

〈논 문〉

기반의 조화운동을 받는 감쇠선형진동계의 최적 복합동흡진기에 관한 연구

A Study on Optimal Multi-dynamic Absorber of Damped Linear Vibration System under the Harmonic Motion of the Base

안 찬 우* · 김 동 영** · 홍 도 관**

Ahn Chan-woo, Kim Dong-yeong and Hong Do-kwan

(2000년 1월 27일 접수: 2000년 3월 24일 심사완료)

Key Words : Serial Type Multi-dynamic Absorber(S.M.D.A, 직렬식복합동흡진기), Parallel Type Multi-dynamic Absorber(P.M.D.A, 병렬식복합동흡진기), Frequency Ratio(진동수비), Natural Frequency Ratio(고유진동수비), Primary Vibration System(주진동계), Mass Ratio(질량비), Damping Ratio(감쇠비), Amplitude Ratio(진폭비).

ABSTRACT

A dynamic absorber is used to protect the primary vibration system under the steady-state harmonic disturbance. In a number of cases it appears expedient to install several absorbers of smaller masses instead of one. This may be due to the need of distribute the absorber's response along the construction, restrictions on the absorber's installation. So, we studied characteristics of the primary vibration system for the optimal natural frequency ratio and the optimal damping ratio of serial multi-dynamic absorber. Also we obtained the optimum values of the serial multi-dynamic absorber parameters using computer simulation for the damped primary vibration system. In designing multi-dynamic absorber, we presented for the optimal natural frequency and the optimal damping ratio of multi-dynamic absorbers.

직렬식 복합동흡진기의 최적설계조건을 구하여 병렬식 복합동흡진기와 비교하고 직렬식 복합동흡진기의 진동 억제 효과에 대해서 연구하였다.

1. 서 론

기계에서 발생하는 진동을 감소시키기 위하여 진동을 억제하는 단일동흡진기에 대한 연구는 오래 전부터 많은 연구가 수행되었다.^(1~10) 단일동흡진기는 제진 대상의 질량이 큰 경우 동흡진기의 질량도 크게 하지 않으면 안되므로 동흡진기의 설치공간과 크기 뿐만 아니라 진동억제 효과도 한계가 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 복수개의 동흡진기를 병렬식으로 설계한 복합동흡진기^(11~14)는 단일 동흡진기에 비해서 진동억제가 우수하고 소형화가 가능하며 설치장소의 제약도 어느 정도 극복할 수 있었다. 본 논문에서는 주진동계에 감쇠가 있는 경우 진동을 억제하기 위해

2. 이론해석

2.1 진동계의 진폭비

본 연구는 질량 m_0 , 스프링 상수 k_0 , 감쇠계수 c_0 로 구성된 주진동계에 동흡진기가 직렬로 부착된 진동계에서 기반이 주기적인 변위를 받는 경우 진동계의 모델은 Fig.1과 같다. 주진동계에 m_1, c_1, k_1 의 진동계인 동흡진기와 m_2, c_2, k_2 의 진동계인 동흡진기가 부착된 경우에 운동방정식은 다음과 같다.

$$m_0\ddot{x}_0 + k_0(x_0 - x) + c_0(\dot{x}_0 - \dot{x}) + k_1(x_0 - x_1) + c_1(\dot{x}_0 - \dot{x}_1) = 0 \quad (1)$$

* 정희원, 동아대학교 기계산업시스템공학부

** 동아대학교 대학원 기계공학과

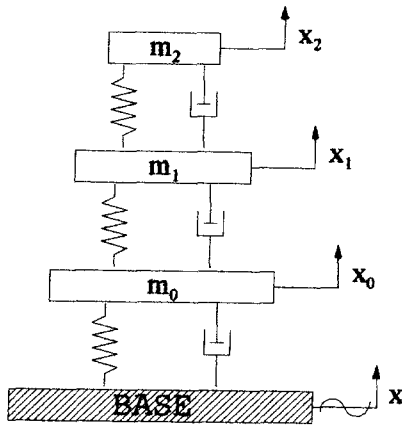


Fig. 1 Vibration system with multi-dynamic absorber

$$m_1 \ddot{x}_1 + k_1(x_1 - x_0) + c_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_0) + k_2(x_1 - x_2) + c_2(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) = 0 \quad (2)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + k_2(x_2 - x_1) + c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) = 0 \quad (3)$$

식 (1)~(3)의 운동방정식에서 기반의 변위가 $x = X e^{i\omega t}$ 이고 주진동계와 동흡진기의 변위를 각각 $x_0 = X_0 e^{i\omega t}$, $x_1 = X_1 e^{i\omega t}$, $x_2 = X_2 e^{i\omega t}$ 로 가정하여 식 (1)~(3)에 대입하여 진폭비를 구하면 다음과 같다.

