

〈논 문〉

# 감쇠진동계에 부착된 복합동흡진기의 효과에 관한 연구

A Study on the Effects of Dual Dynamic Vibration Absorber  
for Damped Vibration System

안 찬 우\* · 최 석 창\*\* · 김 동 영\*\*\*

Chan-woo Ahn, Seak-chang Choi and Dong-young Kim

(1997년 7월 18일 접수 ; 1997년 9월 22일 심사완료)

**Key Words :** Dual Dynamic Vibration Absorber(복합동흡진기), Resonance Frequency Ratio(공진진동 수비), Frequency Ratio(진동수비), Natural Frequency Ratio(고유진동수비), Primary Vibration System(주진동계), Mass Ratio(질량비), Damping Ratio(감쇠비), Amplitude Ratio(진폭비).

## ABSTRACT

This paper describes the effects of dual dynamic vibration absorbers attached to a primary vibration system with damping. The efficiency of dual dynamic vibration absorbers was investigated with the height of amplitude ratio at the resonance frequency ratio of the damped vibration system according to mass ratio, natural frequency ratio and damping ratio. The variation of amplitude ratio related to frequency ratio of primary vibration system is verified experimentally and theoretically according to dual dynamic vibration systems using computer program designed to find mutual relationship between two absorbers.

### 기호설명

$m_0$	주진동계의 질량(kg)
$c_0$	주진동계의 감쇠계수(N · s/m)
$k_0$	주진동계의 스프링상수(kN/m)
$m_1$	동흡진기 1의 질량(kg)
$c_1$	동흡진기 1의 감쇠계수(N · s/m)
$k_1$	동흡진기 1의 스프링상수(kN/m)
$m_2$	동흡진기 2의 질량(kg)
$c_2$	동흡진기 2의 감쇠계수(N · s/m)
$k_2$	동흡진기 2의 스프링상수(kN/m)
$\lambda$	주진동계의 진동수비
$\mu_1$	동흡진기 1의 질량비

$\gamma_1$	동흡진기 1의 고유진동수비
$\zeta_0$	주진동계의 감쇠비
$\zeta_1$	동흡진기 1의 감쇠비
$\mu_2$	동흡진기 2의 질량비
$\gamma_2$	동흡진기 2의 고유진동수비
$\zeta_2$	동흡진기 2의 감쇠비

## 1. 서 론

기계의 진동 문제는 그 기계의 기능과 신뢰성의 저하를 초래하고 인체에 진동과 소음공해의 원인이 되는 점에서 중요한 과제이다. 기계에서 발생하는 진동문제의 대부분은 구조물의 감쇠부족에 기인하므로 오래 전부터 여러 종류의 동흡진기가 고안되어 진동에 대한 대책으로 사용되고 있다.

동흡진기에 대한 연구는 여<sup>(1)</sup>등에 의해서 점탄성

\* 정희원, 동아대학교 공과대학 기계공학과

\*\* 정희원, 창원전문대학 기계설계학과

\*\*\* 동아대학교 대학원

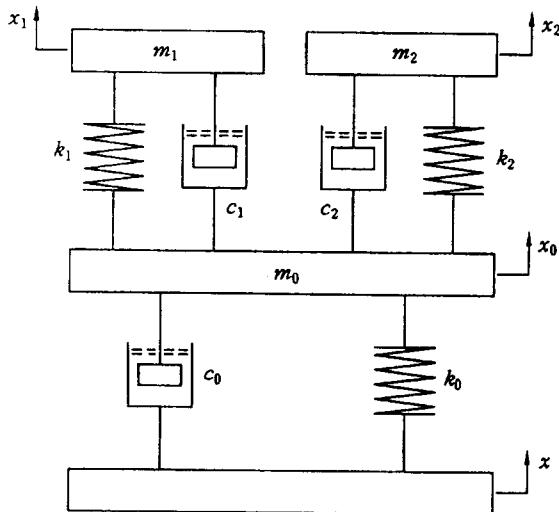


Fig. 1 Vibration system with dual dynamic vibration absorber

재료를 이용한 동흡진기의 유용성에 관하여 연구되었으며, 김<sup>(2,3)</sup>등에 의해서 비선형 스프링과 선형 감쇠를 가지는 동흡진기에 관하여 연구되었다. 감쇠가 있는 진동계에 부착된 동흡진기에 대한 연구는 Ioi<sup>(4)</sup>등에 의해 수치해석으로 최적 조건을 규명하였고, Kaneda<sup>(5)</sup>등은 이동용 공구의 진동을 위한 동흡진기의 효과에 대해서 연구하였다. 張<sup>(6)</sup>등은 동흡진기에 의한 진동계의 제진에 대해 연구하였으며, Iwanami<sup>(7~9)</sup>등은 복합동흡진기의 최적 설계법과 진동절연에 관한 연구를 하였고, 神谷圭二<sup>(10)</sup>등은 다중동흡진기의 최적 설계법에 대해서 연구하였다.

본 연구에서는 단조용 해머의 진동절연용 기초나 고충밸딩과 같은 구조물 등에 전달되는 진동을 차단하고 저감시시키기 위하여 복합동흡진기가 부착된 진동계에서 복합동흡진기의 최적 설정법을 해석적으로 나타내고, 그것의 효과를 확인하였다. 또한 복합동흡진기의 질량비와 고유진동수비 및 감쇠비의 변화가 주진동계의 공진진동수비와 진폭비에 미치는 효과에 대해서 연구하였다.

## 2. 이론해석

질량  $m_0$ , 스프링 상수  $k_0$ , 오일댐퍼  $c_0$ 로 구성된 주진동계에 복합동흡진기가 부착된 진동계의 기초가 주기적인 변위를 받는 경우의 모델은 Fig. 1과 같다.

주진동계의 변위를  $x_0$ 라 하고,  $m_1$ ,  $c_1$ ,  $k_1$ 로

구성된 동흡진기 1의 변위를  $x_1$ ,  $m_2$ ,  $c_2$ ,  $k_2$ 로 구성된 동흡진기 2의 변위를  $x_2$ 로 할 때 Fig. 1에 대한 운동방정식은 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} m_0 \ddot{x}_0 + k_0(x_0 - x) + c_0(\dot{x}_0 - \dot{x}) + k_1(x_0 - x_1) \\ + k_2(x_0 - x_2) + c_1(\dot{x}_0 - \dot{x}_1) + c_2(\dot{x}_0 - \dot{x}_2) = 0 \\ m_1 \ddot{x}_1 + c_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_0) + k_1(x_1 - x_0) = 0 \\ m_2 \ddot{x}_2 + c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_0) + k_2(x_2 - x_0) = 0 \end{aligned} \quad (1)$$

식 (1)의 운동방정식에  $x = X e^{i\omega t}$ ,  $x_0 = X_0 e^{i\omega t}$ ,  $x_1 = X_1 e^{i\omega t}$ ,  $x_2 = X_2 e^{i\omega t}$ 을 대입하여 수식을 전개하고 무차원화하기 위해서 식 (2)를 이용하면

