

바닥충격음에서의 천장구조에 따른 진동절연 효과

Vibration isolation effect of floor impact sound by ceiling structure

이 성 호*, 정 갑 철**, 정 진 연***

S. H. Lee, G. C. Jeong, J. Y. Chung

Key Words : floor impact sound (바닥충격음), damping ratio (감쇠계수), nature frequency (고유진동수), Ceiling structure (천장구조)

ABSTRACT

This study aims to evaluate factors of ceiling structure influencing to the floor impact sound. For this reasons, we measured the vibration of ceiling and the floor impact sound by ceiling structure.

The main results from this study are that ceiling structure makes worse to non-ceiling structure for an effect of air layer in heavy-weight floor impact sound. But it has an effect on light-weight floor impact sound about 2 ~ 8 dB.

1. 서 론

공동주택의 바닥충격음 문제가 사회문제로 대두되면서 건설교통부에서는 바닥충격음 문제를 줄여주기 위한 방편으로 '주택건설기준 등에 관한 규정 제 14조 제 3항'의 규정(공동주택의 바닥은 각 층간의 바닥충격음을 충분히 차단할 수 있는 구조로 하여야 한다)을 구체적인 성능기준(중량충격음 : 50dB 이하, 경량충격음 : 58dB 이하)과 표준시방 기준으로 구분하여 개정을 추진하였다.

또한 건교부에서 시행중인 '공동주택 바닥충격음 완화를 위한 표준바닥구조의 설계·시공기술 및 활용방안 연구' 등 바닥충격음 저감을 위하여 음원의 발생, 전달경로, 수음공간을 체계적으로 연구를 하고 있으나 현행 벽식구조에 있어서 아직까지 경제적이고 효율적인 바닥충격음 저감대책은 부족한 실정이다.

본 연구에서는 슬라브의 고강성공법, 뜬바닥공법 등과 같은 바닥구조에서의 저감대책 이외에 천장의 고차음화를 통한 바닥충격음 차단성능 기술에 대하여 검토하였다.

이에 대한 국내의 연구는 건설교통부 국책과제의 일환으로 전남대에서 수행한 " 기존 건물의 바닥충격음을 저감을 위한 보수·보강 기술"과제에서 유리면, 압면 등의 흡음재를 바닥슬라브와 천장사이에 충전하는 방안, 각종 천장공법을 이용하여 그에 대한 바닥충격음 차단성능 효과를 평가한 바 있으나 천장 등의 부가재와 공기층 상호관계, 슬라브와의 공진현상 등에 의한 바닥충격음 차단성능이 저감되는 메카니즘은 언급하지는 않았다.

따라서 본 논문에서는 현장에서의 실측결과를 통해 천장구조에 따른 바닥충격음 개선량에 대해서 공기층의 영향을 검토하였다. 또한 이 결과를 근거로 중량바닥충격음 차단성능을 개선할 수 있는 시스템을 제안하였다.

2. 천장구조에 따른 진동 전달율

일반 콘크리트 상부 슬래브 충격 시 하부 천장으로의 힘의 전달을 수직방향으로만 가정하고 횡방향으로 전달하는 힘을 무시한다면 상부 슬래브는 충격원의 충격시간 내에 대응하는 강제 변위부분이 동위상으로 진동하는 것으로 되어 단진동계로 가정할 수 있다. 또한 수직방향으로 전달되는 가진력이 경량철골을 지지하기 위한 행거를 통해 천장으로 전달되기 때문에 천장재(석고보드)로의 가진 상태를 점가진으로 한 집중정수 단진동계로 고려할 수 있다.

* 대우건설기술연구소 선임연구원
E-mail : 9520123@dwconst.co.kr
Tel : (031)250-1217, Fax : (031)250-1131

** 대우건설기술연구소 책임연구원

*** 대우건설기술연구소 연구원

이 계의 운동방정식은 식 (1)과 같으며,

$$F_T = kx + cx' \quad (1)$$

이는 위상을 고려하여 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$F_T = kX' \sin(\omega_f t - \psi) + c\omega_f X' \cos(\omega_f t - \psi) \quad (2)$$

식 (2)의 우변 두 항은 식 (3)과 같이 나타낼 수 있으며, 이때 투과된 전달력의 위상 ψ' 은 식 (4)와 같다.