$$\frac{X_0}{X} = \frac{\sqrt{R_0^2 + I_0^2}}{\sqrt{R_N^2 + I_N^2}} \quad (4)$$

$$\frac{X_1}{X} = \frac{\sqrt{R_1^2 + I_1^2}}{\sqrt{R_N^2 + I_N^2}} \quad (5)$$

$$\frac{X_2}{X} = \frac{\sqrt{R_2^2 + I_2^2}}{\sqrt{R_N^2 + I_N^2}} \quad (6)$$

식 (4)~(6)에서 R_N , R_0 , R_1 , R_2 , I_N , I_0 , I_1 , I_2 는 각각 다음과 같다.

$$R_N = -m_0 m_1 m_2 \omega^6 + (c_1 c_2 m_0 + c_0 c_2 m_1 + c_1 c_2 m_2 + k_2 m_0 m_1 + c_0 c_1 m_2 + c_0 c_2 m_2 + c_1 c_2 m_2 + k_1 m_0 m_2 + k_2 m_0 m_2 + k_0 m_1 m_2 + k_1 m_1 m_2) \omega^4 + 2 + k_0 k_2 m_2 + k_1 k_2 m_2) \omega^2 + k_0 k_1 k_2 \quad (7)$$

$$R_0 = (c_0 c_2 m_1 + c_0 c_1 m_2 + c_0 c_2 m_2 + k_0 m_1 m_2) \omega^4 - (c_1 c_2 k_0 + c_0 c_2 k_1 + c_0 c_1 k_2 + k_0 k_2 m_1 + k_0 k_1 m_2 + k_0 k_2 m_2) \omega^2 + k_0 k_1 k_2 \quad (8)$$

$$R_1 = c_0 c_1 m_2 \omega^4 - (c_1 c_2 k_0 + c_0 c_2 k_1 + c_0 c_1 k_2 + k_0 k_1 m_2) \omega^2 + k_0 k_1 k_2 \quad (9)$$

$$R_2 = -(c_1 c_2 k_0 + c_0 c_2 k_1 + c_0 c_1 k_2) \omega^2 + k_0 k_1 k_2 \quad (10)$$

$$I_N = (c_2 m_0 m_1 + c_1 m_0 m_2 + c_2 m_0 m_2 + c_0 m_1 m_2 + c_1 m_1 m_2) \omega^5 - (c_0 c_1 c_2 + c_2 k_1 m_0 + c_1 k_2 m_0 + c_2 k_0 m_1 + c_2 k_1 m_1 + c_0 k_2 m_1 + c_1 k_2 m_1 + c_1 k_0 m_2 + c_2 k_0 m_2 + c_0 k_1 m_2 + c_2 k_1 m_2 + c_0 k_2 m_2 + c_1 k_2 m_2) \omega^3 + (c_2 k_0 k_1 + c_1 k_0 k_2 + c_0 k_1 k_2) \omega \quad (11)$$

$$I_0 = c_0 m_1 m_2 \omega^5 - (c_0 c_1 c_2 + c_2 k_0 m_1 + c_0 k_2 m_1 + c_1 k_0 m_2 + c_2 k_0 m_2 + c_0 k_1 m_2 + c_0 k_2 m_2) \omega^3 + (c_2 k_0 k_1 + c_1 k_0 k_2 + c_0 k_1 k_2) \omega \quad (12)$$

$$I_1 = -(c_0 c_1 c_2 + c_1 k_0 m_2 + c_0 k_1 m_2) \omega^3 + (c_2 k_0 k_1 + c_1 k_0 k_2 + c_0 k_1 k_2) \omega \quad (13)$$

$$I_2 = -c_0 c_1 c_2 \omega^3 + (c_2 k_0 k_1 + c_1 k_0 k_2 + c_0 k_1 k_2) \omega \quad (14)$$

위의 식 (7)~(14)를 무차원화 하기 위하여

$$\lambda = \frac{\omega}{\sqrt{k_0/m_0}}, \mu_1 = \frac{m_1}{m_0}, \mu_2 = \frac{m_2}{m_0}, \gamma_1 = \frac{\sqrt{k_0/m_0}}{\sqrt{k_1/m_1}}, \gamma_2 = \frac{\sqrt{k_0/m_0}}{\sqrt{k_2/m_2}}, \zeta_0 = \frac{c_0}{2\sqrt{m_0 k_0}}, \zeta_1 = \frac{c_1}{2\sqrt{m_1 k_1}}, \zeta_2 = \frac{c_2}{2\sqrt{m_2 k_2}} \quad (15)$$

