

바닥 진동 거동 및 충격원 특성을 고려한 바닥 중량 충격음 평가방법 고찰

이민정^{1*}, 최현기²

Consideration on Rating Method for Heavy Impact Sound Taking Account of the Characteristics of Floor Vibration and Impact Sources

Min-Jung Lee^{1*}, Hyun-Ki Choi²

Abstract: The purpose of this study is to reconsider the rating method for the floor impact sound insulation performance in current criterion. Although there are some arguments about proper standard heavy impact source with reproducibility of actual impact source in residence building, bang machine is adopted as the only standard heavy impact source in domestic criterion. To inspect the rating methods of evaluation criteria, this study conducted vibration test for both of standard heavy impact sources and actual impact sources. Using the test results, the floor impact sound insulation performance levels were assessed by each of several criteria. In addition, low frequency noise beyond current criteria was evaluated. Consequently, the floor impact sound levels have different performance levels according to adopted criteria, and measured floor impact sounds are bound to annoy the neighbors in the low frequency range. Current criteria does not consider the spectrum characteristics of floor impact sound according to impact sources and low frequency noise. This may cause the difference between the floor impact sound insulation performance level and human perception. Thus current criterion needs to be complemented to reflect the spectrum characteristics of floor impact sound levels according to impact sources and sound pressure levels in low frequency range.

Keywords: Concrete slab, Floor impact sound pressure level, Floor vibration, Impact source, Noise between floors, Single number quantity

1. 서 론

통계청의 주거실태조사 자료에 따르면 비주거용 건물에 거주하는 세대를 제외하고 주택 유형을 단독주택과 공동주택으로 분류할 경우 2014년까지 다세대와 아파트를 포함한 공동주택이 차지하는 비율이 전체의 60%가 넘는다. 또한 2015년 1월~2016년 12월까지 24개월 동안의 인허가 통계에서 단독주택은 10%미만으로, 신축 주택의 대부분은 여러 세대가 거주하는 공동주택 형태이며 그중 아파트는 57.7%를 차지하고 있다. 이미 국내 거주자의 과반수가 공동주택에 거주하고 있으며, 그 비율은 인허가 난 공동주택, 특히 신축 아파트의 완공에 따라 더욱 높아질 것으로 예상된다. 이러한 국내 주거 형태의 특성을 고려할 때 공동주택에서 발생하는 이웃 간 불화는 더 이상 개인 문제로 치부하기 어려우며, 각 문제점에 대하

여 사회적 차원에서 적절한 대응 방안을 마련할 필요가 있다.

특히 층간소음 문제는 제도적 장치와 기술적 대응이 동시에 요구되는 사안이다. 층간소음은 배관구 등을 통해 소리가 직접 전달되는 공기전달음과 바닥충격음으로 구분되고, 바닥충격음은 충격원에 따라 다시 경량충격음과 중량충격음으로 나뉜다. 공기전달음에 의한 층간소음은 차음·흡음·방음 등의 방법을 적용할 수 있다. 그러나 바닥충격음은 바닥진동이 구조체를 따라 사방으로 전달되어 이웃 세대에서 소음을 발생시키는 고체전달음이므로 구조체의 진동 거동을 함께 고려해야 한다. 특히 층간소음 이웃사이센터에 접수된 민원의 70% 이상이 보행 시 뒤꿈치의 충격이나 땀 등 거주자의 거동으로 발생한 중량충격음으로 말미암은 것으로 충격원을 제거하거나 격리할 수 없어 완충재와 마감재 등의 사용 외에 구조체의 성능 규정과 이에 따른 적절한 구조설계가 요구된다.

이와 관련하여 국내에서는 주택건설기준 등에 관한 규정에서 공동주택의 바닥 구조에 대하여 슬래브 두께 210 mm 이상 이면서 경량충격음 58 dB 이하, 중량충격음 50 dB 이하의 성능을 충족하도록 규제하고 있으며, 공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준을 제정하여 바닥 충격음 평가 방법 및 기준 등급을 제시하고 있다.

