

## 분포질량 동흡진기가 부착된 연속체 시스템에 대한 연구 (II)

최정현<sup>†</sup> · 임병덕<sup>\*</sup>  
 (2002년 10월 21일 접수, 2004년 2월 4일 심사완료)

### The Study of Continuous System Combined with Distributed DVA (II)

Jeung Hyun Choi and Byoung Duk Lim

**Key Words:** Continuous System(연속체 구조물), Distributed Mass DVA(분포질량 동흡진기) Receptance(변위 전달 함수), Natural Mode(고유모드), Equivalent Stiffness(등가강성), Combined System(동흡진기 부착 시스템)

#### Abstract

Large machine and structure can not be normally treated as lumped parameter system. Such machine or structure must be broken down to individual beams or panels the motion of which must be analysed before an absorber system can be designed for each element. The absorber may be a lumped parameter system or a continuous system. One of the most common elements in a machine or structure is the cantilever, and in this paper is considered the design of a continuous parameter absorber to reduce the transverse vibrations of a beam. So this paper describes the method to obtain the accurate information about combined continuous beam system with DVA. This information is obtained from the combined system's receptance. and this paper shows the convenience and useful informations when design the dynamic vibration absorber with the combined system's receptance.

#### 기호설명

$K(\omega)$  : 등가강성  
 $M_h(\omega)$  : 가진점에서의 주 시스템의 Mobility  
 $\widehat{M}_h(\omega)$  : 동흡진기 부착 후 가진점에서의 Mobility  
 $R_{ab}$  : 주 시스템의  $x=a$ 에 작용하는 힘  
 $R_{ac}$  : 동흡진기 부착점  $x=a$ 에 작용하는 힘  
 $Y_x$  : 주 시스템의 임의 위치  $x$ 에서의 변위  
 $\widehat{Y}_x$  : 주 시스템의 임의 위치  $x$ 에서의 변위  
 $Y_{ab}$  : 주 시스템의  $x=a$ 에서의 변위  
 $Y_h$  : 주 시스템의  $x=h$ 에서의 변위  
 $Y_{ac}$  : 스프링-질량 구조물의  $x=a$ 에서의 변위

$Y_n(x)$  : 임의 측정점  $x$ 에 대한 고유모드의 크기  
 $Y_n(h)$  : 가진점  $x=h$ 점에 대한 고유모드의 크기  
 $Y_n(a)$  : 흡진기 부착점  $x=a$ 에 대한 고유모드의 크기  
 $\alpha(\omega)$  : 주 시스템의 Receptance  
 $\widehat{\alpha}(\omega)$  : 동흡진기 부착 시스템의 Receptance  
 $\beta(\omega)$  : 단일질량 동흡진기의 Receptance  
 $\beta_{0n}$  :  $n$  번째 동흡진기의 Receptance  
 $\omega_r$  : 동흡진기 고유진동수  
 $\omega_n$  : 주 시스템의 고유진동수  
 $\widehat{P}_h$  : 동흡진기 부착 후 가진점에서의 입력 power

#### 하첨자

a : 동흡진기 부착위치  
 B : 주 시스템  
 C : 단일 질량 동흡진기  
 h : 가진위치  
 x : 임의 측정위치

<sup>†</sup> 책임저자, 회원, 영남대학교 기계공학과  
 E-mail : cjh0414@yumail.ac.kr  
 TEL : (018)517-0414