로 놓고 식 (7)~(14)를 무차원화 하면 다음과 같다.

$$NR_N = -\gamma_1^2 \gamma_2^2 \lambda^6 + (\gamma_1^2 + \gamma_2^2 + \gamma_1^2 \gamma_2^2 + \gamma_2^2 \mu_1 + \gamma_1^2 \mu_2 / \mu_1 + 4\gamma_1 \gamma_2^2 \zeta_0 \zeta_1 + 4\gamma_1^2 \gamma_2 \zeta_0 \zeta_2 + 4\gamma_1^2 \gamma_2 \mu_2 \zeta_0 \zeta_2 / \mu_1 + 4\gamma_1 \gamma_2 \zeta_1 \zeta_2 + 4\gamma_1 \gamma_1 \mu_1 \zeta_1 \zeta_2 + 4\gamma_1 \gamma_2 \mu_2 \zeta_1 \zeta_2) \lambda^4 - (1 + \gamma_1^2 + \gamma_2^2 + \mu_1 + \mu_2 + \gamma_1^2 \mu_2 / \mu_1 + 4\gamma_1 \zeta_0 \zeta_1 + 4\gamma_2 \zeta_0 \zeta_2 + 4\gamma_1 \gamma_2 \zeta_1 \zeta_2) \lambda^2 + 1 \quad (16)$$

$$NR_0 = (\gamma_1^2 \gamma_2^2 + 4\gamma_1 \gamma_2^2 \zeta_0 \zeta_1 + 4\gamma_1^2 \gamma_2 \mu_2 \zeta_0 \zeta_2 / \mu_1 + 4\gamma_1^2 \gamma_2 \zeta_0 \zeta_2) \lambda^4 - (\gamma_1^2 + \gamma_2^2 + \gamma_1^2 \mu_2 / \mu_1 + 4\gamma_1 \zeta_0 \zeta_1 + 4\gamma_2 \zeta_0 \zeta_2 + 4\gamma_1 \gamma_2 \zeta_1 \zeta_2) \lambda^2 + 1 \quad (17)$$

$$NR_1 = 4\gamma_1 \gamma_2^2 \zeta_0 \zeta_2 \lambda^4 - (\gamma_2^2 + 4\gamma_1 \zeta_0 \zeta_1 + 4\gamma_2 \zeta_0 \zeta_2 + 4\gamma_1 \gamma_2 \zeta_1 \zeta_2) \lambda^2 + 1 \quad (18)$$

$$NR_2 = -4(\gamma_1 \zeta_0 \zeta_1 + \gamma_2 \zeta_0 \zeta_2 + \gamma_1 \gamma_2 \zeta_1 \zeta_2) \lambda^2 + 1 \quad (19)$$

$$\begin{aligned}
 NI_N = & 2(\gamma_1^2 \gamma_2^2 \xi_0 + \gamma_1 \gamma_2^2 \xi_1 + \gamma_1 \gamma_2^2 \mu_1 \xi_1 + \gamma_1^2 \gamma_2 \xi_2 \\
 & + \gamma_1^2 \gamma_2 \mu_2 \xi_2 / \mu_1) \lambda^5 - 2(\gamma_1^2 \xi_0 + \gamma_2^2 \xi_0 + \gamma_1 \xi_1 \\
 & + \gamma_1^2 \mu_2 \xi_0 / \mu_1 + \gamma_1 \gamma_2^2 \xi_1 + \gamma_1 \mu_1 \xi_1 + \gamma_1 \mu_2 \xi_1 \\
 & + \gamma_2 \xi_2 + \gamma_1^2 \gamma_2 \xi_2 + \gamma_2 \mu_1 \xi_2 + \gamma_2 \mu_2 \xi_2 \\
 & + \gamma_1^2 \gamma_2 \mu_2 \xi_2 / \mu_1 + 4\gamma_1 \gamma_2 \xi_0 \xi_1 \xi_2) \lambda^3 \\
 & + 2(\xi_0 + \gamma_1 \xi_1 + \gamma_2 \xi_2) \lambda
 \end{aligned} \tag{20}$$

$$\begin{aligned}
 NI_0 = & 2\gamma_1^2 \gamma_2^2 \xi_0 \lambda^5 - 2(\gamma_1^2 \xi_0 + \gamma_2^2 \xi_0 + \gamma_1^2 \mu_2 \xi_0 / \mu_1 \\
 & + \gamma_1 \gamma_2^2 \xi_1 + \gamma_1^2 \gamma_2 \xi_2 + \gamma_1^2 \gamma_2 \mu_2 \xi_2 / \mu_1 \\
 & + 4\gamma_1 \gamma_2 \xi_0 \xi_1 \xi_2) \lambda^3 + 2(\xi_0 + \gamma_1 \xi_1 + \gamma_2 \xi_2) \lambda
 \end{aligned} \tag{21}$$

