



타공형 석고보드 천장적용에 따른 중량충격음 저감 효과분석

Analysis Effects of Perforated Gypsum Board Ceiling Structure for Floor Impact Sound Reduction

신혜경* · 김경우†

Hye Kyung Shin* and Kyoung Woo Kim†

(Received May 21, 2019 ; Revised July 9, 2019 ; Accepted July 9, 2019)

Key Words : Floor Impact Sound(바닥충격음), Perforated Gypsum Board(타공 석고보드), Ceiling Structure(천장구조), Sound Absorption Coefficient(흡음계수)

ABSTRACT

As the number of old apartments increases, a method that reduces heavy weight floor impact sound during remodeling or repair work needs to be developed. Generally, apartment ceilings are constructed using gypsum boards with an air layer approximately 170 mm to 200 mm from the bottom slab. This air layer causes amplification of heavy impact sound in the 63 Hz ~ 125 Hz frequency band. In this study, to reduce amplification of sound, a ceiling structure composed of sound-absorbing material and perforated gypsum boards is used. For optimal design, the sound-absorbing performance of ceiling constructs are tested. Moreover, the selected ceiling structure is constructed for a laboratory similar to an apartment house to verify heavy-weight impact sound insulation performance. The experimental results show that sound was reduced by 2.6 dB at 63 Hz and by 0.7 dB at 125 Hz. For a rubber ball, it was reduced by 1.8 dB at 63 Hz and by 1.6 dB at 125 Hz. Single number quantity($L_{i,Fmax,AW}$) is reduced bang machine by 1 dB and rubber ball by 2 dB

1. 서 론

아파트에서 바닥충격음은 층간소음의 가장 큰 비율을 차지하며, 이를 줄이기 위한 다양한 연구가 수행되고 있다. 바닥충격음의 발생을 저감하기 위해서는 다양한 건물구조 형식에 따른 차단성능 검토와 이에 맞춘 완충재 설계가 필요하다. 그러나 현재 주택 보급률이 100%를 초과하고 대부분의 아파트 단지가 바닥충격음에 불리한 벽식 구조인 상황을 고려하면, 이미 지어진 아파트에 적용할 수 있는 바닥충격음 저감공법

개발이 필요하다. 또한 노후 주택 증가에 따른 리모델링 사업의 증가가 예상됨에 따라 단기간 시공을 통하여 성능을 개선할 수 있는 기술 개발이 요구된다.

기존 아파트의 바닥충격음을 개선하기 위한 연구로는 바닥슬래브, 천장을 보강하는 여러 공법개발이 수행되었다^(1,2). 현재 공동주택 소방 설비(스프링클러) 설치기준에 따라 일반적으로 아파트 바닥슬래브와 천장마감 사이에 소방 설비 배관 설치를 위한 170 mm ~ 200 mm 공간을 확보하고 있으나, 공기층의 에어스프링(air-spring) 작용으로 인해 중량충격음이 증폭되는 현상이 나타나고 있다⁽³⁾. 200 mm의 공기층이 있는 천

† Corresponding Author ; Member, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology
E-mail : kwonj@kict.re.kr

* Member, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

‡ Recommended by Editor Jong Kwan Ryu
© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

장을 설치하였을 때 천장구조가 없는 경우와 비교하여, 63 Hz ~ 125 Hz 대역에서 성능저하로 중량충격을 단일 수치 평가량($L_{i,Fmax,AW}$)이 3 dB ~ 4 dB 가량 저하되었으며, 벽면 몰딩재와 우물천장의 측면을 타공한 통기성 천장을 시공할 경우 63 Hz 대역에서 증폭현상이 완화되는 것으로 나타났다⁽⁴⁾. 천장에 저주파수 대역의 공명형 판넬 흡음재를 설치하여 중량충격을 저감하는 연구도 수행되었다⁽⁵⁾. 해당 연구에서는 바닥슬래브 두께가 180 mm인 맨슬래브 조건에서 일반 석고보드 천장구조와 비교하였을 때, 125 Hz 대역에서 6 dB 저감되어 단일수치평가량($L_{i,Fmax,AW}$)은 2 dB ~ 4 dB 가량 저감되었다. 또한 수음실의 흡음력 조절을 통해 음장을 변화에 따른 중량충격음 레벨 특성을 분석한 연구가 수행되었는데, 실험실 조건에서 단일 수치 평가량으로 최대 2 dB 가량 저감되는 것으로 나타났다⁽⁶⁾.