<sup>\*</sup> 회원, 영남대학교 기계공학과

## 1. 서론

동흡진기에 대하여 대상 시스템을 연속체로 해석하는 것은 아직까지 많은 연구가 이루어지고 있지 않으며 적용사례 또한 전무한 실정이다.<sup>(1-7)</sup> 뿐만 아니라 단일 질량 동흡진기는 이미 알려진 단일 주파수 가진에 대한 효과적인 제어는<sup>(6-8)</sup> 가능하지만 충격이나 랜덤가진등의 복합적인 주파수 가진에 대한 효과적인 제어는 어렵다. 본 논문에서는 대상 구조물인 빔을 연속체로서 해석하였으며 동흡진기 부착 시스템의 변위 전달함수식을 이용하였다. 그리고 동흡진기는 분포질량 동흡진기로서 부착 위치에서 동흡진기가 가지는 여러 개의 공진 주파수가 가진주파수에 대응하여 시스템에 작용하도록 하였다. 그리고 동흡진기가 부착된 시스템의 변위전달함수로부터 시스템의 특성변화를 파악하고<sup>(9)</sup> 동흡진기의 설계에서 간과되었던 동흡진기 부착위치에 따른 동흡진기의 성능을 평가하였다. 그리고 동흡진기 부착전 주 시스템의 고유모드<sup>(10,11)</sup> 이용하여 흡진기가 부착된 복합 구조물의 변위전달함수를 표현하고 해석할 수 있음을 보이고자 한다.

## 2. 동흡진기가 부착된 Beam의 해석

동흡진기 부착 시스템의 Receptance을 빔에 적용하여 동흡진기가 부착된 빔의 전달함수와 특성 변화 및 연속체 시스템에 대한 동흡진기 설계에서 동흡진기 성능에 영향을 미치는 인자들에 대하여 알아보았다. Fig. 1은 동흡진기가 부착된 빔을 보여주고 있으며 경계조건에 따라 여러 형태의 고유모드를 가진다. 자유 물체도는 Fig. 2와 같이 나타낼 수 있으며 동흡진기에 작용하는 힘은 동흡진기 부착위치에서의 변위에 의하여 발생하는 것이며 동흡진기 부착 점에서의 시스템 변위와 동흡진기의 등가강성  $K(\omega)$ 에 의하여 결정된다.

### 2.1 운동방정식

동흡진기가 부착된 빔의 운동방정식은 가진력  $f(t)=0$  일 때 식 (1)과 같다. 식 (1)에서 동흡진기 부착 위치에서의 변위  $y(a,t)$ 는  $\delta$ 함수를 이용하여 식 (1.1)과 같이 표현할 수 있으며 동흡진

기의 운동방정식을 유도함으로서 시스템의 변위

$$EI\nabla^4 y(x,t) + \rho A \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} + k[z(t) - y(a,t)] = 0 \quad (1)$$

$y(a,t)$ 와 부착점에 대한 동흡진기의 변위전달함수로서 동흡진기에 의하여 발생하는 힘을 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$EI\nabla^4 y(x,t) + \rho A \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} + k[z(t) - \int_0^L y(x,t)\delta(x-a)dx] = 0 \quad (1.1)$$

$$f(t) = k(z(t) - y(a,t)) = kz(t) - ky(a,t)$$

$$k(z(t) - y(a,t)) = -m\ddot{z}(t) = \omega^2 m z(t) \quad (1.2)$$

$$\omega^2 m z(t) = kz(t) - ky(a,t) \quad (1.3)$$

$$(-\omega^2 m + k)z(t) = ky(a,t)$$

$$z(t) = \frac{k}{-\omega^2 m + k} \int_0^L y(x,t)\delta(x-a) = \frac{k}{-\omega^2 m + k} y(a,t) \quad (1.4)$$

식 (1.4)을 식 (1.2)에 대입하면,

$$\begin{aligned} f(t) &= k \left\{ \frac{k}{-\omega^2 m + k} y(a,t) - y(a,t) \right\} \\ &= k \left\{ \frac{k}{-\omega^2 m + k} - \frac{-\omega^2 m + k}{-\omega^2 m + k} \right\} y(a,t) \\ &= k \left\{ \frac{\omega^2 m}{-\omega^2 m + k} \right\} y(a,t) \\ &= K(\omega) y(a,t) \end{aligned} \quad (2)$$

식 (1.2) ~ 식 (2)로부터

$$EIy^{(4)}(x,t) + \rho A \ddot{y}(x,t) + K(\omega) \int_0^L y(x,t)\delta(x-a) = 0 \quad (3)$$