$$\begin{aligned}
 NI_1 = & -2(\gamma_1 \gamma_2^2 \xi_1 + \gamma_2^2 \xi_0 + 8\gamma_1 \gamma_2 \xi_0 \xi_1 \xi_2) \lambda^3 + 2(\xi_0 \\
 & + \gamma_1 \xi_1 + \gamma_2 \xi_2) \lambda
 \end{aligned} \tag{22}$$

$$NI_2 = -8\gamma_1 \gamma_2 \xi_0 \xi_1 \xi_2 \lambda^3 + 2(\xi_0 + \gamma_1 \xi_1 + \gamma_2 \xi_2) \lambda \tag{23}$$

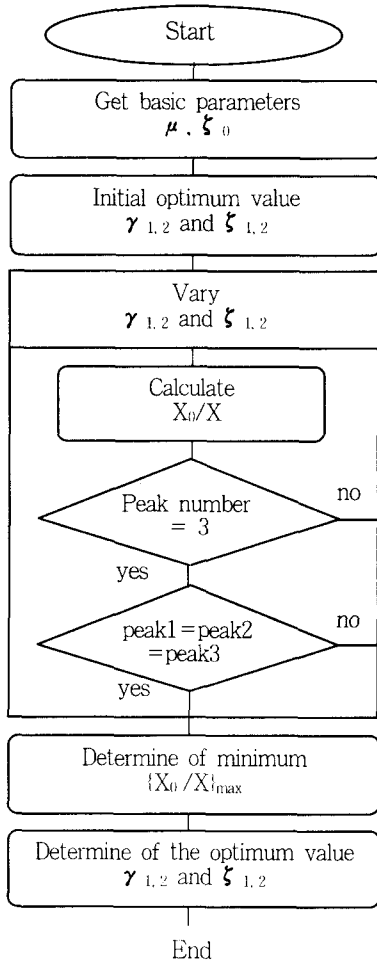


Fig. 2 Flow chart

Table 1 Optimum design formulas of S.M.D.A. and P.M.D.A.

| Type | ξ_0 | Optimum design formula |
|----------|---------|--|
| S.M.D.A. | 0.0 | $\gamma_1 = 0.92558 + 0.70772\mu + 0.13061\mu^2$ |
| | | $\gamma_2 = 1.04516 + 1.45978\mu - 0.39828\mu^2$ |
| | | $\xi_1 = -0.06053 + 1.25919\mu - 1.32063\mu^2$ |
| | | $\xi_2 = 0.18728 + 0.27335\mu - 0.29025\mu^2$ |
| | 0.02 | $\gamma_1 = 0.93287 + 0.73436\mu + 0.14674\mu^2$ |
| | | $\gamma_2 = 1.02514 + 1.22862\mu - 0.24349\mu^2$ |
| | | $\xi_1 = -0.04424 + 1.15883\mu - 1.15293\mu^2$ |
| | | $\xi_2 = 0.20372 + 0.14758\mu - 0.12900\mu^2$ |
| | 0.04 | $\gamma_1 = 0.94015 + 0.76790\mu + 0.14674\mu^2$ |
| | | $\gamma_2 = 1.02656 + 1.33046\mu - 0.33701\mu^2$ |
| | | $\xi_1 = -0.04184 + 1.19424\mu - 1.24000\mu^2$ |
| | | $\xi_2 = 0.19721 + 0.23130\mu - 0.30315\mu^2$ |
| P.M.D.A. | 0.0 | $\gamma_1 = 0.95100 + 0.38674\mu + 0.24510\mu^2$ |
| | | $\gamma_2 = 1.04660 + 1.44794\mu - 0.37635\mu^2$ |
| | | $\xi_1 = 0.06190 + 0.77993\mu - 0.70949\mu^2$ |
| | | $\xi_2 = 0.04923 + 0.69556\mu - 0.85139\mu^2$ |
| | 0.02 | $\gamma_1 = 0.95688 + 0.39887\mu + 0.30960\mu^2$ |
| | | $\gamma_2 = 1.05402 + 1.48758\mu - 0.34991\mu^2$ |
| | | $\xi_1 = 0.05041 + 0.93731\mu - 1.01909\mu^2$ |
| | | $\xi_2 = 0.06495 + 0.57243\mu - 0.58372\mu^2$ |
| | 0.04 | $\gamma_1 = 0.96246 + 0.45711\mu + 0.17737\mu^2$ |
| | | $\gamma_2 = 1.05802 + 1.56502\mu - 0.38700\mu^2$ |
| | | $\xi_1 = 0.06757 + 0.82730\mu - 0.86231\mu^2$ |
| | | $\xi_2 = 0.07338 + 0.55956\mu - 0.67080\mu^2$ |

