

점탄성 소재를 이용한 바닥판의 진동저감에 관한 연구

A Study on the Vibration Control of the Slab Using the Viscoelastic Material

김수진† · 황재승* · 김홍진** · 김도훈***

Kim Soo Jin, Hwang Jae Seung, Kim Hong Jin and Kim Do Hun

Key Words : Vibration Control(진동제어), Slab(바닥판), Viscoelastic Material(점탄성 소재), Viscoelastic Damper(점탄성댐퍼)

ABSTRACT

Attempts have been applied to reduce the vibration of slab. There are several method in the vibration control of slab from a traditional method such as increment of mass or stiffness of slab to a innovative method augmenting damping of slab. In this study, a attempt has been made to increase the effective damping in slab using the viscoelastic dampers made of viscoelastic material. The dampers are installed in a gab between slab and a beam. It is assumed that the stiffness of the beam is infinity for simplicity of the evaluation. we evaluate the reduction effect of the slab selected through numerical simulation and optimization process by applying it to a FEM model. The numerical simulation shows that the effective damping is increased as the number of bean is increased and the vibration control effect is very high.

기 호 설 명

1. 서 론

- D : 바닥판의 휨 강성
- E_s : 바닥판의 탄성계수
- v : 바닥판의 포아송비
- w(x,y,t) : 바닥판의 x, y, 시간 t 에서의 처짐
- W(t) : 모드공간에서의 처짐
- $\phi(x)$: x방향 모드형상
- $\phi(y)$: y방향 모드형상
- G_1 : 점탄성소재의 저장계수
- G_2 : 점탄성소재의 소산계수
- η : 점탄성소재의 손실계수
- c : 점탄성소재의 단위 길이당 감쇠
- k : 점탄성소재의 단위 길이당 강성
- A : 점탄성 소재 면적
- L : 점탄성 소재 두께
- $\delta(t)$: Dirac 델타 함수
- F_0 : 충격하중의 크기

바닥판의 진동을 저감하기 위한 다양한 방법이 시도되고 있다. 이들 방법 중에는 바닥판의 질량, 강성을 증가시키는 고전적인 방법부터 바닥판에 부가의 감쇠를 적용함으로써 진동을 저감하는 방법이 있다.

바닥판에 질량을 증가시키면 고유진동수가 전체적으로 작아지는 경향이 있으며, 외부하중에 대한 관성저항이 커져 진동의 크기를 줄일 수 있다. 이에 비하여 부가의 감쇠를 증가시키는 방법은 바닥판이 가지고 있는 에너지 흡수 능력을 부가 감쇠가 대신함으로써 진동을 줄이는 방법이다.

부가 감쇠는 실리콘 오일과 같은 점성의 액체를 이용하여 구현할 수 있으며, 점탄성소재와 같이 고체이면서 에너지 흡수 능력이 우수한 특성을 이용하여 구현할 수 있다. 전자의 경우 순수하게 바닥판의 감쇠만을 증가시키기 때문에 다른 구조요소에 미치는 영향이 작은 반면 후자의 경우 구조물의 감쇠뿐만 아니라 점탄성소재가 가지고 있는 강성이 구조물에 부가되기 때문에 동적특성이 변화하게 된다.

본 연구에서는 점탄성소재에 의해 바닥판에 부가되는 구조 감쇠의 특성을 고찰하고 구현된 감쇠에 의하여 바닥판의 진동이 저감되는 효과를 수치 시뮬레이션을 통하여 검증하고자 한다. 점탄성 소재 설치방법은 바닥판에 하부에 H 형강과 같이 큰 강성을 가지는 보를 설치하고 그 사이에 점탄성소재로 제작한 댐퍼를 삽입하여 이를 일체화하는 것이다. 이때

† 책임저자, 전남대 건축학부 석사과정
E-mail : jshwang@jnu.ac.kr
Tel : (062)530-0250, Fax : (062)530-0250

* 전남대 건축학부 교수

** RIST 선임연구원

*** 포스코 건설

바닥판 아래 점탄성 댐퍼를 지지하는 보의 강성을 매우 크다고 가정한다. 보와 바닥판과의 강성 비에 의하여 진동저감효과는 달라지지만 이는 추후 연구에서 다루기로 한다.

나타낸다.