따라서 식 (3)는 다음과 같은 조건을 만족하는 방

정식이다. EI로 나누고,  $\frac{\rho A}{EI} = \frac{1}{a^2}$  라 두면

$$y^{(4)}(x,t) + \frac{1}{a^2} \ddot{y}(x,t) = 0 \quad \text{at } x \neq a$$

$$y^{(4)}(a,t) + \frac{1}{a^2} \ddot{y}(a,t) = -\frac{K(\omega)}{EI} y(a,t) \quad \text{at } x = a \quad (4)$$

위의 운동방정식으로부터 특성방정식을 구하고 동흡진기를 설계할 수도 있으나 운동방정식을 푸는 것이 쉬운 작업이 아니며 동흡진기 부착 시스템의 동특성을 정확히 파악할 수 없으므로 동흡진기를 설계하는 것 또한 쉬운 일이 아니다. 따라서 보다 쉽게 시스템의 특성을 파악하고 동흡진기를 설계할 수 있는 방법이 필요하다.

2.2 전달함수를 이용한 연속체 시스템의 해석

Fig. 1과 같이 동흡진기가 부착된 시스템의 임의 위치에 가진력이 주어질 때 자유물체도는 Fig. 2와 같이 나타낼 수 있으며 동흡진기 부착 시스템의 응답은 가진력에 대한 응답과 동흡진기의 반력에 대한 응답으로 나타낼 수 있다. 이러한 응답의 관계식은 “분포질량 동흡진기가 부착된 연속체 시스템에 대한 연구(I)”에서 유도하였으며 결과식은 다음과 같다.

$$\hat{a}_{xh} = a_{xh} - \frac{\alpha_{xa} \alpha_{ah}}{\alpha_{aa} + \frac{1}{K(\omega)}}$$

$$= a_{xh} - \frac{K(\omega) \alpha_{xa} \alpha_{ah}}{K(\omega) \alpha_{aa} + 1} \quad (5)$$

위 식 (5)는 x=h점에서 가진될 때 임의 위치 x=a에 동흡진기가 부착된 흡진기 부착 시스템의 전달함수를 나타내며 특성방정식은 다음과 같다.

$$1 + \alpha_{aa} K(\omega) = 0 \quad (6)$$

2.2.1 동흡진기 부착 방법에 따른 등가 강성

① 병렬 연결

동흡진기가 동일한 접촉점에서 여러 개의 고유진동수를 가질 때 Fig. 3과 Fig. 4와 같이 병렬과 직렬연결의 두 가지 형태로 구분할 수 있으며 각각의 등가강성은 식 (6.1)과 식 (6.2)와 같다. 그리고 n개의 고유진동수를 가지는 분포질량 동흡진기는 n개의 단일질량 동흡진기가 병렬 연결된 형

태로서 나타낼 수 있다.

$$F_0 = f_1 + f_2$$

$$f_1 = \frac{1}{\beta_{01}} X_0 = -\frac{k_1 m_1 \omega^2}{k_1 - m_1 \omega^2} X_0$$

$$f_2 = \frac{1}{\beta_{02}} X_0 = -\frac{k_2 m_2 \omega^2}{k_2 - m_2 \omega^2} X_0$$

$$F_0 = \left( \frac{1}{\beta_{01}} + \frac{1}{\beta_{02}} \right) X_0 = \sum_{r=1}^2 \frac{1}{\beta_{0r}} X_0 = K(\omega) X_0$$

따라서 병렬 연결된 n개의 단일 질량-스프링 동흡진기의 등가 강성은 식 (6.1)과 같다.

$$K(\omega) = \sum_{r=1}^n \frac{1}{\beta_{0r}} = \sum_{r=1}^n -\frac{k_r \omega^2}{\omega_r^2 - \omega^2} \quad (6.1)$$

② 직렬 연결

동흡진기가 직렬로 연결된 경우 Fig. 4와 같이 나타낼 수 있으며 동흡진기의 등가강성은 식 (6.2)과 같이 표현된다.

$$\frac{1}{K(\omega)} = \frac{1}{\frac{1}{\frac{1}{k_2} - \frac{1}{m_2 \omega^2}} - m_1 \omega^2} + \frac{1}{k_1} \quad (6.2)$$

