

건식 바닥구조의 바닥충격음 차단성능 평가

Evaluation of Floor Impact Sound Isolation in a Dry Floor System

유 진† · 류종관* · 전진용** · 이충화*** · 김철환***

Jin You, Jong Kwan Ryu, Jin Yong Jeon, Chung Hwa Lee and Chul Hwan Kim

Key Words : Floor Impact Sound(바닥충격음), Dry Floor System(건식바닥구조), Real Impact Source(실제충격원) Auditory Experiment(청감실험)

ABSTRACT

Floor impact sounds from two different floor systems were measured. One of the two floor systems is a dry floor system (with 150mm concrete slab) and the other is a standard floor system (210mm concrete slab). Real impact sources such as jumping and running of children were used as well as standard impact sources (bang machine, impact ball and tapping machine) to evaluate sound isolation of the two floor systems. Subjective evaluations of the floor impact sound isolation performance for the two systems were also conducted by the methods of 3 scales & 9 categories, paired comparison and semantic differentials. Measurement results indicate that floor impact sound isolation performance of the dry floor was better than that of standard floor in both cases of real and standard impact sources. The subjects in auditory experiments also evaluated the dry floor as a better sound isolation system.

1. 서론

최근 정돈한 실내 거주 환경에 대한 세간의 관심과 요구가 증가하고 있다. 지난 1999년 서울 경기지역 공동주택 거주자 1200명을 대상으로 실시된 설문조사 결과 실내 거주 환경에서 바닥충격음(44%)과 공기전달음(37%)에 의한 소음 피해가 적지 않은 것으로 나타났다. 또한 층간 소음 및 세대간 소음에 의한 민원 사례 역시 큰 폭으로 증가하고 있으며 이에 대응하는 건설사들의 '방음 마케팅'도 활발해지고 있다. 한편 건설교통부에 의해 올해 7월부터 경량충격음 및 중량충격음에 대한 층간 소음규제가 시행되고 있으며, 내년부터 주택성능표시제가 도입될 예정이다. 아파트를 포함한 공동주택의 건설이 앞으로도 계속될 것임을 상기할 때 층간 소음 및 세대간 소음의 저감은 건설사 뿐만 아니라 관련 연구기관과 여러 업체에게 중요한 이슈가 되고 있다.

공동주택의 소음 문제 해결을 위해 대부분의 연구기관 및 산업체에서 bang machine과 tapping machine 등의 표준충격원을 사용하여 바닥충격음을 측정하고 평가해 왔다^(1~4). 그러나 어린이들의 뛰어다니는 소음과 실제 생활에서 발생되는 여러 소음 역시 실제적인 소음원으로서 평가가 필요하며, 단순한 레벨의 측정이 아닌 실제 거주자가 느끼는 청감적인 평가가 필요하다^(5~7).

따라서 본 연구에서는 표준실험실에서 건식 바닥구조(이하 건식구조)와 습식 표준바닥구조(이하 표준바닥구조)에 대하여 평가를 하였다. 정량적인 차단성능을 평가하기 위해 표준충격원 및 다양한 종류의 실제충격원이 사용되었으며, 정성적인 차단성능 평가를 위해 청감실험을 통한 실제 거주자들이 느끼는 청감적인 특성을 비교 평가하였다.

2. 바닥충격음 차단성능 평가

2.1 측정 개요

본 연구에 활용된 바닥구조 중 표준바닥구조의 크기는 가로 5.1m, 세로 4.5m의 규모로서 210mm 슬래브 위에 20mm EPS 단열재, 50mm 경량포콘크리트 그리고 40mm 마감 모르타르와 온돌마루가 차례로 시공된 구조이다. 표준바닥구조와 동일한 규모로 시공된 건식구조는 150mm 슬래브 위

† 책임저자: 정희원, 한양대학교 대학원 건축공학과
E-mail : lx138@paran.com
Tel : (02) 2220-1795, Fax : (02) 2291-1793

* 정희원, 한양대학교 대학원 건축공학과

** 정희원, 한양대학교 건축공학부

*** LG화학 산업재연구소

에 지지대, 상판, 면상발열 난방패널 및 온돌 마루 마감기 차례로 올라가는 구조이다.

