

튼바닥층의 하중조건에 따른 경량충격음 저감량 분석

Analysis of the Reduction of Light-weight Impact Noise for Load Condition of Floating Floor

양재훈† · 김명준* · 이성호**

Yang Jae-hoon, Kim Myung-jun and Lee Sung-ho

Key Words : Impact Noise(충격음), Floating Layer(튼바닥층), Resilient Material(완충재)

ABSTRACT

Recently, for the purpose of improving the isolation performance of impact noise, many resilient materials have been installed in a residential building. As one of the reduction method for improving the performance of light-weight impact noise, this study is focused on the load condition of floating layer over resilient material. We studied the correlation between the mass or load of the floating layer and the reduction of light-weight impact noise by experiments in reverberation chamber for testing the impact noise.

The results show that the reduction of impact noise is improved by increasing the mass per unit area of floating layer until about 140kg/m². But the reduction is not obvious by adding extra mass on the floating layer.

1. 서 론

공동주택 주거환경을 저해하는 주요 요인으로 부각되고 있는 바닥충격음 문제에 대응하기 위해 다양한 연구개발이 이루어지고 있다. 특히 바닥슬래브 위에 단열기능과 함께 충격음 저감기능을 함께하는 다양한 완충재 개발이 활발히 진행되고 있다.^{(1),(2)}

완충재는 상부에서 가하여진 충격진동을 전달경로 상에서 차단하는 기능을 가진 것으로 특히 경량충격음 저감에 유효한 것으로 알려져 있다. 완충재를 사용한 바닥구조를 소위 뜬바닥(floating floor)구조라 일컫는데, 일반적으로 완충재의 동탄성계수 및 손실계수가 완충재 저감효과를 결정하는 주요한 요소로 파악되고 있다.

그러나 I.Ver(1970)에 의하면 뜬바닥구조에 의한 바닥충격음 개선량은 동탄성계수 및 손실계수 뿐 아니라 뜬바닥층의 두께나 면밀도 등 다양한 변수에 의해서 영향을 받는 것으로 제안하고 있다. 또한 Pavoni 외(2003)는 가중규준화바

닥충격음레벨 저감량을 완충재의 동탄성계수와 뜬바닥층의 면밀도를 변수로 하는 실험식을 제안하였다.

본 연구에서는 뜬바닥구조층(이하 뜬바닥층, 완충재 상부에 얹어지는 경량기포콘크리트, 마감몰탈 등)의 하중조건 변화에 따른 경량충격음 개선효과를 검토하는데 목적을 두었다.

이를 위해 음향실험실에서 최근 일반적으로 많이 사용하는 완충재 위에 뜬바닥층의 하중조건을 다양하게 변화시켜 가면서 경량바닥충격음 변화를 검토하였다.

2. 이론 고찰

2.1 I.Ver의 제안식³⁾

Ver의 의해서 제안된 뜬바닥구조의 바닥충격음 개선량에 관한 제안식은 식(1)과 같다.

$$\Delta L_n \approx 10 \log \frac{2.3 \rho_{sl}^2 \omega^3 \eta_1 c_{fl} h_1}{n' s^2} \quad (1)$$

h_1 : 뜬바닥층 슬라브의 두께, m

c_{fl} : 뜬바닥층 슬라브의 종파전달속도, m/s

ρ_{sl} : 뜬바닥층 슬라브의 단위면적당 질량, kg/m²

η_1 : 뜬바닥층 슬라브의 손실계수

† 책임저자, 서울시립대학교 건축공학과 대학원

E-mail : yjh2049@naver.com

Tel : (02) 2210-5326

* 서울시립대학교 건축학부

** 대우건설기술연구원

n' : 단위면적당 탄성마운트의 수

s : 마운트의 탄성계수, N/m

식(1)으로부터 바닥충격을 개선량은 기타 모든 조건이 동일할 때, 뜬바닥층 슬래브두께(h_1)가 2배가 되면 수음실의 음압레벨(ΔL_n)은 약 3dB, 뜬바닥층 슬래브의 면밀도(ρ_{sl})가 2배가 되면 약 6dB정도가 되는 것으로 제시하고 있다.

2.2 Pavoni, Schiavi의 제안식⁴⁾

Pavoni에 의한 뜬바닥구조의 조건에 따른 가중규준화바닥충격음레벨 개선량($\Delta L_{n,w}$)에 관한 제안식은 식(2)와 같다.

$$\Delta L_{n,w} = 18 + 15 \log \frac{m}{s} \quad (2)$$

m : 뜬바닥층 슬래브의 단위면적당 질량

s : 단위면적당 동탄성 계수

식(2)에서와 같이 뜬바닥구조의 가중규준화바닥충격음레벨 개선량($\Delta L_{n,w}$)은 뜬바닥층 하부 완충재의 동탄성계수(s)에 반비례하고, 뜬바닥층의 단위면적당 질량(면밀도)에 비례하는 것으로 제안하였다.