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{\omega}{\sqrt{k_0/m_0}}, \quad \mu_1 = \frac{m_1}{m_0}, \quad \mu_2 = \frac{m_2}{m_0} \\ \gamma_1 &= \frac{\sqrt{k_0/m_0}}{\sqrt{k_1/m_1}}, \quad \gamma_2 = \frac{\sqrt{k_0/m_0}}{\sqrt{k_2/m_2}} \\ \xi_0 &= \frac{c_0}{2\sqrt{m_0 k_0}}, \quad \xi_1 = \frac{c_1}{2\sqrt{m_1 k_1}}, \\ \xi_2 &= \frac{c_2}{2\sqrt{m_2 k_2}} \end{aligned} \quad (2)$$

진폭비와 위상각은

$$\begin{aligned} \frac{X_0}{X} &= \frac{\sqrt{x_{0p}^2 + x_{0j}^2}}{\sqrt{x_p^2 + x_j^2}} \\ \Phi_0 &= \tan^{-1} \frac{x_{0j}}{x_{0p}} - \tan^{-1} \frac{x_j}{x_p} \end{aligned} \quad (3)$$

로 된다. 식 (3)에서

$$\begin{aligned} x_p &= -\gamma_1^2 \gamma_2^2 \lambda^6 + [\gamma_1^2 + \gamma_2^2 + \gamma_1^2 \gamma_2^2 \\ &\quad + \gamma_1^2 \mu_2 + \gamma_2^2 \mu_1 + 4\gamma_1 \gamma_2^2 \xi_0 \xi_1 + 4\gamma_1^2 \gamma_2 \xi_0 \xi_2 \\ &\quad + 4\gamma_1 \gamma_2 \xi_1 \xi_2 + 4\gamma_1 \gamma_2 \mu_1 \xi_1 \xi_2 + 4\gamma_1 \gamma_2 \mu_2 \xi_1 \xi_2] \lambda^4 \\ &\quad - [4\gamma_1 \xi_0 \xi_1 + 4\gamma_2 \xi_0 \xi_2 + 4\gamma_1 \gamma_2 \xi_1 \xi_2 + \mu_1 + \mu_2 \\ &\quad + \gamma_1^2 + \gamma_2^2 + 1] \lambda^2 + 1 \\ x_{0p} &= [4\gamma_1^2 \gamma_2 \xi_0 \xi_2 + 4\gamma_1 \gamma_2^2 \xi_0 \xi_1 + \gamma_1^2 \gamma_2^2] \lambda^4 \\ &\quad - [4\gamma_1 \xi_0 \xi_1 + 4\gamma_2 \xi_0 \xi_2 + 4\gamma_1 \gamma_2 \xi_1 \xi_2 + \gamma_1^2 \\ &\quad + \gamma_2^2] \lambda^2 + 1 \end{aligned} \quad (4)$$

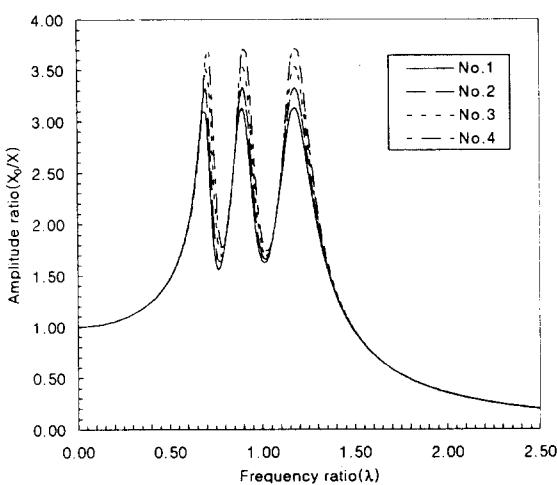


Fig. 2 Frequency ratio vs amplitude ratio ( $k_0=29.818$  kN/m,  $k_1=1.628$  kN/m,  $m_0=2.400$  kg,  $m_2=0.192$  kg,  $c_1=2.468$  N · s/m,  $c_2=3.662$  N · s/m)

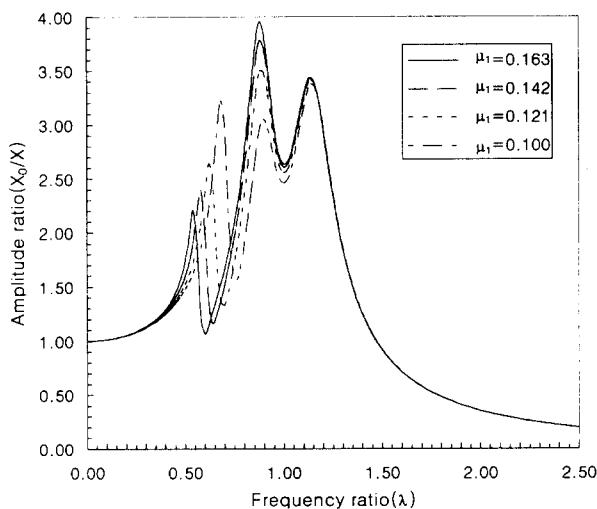


Fig. 3 Frequency ratio vs amplitude ratio ( $k_0=29.818$  kN/m,  $k_1=1.628$  kN/m,  $k_2=2.277$  kN/m,  $m_0=2.400$  kg,  $m_2=0.192$  kg,  $c_0=14.069$  N · s/m,  $c_1=2.468$  N · s/m,  $c_2=5.492$  N · s/m)

Table 1 Optimum value of dual dynamic vibration absorber

Parameter	$\xi_0$	$\mu_1$	$\gamma_2$
No.1	0.049	0.098	1.002
No.2	0.038	0.096	0.997
No.3	0.026	0.094	0.991
No.4	0.015	0.093	0.986

$$\begin{aligned}
 x_j = & [2\gamma_1^2\gamma_2^2\xi_0 + 2\gamma_1\gamma_2^2\xi_1 + 2\gamma_1^2\gamma_2\xi_2 \\
 & + 2\gamma_1\gamma_2^2\mu_1\xi_1 + 2\gamma_1^2\gamma_2\mu_2\xi_2]\lambda^5 \\
 & - [2\gamma_1^2\xi_0 + 2\gamma_2^2\xi_0 + 2\gamma_1\xi_1 + 2\gamma_2\xi_2 \\
 & + 2\gamma_1\gamma_2^2\xi_1 + 2\gamma_1\mu_1\xi_1 + 2\gamma_1\mu_2\xi_1 \\
 & + 2\gamma_1^2\gamma_2\xi_2 + 2\gamma_2\mu_1\xi_2 + 2\gamma_2\mu_2\xi_2 \\
 & + 8\gamma_1\gamma_2\xi_0\xi_1\xi_2]\lambda^3 + [2\xi_0 + 2\gamma_1\xi_1 + 2\gamma_2\xi_2]\lambda
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x_{0j} = & 2\gamma_1^2\gamma_2^2\xi_0\lambda^5 - [2\gamma_1^2\xi_0 + 2\gamma_2^2\xi_0 \\
 & + 2\gamma_1\gamma_2^2\xi_1 + 2\gamma_1^2\gamma_2\xi_2 + 8\gamma_1\gamma_2\xi_0\xi_1\xi_2]\lambda^3 \\
 & + [2\xi_0 + 2\gamma_1\xi_1 + 2\gamma_2\xi_2]\lambda
 \end{aligned}
 \quad \text{이다.}$$

식 (3)의 진폭비에서 공진진동수비를 구하기 위하여  $d(X_0/X)/d\lambda$ 를 구하여 0으로 놓으면 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned}
 & (x_p^2 + x_{0p}^2)(x_{0p}x_{0p}' + x_{0j}x_{0j}') \\
 & - (x_{op}^2 + x_{oj}^2)(x_p x_p' + x_j x_j') = 0
 \end{aligned} \quad (5)$$

### 3. 이론해석 결과의 고찰

주진동계  $m_0=2.400$  kg,  $k_0=29.81$  kN/m,  $c_0=14.069$  N · s/m의 값을 일정하게 하고, 복합동흡진기의 최적화 조건을 구하기 위해 식 (5)를 컴퓨터 시뮬레이션으로 최적의 조건을 수치 해석하였고, 복합동흡진기가 주진동계에 미치는 영향을 고찰하였다.