표준충격원에 대한 층간소음 차단성능을 평가하기 위해 표준바닥구조와 건식구조 각각의 중앙점과 벽체로부터 75cm 떨어진 네 모서리 지점을 bang machine, impact ball 및 tapping machine을 사용하여 가진하였다. 그 아래층 수음실에서는 다섯 지점의 가진점과 동일한 위치에서 표준충격음을 측정하였다.

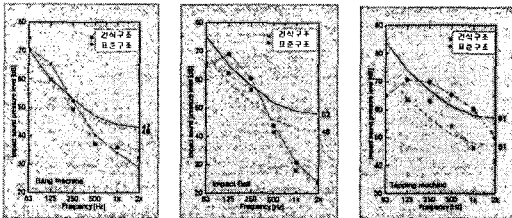
실제충격원에 대한 층간소음 차단성능을 평가하기 위해 실제충격원으로 선정된 평균 몸무게 25kg의 어린이를 대상으로 소파 높이인 30cm 높이에서 뛰어내리기, 제자리에서 뛰기, 또한 실내를 대각선으로 가로질러 달리기 등의 소음을 측정하였다. 가진점과 수음점은 표준충격원과 동일한 위치로 하였다. 어린이에 의한 충격음 외에도 의자끌기에 의한 소음과 스푼 낙하음을 측정하였다.

2.2 측정 결과

(1) 표준충격원

표준충격원에 대한 건식구조와 표준바닥구조의 평균 역 A 특성 바닥충격음 레벨을 Fig. 1에 나타내었다. Bang machine에 의한 충격음의 경우 건식구조와 표준바닥구조와의 차음 성능 차이는 1dB로 유사하게 나타났다. 그러나 impact ball과 tapping machine에 의한 충격음의 경우 건식구조가 표준바닥구조에 비해 우수한 차음 성능을 갖는 것으로 나타났다. 특히 tapping machine에 의한 충격음의 경우 건식구조의 차음성능이 표준바닥구조의 차음성능에 비해 10dB 이상 차이를 보여 건식구조에 의한 경량충격을 저감량이 큰 것으로 나타났다.

Fig. 1에서와 같이 bang machine에 대한 두 바닥구조의 주파수 특성을 비교하면 건식구조의 충격음 레벨이 표준바닥구조의 레벨에 비해 125~500 Hz 대역에서는 낮은 것으로 나타났으나, 63Hz에서는 높은 것으로 나타났다. impact ball에 대한 주파수 특성을 비교하면 모든 주파수 대역에서 건식구조의 충격음 레벨이 더 낮은 것으로 나타났고 63Hz 대역에서는 두 바닥구조 사이에 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. tapping machine에 대한 건식구조의 충격음 레벨은 표준바닥구조의 충격음 레벨에 비해 주파수 전 대역에서 약 10dB 이상 낮은 것으로 나타났다.

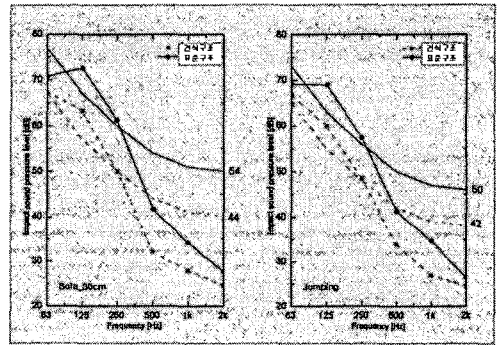


(a) Bang machine (b) Impact ball (c) Tapping machine
Fig. 1 표준충격원에 의한 바닥충격음 주파수 특성

(2) 실제충격원

실제충격원에 의한 건식구조와 표준바닥구조의 주파수 대역별 및 평균 역 A 특성 바닥충격음 레벨을 Fig. 2에 나타내었다. 소파 높이(30cm)에서 어린이가 뛰어내리기에 의한 충격음(소파에서 뛰기), 어린이가 제자리뛰기에 의한 충격음(jumping) 및 어린이가 달리기에 의한 충격음(running)의 경우 건식구조의 차음 성능이 표준바닥구조의 차음 성능 보다 평균 약 8dB 더 우수한 것으로 나타났다. 또한 의자 끌기와 스푼 낙하에 의한 충격음의 경우 건식구조가 표준바닥구조에 비해 각각 13dB, 5dB 우수한 차음 성능을 보였다.