바닥충격을 저감하기 위하여 완충재를 포함한 바닥구조의 성능개선은 한계가 있으며, 바닥구조를 철거하고 새로 시공하는 것에 비해 천장구조의 철거 및 시공은 상대적으로 쉬운 공법이기 때문에 성능이 검증된다면 활용 가능성이 높다. 이 연구는 기존 아파트의 중량충격을 저감하기 위한 공법개발으로써 타공형 석고보드를 천장구조에 적용하고자 하였다. 타공으로 인해 천장 공기층으로 인한 증폭현상을 완화하고, 수음실의 음장성능을 변화하고자 하였다. 타공 천장구조 설계를 위해 흡음률을 잔향실 조건에서 검토하고, 중량충격음 차단성능에 효과적일 것으로 판단되는 구조를 선정하여 아파트 세대와 유사한 실험시설에서 중량충격음 저감성능을 평가하였다.

2. 흡음계수

2.1 시험 개요

천장적용 타공형 석고보드는 공기층으로 인한 에어스프링 현상을 개선하기 위한 목적으로, 증폭되는 주파수 대역인 63 Hz ~ 125 Hz에서 흡음능력이 좋은 석고보드의 타공 간격 및 크기를 도출하고자 하였다. 바닥충격음 차단성능 시험을 위한 적용에 앞서 잔향실에서 천장구조의 흡음성능을 KS F 2805⁽⁷⁾에 따라 시험하였다. 잔향실의 용적은 256 m³이며 시편의 면적은 12 m²이다.

흡음성능을 검토한 타공 석고보드 구성은 Table 1과 같다. 타공 석고보드는 천장 마감 사용을 고려하여

타공 지름은 2.5 mm ~ 15 mm, 타공 간격은 15 mm ~ 45 mm로 구성하였다. 천장구조 적용에 따른 흡음성능을 평가하기 위하여 ‘공기층 200 mm(하부) + 타공 석고보드 9.5 mm(상부)’로 구성된 시편과 흡음재 적용에 따른 흡음성능을 분석하기 위한 ‘공기층 200 mm 내부 흡음재 50 mm 충진(하부) + 타공석고보드 9.5 mm(상부)’ 시편의 성능을 시험하였다. 사용된 석고보드는 9.5 mm 두께이며, 흡음재는 폴리에스터(polyester)로 밀도는 24 kg/m³이다.

2.2 흡음성능

(1) 흡음재 적용에 따른 효과

타공 석고보드 배후면에 흡음재 적용 유무에 따른 흡음률을 Fig. 1에 나타내었다⁽⁸⁾. 타공 석고보드만으로 구성하였을 경우, 타공에 따라 주로 315 Hz 이하, 800 Hz 이상 주파수 대역에서 흡음률의 차이를 보였다. 또한 최대 흡음성능을 보이는 주파수 대역도 200 Hz에서 250 Hz까지 상이해지는 것으로 나타났다. ‘지름 5 mm + 간격 30 mm’인 석고보드는 저주파수 대역에서 높은 흡음률을 보였으며, 그 다음으로는 ‘지름 5/10 mm + 간격 30 mm’인 석고보드가 높게 나타났다. 타공률이 같은 ‘지름 10 mm + 간격 30 mm’와 ‘지름 15 mm + 간격 45 mm’는 유사한 성능을 보였다.

배후면에 흡음재를 구성할 경우 전체 주파수 대역에서 흡음성능이 개선되었으며, 특히 100 Hz ~ 1000 Hz 대역의 효과가 큰 것으로 나타났다. ‘지름 5 mm + 간격 30 mm’인 구성은 160 Hz 대역에서, ‘지름 10 mm + 간격 30 mm’은 250 Hz 대역에서 최대 흡음성능을

Table 1 Ceiling structure for sound absorption coefficient

No.	Hole diameter (mm)	Pitch (mm)	Perforated rate (%)	Sound absorption material
1	2.5	30	0.5	○
2	5	15	8.7	○
3	5	30	2.2	○
4				
5	5	45	1.0	○
6	5/10	30	10.9	○
7				
8	10	30	8.7	○
9				
10	10	45	3.9	○
11	15	45	8.7	○
12				

보였다. 지름 간격을 5 mm와 10 mm로 혼합하여 구성된 ‘지름 5/10 mm + 간격 30 mm’은 160 Hz와 250 Hz 모두 높은 성능을 보였다.