Fig. 2는 주진동계의  $m_0$ ,  $k_0$ 값과 복합동흡진기의  $k_1$ ,  $c_1$ ,  $c_2$  및  $m_2$ 값이 일정하고, 감쇠계수  $c_0$ 가 8.069 N · s/m, 14.069 N · s/m, 20.069 N · s/m, 26.069 N · s/m로 변화될 때 동흡진기 1과 동흡진기 2의 상호 작용에 의해 변화되는 최적값  $\mu_1$ ,  $\gamma_2$ 를 시뮬레이션으로 구하여 첫번째와 두번째 및 세번째 공진진동수비에서 진폭비가 동일값을 갖도록 표시하였고, 그때의 최적값을 Table 1에 나타내었다.

Fig. 3과 Fig. 4는 주진동계에 부착된 복합동흡진기의  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $c_1$ ,  $c_2$  및  $m_2$ 값을 일정하게 할 때 동흡진기 1의 질량비  $\mu_1$ 의 변화에 따른 진동수비에 대한 진폭비와 질량비에 대한 공진진동수비를 나타낸 것이다. Fig. 3에서  $\mu_1$ 값이 증가함에 따라 첫번째의 진동수비는 급격히 감소하고, 두번째와 세번째의 진동수비는 거의 변화가 없으며, 진폭비는 첫번째는 급격히 감소하고, 두

번째는 급격히 증가하였으며, 세번째는 미소하게 증가함을 알 수 있다. 또한 Fig. 4는  $\mu_1$ 값의 증가에 따라 첫번째 공진진동수비는 급격히 감소하고, 두번째와 세번째의 공진진동수비는 거의 변화하지 않았다. 따라서  $\mu_1$ 값의 증가는 주진동계의 첫번째, 두번째의 진폭비와 첫번째의 공진진동수비에 많은 영향을 주고 있음을 알 수 있다.

Fig. 5와 Fig. 6은 주진동계에 부착된 복합동흡진기의  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $c_1$ ,  $c_2$  및  $m_1$ 값을 일정하게 할 때 동흡진기

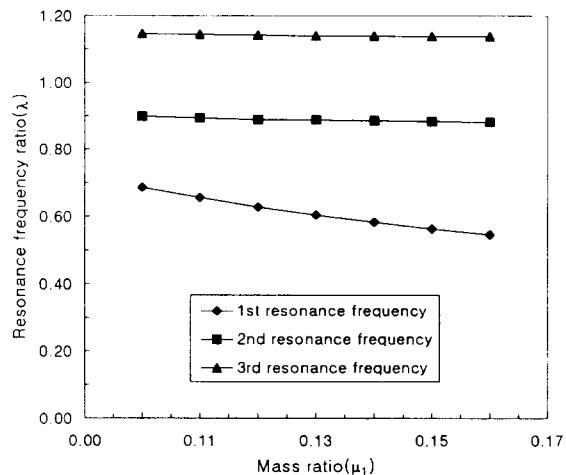


Fig. 4 Mass ratio vs resonance frequency ratio ( $k_0=29.818$  kN/m,  $k_1=1.628$  kN/m,  $k_2=2.277$  kN/m,  $m_0=2.400$  kg,  $m_1=0.192$  kg,  $c_0=14.069$  N · s/m,  $c_1=2.468$  N · s/m,  $c_2=5.492$  N · s/m)

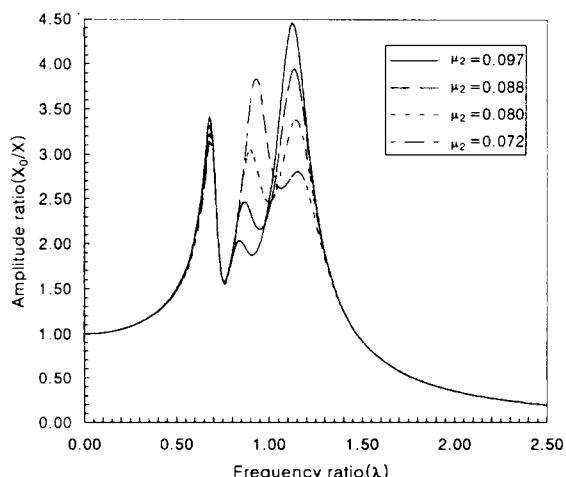


Fig. 5 Frequency ratio vs amplitude ratio ( $k_0=29.818$  kN/m,  $k_1=1.628$  kN/m,  $k_2=2.277$  kN/m,  $m_0=2.400$  kg,  $m_1=0.240$  kg,  $c_0=14.069$  N · s/m,  $c_1=2.468$  N · s/m,  $c_2=5.492$  N · s/m)

2의 질량비  $\mu_2$ 값의 변화에 따른 진동수비에 대한 진폭비와 질량비에 대한 공진진동수비를 나타낸 것이다. Fig. 5에서  $\mu_2$ 값이 증가함에 따라 첫번째의 진동수비는 거의 변화가 없고, 두번째의 진동수비는 약간 감소하였으며, 세번째의 진동수비는 미소하게 감소하였다. 진폭비는 첫번째에서 미소하게 증가하고, 두번째는 급격히 감소하였으며, 세번째는 급격히 증가함을 알 수 있다. 또한 Fig. 6은  $\mu_2$ 값의 증가에 따라 첫번째의 공진진동수비는 변화가 없고, 두번째의 공진진동수비는 급격히 감소 하였으며, 세번째의 공진진동수비는 미소하게 감소함을 나타내므로  $\mu_2$ 값의 증가는 주진동계의 두번째, 세번째의 진폭비와 두번째 공진진동수비에 많은 영향을 주고 있음을 알 수 있다.

Fig. 7과 Fig. 8은 주진동계에 부착된 복합동흡진기의  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $c_1$ ,  $c_2$  및  $k_2$ 의 값을 일정하게 할 때 동흡진기 1의 고유진동수비  $\gamma_1$ 을 변화시킨 경우, 진동수비에 대한 진폭비와 고유진동수비에 대한 공진진동수비를 나타낸 것이다.