$$F_T = X' \sqrt{k^2 + (c\omega_f)^2} \sin(\omega_f t - \psi') \quad (3)$$

$$\psi' = \psi + \tan^{-1} \left(-\frac{c\omega_f}{k} \right) \quad (4)$$

그러므로 전달력의 최대 진폭 또는 최대값은 다음과 같다.

$$(F_T)_{\max} = X' \sqrt{k^2 + (c\omega_f)^2}$$

$$\text{또는 } (F_T)_{\max} = \frac{X_0 \sqrt{k^2 + (c\omega_f)^2}}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\xi r)^2}} \quad (5)$$

여기서, $r = f/f_n$, ξ : 감쇠계수

진동전달을 T 는 강제 가진력에 대한 최대 전달력의 비로 나타내므로 위 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T = \frac{(F_T)_{\max}}{(F_0)} = \frac{\frac{1}{k} \sqrt{k^2 + (c\omega_f)^2}}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\xi r)^2}} \quad (6)$$

$X_0 = F_0/k$ 를 식(6)에 대입하면 진동전달율은 그림 2와 같이 진동수비와 감쇠비에 의해 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$T = \frac{\sqrt{1+(2\xi r)^2}}{\sqrt{(1-r^2)^2+(2\xi r)^2}} \quad (7)$$

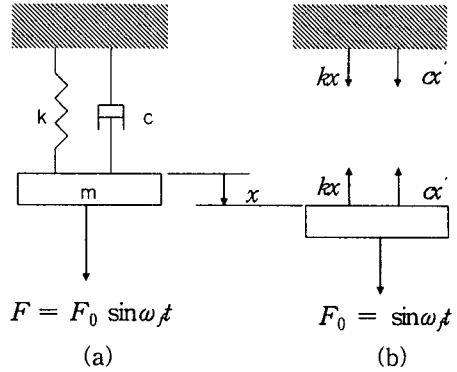


그림 1. 1자유도 진동계

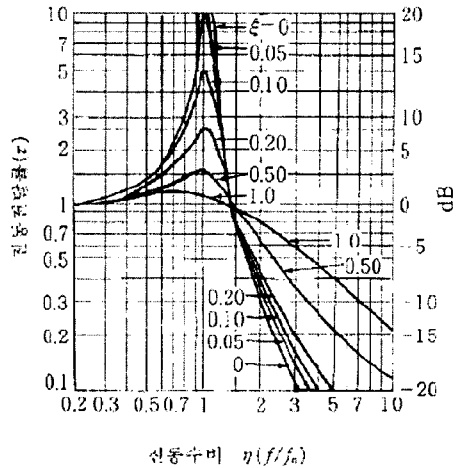


그림 2. 단진동계의 진동전달율

3. 측정개요 및 방법

국내에서 일반적으로 많이 사용되고 있는 경량철골 천장설치시의 바닥충격음 개선량을 예측하고, 특히 슬라브와 하부천장재 사이의 공기층 및 경량철골과의 연성계에 의해서 결정되는 영향을 파악하고자 건기연의 표준시험실을 이용하여 중량 및 경량의 바닥충격음 차단성능을 측정하였다. 표준시험실은 천장구조에 따른 바닥충격음의 전달 특성을 파악하기 위해 천장구조 변화를 제외한 기타 모든 측정조건(대상바닥의 면적, 수음실의 음장조건, 주변 구속조건 등)을 동일하게 설정하였다. 본 측정실의 개요는 표 1과 같다.

3.1 측정대상의 구조

측정대상의 천장구조는 표 2와 같으며 석고보드 마감재의 밀도변화, 공기층의 두께변화 및 방진달대 등을 조

합한 구조로 하였으며, 모든 천장구조는 경량철골 천장틀로 시공하였다. 방진달대의 설치는 900x900mm 간격으로 설치하였으며, M-bar는 300mm 간격으로 시공하였다. 그림 3은 시공사진이다.