(2) 타공 간격에 따른 흡음률

석고보드의 타공 간격에 따른 흡음률을 Fig. 2에 나타내었다. 타공 지름이 5 mm인 석고보드의 경우, 간격이 15 mm, 30 mm, 45 mm일 때 타공률은 각각 1.0 %, 2.2 %, 8.7%와 같다. 간격이 45 mm일 때와, 30 mm일 때 최대 흡음률을 보이는 주파수 대역은 160 Hz로 동일하게 나타났다. 또한 간격이 30 mm일 때 전체 주파수 대역에서 흡음성능이 향상되는 것으로 나타났다. 간격이 5 mm일 때는 타공률이 높아짐에 따라 흡음률 성능이 최고인 주파수 대역 범위가 250 Hz로 이동하였고, 250 Hz 주파수 대역 이상에서 흡음성능이 간격이 좁은 석고보드보다 향상되는 것으로 나타났다.

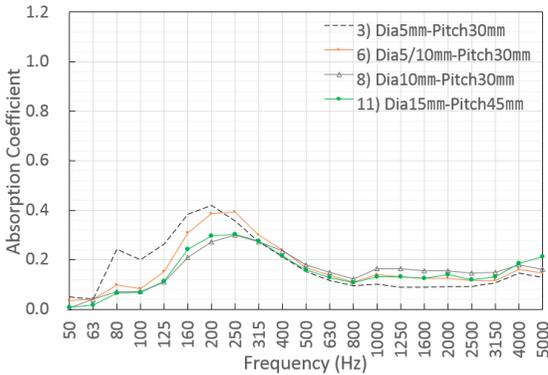
타공 지름이 10 mm인 경우의 석고보드에서도 유사한 경향성을 보였다. 타공 간격이 30 mm인 경우 타

공률은 8.7 %, 45 mm인 경우 타공률은 1.0 %이다. 타공 간격이 45 mm에서 30 mm로 좁아지는 경우 최대성능의 흡음 주파수 대역이 160 Hz에서 250 Hz로 높았으며, 전반적으로 고주파수대역의 흡음성능이 향상하는 것으로 나타났다.

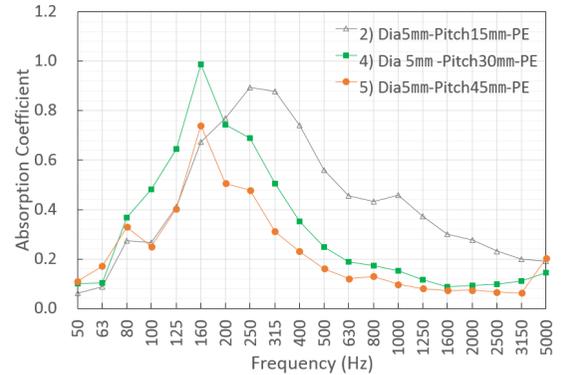
(3) 타공 크기에 따른 흡음률

석고보드의 타공 크기에 따른 흡음률을 Fig. 3에 나타내었다. 타공 간격이 45 mm이고 타공 지름이 5 mm, 10 mm, 15 mm일 때 타공률은 각각 1.0 %, 3.9 %, 8.7 %이다. 타공 지름이 10 mm일 때 5 mm와 비교하면, 최대 흡음성능을 보이는 주파수 대역은 같으나, 전체 주파수 대역에서 흡음성능이 높은 것으로 나타났다. 타공 지름이 15 mm일 경우 흡음성능이 최대인 주파수 대역은 250 Hz이며, 200 Hz 이상의 주파수 대역에서 흡음성능이 높아지는 것으로 나타났다.