Fig. 2에서와 같이 소파에서 뛰기에 대한 두 바닥구조의 주파수 특성을 비교하면 전 주파수 대역에서 건식구조의 차음 성능이 더 우수한 것을 알 수 있다. 어린이가 충격원으로 작용한 측정값들 중에서 jumping 및 running 등에 의한 충격음 저감량에 비해 소파에서 뛰기에 의한 충격음의 저감량이 약 10dB로 가장 큰 것으로 나타났다.



(a) 소파에서 뛰기 (b) Jumping
Fig. 2 실제충격원에 의한 바닥충격음 주파수 특성

Jumping에 의한 충격음의 주파수 특성은 대체로 소파에서 뛰기에 의한 충격음의 주파수 특성과 유사하게 나타났으나 전 대역에서 소파에서 뛰기에 의한 충격음 레벨보다 낮은 레벨 분포를 보였다.

3. 바닥충격음의 주관적 평가

3.1 실험 개요

건식구조의 충격음 차단성능에 대한 주관적 개선 효과를 평가하고 생활감 및 청감 특성을 알아보기 위해 청감 실험을 실시하였다. 청감 실험에 사용된 음원은 bang machine, impact ball 및 jumping으로 정하였고, 주관적 평가 방법론으로서 3 scales & 9 categories, paired comparison 및 semantic differential 등의 방법이 사용되었다. 3 scales & 9 categories의 평가 항목은 Table 1과 같다.

Table 1 3 scales & 9 categories

	내 용		
	소음의 크기	의식의 정도	쾌적성
1	거의 들리지 않음	위층 분위기를 못 느끼	쾌적한 생활 가능
2	덜리시 들리는 느낌	분위기는 느끼나 신경 안쓰임	가끔 의식되는 때도 있지만 쾌적한 생활 가능
3	들리지만 거의 느껴지지 않음	위층 생활이 다소 의식됨	의식되지만 쾌적한 생활 가능
4	짜게 들린다	위층의 생활상황이 의식됨	서로 신경 쓰면 지장 없는 생활 가능
5	들린다	위층 생활행위를 어느 정도 알 수 있음	서로참고 생활규칙을 지켜야함
6	잘 들린다	알 수 있음	서로 참을 수 있는 한계
7	크다	잘 알 수 있음	참고 지낼 수 없음
8	아주 크다	작은 움직임 및 낙하음이 인식됨	독립된 가정생활이 어려움
9	엄청나게 크다	작은 움직임 및 낙하음도 매우 잘 인식됨	주거 불가능

실험은 소음에 민감한 20대 정상청력자 40명을 대상으로 청감실험 전용부스에서 실시되었으며, 바닥구조 가진시 중앙점에서 녹음한 음원을 벽체 상부에서 4-channel 스피커로 제시하였다. 청감 실험 전용부스의 배경소음은 21dB(A), 잔향시간은 0.2초이다.

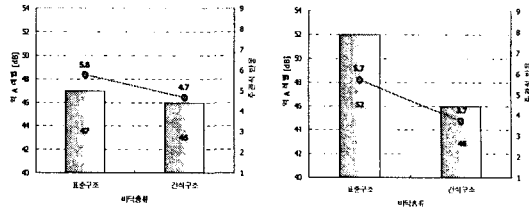
3 scales & 9 categories method에 사용된 음원은 건식구조와 표준바닥구조에서 측정된 bang machine, impact ball 및 jumping에 의한 충격음으로서 총 여섯 개의 음원을 각 음원당 여섯 번씩 제시하였다. 실험에 사용된 음원의 레벨은 5 지점 가진 및 5 지점 수음의 평균값으로 하였으며, 주파수 특성은 중앙점 가진 및 중앙점 수음에 의한 충격음 특성에 맞추었다.