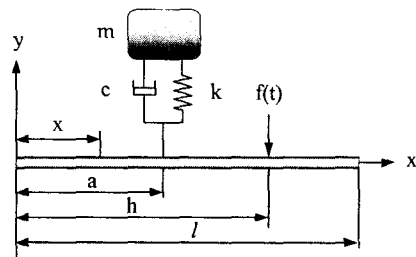


Fig. 1 Combined system (1 point)

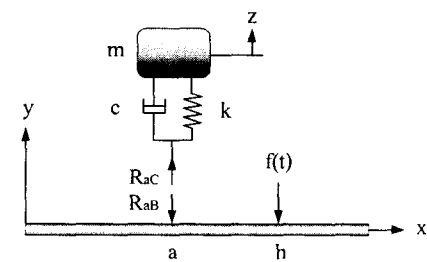


Fig. 2 Free body diagram

2.2.2 동흡진기 부착 개수에 따른 Receptance

동흡진기를 시스템의 서로 다른 점에 부착하였을 때 부착되는 흡진기의 개수  $n$ 에 따른 동흡진기 부착 시스템은 Fig. 5와 같이 나타낼 수 있으며 동흡진기 부착 시스템의 Receptance는 식 (6.3)과 같다.

$$\alpha_{xh}^n = \left\{ \alpha_{xh}^{(n-1)} - \frac{\alpha_{xa}^{(n-1)}\alpha_{ah}^{(n-1)}}{\alpha_{aa}^{(n-1)} + \frac{1}{K^n(\omega)}} \right\} \quad (6.3)$$

이와 같은 방법으로 서로 다른 위치에 동흡진기를 하나씩 부착함으로써 새로운 전달함수를 구할 수 있으며  $m$ 개의 고유진동수를 가지는  $n$ 개의 동흡진기가 연속체 시스템의 임의 위치에 부착된 경우에도 동흡진기가 부착된 시스템의 전달함수를 용이하게 구할 수 있다.

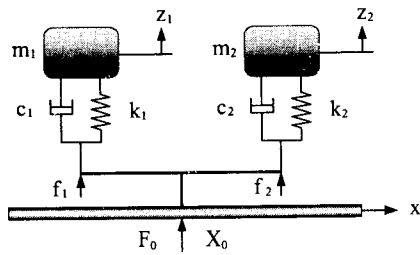


Fig. 3 The connection of parallel DVA

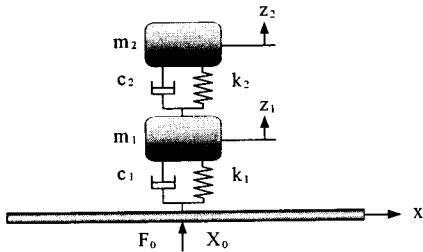


Fig. 4 Connection of serial

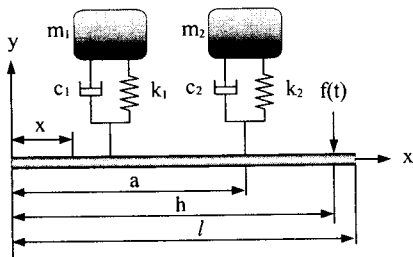


Fig. 5 Combined system (2 point)

2.2.3 고유모드를 이용한 동흡진기 부착 시스템의 해석

$$\alpha_{xh} = \frac{1}{\rho A l} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{Y_n(x)Y_n(h)}{\omega_n^2 - \omega^2} \quad (7)$$

변위전달함수는 고유모드의 무한 합으로 표현할 수 있으며 식 (7)은 동흡진기를 부착하기 전 시스템의 고유모드로부터 동흡진기가 부착된 시스템의 임의 위치에 대한 전달함수를 구할 수 있음을 보여준다. 따라서 식 (5)을 동흡진기 부착 전 시스템의 고유모드  $Y_n(x)$ ,  $Y_n(h)$ ,  $Y_n(a)$ 를 이용하여 표현할 수 있다. 여러 형태의 경계조건을 가지는 빔 중에서 sine함수로 표현되는 Pined-Pined Beam에 대한 고유모드를 이용하여 동흡진기 부착 시스템에 대한 Receptance와 고유진동수를 구하는 예를 보이고자 한다. 또한 동흡진기 부착 시스템의 Receptance를 이용하여 동흡진기를 설계하고 연속체 시스템에 대한 동흡진기 설계시 고려되어야 할 인자들에 대하여 살펴보았다.