3. 실험 및 결과 분석

3.1 측정개요

실험은 D사의 음향실험실에서 진행하였으며 표 1과 표 2는 측정장비와 실험실 개요를 나타낸다. 표 3은 실험에 사용된 완충재(충격음저감재)의 물리적 특성을 나타낸다.

표1. 측정장비 제원

품명	모델명	제작회사	비고
다채널 신호분석기	Harmonie	01dB	1/3 octave
경량충격원	F1-01	RION	Tapping Machine

표2. 실험실 개요

	A 잔향실(가진실)	B 잔향실(수음실)
체적(m^3)	249 m^3	214 m^3
바닥면적(m^2)	43.7 m^2	43.7 m^2
차단주파수(Hz)	100Hz	100Hz
압소음	20dB(A)이하	25dB(A)이하

표3. 완충재의 물리적 특성

구분	겉보기밀도(kg/m^3)	동탄성계수(MN/m^3)	손실계수	비고
EPS10	20.1	94.9	0.30	KS 3호
EPS20	19.7	78.8	0.23	
EPP10	14.8	33.2	0.29	
EPP20	15.1	21.9	0.21	75배울
PE10	25.3	53.1	0.27	40배울
PE20	26.4	29.6	0.23	

그림 1은 실험이 수행된 음향실험실(잔향실)의 평면 및 단면을 나타낸 것으로, 상하층으로 구성된 음향실험실의 음원실 중앙부에 그림 2와 같이 완충재를 포함한 뜬바닥구조를 시공하여 실험을 실시하였다. 뜬바닥층 시편은 가로 및 세로의 길이가 각각 1m의 규모이며, 완충재 위에 하중조건에 따라 뜬바닥층을 시공하여 실험을 실시하였다.

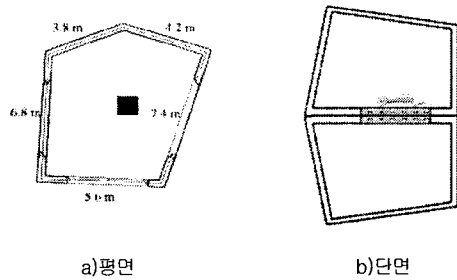


그림 1. 실험실 평면 및 단면

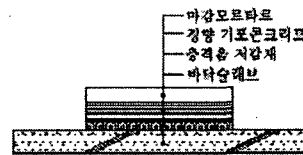


그림 2. 실험용 뜬바닥구조 구성 예

3.2 뜬바닥층 하중에 따른 바닥충격음레벨 변화

뜬바닥층의 자체하중(면밀도) 조건에 따른 바닥충격음레벨 변화를 검토하기 위해 7개의 뜬바닥층 하중조건을 설정하였다.

뜬바닥층 구조의 하중조건은 마감몰탈과 경량기포콘크리트 구성 두께가 다른 3개의 하중판을 조합하여 7개의 하중조건을 구성하였다. 실험시 뜬바닥층 하중판의 조합시 일체화를 위하여 동일한 중량의 석고를 하중판 사이에 위치시킨 후 충분한 양생 후에 실험을 진행하였다. 뜬바닥층 하중판의 조합시 접합면의 일체화를 위한 석고의 사용은 표준경량충격원에 의한 충격에너지를 시편 전체로 전달시키게 하기 위함이다.

표 4는 실험에 사용된 뜬바닥층 하중조건을 나타낸다. 뜬바닥층 하부에 설치하는 완충재는 각각 10mm, 20mm, 30mm 두께의 EPS, EPP, PE로 총 9종이 사용되었다. 따라서 7종의 뜬바닥층의 하중조건에 대해 총 63개의 조건에 대해 실험을 수행하였다.

그림 3은 뜬바닥층 하중조건에 따른 바닥충격음레벨 실험 장면을 나타낸 것이다.

그림 4는 PE20mm 완충재를 (a)-(g)의 뜬바닥층 하중 조건에 따라 수음실에서 측정한 규준화바닥충격음레벨($L'n$)을 나타낸 것으로서 뜬바닥층의 하중조건이 81kg~140kg인 경우 250~630Hz의 주파수대역에서 음압레벨 변화가 상대적

으로 큰 것으로 평가되었다. 그러나 200kg 이상의 하중조건에서는 하중 증가에 따른 레벨 차이는 크지 않은 것으로 분석되었다.