Paired comparison method에는 건식구조와 표준바닥구조에서 측정된 해당 바닥구조의 역 A 레벨 음원 외에 완전건식구조의 변경음원을 추가로 사용하였다. 건식구조의 변경음원은 건식구조 측정 음원의 63Hz 대역만 5dB 저감한 음원으로서, 표준충격원에 대한 소음 측정 결과 건식구조에서 측정된 음원의 주파수 특성이 63Hz 대역 이하에서 표준바닥구조 측정 음원보다 레벨값이 크게 나타나는 현상을 반영한 것이었다. Bang machine, impact ball 및 jumping에 의한 충격음 각각에 대하여 건식, 표준바닥 및 건식 변경음원의 세 종류 음원을 짝을 이루어 모두 아홉 개의 pair를 제시하고 피험자로 하여금 각 pair에 대해 선호하는 음원을 고르도록 하였다.

또한 semantic differential test를 통해 jumping에 의한 충격음의 형용사 어휘 평가를 진행하였다.

3.2 실험 결과

청감 평가를 통한 건식구조와 표준바닥구조의 차음성능 평가 결과 Fig. 3과 같이 건식구조에 대한 주관적 반응이 표준바닥구조 보다 우수한 것으로 나타났다.



(a) Bang machine (b) Impact ball
Fig. 3 3 scales & 9 categories 결과(중앙충격원)

어린이를 활용한 실제충격원에 의한 건식구조의 충격음 레벨 평가 결과, Fig. 4와 같이 대부분의 경우 '신경쓰이는 정도'로 반응하였으며 이 때의 충격음 레벨은 현행 4등급 혹은 3등급 수준이었다. 따라서 2등급 혹은 1등급 수준으로 충격음 레벨을 저감할 경우 주관적인 반응이 '신경쓰이지 않는 정도'로 나타날 것으로 판단된다.

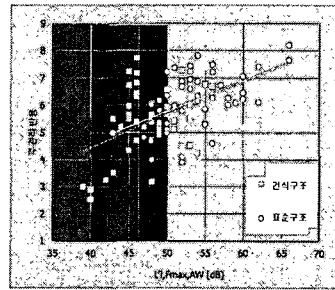
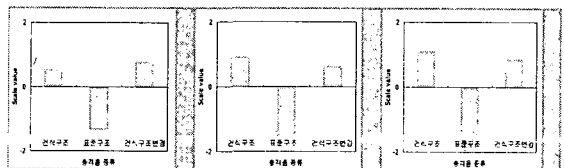


Fig. 4 3 scales & 9 categories 결과(실제충격원)

Fig. 5에 건식구조, 표준바닥구조 및 건식구조에서 측정된 음원의 63Hz 대역 변경 음원의 세 가지 음원 사이에 대한 선호도 평가 결과를 나타내고 있다. Fig. 5(a)와 같이 bang machine에 대한 세 가지 음원 사이의 선호도는 63Hz 대역을 5dB 낮춘 건식구조 음원이 가장 높은 것으로 나타났다. 변경하지 않은 건식구조 음원이 근소한 차이로 평가되었고 표준바닥구조 음원에 대한 선호도가 가장 낮은 것으로 나타났다.

Fig. 5(b)와 같이 impact ball에 대한 선호도 평가 결과 역시 표준바닥구조 음원에 대한 선호도가 가장 낮은 것으로 나타났으며, 변경하지 않은 건식구조 음원에 대한 선호도가 가장 높은 것으로 나타났다. Fig. 5(c)에 나타난 어린이 제자리 뛰기에 대한 세 가지 음원 사이의 선호도 평가 결과는 impact ball에 대한 선호도 평가 결과와 동일하였고 표준바닥구조음원에 대한 선호도가 매우 낮게 나타났다.



(a) Bang machine (b) Impact ball (c) Jumping
Fig. 5 선호도 평가(Paired comparison) 결과

Jumping에 대한 semantic differential test 결과는 Fig. 6 과 같고 두 바닥 구조 중에서 건식구조에 대한 평가가 더 좋은 것으로 나타났다.