2. 점탄성 소재를 이용한 댐퍼특성

2.1 점탄성 댐퍼의 해석모델

외부 조화 하중에 의하여 점탄성 재료에서 발생하는 응력과 변형률간에는 위상차가 발생하게 된다. 이러한 응력과 전단 변형률의 위상차로부터 점탄성 재료의 저장계수와 손실계수 및 손실계수는 다음과 같이 정의 된다.

$$G_1 = \frac{\tau_o}{\gamma_o} \cos(\psi) \quad (1)$$

$$G_2 = \frac{\tau_o}{\gamma_o} \sin(\psi) \quad (2)$$

$$\eta = \frac{G_2}{G_1} \quad (3)$$

여기서, τ_o, γ_o, ψ 는 각각 외부조화하중에 의한 응력, 변형률, 위상각을 나타낸다.

이러한 계수를 이용하여 면적 A 길이 L인 점탄성소재에 외부하중 F가 작용하면 그에 의해서 구현되는 탄성력과 점성력은 다음과 같이 복소수를 이용하여 나타낼 수 있다.

$$F = \left(\frac{G_1 A}{L} + i \frac{G_2 A}{L} \right) u = ku + ci \quad (4)$$

$$k = \frac{G_1 A}{L}, c = \frac{G_2 A}{Lw} \quad (5)$$

여기서, u, \dot{u} 는 점탄성소재에 하중 F가 작용했을 때의 변위속도, w 는 가진 진동수를 나타낸다. 다음 그림 1은 점탄성소재를 이용하여 구현한 댐퍼가 바닥판과 보 사이에 설치된 경우 해석모델을 나타내는 것이다. 보의 폭은 바닥판의 폭에 비하여 매우 작으므로 해석시에는 선으로 치환하여 해석하며, 점탄성 댐퍼의 강성, 감쇠는 단위길이 당 값으로 치환하여 적용한다.

2.2 점탄성 소재의 특성

바닥판의 점탄성 댐퍼에 사용된 소재는 외부하중의 진동수, 주변 온도, 변형률 등에 따라 각 계수 값이 달라진다. 이러한 변화들을 댐퍼 적용전에 실험을 통하여 소재의 특성 변화를 고찰할 필요가 있다. 다음은 바닥판 진동저감 점탄성 댐퍼에 사용하기 위해 개발된 소재의 실험조건과 그에 따른 결과를

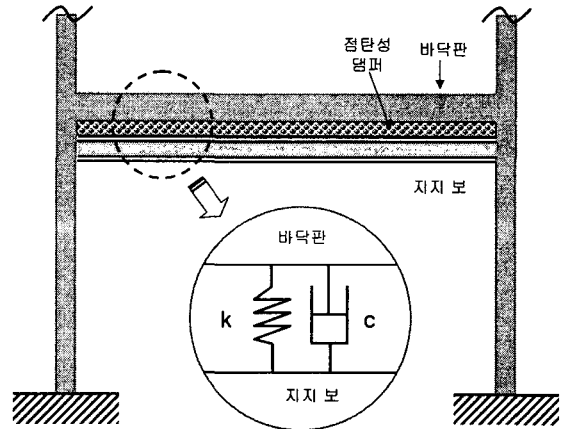
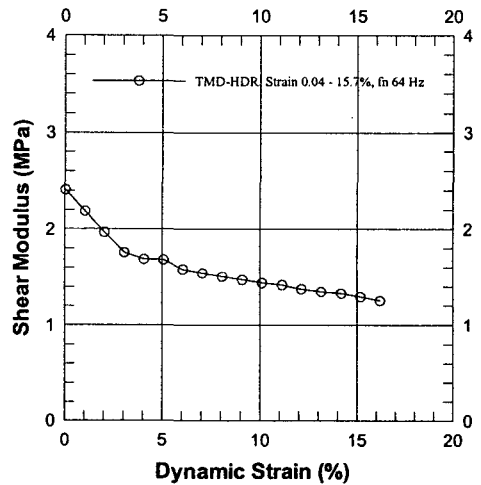


그림1. 바닥판과 지지 보사이의 점탄성소재의 모델링

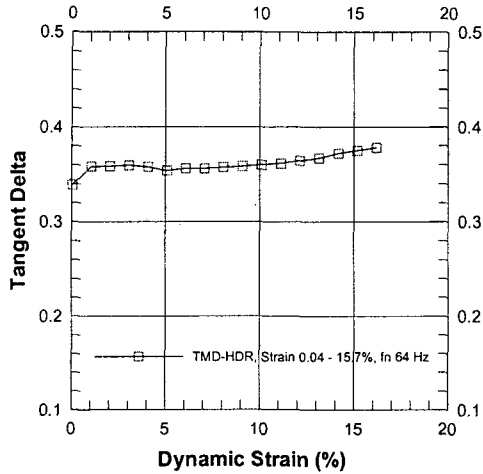
(1) 변위의존도시험결과

변위 의존도 시험에서는 주변온도를 20도, 가진 주파수를 64 Hz로 고정하고 동적 변형률을 0.04%에서 16.2%까지 변경하면서 전단 탄성계수와 손실계수를 구하였다. 시편의 사양은 지름 10mm 길이 2.06mm의 원통형 시편(10 2.06 mm)이며, 변형률을 최대 16.2%까지 증가시켰다.