그림 5는 뜬바닥층 하부에 두께별 3종의 PE 완충재를 사용한 경우의 예로서 뜬바닥층 하중조건에 따른 수음실의 음압레벨(overall레벨)과 가중규준화바닥충격음레벨(Ln.w)을 함께 나타낸 것이다. 뜬바닥층의 하중 81kg과 140kg을 비교하면, 음압레벨의 경우 하중조건 140kg의 경우가 81kg인 경우에 비해 완충재 두께에 따라 10~13dB 낮은 것으로 측정되었으며, 이를 가중규준화바닥충격음레벨(Ln.w)로 평가하면 7~9의 차이인 것으로 평가되었다. 그러나 140kg이상의 하중조건에서는 음압레벨로는 2~4dB, Ln.w는 1~3의 수치량 변화를 나타내고 있어 하중 증가에 따른 충격음레벨 저하의 경향이 뚜렷하지는 않은 것으로 나타났다.

표4. 뜬바닥층 하중 재하조건

No.	Sample	하중[kg]
a	시료mm-마감물탈40mm	81
b	시료mm-마감물탈40mm경량기포70mm	117
c	시료mm-마감물탈50mm경량기포75mm	140
d	시료mm-마감물탈40mm+ 마감물탈40mm경량기포70mm	200
e	시료mm-마감물탈40mm+ 마감물탈50mm경량기포75mm	224
f	시료mm-마감물탈40mm경량기포70mm+ 마감물탈50mm경량기포75mm	260
g	시료mm-마감물탈40mm+ 마감물탈40mm경량기포70mm+ 마감물탈50mm경량기포75mm	340

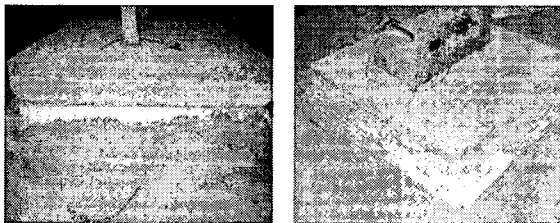


그림3. 뜬바닥층하중 조건에 따른 실험사진

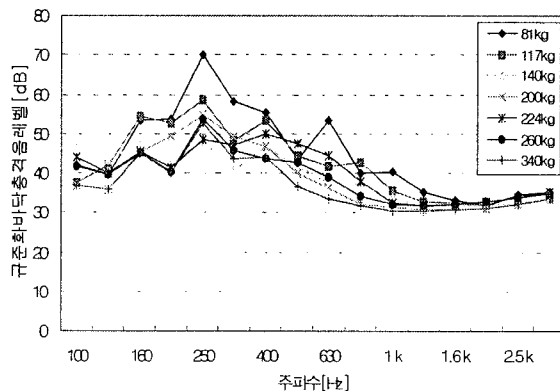


그림4. 뜬바닥층 하중에 따른 수음실의 음압레벨(PE20mm)

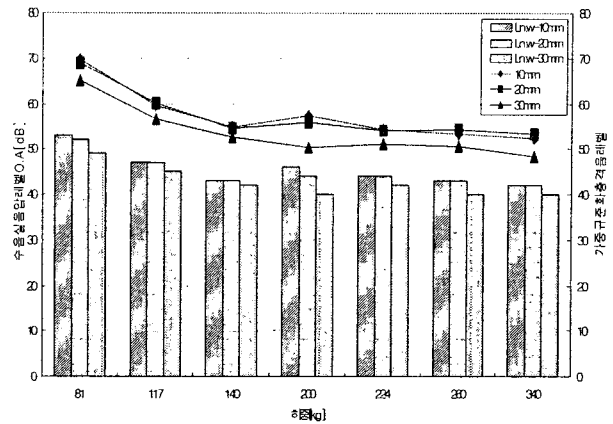


그림5. 뜬바닥층 하중에 따른 수음실의 음압레벨(PE)

Pavoni의 제안식(식(2))에서는 뜬바닥층의 하중이 2배 증가함에 따라 충격음레벨 개선량($\Delta Ln.w$)이 약 4.5정도이나 이를 본 실험결과와 비교하면 하중변화가 1.45배인 경우(81kg→117kg) 4~6, 1.75배인 경우(81kg→140kg) 7~10, 2.5배인 경우(81kg→200kg) 7~9, 2.8배인 경우(81kg→224kg) 7~9, 3.2배인 경우(81kg→260kg) 9~10, 4.2배인 경우(81kg→340kg) 9~11의 변화를 나타냈다. 이러한 경향은 완충재 EPS, EPP에서도 유사하게 나타났다.