2.2 복합동흡진기의 최적설계조건

주진동계에 감쇠가 없는 경우에는 정점 이론⁽⁵⁾에 의해 복합동흡진기의 최적설계조건을 쉽게 구할 수 있으나 주진동계에 감쇠가 있는 경우에는 쉽게 최적설계조건을 구할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 2의 순서도에 의해 공진이 세 번 발생하는 조건과 그 때 공진점에서의 진폭비가 일치하는 조건을 찾아 그 중 가장 낮은 진폭비를 나타낼 경우의 고유진동수비와 감쇠비를 각각 동흡진기의 최적설계조건으로 하였다.

2.3 이론해석 결과 및 고찰

감쇠가 있는 주진동계의 진동을 억제하기 위하여 부착된 병렬식 복합동흡진기와 직렬식 복합동흡진기의 최적고유진동비와 최적감쇠비를 구하여 주진동계의 감쇠비에 따라 최적설계조건식을 유도하면 Table 1과 같다. 여기서 주진동계

에 대한 동흡진기의 질량비는 Table 2와 같다. Table 1의 식을 적용하여 병렬식과 직렬식 복합동흡진기가 부착된 주진동계의 진폭비를 비교하면 Fig. 3과 같다.

Fig. 3은 주진동계에 대한 동흡진기의 전체 질량비 $\mu(=\mu_1+\mu_2)$ 가 0.1이고 주진동계의 감쇠비 ζ_0 가 0, 0.02, 0.04인 경우 Table 1의 최적설계식을 적용하여 진동 Fig. 4와 Fig. 5는 병렬식과 직렬식 복합동흡진기가 부착된 진동계에서 주진동계의 감쇠비가 $\zeta_0=0.0$ 인 경우 수치해석을 이용하여 주진동계와 동흡진기와의 질량비에 따른 최적고유진동수비와 최적감쇠비, 그리고 주진동계의 최대진폭비를 나타낸 것이다. 병렬식과 직렬식 복합동흡진기가 부착된 진동계의 최적고유진동수비는 질량비의 증가에 따라 선형적으로 증가하고 주진동계의 최대 진폭비는 감소하며 직렬식 복합동흡진기 병렬식 복합동흡진기 보다 진동억제 효과가 우수함을 알 수 있다.

수비에 대한 주진동계의 진폭비를 나타낸 것이다. ζ_0 가 0인 경우 진동수비에 대한 주진동계의 최대 진폭비는 병렬식에 비해 직렬식이 약 7% 감소하였다. 이것은 직렬식으로 복합동흡진기를 설계하면 병렬식에 비해 더욱더 우수한 진동억제 효과를 가진다는 것을 보여준다.

Table 2 Mass ratio of the dynamic absorbers for primary vibration system

| Model | μ_1 | μ_2 |
|----------|--------------------|--------------------|
| P.M.D.A. | $\frac{1}{2} \mu$ | $\frac{1}{2} \mu$ |
| S.M.D.A. | $\frac{9}{10} \mu$ | $\frac{1}{10} \mu$ |

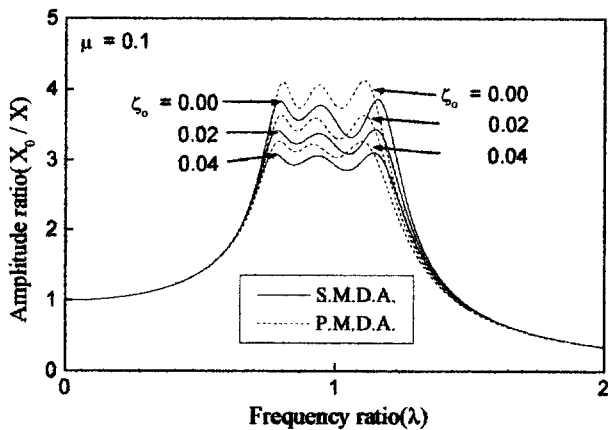


Fig. 3 The effects of vibration reduction by S.M.D.A. and P.M.D.A.

