 F_{mount} 와 같으므로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$F_b = F_{mount} = F_e - F_{rod} - mA_{top} \quad (2)$$

마운트의 진동전달률(TR)은 다음과 같이 바닥으로 전달되는 힘의 가진력에 대한 비이다.

$$TR = \frac{F_b}{F_e} \quad (3)$$

Fig. 4의 해석모델에 대한 진동전달률을 1자유도계 모델은 해석한 결과와 함께 Fig. 9에 나타내었다. Fig 4의 모델에서 봉이 없이 질량(M)이 top plate 질량(m)에 합쳐진 모델이다. 고무마운트의 강성과 감쇠는 주파수에 따라 변하지 않는다고 가정하여 표1의 값을 사용하였다. Fig. 9에서 두 결과의 차이는 봉의 영향으로, 100 Hz 정도 까지는 차이가 없으나, 고주파로 갈수록 큰 차이를 보인다.

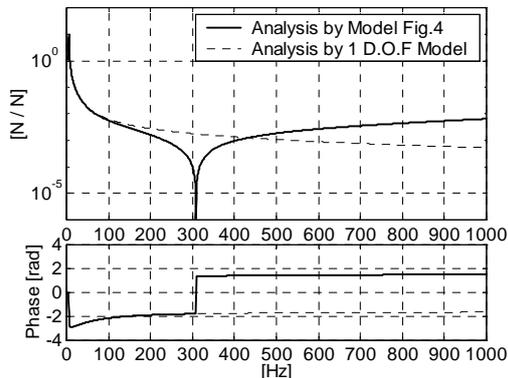


Fig. 9 Transmitted force through the mount due to unit excitation force at top

Fig. 10에는 계측된 F_o 와 A_M 로부터 Fig. 4의 모델을 이용하여 진동전달률을 산정한 결과이다. Fig. 9와 비교하여 보면 100Hz 정도까지는 잘 일치하지만, 고주파로 갈수록 경향은 비슷하다할 수 있으나 그 크기에서 큰 차이를 보인다. 더욱이 고주파에서의 전달력은 스프링력(실수부) 보다는 감쇠력(허수부)이 주성분이 되어야 하는데, Fig 10에서는 스프링력이 주성분으로 나타난다. 따라서, 본 연구에서 제시한 실험기법은 100 Hz 이하에서는 유용하지만, 그 이상의 주파수에서는 신뢰할 수 없다.

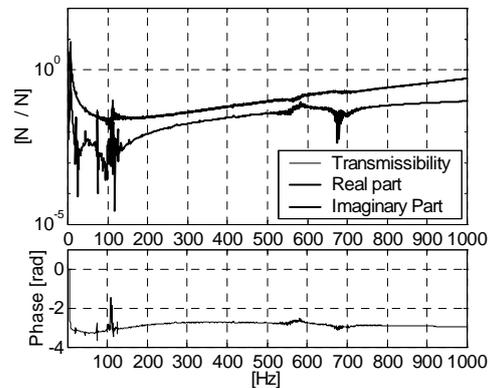


Fig. 10 Estimated Transmissibility from measured F_o and A_M

5. 결론

본 연구에서는 함정용 고무탄성마운트의 고주파에서의 진동특성을 실험적으로 파악하기 위한 기초연구로 실험장치 및 해석방법을 개발하였으며, 1KHz까지 진동시험을 수행하였다. 그 결과를 검토한 결과 100 Hz 정도까지는 유용함을 검증하였다.

본 연구에서 제시한 방법은 가진력과 질량에서의 가속도를 계측하여 전달되는 힘을 간접적으로 계산하여 구하는 방법이므로, 실험오차가 커지는 고주파 영역에서는 1/100 정도의 전달률을 정확하게 산정하기는 어려울 수밖에 없다. 따라서 100Hz 이상의 고주파 영역에 대해서는 본 방법보다는 전달률을 가진력과 전달력을 계측하여 구하

는 직접적인 방법이나 base 가진방법이 적절하다고 판단된다.

본 연구에서 제시한 실험기법을 발전시키기 위해서는 봉과 너트의 영향을 줄이고 보상하는 해석 기법과 roll 운동을 줄이기 위한 대책에 대한 연구가 보완되어야 한다고 판단되며 이는 향후 연구로 남겨둔다.

후 기

이 논문은 2007학년도 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국대학교육협의회 대학교수 연구비 지원에 의한 것임.

참 고 문 헌

- Chung, J.H., Kim, B.H., Kwak, J.S., Jeong, J.A. and Lee, H.Y., 2004, "An Experiment Study on the Characteristics of Rubber Mount for Naval Shipboard Application," Proceedings of the Annual Spring Meeting, SNAK, pp. 402-409.
- Kim, B.H., Chung, J.H., Chung, J.A., Kwak, J.S., Bae, J.W. and Kim, J.S., 2004, "Development of the rubber mounts for naval shipboard application and the optimal shock/vibration isolation design system for equipments," Journal of KSNVE, Vol. 5, No. 1, pp. 381-386.
- Lee, H.Y. and Park, J.Y., 1995, "A Study on the Compensation of Transducer Effects for the Measurement of Vibration with an Impedance Head," Journal of KSNVE, Vol. 5, No. 1, pp. 117-122.

- MIL-M-17508F, 1990, "Mounts, Resilient: Types 6E100, 6E150, 7E450, 6E900, 6E2000, 5E3500, 6E100BB, 6E150BB, 7E450BB and 6E900BB".
- MIL-STD-740-2, 1986, "Military Standard: Structure borne Vibratory Acceleration Measurements and Acceptance Criteria of Shipboard Equipment".
- Moon, S.J., Ji, Y.J., Yoon, J.S., Choi, S.B., Lee, H.Y., Kim, J.H. and Jung, W.J., 2008, "A Study on Development of an Active Hybrid Mount for Naval Ships," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 45, No. 3, pp. 288-295.
- Nho, I.S., Kim, J.M. and Kwak, J.S., 2008, "Non-linear Large Deformation Analysis of Elastic Rubber Mount," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 45, No. 2, pp. 186-191.



< 이 현 엽 >



< 신 수 용 >



< 정 정 훈 >



< 광 정 석 >



< 류 재 문 >