Fig. 7에서  $\gamma_1$ 의 값이 증가함에 따라 진동수비는 첫번째는 약간 감소하고, 두번째 및 세번째는 거의 변화가 없다. 진폭비는 첫번째에서 약간 감소하고, 두번째에서 약간 증가하였으며, 세번째에서는 아주 미소하게 증가함을 알 수 있다. 또한 Fig. 8은  $\gamma_1$ 값의 증가에 따라 첫번째, 두번째의 공진진동수비는 아주 미소하게 감소하고, 세번째의 공진진동수비는 거의 변화가 없으므로

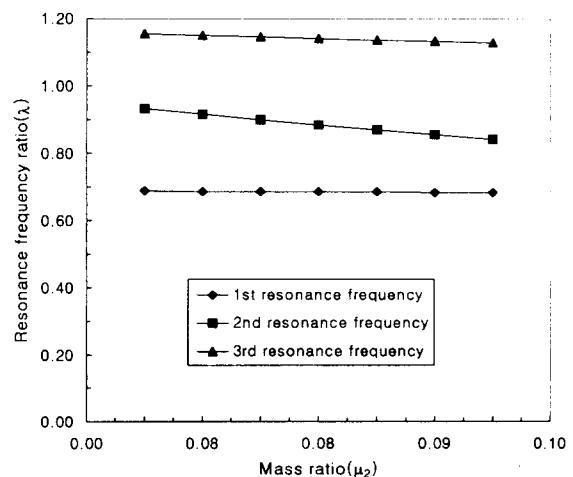


Fig. 6 Mass ratio vs resonance frequency ratio ( $k_0=29.818$  kN/m,  $k_1=1.628$  kN/m,  $k_2=2.277$  kN/m,  $m_0=2.400$  kg,  $m_1=0.240$  kg,  $c_0=14.069$  N · s/m,  $c_1=2.468$  N · s/m,  $c_2=5.492$  N · s/m)

$\gamma_1$ 값의 증가는 주진동계의 첫번째, 두번째 진폭비에 약간의 영향을 미치나 공진진동수비에는 영향이 거의 없는 것을 알 수 있다.

Fig. 9와 Fig. 10은 주진동계에 부착된 복합동흡진기의  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $c_1$ ,  $c_2$  및  $k_1$ 값을 일정하게 할 때 동흡진기 2의 고유진동수비  $\gamma_2$ 를 변화시킨 경우, 진동수비에 대한 진폭비와 고유진동수비에 대한 공진진동수비를 나타낸 것이다. Fig. 9에서  $\gamma_2$ 가 증가

함에 따라 첫번째 진동수비는 거의 변화가 없고, 두번째, 세번째의 진동수비는 미소하게 감소하고 있다. 진폭비는 첫번째에서 거의 변화가 없고, 두번째는 감소하였으며, 세번째는 증가함을 알 수 있다. 또한 Fig. 10은  $\gamma_2$ 값의 증가에 따라 첫번째, 두번째의 공진진동수비는 거의 변화가 없고, 세번째의 공진진동수비는 아주 미소하게 감소함을 나타내므로  $\gamma_2$ 의 증가는 주진동계의 두번째 및 세번째의 진폭비에는 약간의 영향을 미치나 공진진동수비에는 거의 영향

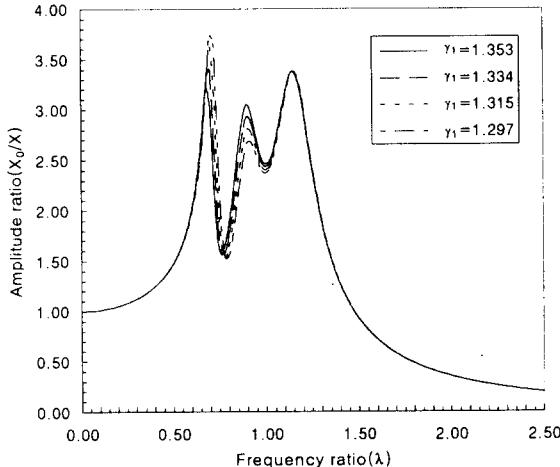


Fig. 7 Frequency ratio vs amplitude ratio ( $k_0=29.818 \text{ kN/m}$ ,  $k_2=2.277 \text{ kN/m}$ ,  $m_0=2.400 \text{ kg}$ ,  $m_1=0.240 \text{ kg}$ ,  $m_2=0.192 \text{ kg}$ ,  $c_0=14.069 \text{ N} \cdot \text{s/m}$ ,  $c_1=2.468 \text{ N} \cdot \text{s/m}$ ,  $c_2=5.492 \text{ N} \cdot \text{s/m}$ )

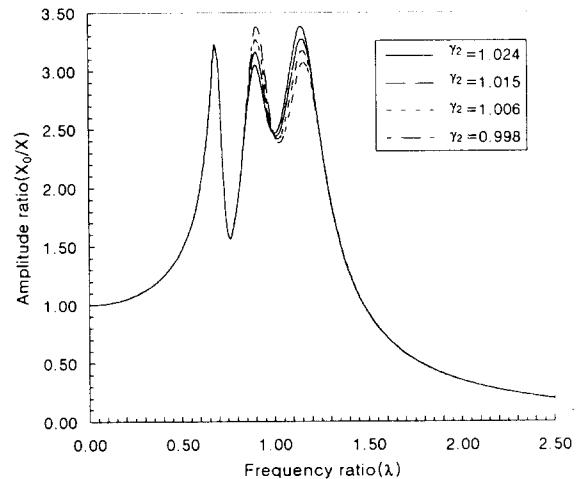


Fig. 9 Frequency ratio vs amplitude ratio ( $k_0=29.818 \text{ kN/m}$ ,  $k_1=1.628 \text{ kN/m}$ ,  $m_0=2.400 \text{ kg}$ ,  $m_1=0.240 \text{ kg}$ ,  $m_2=0.192 \text{ kg}$ ,  $c_0=14.069 \text{ N} \cdot \text{s/m}$ ,  $c_1=2.468 \text{ N} \cdot \text{s/m}$ ,  $c_2=5.492 \text{ N} \cdot \text{s/m}$ )

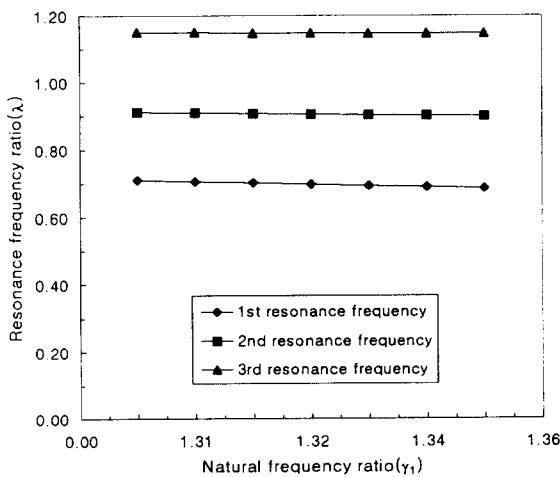


Fig. 8 Natural frequency ratio vs resonance frequency ratio ( $k_0=29.818 \text{ kN/m}$ ,  $k_2=2.277 \text{ kN/m}$ ,  $m_0=2.400 \text{ kg}$ ,  $m_1=0.240 \text{ kg}$ ,  $m_2=0.192 \text{ kg}$ ,  $c_0=14.069 \text{ N} \cdot \text{s/m}$ ,  $c_1=2.468 \text{ N} \cdot \text{s/m}$ ,  $c_2=5.492 \text{ N} \cdot \text{s/m}$ )