Fig. 4와 Fig. 5는 병렬식과 직렬식 복합동흡진기가 부착된 진동계에서 주진동계의 감쇠비가 $\zeta_0=0.0$ 인 경우 수치해석을 이용하여 주진동계와 동흡진기와의 질량비에 따른 최적고유진동수비와 최적감쇠비, 그리고 주진동계의 최대진폭비를 나타낸 것이다. 병렬식과 직렬식 복합동흡진기가 부착된 진동계의 최적고유진동수비는 질량비의 증가에 따라 선형적으로 증가하고 주진동계의 최대 진폭비는 감소하며 직렬식 복합동흡진기 병렬식 복합동흡진기 보다 진동억제 효과가 우수함을 알 수 있다.

Fig. 6과 Fig. 7은 고유진동수비 γ_1 과 γ_2 의 변화에 대한 주진동계의 진폭비를 나타낸 것이다. 고유진동수비 γ_1 이 증

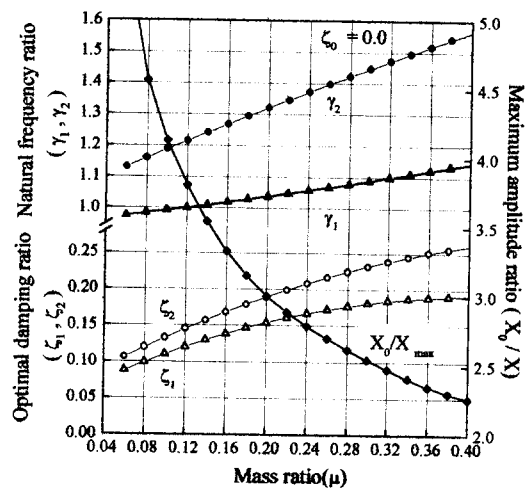


Fig. 4 Optimal values on the mass ratio variation of parallel type multi-dynamic absorber

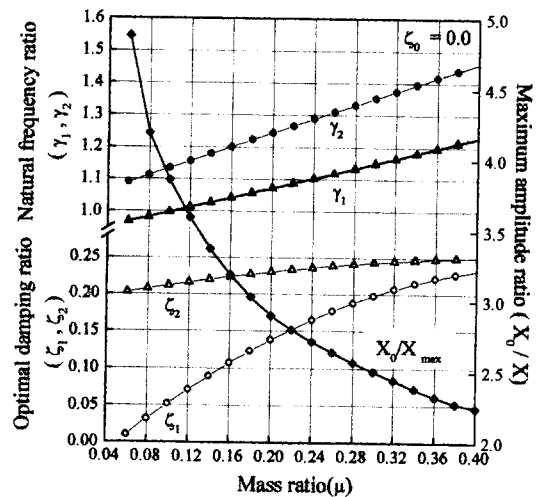


Fig. 5 Optimal values on the mass ratio variation of serial type multi-dynamic absorber

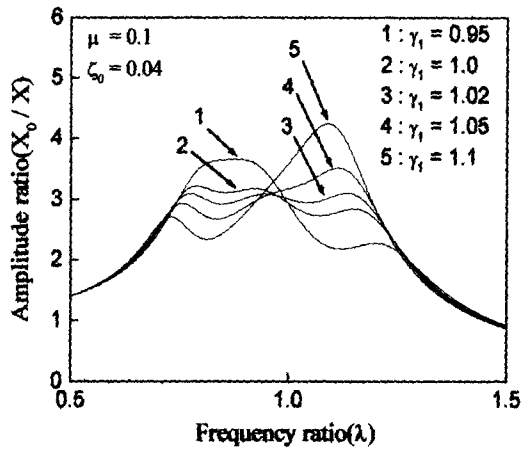


Fig. 6 Amplitude ratio variation of the primary vibration system for γ_1 ($\gamma_2=1.15$, $\zeta_1=0.07$, $\zeta_2=0.22$)

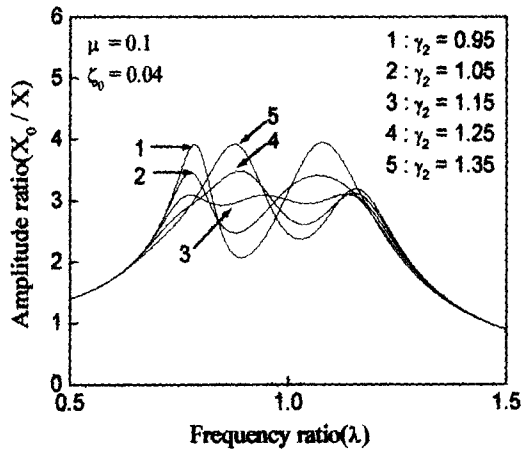


Fig. 7 Amplitude ratio variation of the primary vibration system for γ_2 ($\gamma_1=1.02$, $\zeta_1=0.07$, $\zeta_2=0.22$)