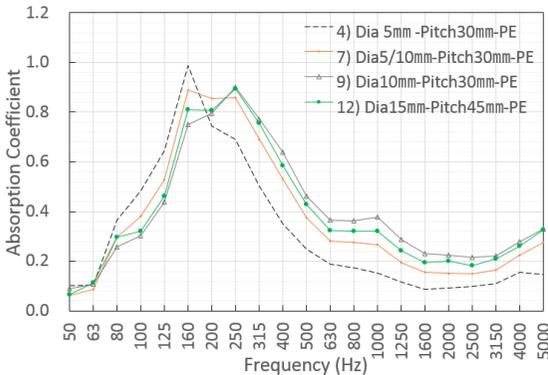
타공간격이 30 mm이고, 타공 지름이 2.5 mm, 5 mm, 5/10 mm, 10 mm일 경우 타공률은 각각 0.5 %, 2.2 %, 8.7 %, 1.0 %이다.



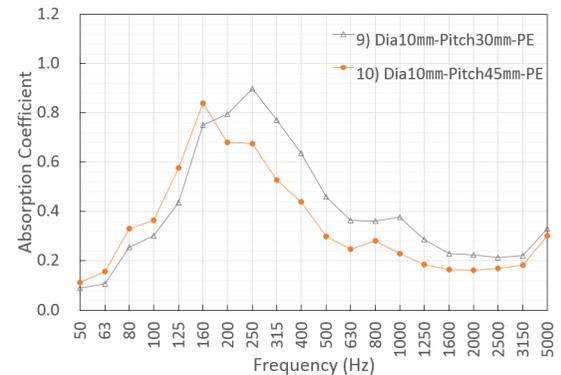
(a) Without sound absorbing material



(a) Holes diameter 5 mm



(b) With sound absorbing material



(b) Holes diameter 10 mm

Fig. 1 Effect of applying sound absorption material

Fig. 2 Performance by holes diameter

10.9%, 8.7%이다. 타공 지름이 증가함에 따라 최대 흡음성능을 보이는 주파수 대역이 고주파수대역으로 이동하고, 200 Hz 이상의 주파수 대역에서 흡음성능이 향상되는 것으로 나타났다. 타공 지름이 2.5 mm일 경우 타공 면적이 1% 미만으로 타공으로 인한 효과가 크지 않은 것으로 나타났다.

타공 석고보드의 타공 지름, 타공 크기, 개구율, 배후의 흡음재 유무에 따라 잔향실에서 흡음률을 시험하여 중량충격음 저감에 효과적일 것으로 예상되는 형태를 도출하고자 하였다. 타공률이 높아짐에 따라 고주파수 대역에 흡음률은 증가하면서 최대 흡음성능을 보이는 주파수 대역 또한 고주파수대역으로 이동하는 것으로 나타났다.

(4) 개구율 동일 조건에서의 흡음률

타공 석고보드의 개구율이 8.7%로 동일한 구조에 대한 흡음률 Fig. 4에 나타내었다. 흡음재를 적용하지 않았을 경우 ‘지름 10 mm + 간격 30 mm’는 ‘지름

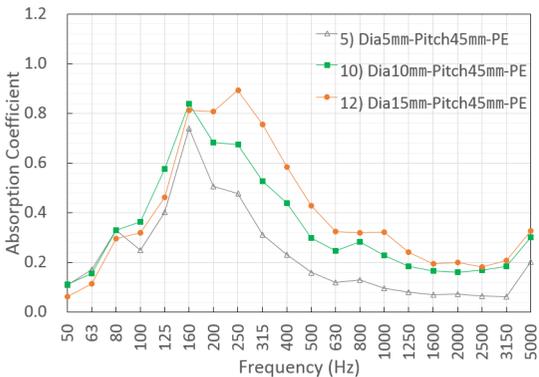
15 mm + 간격 45 mm’인 석고보드의 주파수 대역별 성능 차이는 0.05 이내로 차이가 미미한 것으로 나타났다. 위와 동일한 석고보드 구성에서 흡음재를 포함하였을 경우도 주파수 대역별 성능차이가 0.06 이내로 나타났다. 그러나 흡음재를 포함한 ‘지름 5 mm + 간격 15 mm’의 경우 250 Hz 이상 주파수 대역에서 성능이 우수한 것으로 나타났다. 타공률이 동일한 구성은 최대 성능을 보이는 주파수 대역은 유사하며, 타공 크기가 작고 간격이 좁을수록 250 Hz 이상 주파수대역에서의 성능이 우수한 것으로 나타났다.