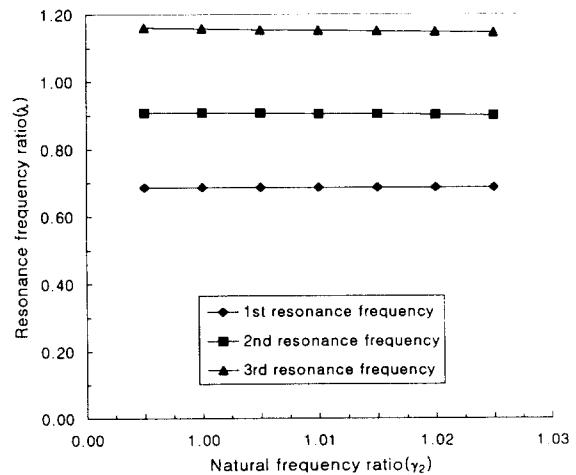


Fig. 10 Natural frequency ratio vs resonance frequency ratio ( $k_0=29.818 \text{ kN/m}$ ,  $k_1=1.628 \text{ kN/m}$ ,  $m_0=2.400 \text{ kg}$ ,  $m_1=0.240 \text{ kg}$ ,  $m_2=0.192 \text{ kg}$ ,  $c_0=14.069 \text{ N} \cdot \text{s/m}$ ,  $c_1=2.468 \text{ N} \cdot \text{s/m}$ ,  $c_2=5.492 \text{ N} \cdot \text{s/m}$ )

이 없는 것을 알 수 있다.

Fig. 11과 Fig. 12는 주진동계에 부착된 복합동흡진기의  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $k_1$ ,  $k_2$  및  $c_2$ 값을 일정하게 할 때 동흡진기의 감쇠비  $\zeta_1$ 을 변화시킨 경우, 진동수비에 대한 진폭비와 감쇠비에 대한 공진진동수비를 나타낸 것이다.

Fig. 11에서  $\zeta_1$ 값이 증가함에 따라 첫번째, 두번째 및 세번째의 진동수비는 거의 변화가 없고, 진폭비는 첫번째에서 급격히 감소하고, 두번

째는 미소하게 감소하였으며, 세번째는 약간 감소함을 알 수 있다. 또한 Fig. 12는 감쇠비  $\zeta_1$ 의 증가에 따라 첫번째의 공진진동수비는 미소하게 증가하고, 두번째의 공진진동수비는 미소하게 감소하였으며, 세번째의 공진진동수비는 거의 변화가 없었다.  $\zeta_1$ 값의 증가는 주진동계의 첫번째와 세번째의 진폭비에는 영향을 주고 있으나 공진진동수비에는 거의 영향이 없는 것을 알 수 있다.

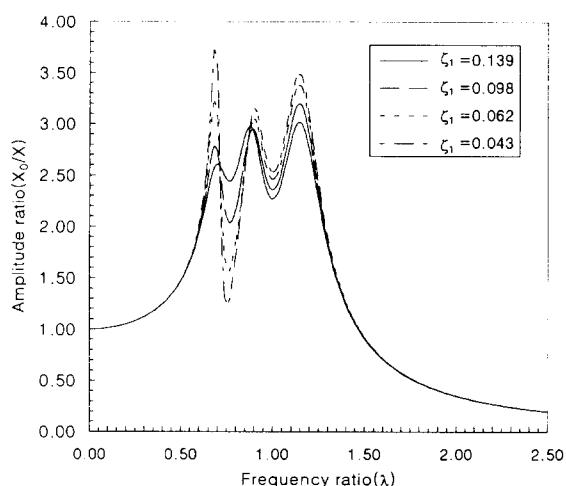


Fig. 11 Frequency ratio vs amplitude ratio ( $k_0=29.818$  kN/m,  $k_1=1.628$  kN/m,  $k_2=2.277$  kN/m,  $m_0=2.400$  kg,  $m_1=0.240$  kg,  $m_2=0.192$  kg,  $c_0=14.069$  N · s/m,  $c_2=5.492$  N · s/m)

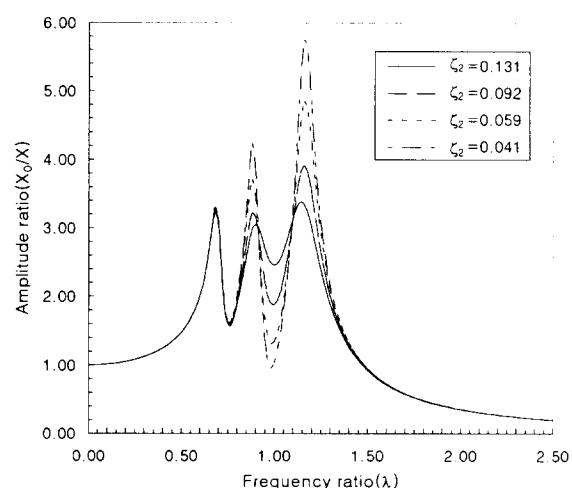


Fig. 13 Frequency ratio vs amplitude ratio ( $k_0=29.818$  kN/m,  $k_1=1.628$  kN/m,  $k_2=2.277$  kN/m,  $m_0=2.400$  kg,  $m_1=0.240$  kg,  $m_2=0.192$  kg,  $c_0=14.069$  N · s/m,  $c_1=2.468$  N · s/m)

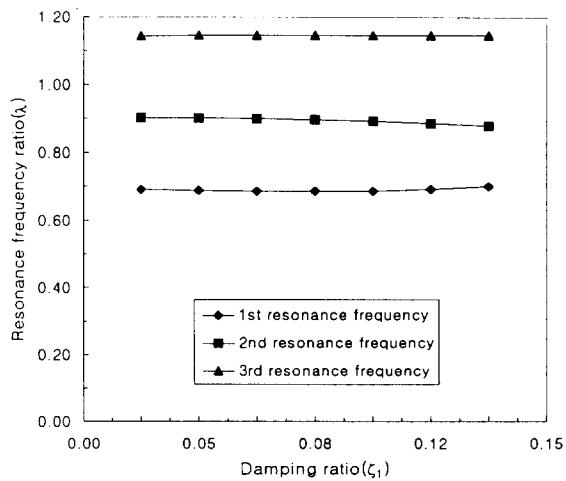


Fig. 12 Frequency ratio vs amplitude ratio ( $k_0=29.818$  kN/m,  $k_1=1.628$  kN/m,  $k_2=2.277$  kN/m,  $m_0=2.400$  kg,  $m_1=0.240$  kg,  $m_2=0.192$  kg,  $c_0=14.069$  N · s/m,  $c_2=5.492$  N · s/m)