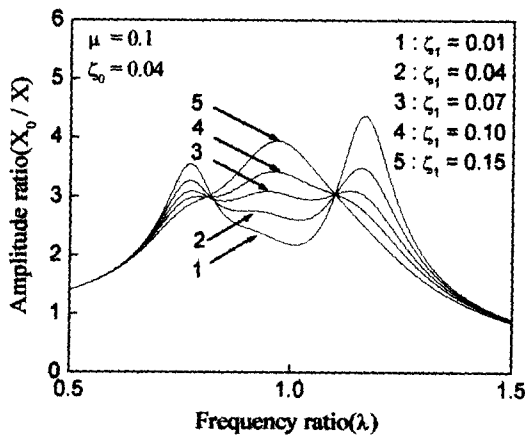


Fig. 8 Amplitude ratio variation of the primary vibration system for ζ_1 ($\gamma_1=1.02$, $\gamma_2=1.15$, $\zeta_2=0.22$)

가함에 따라 첫 번째 공진진동수비에서 주진동계의 진폭비는 감소하고, 최적진동수비인 $\gamma_1=1.02$ 인 경우 3개의 공진진동수비에서 주진동계의 진폭비는 거의 일치하며 Fig. 7에서 최적진동수비가 $\gamma_2=1.15$ 임을 알 수 있다.

Fig. 8은 감쇠비 ζ_1 의 변화에 따른 주진동계의 진폭비 변화를 나타낸 것이다. 감쇠비가 최적감쇠비 $\zeta_1=0.07$ 보다 증가하면 1자유도 경향을 나타내어 진동수비 0.97 부근에서 진폭비가 점점 증가함을 알 수 있다.

Fig. 9는 감쇠비 ζ_2 가 증가함에 따라 진동수비 0.97 근처에서 최대 진폭비가 감소하고 ζ_2 가 최적감쇠비 $\zeta_2=0.22$ 보다 증가하면 2자유도 현상을 나타내게 된다.

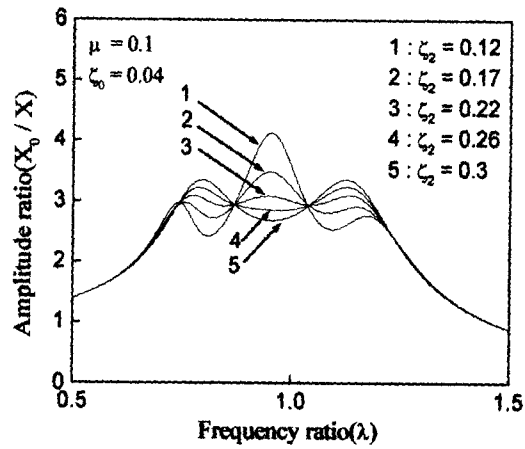


Fig. 9 Amplitude ratio variation of the primary vibration system for ζ_2 ($\gamma_1=1.02$, $\gamma_2=1.15$, $\zeta_1=0.07$)

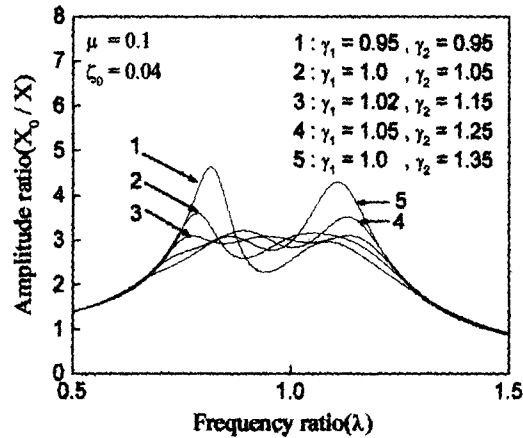


Fig. 10 Amplitude ratio variation of the primary vibration system for γ_1, γ_2 ($\zeta_1=0.07$, $\zeta_2=0.22$)

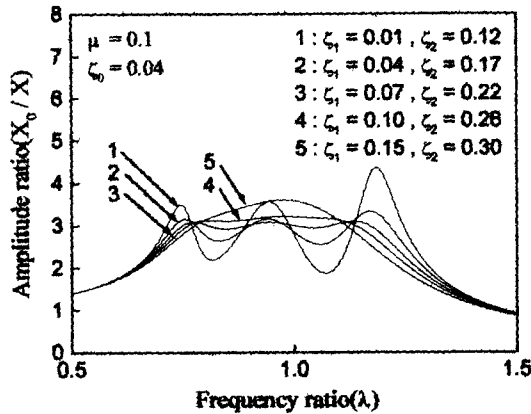


Fig. 11 Amplitude ratio variation of the primary vibration system for ζ_1, ζ_2 ($\gamma_1=1.02, \gamma_2=1.15$)