표 1. 표준실험실의 개요

Size	4,500mm(W)x5,100mm(D)x2,850mm(H)
Volume	65.4m'
Structure	Wall slab
Thick of slab	210mm
Thick of wall	200mm

표 2. 천장구조

구분	구조	비고
A	석고보드 9.5mm + 공기층 70mm	
B	석고보드 9.5mm + 공기층 190mm	
C	석고보드 9.5mm + 공기층 190mm(흡음재 삽입)	
D	석고보드 9.5mm*2장 + 공기층 190mm(흡음재 삽입)	
E	석고보드 9.5mm + 공기층 190mm(방진달대)	방진고무(탄성계수: 50kg/cm)
F	석고보드 9.5mm + 공기층 190mm(방진달대, 흡음재 삽입)	방진고무(탄성계수: 50kg/cm)
G	석고보드 9.5mm + 공기층 300mm	
H	석고보드 9.5mm + 공기층 300mm(방진달대)	방진고무(탄성계수: 50kg/cm)



그림 3. 경량철골 천장틀 시공사진

3.2 측정 방법

(1) 바닥충격음 측정

바닥충격음 측정은 KS F 2810-1,2에 따라 측정하였다. 가진은 벽체에서 50cm 이상 떨어진 위치 4 지점과 대각선 중앙점을 포함한 총 5지점을 선정하여 충격점과 수음점으로 하였다. 측정 및 분석은 바닥면으로부터 1.2m 높이에 설치한 마이크로폰을 통하여 입력된 신호를 Real Time frequency Analysis로 분석하였다.

(2) 바닥진동 측정

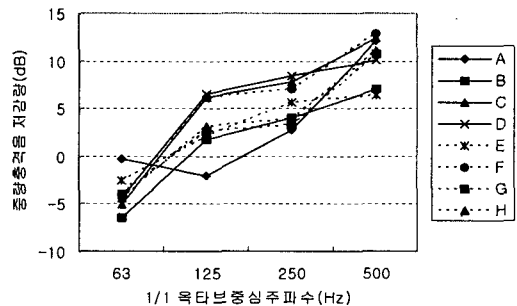
상부 슬라브에서의 충격에 대하여 하부 천장면으로의 진동 전달특성을 파악하기 위하여 상부 슬라브와 하부 석고보드에 진동을 동시에 측정하였다. 진동가속도계는 구조체의 진동을 최대한도로 감지하기 위하여 밀납을 이용하여 구조체에 견고히 부착하였으며 가진원은 중량충격원을 이용하여 슬라브 중앙을 가진하였다.

4. 측정결과와 분석 및 고찰

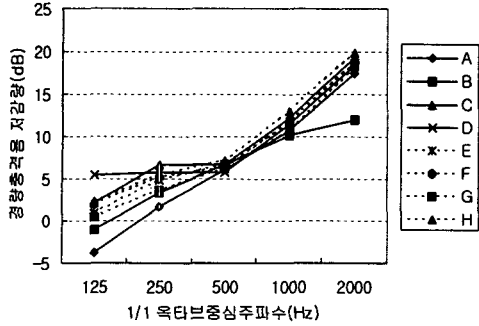
4.1 바닥충격음 측정결과

석고보드 마감재의 밀도변화, 공기층의 두께변화 및 방진달대 등을 조합한 구조로 설치하였을 경우에 중량 및 경량충격음 저감량(나슬라브 대비 A~H구조에 대한 상대레벨차)에 대해서 검토하였다. 그림 4의 측정결과에서 알 수 있듯이 중량충격음의 경우 63Hz 대역에서 증폭하고 있으며 A구조(공기층 70mm)의 경우는 63Hz 보다 125Hz에서 증폭되고 있다. 이는 천장 공기층의 두께가 작아질수록 1차 고유진동수가 높아지기 때문이다.

또한 경량충격음의 경우 일반적으로 경량충격음의 등급을 결정하는 결정 주파수 250Hz 대역에서는 천장을 설치하지 않은 구조에 비해 2~8dB 저감량이 증가하고 있다.