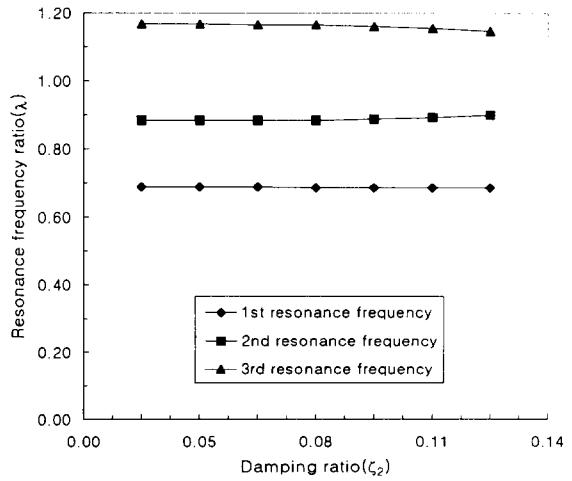


Fig. 14 Frequency ratio vs amplitude ratio ( $k_0=29.818$  kN/m,  $k_1=1.628$  kN/m,  $k_2=2.277$  kN/m,  $m_0=2.400$  kg,  $m_1=0.240$  kg,  $m_2=0.192$  kg,  $c_0=14.069$  N · s/m,  $c_1=2.468$  N · s/m)

Fig. 13과 Fig. 14는 주진동계에 부착된 복합동흡진기의  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $k_1$ ,  $k_2$  및  $c_1$ 값을 일정하게 할 때 동흡진기 2의 감쇠비  $\zeta_2$ 를 변화시킨 경우, 진동수비에 대한 진폭비와 감쇠비에 대한 공진진동수비를 나타낸 것이다. Fig. 13에서  $\zeta_2$ 값이 증가함에 따라 첫번째, 두번째, 세번째의 진동수비는 거의 변화가 없고, 진폭비는 첫번째에서 아주 미소하게 감소하고, 두번째는 급격히 감소하였으며, 세번째는 아주 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 또한 Fig. 14는  $\zeta_2$ 값의 증가에 따라 첫번째의 공진진동수비는 거의 일정하고, 두번째의 공진진동수비는 아주 미소하게 증가하였으며, 세번째의 공진진동수비는 아주 미소하게 감소하는 것으로 나타났다. 그러므로  $\zeta_2$ 값의 증가는 주진동계의 두번째, 세번째 진폭비에는 많은 영향을 미치고, 공진진동수비에는 거의 영향이 없는 것을 알 수 있다.

#### 4. 실험장치 및 방법

Fig. 15는 가진기 위에 고정장치를 제작하고 본 연구의 실험에 사용될 진동계를 설치한 실험장치로 직사각형으로 제작된 주진동계의 질량과 원판으로 제작된 동흡진기의 질량 및 기초와 주진동계의 중앙에 실린더를 설치하고 실린더의 주위에는 압축형 코일 스프링을 등간격으로 스프링 고정장치를 제작하여 부착하였다. 실험에 사용된 스프링은 스프링 높이를 90 mm로 일정하게 하고, 스프링의 권수와 직경 및 소경을 변

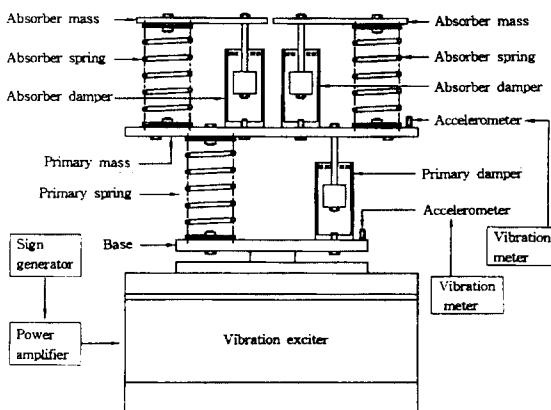


Fig. 15 Experimental setup for test of dual dynamic vibration absorbers

화시키면서 실험하였다. 주진동계와 동흡진기에 설치된 실린더의 높이는 70 mm이고, 실린더의 내경은 29 mm이며, 실린더의 내부에는 실리콘 오일을 채웠다. 피스톤의 높이는 20 mm로 일정하게 하고, 피스톤의 직경을 변경하면서 제작된 피스톤 로드를 사용하여 피스톤을 부착하였다. 댐퍼가 자화되는 것을 방지하기 위하여 실린더와 피스톤 로드의 재질은 황동을 사용하였고, 피스톤은 알루미늄을 선택하였다.

실험방법은 가진기 위에 설치된 1자유도 비감쇠 진동계에서 정현파 발생기로 10 Hz에서 40 Hz까지 0.5 Hz씩 증가하면서 근사적인 공진진동수를 구하고, 공진점 부근에서는 0.1Hz씩 증가하면서 공진진동수를 구하였다. 기초의 변위진폭은 증폭기를 이용하여 0.01 mm(RMS)로 일정하게 조정하고 공진점에서 주진동계의 변위진폭을 진동계로 측정하여 스프링 상수를 구하였다. 감쇠계수는 1자유도 감쇠진동계에서 피스톤의 직경이 20, 18, 16, 14 mm인 경우는 기초의 변위진폭을 0.01 mm(RMS)가 되게 증폭기로 조정하여 공진점에서 주진동계의 변위진폭을 측정하여 감쇠계수를 구하였다. 복합동흡진기가 부착된 진동계에서는 주진동계의 질량과 스프링 및 피스톤 직경은 일정하게 하고, 동흡진기의 질량과 스프링 및 피스톤 직경을 변화시켜 주진동계의 변위진폭을 측정하여 진폭비를 구하였다.

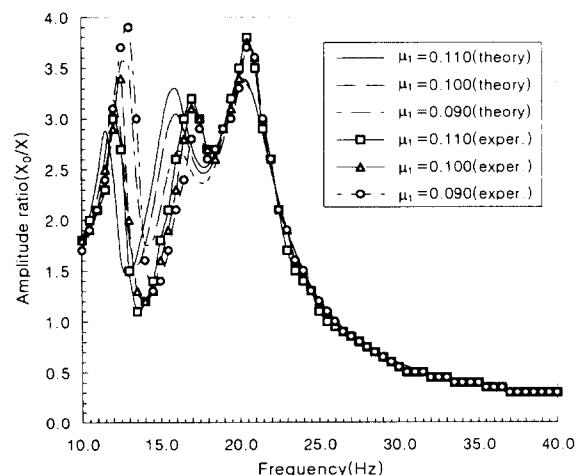


Fig. 16 Frequency vs amplitude ratio ( $k_0=29.818 \text{ kN/m}$ ,  $k_1=1.628 \text{ kN/m}$ ,  $k_2=2.277 \text{ kN/m}$ ,  $m_0=2.400 \text{ kg}$ ,  $m_2=0.192 \text{ kg}$ ,  $c_0=14.069 \text{ N} \cdot \text{s/m}$ ,  $c_1=2.468 \text{ N} \cdot \text{s/m}$ ,  $c_2=5.492 \text{ N} \cdot \text{s/m}$ )

Fig. 16은 주진동계에 부착된 동흡진기의 질량을 변화시켜 동흡진기 1의 질량비  $\mu_1$ 이 주진동계의 진폭비와 진동수에 미치는 영향을 이론적인 결과와 실험적인 결과를 나타낸 것이다. Fig. 16에서  $\mu_1$ 값이 증가함에 따라 첫번째 진동수는 감소하고, 두번째와 세번째의 진동수는 거의 변화가 없으며 진폭비는 첫번째에서 감소 현상을 보이고, 두번째는 증가하는 현상으로 나타났으나 세번째에서는 아주 미소하게 증가함을 알 수 있다.