3. 바닥충격음 차단성능

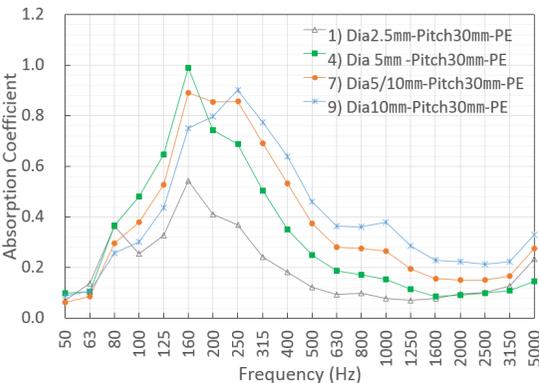
3.1 시험 개요

천장의 공기층으로 인해 중량충격음의 63 Hz ~ 125 Hz 대역 소음이 증폭하므로, 50 Hz ~ 160 Hz 대역에서 흡음률의 산술평균값이 가장 높은 배후면에 흡음재를 구성한 ‘지름 5 mm + 간격 30 mm’를 천장에 적용하여 바닥충격음 차단성능 저감효과를 분석하고자 하였다. 타공 석고보드의 적용에 따른 바닥충격음 차단성능 시험을 수행하였다. 아파트를 모사한 실험실의 방 천장에 타공 석고보드를 설치하였다. 대상 세대의 방은 Fig. 5와 같으며, 3500 mm × 2440 mm 공간의 성능을 측정하였다.

바닥구조와 슬래브 하부 천장구조는 Fig. 6과 같다. 210 mm 바닥슬래브 위에는 EPS 완충재 30 mm, 경량기포콘크리트 40 mm, 마감콘크리트 40 mm가 시공되어 있다. 슬래브 하부에 ‘공기층 200 mm 내부 흡음재 50 mm 충전(하부) + 타공 석고보드 9.5 mm(상부)’ 구조를 설치하였으며, 일반적인 천장구조(공기층



(a) Perforated pitch 45 mm



(b) Perforated pitch 30 mm

Fig. 3 Performance by holes pitch

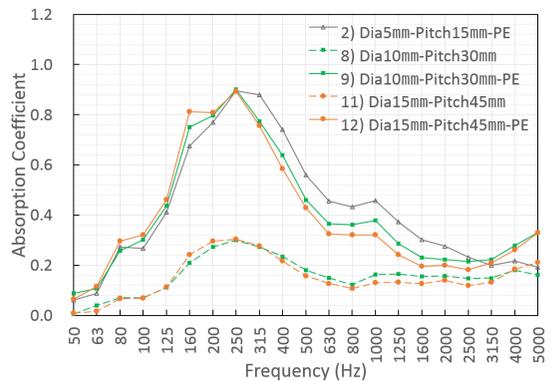


Fig. 4 Performance of same perforated rate (8.7%)