3. DVA가 부착된 Pined-Pined Beam에 대한 해석

3.1 전달함수(Receptance)

Pined-Pined 빔에 대한 특성방정식은  $\sin \beta l = 0$ 를 만족하며, 고유모드  $Y_n(x)$ 는  $\sin \frac{n\pi x}{l}$  함수로 표현된다. 위 관계식을 식 (7)에 대입하면 아래 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\alpha_{xh} = \frac{1}{\rho A l} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{n\pi x}{l} \sin \frac{n\pi h}{l}}{\omega_n^2 - \omega^2} \quad (8)$$

또한 식 (7)로부터 가진 점과 동흡진기 부착위치에서의 Receptance  $\alpha_{ah}$ 와  $\alpha_{hh}$  그리고 동흡진기 부착위치에 대한 임의 측정 위치에서의 Transfer Receptance  $\alpha_{xa}$ 를 고유모드를 이용하여 구할 수 있다. 이와 같은 관계식으로부터 동흡진기 부착 시스템의 전달함수  $\hat{\alpha}_{xh}$ 를 동흡진기 부착 전 시스템에 대한 고유모드의 합으로 표현할 수 있다. 본 논문에서는 Pined-Pined 빔의 3번째 모드와 4번째 모드를 동시에 고려하였다.

3.2 고유진동수

Fig. 6은 식 (5)의 특성방정식을 Fig. 6과 같이 나타내었을 때 C에 대한  $\left\{\frac{\omega_k}{\omega_n}\right\}^2$ 를 나타낸다.

$$\left\{\frac{\omega_k}{\omega_n}\right\}^2 = \left\{ \left(1 + \frac{C}{2}\right) \pm \sqrt{\left(\frac{C}{2}\right)^2 + C} \right\} \quad (9)$$

위 식에서  $C = \frac{m}{\rho A l} Y_n(a) Y_n(a)$ 을 나타내며 동흡진기 부착 위치에 대한 시스템 고유모드의 크기에 의하여 결정됨을 알 수 있다. 따라서 동흡진기 부착전 시스템의 고유진동수  $\omega_n$ 에 대하여 동흡진기 부착후 시스템의 고유진동수  $\omega_k$ 는 동흡진기 부착 위치에 따라 달라짐을 나타내며 Fig. 7에서 이러한 결과를 보여주고 있다. 동흡진기 부착 위치 0.4(m)와 0.7(m)에서는 동흡진기의 성능이 제대로 나타나지 않는다. 이러한 이유는 고려되는 두 모드의 합에 대한 변위가 작기 때문이다. 동흡진기가 부착된 시스템의 특성방정식은 식 (2)와 같이 표현되므로  $\alpha_{aa}$ 와  $K(\omega)$ 에 의하여 결정됨을 알 수 있으며 동흡진기가 부착된 Pined-Pined 빔의 특성방정식은 다음과 같다.

$$1 + \sin \frac{n \pi a}{l} K(\omega) = 0 \quad (10)$$

3.3 목적함수

동흡진기의 부착위치에 따른 성능을 비교 및 평가하기 위하여 다음과 같이 동흡진기 부착전·후 시스템의 전달함수비를 구하여 나타내었다. 가진력에 의하여 시스템에 주어지는 power를 양의 값이라 할 때 가진점에서 시스템의 입력 파워  $\Pi_h$

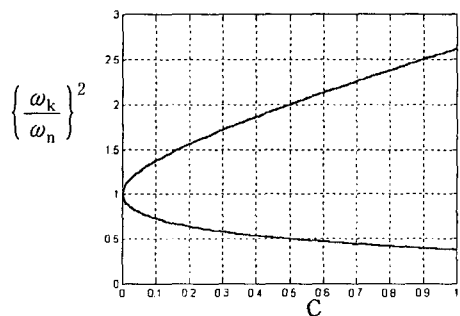


Fig. 6 Natural frequency of combined system

는 가진력 F와 가진점의 Mobility  $M_h$ 에 대하여 식 (11)과 같이 표현할 수 있다.