Fig. 10은 질량비 $\mu=0.1$ 인 경우 최적고유진동수비는 $\gamma_1=1.02, \gamma_2=1.15$ 이고 고유진동수비가 증가하면 첫 번째 공진진동수비와 진폭비가 감소하므로 고유진동수비가 주진동계의 공진진동수비와 진폭비에 많은 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

Fig. 11은 감쇠비 ζ_1, ζ_2 의 변화에 따른 주진동계의 진폭비를 나타낸 것이며 최적감쇠비 $\zeta_1=0.07, \zeta_2=0.22$ 보다 감쇠비가 증가하면 1자유도 진동계의 현상이 나타남을 알 수 있다.

3. 결 론

감쇠가 있는 주진동계의 진동을 억제하기 위하여 복합동흡진기를 주진동계에 직렬로 부착하여 최적고유진동수비와 최적감쇠비를 구하여 주진동계의 진동억제 효과를 연구한 결과 주진동계와 동흡진기의 질량비가 일정한 경우 주진동계에 병렬식 복합동흡진기가 부착된 경우 보다 직렬식 복합 동흡진기가 부착된 경우에 진동억제 효과가 우수함을 알았다. 또한, 질량비의 증가에 따라 직렬식 복합동흡진기의 최적고유진동수비는 선형적으로 증가하고 주진동계의 최대 진폭비는 급격하게 감소하였다.

후 기

이 논문은 1998학년도 동아대학교 학술연구조성비(공모 과제)에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

(1) Randall, S.E., Halsted, D.M. and Taylor, D.L., 1981, "Optimum Vibration Absorbers for Linear

Damped System", Trans. of the ASME, Journal of Mechanical Design, Vol. 103, pp. 908~913.

(2) Kaneda, K. and Seto, K., 1983, "Vibration Isolation Using Feed Back Control and Compound Dynamic Absorber for Portable Vibration Tools", Bulletin of the JSME, Vol. 26, No. 227, pp. 1219~1225.

(3) 여대인, 하재용, 김광준, 1985, "점탄성 재료를 이용한 진동흡수기의 유용성에 관한 연구", 대한기계학회논문집, Vol. 9, No. 3, pp. 360~366.

(4) 淺見敏彦, 桃瀬一成, 1993, "減衰を考慮した動吸振器の設計式について(最小分散規範に基づく設計法)", 日本機械學會論文集(C편), Vol. 59, No. 566, pp. 56~61.

(5) 淺見敏彦, 細川欽廷, 1995, "主系の減衰を考慮した動吸振器の設計式について(定点理論に基づく設計法)", 日本機械學會論文集(C편), Vol. 61, No. 583, pp. 915~921.

(6) 山下繁生, 雫本信哉, 背戸一登, 鈴木英男, 1992, "動吸振器による騒音制御", 日本機械學會論文集(C編), Vol. 58, No. 546, pp. 96~101.

(7) 山下繁生, 猿渡克己, 背戸一登, 1989, "動吸振器による配管系の振動制御(第2報, 廣帯域制振配管系の實現)", 日本機械學會論文集(C編), Vol. 55, No. 518, pp. 2511~2518.

(8) Dahlberg, T. 1989, "On Optimal use of the Mass of a Dynamic Vibration Absorber", J. of Sound and Vibration, Vol. 132, No. 3, pp. 518~522.

(9) 西原修, 松久 寛, 1997, "動吸振器の最大振幅倍率 崔小化設計", 日本機械學會論文集(C편), Vol. 63, No. 614, pp. 3438~3445.

(10) 岩浪孝一, 背戸一登, 1981, "複合動吸振器により制振された振動絶縁器の研究"(2個の動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.

(11) 岩浪孝一, 背戸一登, 1983, "複合動吸振器により制振された振動絶縁器の研究"(防振ハンドルへの應用), 日本機械學會論文集(C編), Vol. 49, No. 442, pp. 952~962.

(12) 岩浪孝一, 背戸一登, 1984, "2個の複合動吸振器の最適設計法とその効果", 日本機械學會論文集(C編) Vol. 50, No. 449, pp. 44~52.

(13) 神谷圭一, 鎌形健太郎, 松本 進, 背戸一登 1996, "多重動吸振器の最適設計法", 日本機械學會論文集(C편), Vol. 62, No. 601, pp. 3400~3405.

(14) 안찬우, 최석창, 김동영, 1997, "감쇠진동계 부착된 복합동흡진기의 효과에 관한 연구", 한국소음 동공학회논문집, Vol. 7, No. 6, pp. 1039~1048.