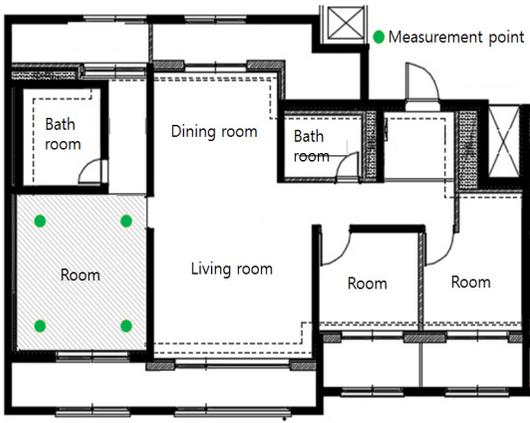


Fig. 5 Floor impact sound test laboratory

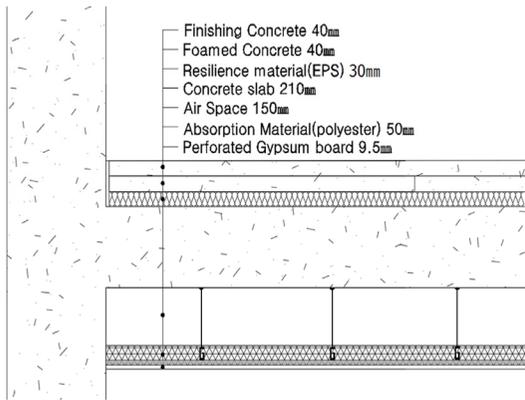


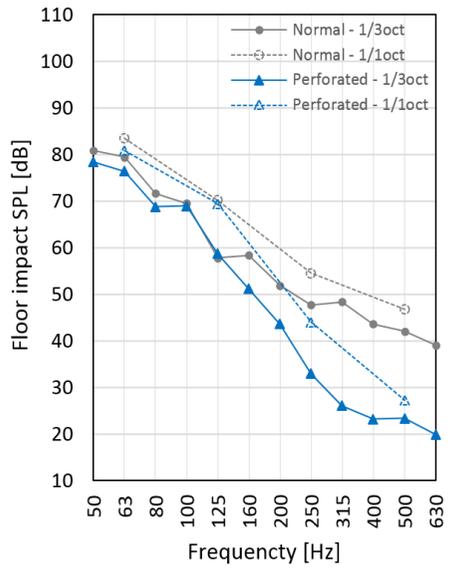
Fig. 6 Floor and ceiling structure

200 mm, 석고보드 9.5 mm)와 성능을 비교하고자 하였다. 천장구조는 경량철골 천정틀로 시공하였다.

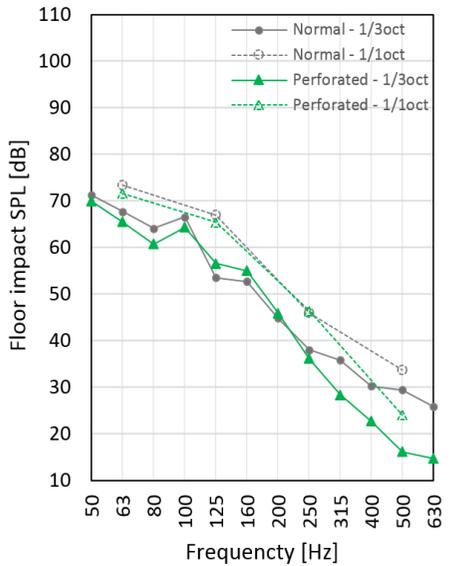
바닥충격음은 KS F 2810-2⁽⁹⁾과 국토교통부고시 공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준에 따라 측정하였다. 뱅머신과 고무공을 이용하여 중량충격음을 측정하였다. 단일수치평가량은 KS F 2863-2⁽¹⁰⁾에 따라 $L_{i,Fmax,AW}$, $L_{A,max}$, L_{max} 로 산출하였다.

3.2 바닥충격음 차단성능

타공석고보드 적용에 따른 바닥충격음 차단성능을 1/3 옥타브밴드 및 1/1 옥타브밴드로 분석하였으며, 이를 Fig. 7에 나타내었다. 뱅머신으로 가진시 1/1 옥타브밴드 분석결과 63 Hz에서 2.6 dB, 125 Hz에서 0.7 dB, 250 Hz에서 10.5 dB, 500 Hz에서 19.5 dB 저감되는 것으로 나타났다. 단일 수치 평가량과 기준곡선 상회 주파수대역 및 상회값을 Table 2에 나타내었다. 단일



(a) Bang machine



(b) Rubber ball

Fig. 7 Heavy-weight impact sound performance

수치 평가량은 지표에 따라 1 dB ~ 3 dB 가량 저감되었다. $L_{i,Fmax,AW}$ 로 평가시 단일수치평가량은 63 Hz ~ 125 Hz 대역에서 결정되나, 125 Hz 대역에서 저감량이 크지 않아 단일 수치 평가량은 1 dB 저감되는 것으로 나타났다. 1/3 옥타브밴드 분석결과 100 Hz ~ 160 Hz에서는 차이가 미미한 것으로 나타났으며, 125 Hz에서 7.2 dB 저감되는 것으로 나타났다.