Fig. 17은 주진동계에 부착된 동흡진기의 질량을 변화시켜 동흡진기 2의 질량비  $\mu_2$ 가 주진동계의 진폭비와 진동수에 미치는 영향의 이론적인 결과와 실험적인 결과를 나타낸 것이다. Fig. 17에서  $\mu_2$ 값이 증가함에 따라 첫번째와 세번째의 진동수는 거의 변화가 없고, 두번째의 진동수는 미소하게 증가하는 것으로 나타났으며, 진폭비는 첫번째에서 미소하게 증가하는 현상을 보이고, 두번째는 감소하는 현상으로 나타났으며, 세번째에서는 증가함을 알 수 있다.

Fig. 18은 주진동계에 부착된 동흡진기의 스프링상수를 변화시켜 동흡진기 1의 고유진동수비  $\gamma_1$ 이 주진동계의 진폭비와 진동수에 미치는 영향의 이론적인 결과와 실험적인 결과를 나타낸 것이다. Fig. 18에서  $\gamma_1$ 값이 증가함에 따라 첫번째, 두번째와 세번째의 진동수는 거의 변화가 없

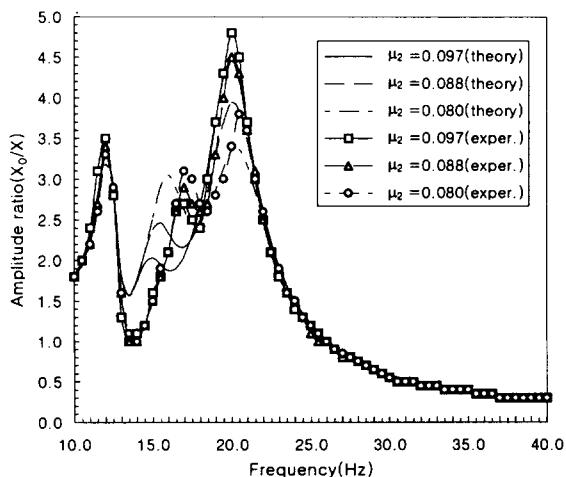


Fig. 17 Frequency vs amplitude ratio ( $k_0=29.818 \text{ kN/m}$ ,  $k_1=1.628 \text{ kN/m}$ ,  $k_2=2.277 \text{ kN/m}$ ,  $m_0=2.400 \text{ kg}$ ,  $m_1=0.240 \text{ kg}$ ,  $c_0=14.069 \text{ N} \cdot \text{s/m}$ ,  $c_1=2.468 \text{ N} \cdot \text{s/m}$ ,  $c_2=5.492 \text{ N} \cdot \text{s/m}$ )

고, 진폭비는 첫번째와 두번째에서 감소하는 현상을 보이고 있으며, 세번째에서는 거의 변화가 없음을 알 수 있다.

Fig. 19는 주진동계에 부착된 동흡진기의 스프링상수를 변화시켜 동흡진기 2의 고유진동수비  $\gamma_2$ 가 주진동계의 진폭비와 진동수에 미치는 영향의 이론적인 결과와 실험적인 결과를 나타낸 것이다. Fig. 19에서  $\gamma_2$ 가 증가함에 따라 첫번째, 두번째, 세번째의 진동수는 거의 변화가 없

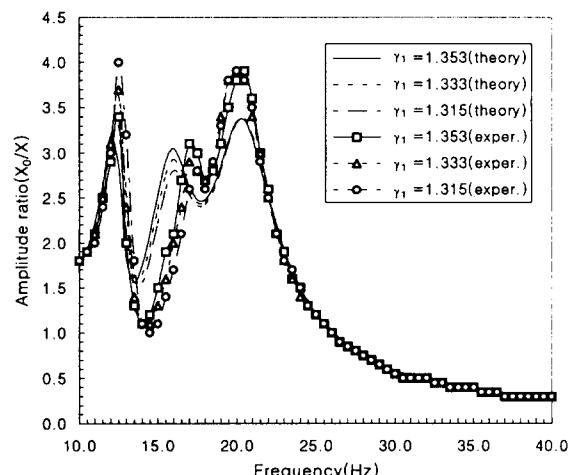


Fig. 18 Frequency vs amplitude ratio ( $k_0=29.818 \text{ kN/m}$ ,  $k_1=1.628 \text{ kN/m}$ ,  $k_2=2.277 \text{ kN/m}$ ,  $m_0=2.400 \text{ kg}$ ,  $m_1=0.240 \text{ kg}$ ,  $c_0=14.069 \text{ N} \cdot \text{s/m}$ ,  $c_1=2.468 \text{ N} \cdot \text{s/m}$ ,  $c_2=5.492 \text{ N} \cdot \text{s/m}$ )

고, 진폭비는 첫번째에서 거의 변화가 없고, 두

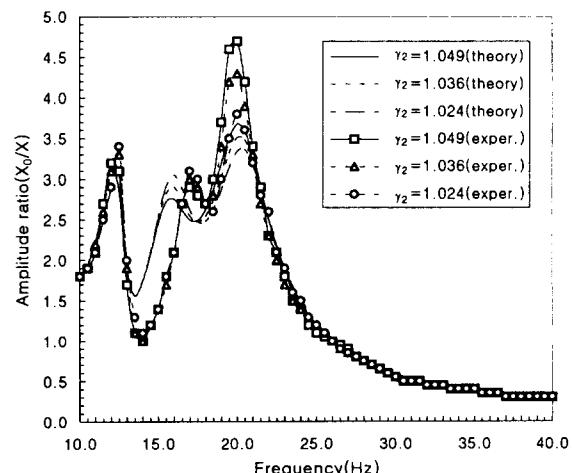


Fig. 19 Frequency vs amplitude ratio ( $k_0=29.818 \text{ kN/m}$ ,  $k_1=1.628 \text{ kN/m}$ ,  $k_2=2.277 \text{ kN/m}$ ,  $m_0=2.400 \text{ kg}$ ,  $m_1=0.240 \text{ kg}$ ,  $m_2=0.192 \text{ kg}$ ,  $c_0=14.069 \text{ N} \cdot \text{s/m}$ ,  $c_1=2.468 \text{ N} \cdot \text{s/m}$ ,  $c_2=5.492 \text{ N} \cdot \text{s/m}$ )

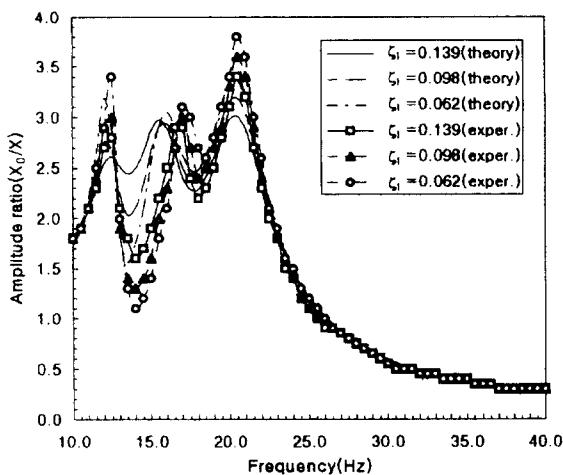


Fig. 20 Frequency vs amplitude ratio ( $k_0=29.818 \text{ kN/m}$ ,  $k_1=1.628 \text{ kN/m}$ ,  $k_2=2.277 \text{ kN/m}$ ,  $m_0=2.400 \text{ kg}$ ,  $m_1=0.240 \text{ kg}$ ,  $m_2=0.192 \text{ kg}$ ,  $c_0=14.069 \text{ N} \cdot \text{s/m}$ ,  $c_1=5.468 \text{ N} \cdot \text{s/m}$ )