그림 2(a)는 동적변형률에 대한 전단 탄성계수의 변화를 나타내고 있으며, 그림 2(b)는 동적변형률에 대한 지연각의 탄젠트 값 즉, 손실계수를 나타낸다.

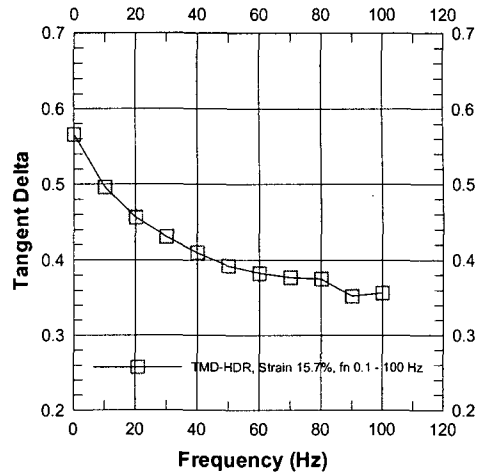


(a) 전단 탄성 계수



(b) 손실 계수

그림2 동적변형률에 따른 소재의 특성 변화



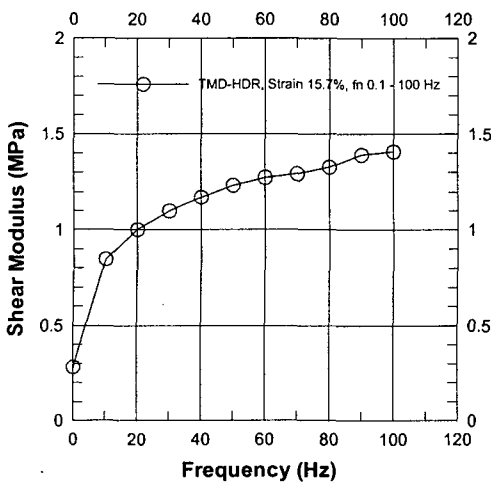
(b) 손실계수

그림3 가진 주파수에 따른 소재의 특성 변화

(2) 주파수의존도 시험결과

소재의 주파수 의존도 시험에서는 주변온도를 20도, 동적변형률을 15.7%로 고정하고 주파수의 범위를 0.1 Hz 에서 100.1Hz 까지 10Hz 간격으로 증가시키면서 소재의 동적특성을 실험적으로 구하였다.

그림 3(a)에서 보는 바와 같이 가진 진동수가 증가함에 따라 전단탄성계수는 증가하는 반면, 그림 3(b)의 손실계수는 감소하는 특성을 보이고 있다. 그러나 전단 탄성계수와 손실계수는 고 진동수에서 증가나 감소율이 작아지는 것을 알 수 있다. 손실계수가 0.35이상의 높은 값을 가지는 것을 알 수 있다.



(a) 전단 탄성 계수

3. 점탄성 소재에 의한 진동저감효과

3.1 점탄성 댐퍼가 설치된 바닥판의 거동

감쇠기가 (y_d)에 설치되고, 충격하중 F 가 (x_o, y_o)에 작용할 때, 바닥판의 운동방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + \frac{k}{D} w(x, y, t) \delta(y - y_d) + \frac{c}{D} \dot{w}(x, y, t) \delta(y - y_d) = \frac{F}{D} \delta(x - x_o) \delta(y - y_o) \quad (6)$$

여기서, $D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$

h 는 바닥판의 두께이다. 바닥판의 변위 w 를 모드 공간으로 치환 후 각 모드와 감쇠기가 연계된 모드방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다. 이때, 모드공간과 관련된 일반 법칙은 유효하다고 가정하며 1차 모드만을 나타낸다.

$$M_1 \ddot{w}_1 + K_1 w_1 + k \sum_{n=1}^{\infty} w_n \phi_{ny}(y_d) + c \sum_{n=1}^{\infty} \dot{w}_n \phi_{ny}(y_d) = F \phi_{1x}(x_o) \phi_{1y}(y_o) \quad (7)$$

3.2 수치해석에 의한 진동저감효과

수치해석에 사용된 바닥판, 점탄성소재의 특성이 다음 표에 주어져 있다.