$$\Pi_h = \frac{1}{2} |F|^2 M_h \quad (11)$$

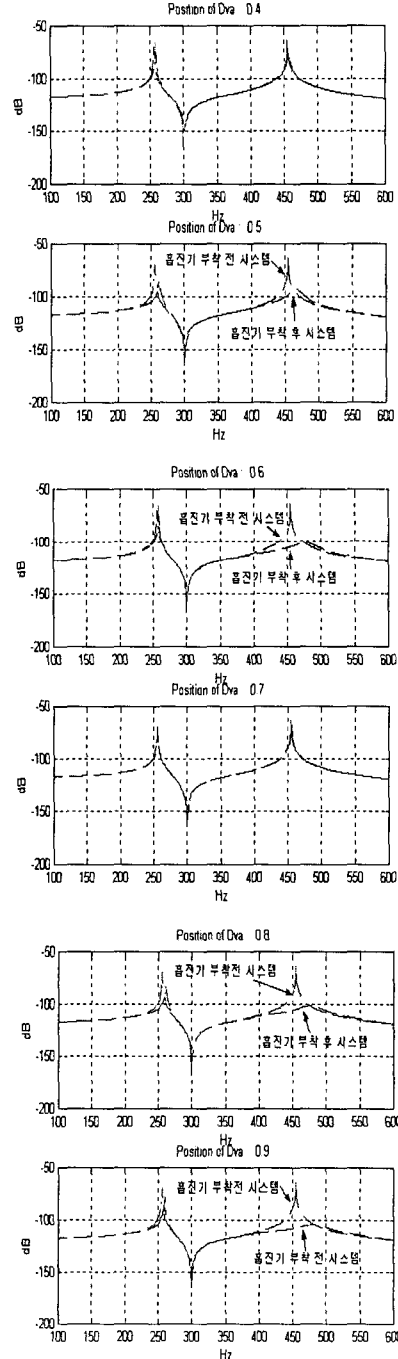


Fig. 7 Point receptance to attached point of DVA

식 (11)은 가진점에서 시스템에 전달되는 평균 파워를 나타내며  $Mobility = i\omega (Receptance)$ 의 관계식을 이용하면 동흡진기 부착전 주 시스템의 가진점에 대한  $Mobility M_h(\omega) = i\omega \alpha_h(\omega)$ 와 동흡진기 부착후 가진점에서의  $Mobility$ 를  $\widehat{M}_h(\omega) = i\omega \widehat{\alpha}_h(\omega)$ 로서 나타낼 수 있으며 다음의 관계식 (12)를 구할 수 있다.

$$\frac{\widehat{M}_h}{M_h} = \frac{\widehat{M}_h}{M_h} = \frac{\widehat{\alpha}_h}{\alpha_h} = R \quad (12)$$