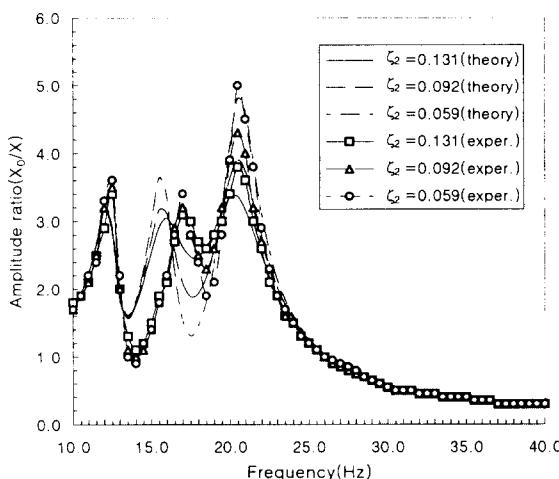


Fig. 21 Frequency vs amplitude ratio ( $k_0=29.818 \text{ kN/m}$ ,  $k_1=1.628 \text{ kN/m}$ ,  $k_2=2.277 \text{ kN/m}$ ,  $m_0=2.400 \text{ kg}$ ,  $m_1=0.240 \text{ kg}$ ,  $m_2=0.192 \text{ kg}$ ,  $c_0=14.069 \text{ N} \cdot \text{s/m}$ ,  $c_1=5.468 \text{ N} \cdot \text{s/m}$ )

번에는 감소하는 현상으로 나타났으며, 세번째에서는 약간 증가하는 것을 알 수 있다.

Fig. 20은 주진동계에 부착된 동흡진기의 감쇠계수를 변화시켜 동흡진기 1의 감쇠비  $\zeta_1$ 가 주진동계의 진폭비와 진동수에 미치는 영향의 이론적인 결과와 실험적인 결과를 나타낸 것이다. Fig. 20에서  $\zeta_1$ 값이 증가함에도 첫번째, 두번째,

세번째의 진동수는 거의 변화가 없고, 진폭비는 첫번째, 세번째에서 약간 감소하였고, 두번째는 거의 변화가 없는 것을 알 수 있다.

Fig. 21은 주진동계에 부착된 동흡진기 2의 감쇠계수를 변화시켜 동흡진기 2의 감쇠비  $\zeta_2$ 가 주진동계의 진폭비와 공진진동수에 미치는 영향의 이론적인 결과와 실험적인 결과를 나타낸 것이다. Fig. 21에서  $\zeta_2$ 값이 증가함에 따라 첫번째, 두번째, 세번째의 진동수는 거의 변화가 없고, 진폭비는 첫번째에서 거의 변화가 없고, 두번째, 세번째에서 약간 감소하는 것을 알 수 있다.

## 5. 결 론

스프링과 질량 및 댐퍼로 구성된 주진동계에 스프링, 질량 및 댐퍼로 구성된 복합동흡진기를 부착하고, 부착된 복합동흡진기의 진동억제 효과를 분석하기 위해 복합동흡진기의 질량과 스프링 상수 및 감쇠계수가 주진동계의 진폭비 및 공진진동수비에 미치는 영향에 대해서 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 주진동계에 부착된 복합동흡진기의 최적화 조건에서 동흡진기 1의 질량비 증가는 첫번째와 두번째의 진폭비 및 첫번째의 공진진동수비에 많은 영향이 있고, 동흡진기 2의 질량비 증가는 두번째와 세번째 진폭비 및 두번째의 공진진동수비에 영향이 있는 것을 알 수 있다.

(2) 복합동흡진기의 질량비와 감쇠계수가 일정한 최적화 조건에서 동흡진기 1의 고유진동수비 증가는 첫번째와 두번째의 진폭비 변화에 약간의 영향을 주고, 동흡진기 2의 고유진동수비 증가는 두번째와 세번째의 진폭비 변화에 약간의 영향을 주고 있으나 복합동흡진기의 고유진동수비는 공진진동수비의 변화에는 거의 영향이 없는 것을 알 수 있다.

(3) 복합동흡진기의 질량비와 스프링상수가 일정한 최적화 조건에서 동흡진기 1의 감쇠비 증가는 첫번째와 세번째의 진폭비 변화에 영향을 주고, 동흡진기 2의 감쇠비 증가는 두번째와 세번째의 진폭비에 영향을 주고 있으나 복합동흡진기의 감쇠비는 공진진동수비 변화에는 거의 영향이 없는 것을 알 수 있다.

## 참고문헌

- (1) 여태인, 하재용, 김광준, 1985, "첨단성 재료를 이용한 진동흡수기의 유용성에 관한 연구", 대한기계학회논문집, Vol. 9, No. 3, pp. 360~366.
- (2) 김광식, 안찬우, 1987, "비선형스프링과 선형감쇠를 가지는 동흡진기에 관한 연구", 대한기계학회논문집, Vol. 11, No. 3, pp. 473~478.
- (3) 김광식, 안찬우, 1988, "조화운동하는 기반상에서 작동하는 비선형동흡진기의 동특성에 관한 연구", 대한기계학회논문집, Vol. 12, No. 1, pp. 131~136.
- (4) T.Ioi and K.Ikeda, 1978, "On the Dynamic Vibration Absorber of the Vibration System", Bulletion of the JSME, Vol. 21, No. 151, pp. 64~71.
- (5) K.Kaneda and K.Seto, 1983, "Vibration Isolation Using Feed Back Control and Compound Dynamic Absorber for Portable Vibration Tools", Bulletion of the JSME, Vol. 26, No. 227, pp. 1219~1225.
- (6) 張維明, 松久 寛, 佐藤 進, 1990-4, "動吸振器による一般振動系の制振", 日本機械學會論文集(C編), Vol. 56, No. 524, pp. 71~77.
- (7) Kouichi IWANAMI, Kazuto SETO, 1984, 2個の複合動的吸振器の最適設計法とその效果, 日本機械學會論文集(C編), Vol. 50, No. 449, pp. 44~52.
- (8) Kouichi IWANAMI, Kazuto SETO, 1981-3, "複合動吸振器により制振された振動絶縁の研究" (第1報, 2個の動的吸振器の 最良調整條件), 日本機械學會論文集(C編), Vol. 47, No. 415, pp. 283~291.
- (9) Kazuto SETO, Kouichi IWANAMI, 1983-6, "複合動吸振器により制振された振動絶縁の研究" (第2報, 防振2ハンドルへの應用), 日本機械學會論文集(C編), Vol. 49, No. 442, pp. 952~962.
- (10) 神谷圭二, 鎌形健太郎, 松本 進, 背戸一登, 1996-9, "多重動吸振器の最適設計法", 日本機械學會論文集(C編), Vol. 62, No. 601, pp. 22~27.