표1. 바닥판과 점탄성 댐퍼의 사양

	구분	크기	비고
바닥판	크기	4.2 x 3.9m	2면 고정, 2면 자유
	두께	280mm	180mm (랜바닥) + 100mm(바닥마감)
	총질량	8.8 ton	완충층 50mm 제외
	1차 진동수	32.0 Hz	H형강
	1차 감쇠비	3.5%	H-150 x 75 x 6.5 x 10
점탄성 댐퍼	저장계수	1 MPa	
	손실계수	0.3	
	주 진동수	33 Hz	

표 1과 같이 주어진 바닥판 H형강 및 점탄성댐퍼가 모델링된 유한요소모델 및 수치해석결과가 다음그림에 나타나 있다.

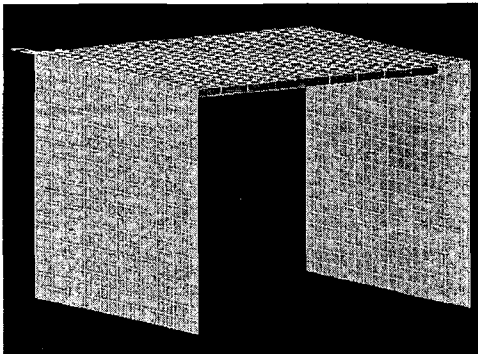


그림4. 바닥판과 점탄성 소재의 유한요소모델

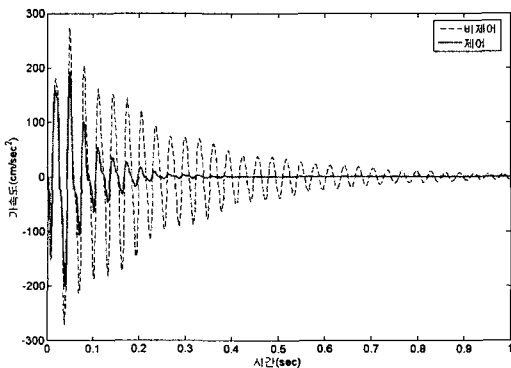


그림5. 점탄성 댐퍼 설치전후 가속도비교

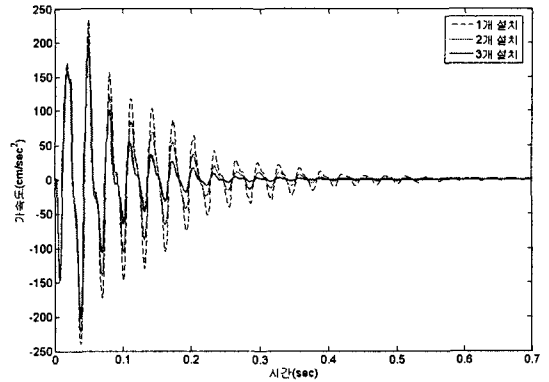


그림 6. 지지 보의 개수에 따른 바닥판의 가속도비교

4. 결론

본 연구에서는 점탄성 소재를 이용하여 제작된 댐퍼를 바닥판에 설치하여 진동저감효과를 수치시뮬레이션을 통하여 평가하였다.

수치해석결과 점탄성 소재의 온도, 가진 진동수에 따라 물성치가 달라지나 바닥판의 진동저감효과는 물성치 변화에 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 충격하중에 대한 저감효과가 나타나며, 감쇠비가 크게 증가하는 것을 알 수 있다.

진동제어효과는 지지 보의 강성에 따라 달라질 것으로 판단되나 이와 관련된 연구는 추후에 수행하기로 한다.

후 기

본 연구는 2005년도 포스코 건설과 포항산업 과학연구원 연구비 지원(과제번호: 2005K005)에 의한 결과의 일부임.

참 고 문 헌

- (1) Ahid D. Nashif, David I. G. Jones, John P. Henderson, 1985, Vibration Damping, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- (2) Rudolph Szilard, 2004, Theories and Applications of Plate Analysis, Wiley & Sons.
- (3) Mario Paz, William Leigh, 2004, Structural Dynamics, Kluwer Academic Publishers.
- (4) Kenneth, G. M., 1995, Vibration Testing, John Wiley & Sons, Inc., New York.