(a) 중량충격음



(b) 경량충격음

그림 4. 천장구조에 따른 바닥충격음 저감량

(1) 방진고무의 효과

그림 5는 방진고무의 감쇠계수 변화(0.1~1.0)에 따른 1차 고유진동수에서의 진동억제 효과를 나타낸 것이다. 감쇠계수가 증가 할수록 63Hz에서의 증폭현상이 커지는 것을 알 수 있다. 구조 E의 경우 구조 B에 비해 63Hz에서 4dB의 진동 전달율이 억제 되었다. 또한 그림 6과 같이 구조 E에서의 방진고무(탄성계수 : 50kg/cm, 감쇠계수 : 0.5¹⁾) 삽입에 따른 진동전달 저감량을 예측한 결과와 실측치를 비교하면 1차 고유진동수인 63Hz에서 0.8dB의 오차를 보이고 있으며 그 이상의 주파수에서는 석고보드의 차음량에 의해 차이가 발생하고 있다.

그림 7은 공기층을 300mm로 했을 때의 경우를 나타낸 것이며 구조 G와 H를 비교하면 방진고무 삽입에 따른 효과가 잘 나타나지 않고 있다. 이는 공기층의 탄성 효과에 의해 방진행거로의 진동전달 영향 보다는 석고보드 전면에 대해서 가진되기 때문인 것으로 판단된다.

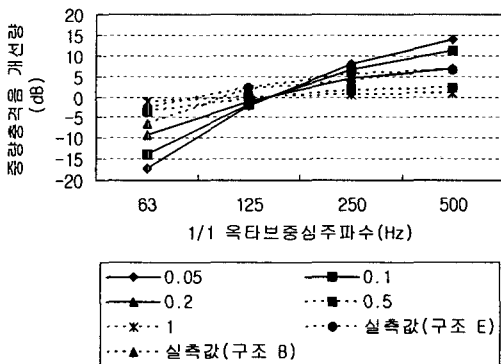


그림 5. 방진고무에 의한 진동 전달율의 산정 (공기층 190mm의 경우)

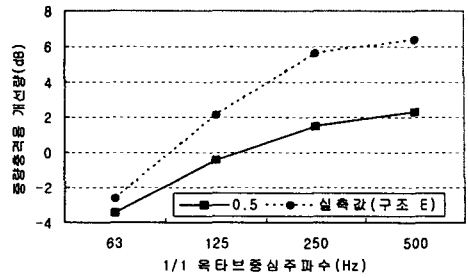


그림 6. 진동저감량 예측치와 실측치의 비교

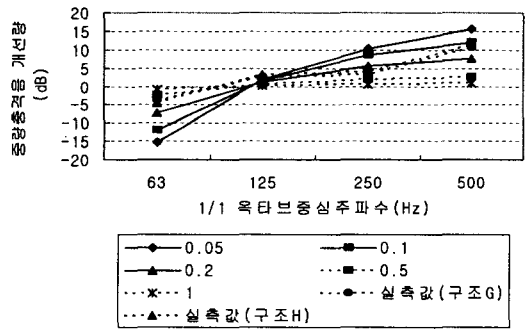


그림 7. 방진고무에 의한 진동 전달율의 산정 (공기층 300mm의 경우)

4. 결론

천장구조에 따른 바닥충격음 개선량에 대해서 공기층의 영향을 검토한 결과는 다음과 같다.

- 1) 중량충격음의 경우 63Hz 대역에서 증폭하고 있으며, 공기층 두께가 작아질수록 1차 고유진동수가 높아지기 때문에 63Hz 보다 125Hz에서 증폭되고 있다.
- 2) 경량충격음의 경우 일반적으로 경량충격음의 등급을 결정하는 결정 주파수 250Hz 대역에서는 천장을 설치하지 않은 구조에 비해 2~8dB 저감량이 증가하고 있다.
- 3) 구조 E의 경우 구조 B에 비해 63Hz에서 4dB의 진동 전달율이 억제 되었다. 따라서 방진고무에 대해 적절한 감쇠계수를 산정한다면 1차 고유진동수에서의 진동억제를 할 수 있을 것으로 판단된다.
- 4) 현재의 천장구조의 경우 천장과 슬라브 사이의 밀폐된 공간에서의 공기층의 탄성계수가 지배적이기 때문에 1차 고유진동수가 높아지게 되어 천장설치에 따른 충격음이 오히려 증폭된다. 따라서 천장설치 시 주변의 벽과 사이를 두어 공기층의 탄성효과를 줄이고 방진행거의 적절한 방진설계가 이루어 진다면 중량충격음의 차단능을 향상시킬 수 있으리라 판단된다.

1) Properties of material, "Engineering vibration", Prentice-Hall, 2000