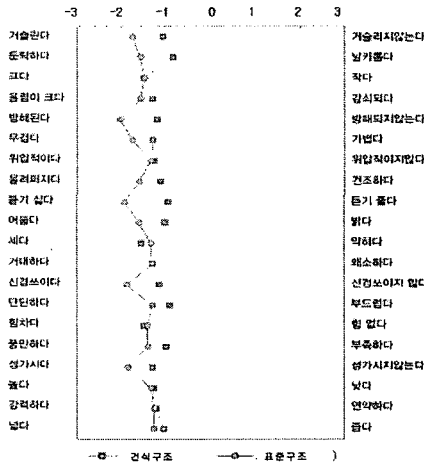


Fig. 6 Semantic Differential 결과

Table 2 Factor analysis 결과 (*: p<0.05)

구분	factor 1		factor 2		factor 3		factor 4	
	"강력하다"		"성가시다"		"크다"		"어둡다"	
	건식	표준 바닥	건식	표준 바닥	건식	표준 바닥	건식	표준 바닥
주관적 평가	-1.26	-1.36	-1.14	-1.89	-1.37	-1.60	-0.93	-1.49
차이	0.10		0.75*		0.23		0.56*	

Semantic differential test에 활용된 21쌍의 형용사 어휘에 대한 factor analysis 결과 Table 2와 같이 "강력하다", "성가시다", "크다" 및 "어둡다" 등 총 4 개의 factor로 구분되었다. "성가시다"로 대표되는 형용사 표현에 의한 두 바닥 구조의 SD에서 주관적 평가치의 차이가 0.75로서 가장 큰 차이가 있는 것으로 나타났으며, "어둡다"로 대표되는 형용사 그룹과 함께 유의한 차이를 나타냈다(p<0.05).

4. 결론

표준실험동에서 150mm 슬래브 두께의 건식구조의 충격음 차단성능 평가 결과, bang machine과 impact ball의 경우

46dB, tapping machine의 경우 51dB로 나타났다. 또한 210mm 슬래브 두께의 표준바닥구조와 비교시 bang machine은 1dB, impact ball은 6dB 그리고 tapping machine은 10dB 더 우수한 것으로 나타났다.

또한 실제충격원의 종류에 따른 층간소음 비교실험 결과, 어린이가 뛰기 등에 의한 충격음 레벨은 평균 43dB로서 표준바닥구조 대비 평균 8dB 우수한 것으로 평가되었다.

두 바닥구조의 차음성능에 대한 주관적 평가 결과 역시 건식구조에 대한 평가가 더 긍정적으로 나타났다. 건식구조 충격음의 주파수 특성상 63Hz 이하 대역에서는 표준바닥구조에서의 충격음보다 큰 충격음 레벨을 나타내므로 주관적 만족도를 높이기 위해서는 63Hz 대역에 대한 추가적인 저감이 필요한 것으로 판단된다.

참고 문헌

- (1) 대한주택공사, "공동주택의 바닥충격음 저감방안에 관한 실험연구,"1986.
- (2) 박병전, 신영무, "건물에서 고체음의 전달이론에 관한 연구," 대한건축학회 논문집, 8권 6호, pp.149-159. 1992.
- (3) 김기동, 정성철, 김민배, "공동주택의 상하층간 충격소음 방지시스템 개발에 관한 실험연구," 대한건축학회 논문집, 제11권 제5호, pp.97-108. 1995.
- (4) 김홍열, 이세현, 양관섭, 김승민, "공동주택 바닥충격음 저감용 페타이어 칩과 뜬바닥 구조의 물리적 성능에 관한 실험적 연구," 대한건축학회 논문집, 14권 10호, pp.61-68. 1998.
- (5) 전진용, 정정호, "표준음원에 대한 Annoyance 평가 및 차음등급 설정에 관한 연구," 대한건축학회 논문집, 17권 7호, pp.179-185. 2001.
- (6) J. Y. Jeon, "Subjective Evaluation of Floor Impact Noise Based on the Model of ACF/IACF", Journal of Sound and Vibration , 241(1), 147-155. 2001.
- (7) J. Y. Jeon, J. H. Jeong, M. vorländer, R. Thaden, "Evaluation of Floor Impact Sound Insulation in Reinforced Concrete Buildings", Acta Acustica united with Acustica Vol.90, pp.313-318. 2004.