3.3 부가하중에 따른 바닥충격음레벨 변화

뜬바닥층 상부에 별도의 하중을 부가하여 바닥충격음레벨 변화를 검토하였다. PE완충재 상부에 80kg/m²의 마감물탈을 기본 구조로 하고 그 위에 총 22개의 하중조건을 설정하였다. 하중의 부가는 개당 10kg의 모래주머니를 제작하여 사용하였다. 측정시 기본 뜬바닥층 상부에 적재되는 모래주머니는 경량충격원 작동에 영향을 주지 않게 적재하였다.

표 5는 실험에 사용된 부가하중조건을 나타낸 것으로 경량충격원의 자체하중(약 17.8kg)을 제외한 것이다. 완충재는 PE 10mm, 20mm, 30mm 두께 3종을 사용하였다. 부가하중실험은 총 69종의 조건에 대하여 실험을 수행하였다.

그림 6은 실험장면을 나타낸다.

그림 7은 (a),(e),(i),(m),(q)(부가하중 40kg 증가)의 부가하중조건에 따라 수음실에서 측정된 규준화바닥충격음레벨(L'n)을 나타낸 것으로서 모두 250Hz주파수대역에서 최대치를 나타내며, 주파수대역별 특성은 전반적으로 유사한 것으로 측정되었다.

그림 8은 기본 뜬바닥층 하부에 두께별 PE완충재를 사용한 경우의 예로서 부가하중조건에 따른 수음실의 음압레벨과 Ln.w를 함께 나타낸 것이다. 부가하중이 80kg과 120kg을 비교하면, 음압레벨의 경우 완충재의 두께에 따라 2~3dB낮은 것으로 측정되었으며, 이를 Ln.w로 평가하면 1의 차이인 것으로 평가되었다. 그러나 120kg이상의 하중조

건에서는 음압레벨로는 1dB이내, Ln.w은 동일한 것으로 평가되었다.

부가하중조건에 따른 충격음 변화는 뜬바닥층 하중변화에 비해서 적은 수치를 나타내는데, 기본 뜬바닥층의 두께변화가 없이 별도 부가하중 하중에 의해서는 충격음 변화에 크게 영향을 주지 않는 것으로 파악되었다.

표5. 부가하중 재하조건

No.	Sample	하중[kg]
a	PE(mm)-마감물탈40mm	80
b	PE(mm)-마감물탈40mm-10kg	90
c	PE(mm)-마감물탈40mm-20kg	100
d	PE(mm)-마감물탈40mm-30kg	110
e	PE(mm)-마감물탈40mm-40kg	120
f	PE(mm)-마감물탈40mm-50kg	130
g	PE(mm)-마감물탈40mm-60kg	140
h	PE(mm)-마감물탈40mm-70kg	150
i	PE(mm)-마감물탈40mm-80kg	160
j	PE(mm)-마감물탈40mm-90kg	170
k	PE(mm)-마감물탈40mm-100kg	180
l	PE(mm)-마감물탈40mm-110kg	190
m	PE(mm)-마감물탈40mm-120kg	200
n	PE(mm)-마감물탈40mm-130kg	210
o	PE(mm)-마감물탈40mm-140kg	220
p	PE(mm)-마감물탈40mm-150kg	230
q	PE(mm)-마감물탈40mm-160kg	240
r	PE(mm)-마감물탈40mm-170kg	250
s	PE(mm)-마감물탈40mm-180kg	260
t	PE(mm)-마감물탈40mm-190kg	270
u	PE(mm)-마감물탈40mm-200kg	280
v	PE(mm)-마감물탈40mm-210kg	290
w	PE(mm)-마감물탈40mm-220kg	300

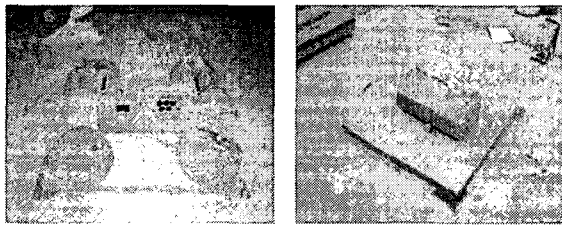


그림6. 부가하중 실험사진

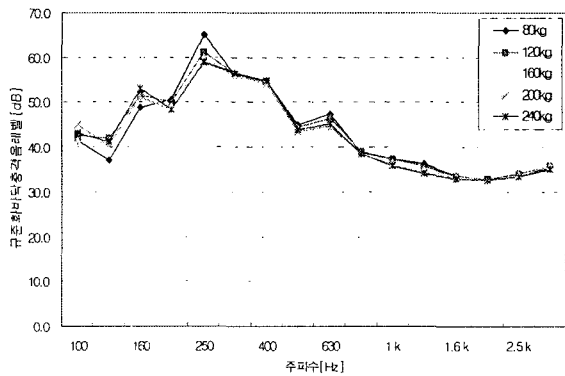


그림 7. 부가하중에 따른 수음실의 음압레벨(PE20mm)