식 (12)에서 동흡진기가 부착된 시스템의 변위 전달함수는 동흡진기 부착전 시스템의  $Receptance$ 보다 작아야 하므로 비례상수  $R$ 은  $0 \leq R < 1$ 의 범위를 가져야 한다. 비례상수  $R$ 이 가진 점에서 1보다 크다는 것은 가진 변위가 동흡진기 설치 후 증가하는 것을 의미하므로 동흡진기를 다시 설계하여야 한다. 위의 관계식으로부터 동흡진기는 주 시스템에 전달되는 입력파워를 줄이는 역할을 하는 장치라고 할 수 있다. Fig. 8은 동일한 동흡진기에 대하여 시스템에 대한 부착위치를 변경하면서 목적함수를 구하여 비교하였다. 빔의 전체 질량은 20(Kg)이며 동흡진기의 전체질량은 0.02(Kg)로 빔 질량의 0.001로 하였다. Fig. 8(a)과 (b)는 Pined-Pined 빔의 3번째 모드와 4번째 모드의 합과 각각의 모드를 나타내고 있다. Fig. 8(c)은 동흡진기의 부착 위치에 따른 흡진기의 성능을 식 (12)에 대한 목적함수의 크기 비를 dB에 대한 rms의 값으로 나타내었다. 따라서 dB의 차가 클수록 동흡진기 부착 후 시스템의 진동 진폭이 크게 감소하였음을 나타낸다. Fig. 8(a)과 Fig. 8(b)에서 3번째 모드와 4번째 모드가 0.4(m)에서 큰 변위를 가지지만 서로 위상이 다르므로 두 모두의 합은 작은 값을 가짐을 알 수 있다. 0.6(m) 부근과 가진 위치인 0.9(m) 부근에서 두 모드에 대한 합의 크기가 가장 크게 나타나며 이들 위치에 동흡진기를 부착하였을 때 효과적으로 성능을 발휘하며 가진 위치인 0.9(m)에 동흡진기를 부착하는 것이 가장 효과적임을 보여주고 있다. 그러나 일반적으로 가진점에 동흡진기를 부착하는 것은 불가능하므로 0.6(m)부근에 동흡진기를 부착하는 것이 바람직하며 전체 모드의 합에 대한 변위의 크기가 동흡진기 부착 위치에 대한 영향을 크게 좌우함을 알 수 있다.

### 3.4 단위 충격가진에 대한 시간응답

정상상태에서 주 구조물의 운동에너지는 동흡진기에 의하여 흡수되고 동흡진기의 감쇠에 의하여 에너지는 소멸된다. 주 시스템에 작용하는 외력에 대하여 동흡진기는 시스템의 진동을 제어하는 역할을 하지만 충격가진 이후의 정상상태에서는 시스템에 대하여 가진력의 역할을 하게된다. 따라서 동흡진기에 유입된 시스템의 운동에너지를

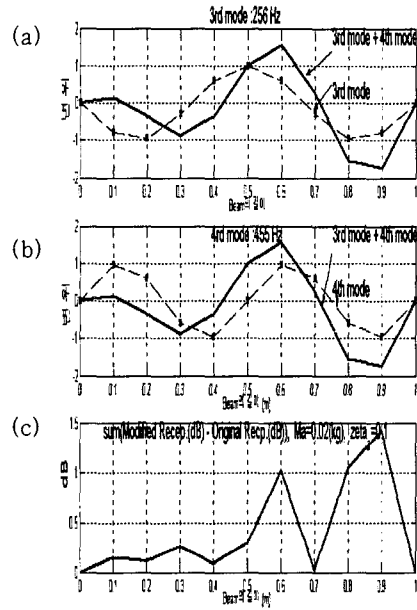


Fig. 8 Cost Function with respect to Attached Point of DVA

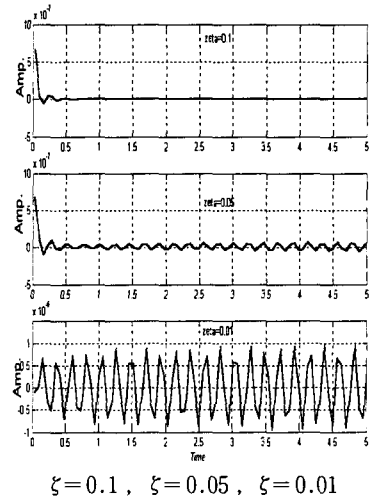


Fig. 9 Unit impulse response about impact and attached point of DVA at 0.9 (m)