Table 2 Single number quantities

Rating index		Bang machine		Rubber ball	
		Normal	Perforated ceiling	Normal	Perforated ceiling
$L_{i,Fmax,AW}$	SNQ	55 dB	54 dB	49 dB	47 dB
	Excess value of reverse a curve	63 Hz (5.4 dB)	63 Hz (3.8 dB)	63 Hz (1.4 dB)	63 Hz (1.6 dB)
		125 Hz (2.1 dB)	125 Hz (2.4 dB)	125 Hz (5.0 dB)	125 Hz (5.4 dB)
$L_{A,max}$ (SNQ)		59 dB	57 dB	53 dB	51 dB
L_{max} (SNQ)		84 dB	81 dB	74 dB	73 dB

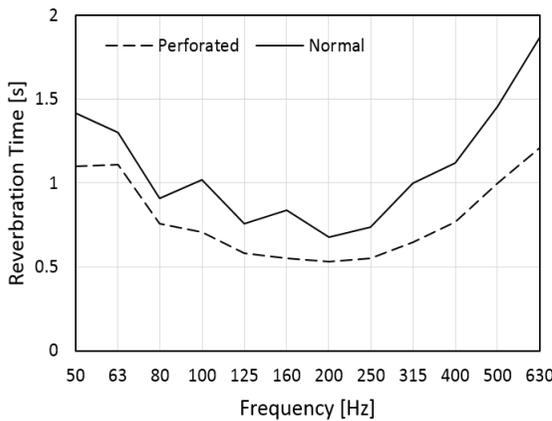


Fig. 8 Reverberation time

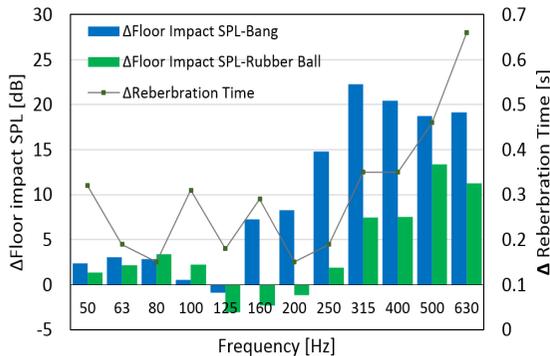


Fig. 9 Reduced reverberation time and improved heavy-weight impact sound level

고무공으로 가진시 1/1 옥타브밴드 분석결과, 63 dB에서 1.8 dB, 125 Hz에서 1.6 dB 저감되었으며, 250 Hz에서는 변화가 미미하고 500 Hz에서 9.6 dB 저감되는 것으로 나타났다. 단일수치평가량으로는 평가 지표에

따라 2 dB ~ 3 dB 저감되는 것으로 나타났다. 1/3 옥타브밴드로 분석하였을 때, 63 Hz ~ 100 Hz에서 2.2 dB ~ 3.4 dB 저감되었으나, 125 Hz ~ 200 Hz에서 오히려 증폭되는 것으로 나타났다.

타공 석고보드 적용으로 인한 수음실의 음장성능 변화를 분석하기 위하여 잔향시간을 측정하였으며, 이를 Fig. 8에 나타내었다. 50 Hz ~ 160 Hz 대역에서는 잔향시간 변화량 분석한 결과 0.18초 ~ 0.32초 저감되었으며, 특히 50 Hz, 100 Hz에서 0.3초 가량의 차이를 보였다. Fig. 9에 주파수 대역별 잔향시간 변화에 따른 중량충격음 저감량을 나타내었다. 160 Hz 이하 주파수 대역에서 잔향시간 변화량과 중량충격음 저감량간의 경향성은 없는 것으로 보이며, 상관계수(r) 또한 뱅머신, 고무공 각각 0.23, -0.08로 나타났다. 그러나 200 Hz 이상 주파수 대역에서는 잔향시간 변화량과 바닥충격음 저감량간의 상관계수는 뱅머신 0.62, 고무공 0.88($p < 0.01$)으로 나타났다. 추후 중량충격음 레벨에 결정적인 영향을 미치는 50 Hz ~ 160 Hz 대역의 바닥충격음에 잔향시간이 미치는 영향을 정량적으로 분석할 필요가 있다.