표 6는 완충재 PE의 부가하중변화에 따른 충격음레벨변화 상관식을 나타낸 것이다. 뜬바닥층 상부의 부가하중(m')이 증가함에 따라 음압레벨이 줄어드는 경향을 보이고 있으나, 일정량의 하중증가부분부터는 음압레벨감소 형태를 가지지 않으며, 결정계수(R²)는 0.8073~0.8808로 평가되었다.

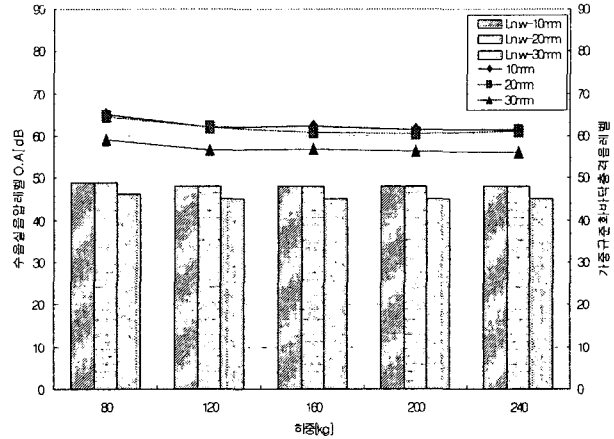


그림8. 부가하중에 따른 수음실의 음압레벨(PE)

표6. 음압레벨과 부가하중의 상관식

시료	선형추세수식	R ²
PE10mm	SPL=0.0001m ² -0.0382m'+ 66.40	0.8808
PE20mm	SPL=0.0002m ² -0.0495m'+ 65.74	0.8073
PE30mm	SPL=6E-0.5m ² -0.0245m'+ 59.88	0.8087

4. 결론

뜬바닥층의 하중조건 변화에 따른 경량충격음 개선효과를 검토한 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 뜬바닥층의 7가지 하중조건(81kg~340kg)에 대하여 바닥충격음레벨을 측정된 결과 81kg에서 140kg으로 하중증가 시 완충재에 따라 음압레벨(overall레벨)개선량은 9~17dB로 측정되었고, 기준규준화충격음레벨(Ln.w)로 평가한 결과 5~11의 저감량이 있는 것으로 평가되었다. 그러나 뜬바닥층의 하중이 140kg이상의 조건에서는 하중증가에 따른 충격음레벨 저하 경향이 뚜렷하지 않은 것으로 나타났다.

2. 뜬바닥층 상부에 23가지 하중조건(80kg~300kg)으로 별도의 하중을 부가하여 바닥충격음레벨을 측정된 결과 완충재 PE의 두께에 따라 음압레벨(overall레벨)개선량은 1~4dB로 측정되었고, 기준규준화충격음레벨(Ln.w)로 평가한 결과 1이 내의 차이를 가지는 것으로 나타났다.

3. 본 연구를 통해 일정 하중조건(면밀도)이하에서는 뜬바닥층의 자체하중이 경량충격음과 상관성이 있으며, 뜬바닥층 자체의 하중변화 없이 단순히 상부에 부가되는 하중은 경량 충격음에 크게 영향을 미치지 않음을 확인하였다. 향후 실제 현장에서 하중과 경량충격음 변화에 대한 추가적인 검토가

이루어질 필요가 있다고 판단된다.

참 고 문 헌

- (1) 장재희, 공동주택 바닥충격음 저감재의 저감효과에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 18권4호, 2002.4.
- (2) 이주원 외, 충격음 저감재의 동특성과 실험실 경량충격음레벨 저감량과의 상관관계, 춘계학술대회논문집, 한국소음진동공학회, pp. 191~195, 2003.
- (3) I.L.Ver, Impact noise isolation of composite floors, JASA, Vol.50 No.4, 1970.
- (4) Pavoni, Belli, Russo, Schiavi, "Measurement of dynamic stiffness to estimate the reduction in impact sound pressure level", Euronoise, Naples 2003.
- (5) Leo L. Beranek 외, Noise and vibration control engineering, John wiley & sons inc., 2005.10.