소산하기 위하여 동흡진기의 감쇠비를  $\zeta=0.1$ 과 0.05 그리고 0.01의 값을 사용하여 그 결과를 비교하였으며 Fig. 9는 빔의 가진점에 흡진기를 부착하였을 때 가진점의 단위충격함수에 대한 시간 응답을 나타내고 있다. 식 (5)로부터 동흡진기의 고유주파수에서 가진 위치와 동흡진기의 부착 위치가 동일할 때 동흡진기 부착점  $x = a$ 에서 변위가 0이 됨을 알 수 있다. 시간응답함수는 가진점에서의 전달함수인 Receptance를 역변환하여 구한 것으로 시스템의 고유진동수에 대하여 하나의 흡진기만을 설계하였으며 동흡진기의 감쇠비 크기에 반비례하여 동흡진기의 진동에너지가 시스템으로 유입됨을 알 수 있다. 이와 같이 동흡진기의 에너지가 시스템으로 유입되는 것은 식 (5)에서 동흡진기 강성계수의 역수가 정확하게 0으로 되지 않는 경우와 정상상태에서 동흡진기의 에너지가 완전히 소산되지 못하고 시스템에 대하여 가진기의 역할을 할 때이다. Fig. 9는 동흡진기의 감쇠계수에 따른 정상상태에서의 주시스템에 대한 시간응답을 나타내는 것으로 동흡진기의 감쇠비가 작을수록 시스템 내로 유입되는 진동에너지가 증가함을 보여주고 있다.

#### 4. 결 론

동흡진기를 사용하여 연속체 시스템의 진동을 저감하고자 할 때 대상 구조물이 가지는 모든 모드는 동흡진기의 영향을 받게 된다. 따라서 이러한 영향이 고려된 상태에서 시스템의 특성이 파악되어야 하며 또한 단일 질량 동흡진기 뿐만 아니라 연속체 구조물의 고유모드를 이용한 동흡진기의 설계가 필요하다. 이러한 요구조건을 만족하기 위한 방법으로 동일지점에 여러 개의 단일 질량 동흡진기가 부착된 분포질량 동흡진기를 모델링 하였으며 분포질량 동흡진기가 부착된 시스템의 전달함수를 구함으로써 시스템의 동특성을 정확하게 파악하고 동흡진기의 설계가 용이함을 제시 하였다. 뿐만 아니라 동흡진기 부착 시스템의 Receptance는 동흡진기 부착 전 대상 구조물의 고유모드와 동흡진기의 접촉점에 대한 등가 강성에 의하여 구성되므로 대상 구조물의 고유모드만 파악된다면 쉽게 전달함수를 구성할 수 있다. 또한 고유모드를 수식으로 표현하는 것이 어려운 경우, 직접 대상 구조물의 전달함수를 측정하여 결과

식에 대입함으로써 동흡진기 부착 시스템의 전달함수를 구성할 수도 있으므로 임의 구조물에 대한 동흡진기의 설계에 매우 유용할 것으로 판단된다.

#### 후 기

본 논문은 BK21 지역대학 육성사업에 의한 연구비지원으로 이루어진 것으로서, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참고문헌

- (1) Korenev, B.G., and Reznikov, L.M., 1993, *Dynamic Vibration Absorbers*, John-Will & Sons, New York, pp. 1~29.
- (2) Hunt, J.B., 1979, *Dynamic Vibration Absorbers*, Mechanical Engineering Publication Ltd, London.
- (3) Snowdon, J.C., 1968, *Vibration and Shock in Damped Mechanical System*, John-Will & Sons, New York, pp. 316~331
- (4) In-Jun Run, 1989, *Design of Dynamic Vibration Absorber by Single Mode Approximation*, Department of Mechanical Engineering
- (5) Kidner, M. and Brennan, M.J., 1999, "Improving the Performance of a Vibration Neutraliser by Actively Removing Damping," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 221, No. 4, pp. 587~606.
- (6) Ewins, D.J., 1989, *Vibration with Control, Measurement, and Stability*, Prentice-Hall, Inc., USA, pp. 277~281.
- (7) Inman, D.J., 1994, *Engineering Vibration*, Prentice-Hall International, New Jersey.
- (8) Harris, C.M., 1988, *Shock & Vibration Handbook*, McGraw-Hill; third edition, New York.
- (9) Bishop, R.E.D. and Johnson, D.C., 1979, *The Mechanics of Vibration*, Cambridge University Press, London, pp. 17~33.
- (10) Maia & Silva, 1998, *Theoretical and Experimental Modal Analysis*, Research Studies Press LTD., England, pp. 63~81, pp. 151~164.
- (11) Ewins, D.J., 1984, *Modal Testing : Theory and Practice*, Research Studies Press LTD., England, pp. 287~413.