추가적으로, 경량충격음은 125 Hz ~ 1000 Hz 주파수 대역에서 개선량이 최대 0.9 dB로 저감이 미미하였으며, 단일수치평가량($L_{i,Fmax,AW}$) 또한 변화가 없는 것으로 나타났다.

4. 결론

이 연구에서는 타공형 석고보드를 천장에 적용하여 중량충격음을 저감하고자 하였으며, 최적의 설계를 위하여 타공에 따른 흡음성능을 잔향실에서 시험하고 이를 공동주택 모사 실험실에 적용하여 성능을 검증하였다. 중량충격음 차단성능을 분석한 결과, 뱅머신은 63 Hz 대역에서 2.6 dB, 125 Hz에서 0.7 dB 저감하였으며, 고무공은 63 Hz에서 1.8 dB, 125 Hz에서 1.6 dB 저감하는 것으로 나타났다. 단일수치평가량($L_{i,Fmax,AW}$)으로 뱅머신은 1 dB, 고무공은 2 dB 저감되었다. 추후 125 Hz 대역의 성능을 보완할 수 있는 기술 개발이 요구되며, 63 Hz ~ 125 Hz 대역의 중량충격음에 흡음성능이 미치는 영향을 분석할 필요가 있다. 향후 거실의 평천장 및 우물천장공법에 타공석고보드를 적용한 기술개발 연구를 진행할 필요가 있다.

후 기

이 연구는 국토교통부 주거환경연구사업의 연구비 지원(19RERP-B082204-06)에 의해 수행되었습니다.

References

- (1) Smith, S., Wood, J. B., Mackenzie, R. and Patricio, J., 2006, Housing and Sound Insulation Improving Existing Attached Dwelling and Designing for Conversions, Building Performance Center, Napier University, 4.7.
- (2) Simons, M. W. and Waters, J. R., 2004, Sound Control in Buildings: A Guide to Part E of the Building Regulations, Blackwell Publishing, pp. 119~129.
- (3) Architectural Institute of Japan, 2009, Isolation Design of Floor Impact Sound in Building, Gibodo Press, pp. 63~66.
- (4) Kim, K. H., 2013, Reduction Method of Interlayer Noise Through Improved Ceiling Structure, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 23, No. 3, pp. 26~29.
- (5) Ryu, J. K., Song, H. S. and Kim, Y. H., 2018, Effect of the Suspended Ceiling with Low-frequency Resonant Panel Absorber on Heavyweight Floor Impact Sound in the Building, Building and Environment, Vol. 139, pp. 1~7.
- (6) Jeong, J. H., Lee, B. K., Yeon, J. O. and Jeon, J. Y., 2014, Floor Impact Sound Pressure Level Characteristics by the Change of Reverberation Time in Mock-up Test Rooms, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 24, No. 4, pp. 339~347.

(7) KS F 2805, 2014, Measurement of Sound Absorption in a Reverberation Room, Korea Standard.

(8) Shin, H. K. and Kim, K. W., 2019, Floor Impact Sound Insulation Using Perforated Gypsum Board Ceiling, Inter-noise 2019, Spain.

(9) KS F 2810-2, 2017, Field Measurements of Floor Impact Sound Insulation of Buildings – Part 2 : Method Using Standard Heavy Impact Sources, Korea Standard.

(10) KS F 2863-2, 2017, Rating of Floor Impact Sound Insulation for Impact Source in Buildings and of Building Elements —Part 2: Floor Impact Sound Insulation Against Standard Heavy Impact Source, Korea Standard.



Hye Kyung Shin is Research Specialist at KICT(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology). She received the M.S. degree in Dept. of architectural engineering from University of Seoul in 2015. Her research interests are architectural acoustic and environmental noise.



Kyoung Woo Kim received Ph.D. in architecture engineering from Hanyang university in 2009. He is working at KICT(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology) as a Research Fellow. His research interests are floor impact sound, vibration, insulation and absorption in architecture environment.