¹정희원, 한양대학교 Post-Doc., 교신저자

²정희원, 경남대학교 소방방재공학과 교수

*Corresponding author: ajax3@naver.com

The Research Institute of Industrial Science (RIIS), Hanyang University, Seoul, 46241, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2017년 8월 1일까지 학회로 보내주시면 2017년 9월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

그러나 층간소음 이웃사이센터에서 층간소음을 측정된 300여 건 중 단 10%만 평가 기준을 초과하고 90%는 평가 기준 이내에 있으며, 2016년까지 접수된 민원 중 슬래브 두께가 210 mm인 2009년 이후 준공된 공동주택에서 발생한 경우가 3천 건 이상으로 준공연도 확인이 가능한 경우의 27%를 차지한다. 층간소음과 관련하여 강화된 규정을 적용하고 평가 기준을 만족하는 공동주택 바닥 구조에서도 상당한 비율의 층간소음 민원이 발생하고 있어 국내 기준의 평가 방법을 재고할 필요가 있다.

바닥충격을 차단성능 평가는 표준 중량 충격원을 사용한 대상 바닥의 충격음 측정, 바닥충격음 레벨 산정, 등급 평가의 단계로 이루어진다. 신뢰성 있는 바닥 충격음 차단 성능 평가를 위해서 측정 단계에서는 표준 충격원과 실충격원의 유사성이 중요하다(Park et al., 2013). 바닥 중량 충격음 차단성능 측정 방법을 규정하고 있는 국내 규격 KS F 2810-2에서는 표준 중량 충격원 특성을 규정하고, 그 예로 타이어인 뱅머신과 고무공을 예로 들고 있다.

충격원 특성에 대한 여러 연구에 의하면 표준 중량 충격원의 특성은 특히 저주파수 대역에서 실충격원과 차이를 보이고 있다(Park et al., 2013). 실충격원 재현성 측면에서 뱅머신과 고무공을 비교할 경우에는 뱅머신보다는 고무공의 음압레벨 특성이 중량바닥충격음의 주원인인 아이들 뛰어나 발걸음으로 발생하는 바닥충격음과 비교적 유사한 경향을 보이는 것으로 평가되고 있다(Jeong and Jeon, 2005; Kim et al., 2005; Park et al., 2013).

바닥 성능의 등급 판정은 측정된 데이터를 이용하여 기준에 제시된 방법으로 산정된 바닥충격음 레벨과 기준치의 비교로 이루어진다. 표준 중량 충격원으로 고무공을 사용할 경우에는 보정값을 사용하여 뱅머신과 동일한 성능등급 기준을 적용하도록 하고 있다. 이와 같은 평가 방법 및 성능등급 기준은 충격원의 특성을 반영하지 못하며, 사용된 충격원 특성에 따라 바닥 충격음 차단성능이 서로 다른 등급으로 판정되는 결과를 초래하기도 한다. 충격원 특성에 따른 등급 결과에 논란이 발생하자 공동주택 바닥충격음 차단성능 관리 기준은 2015년 12월 개정 시 표준 중량 충격원으로 뱅머신 방식을 사용하도록 지정하였다.

이와 같이 충격원 특성 및 평가 방법에 대한 논란이 일고 있어 바닥충격음 차단성능 평가 기준 및 측정 방법에 있어서 충격원 특성과 더불어 평가 방법을 다시 검토해볼 필요가 있다.

본 연구에서는 바닥 중량 충격음 평가 시 충격원에 따른 국내 기준 적용의 문제점 파악 및 보완 방안 마련을 위한 연구의 일환으로 표준 중량 충격원과 실충격원을 이용하여 바닥 충격음을 측정하고, 이를 이용하여 충격원 특성에 따른 각국 기준의 평가 방법 및 등급 기준을 비교하였다.

2. 바닥충격음 차단성능 평가 방법

2.1 충격원 특성

2.1.1 표준 중량 충격원(KS F 2810-2:2012)

공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준에서는 바닥충격음 차단성능의 측정 시 표준 충격원 특성 1인 뱅머신을 사용하여 KS F 2810-2에 규정된 방법을 따르도록 규정하고 있다. KS F 2810-2는 중량 충격원에 의한 바닥 충격음 차단 성능 현장 측정 방법에 대한 국내 규격으로 옥타브밴드 중심 주파수 63~500 Hz 범위를 측정 대상으로 한다. 표준 중량 충격원의 규격으로 2개의 충격력 하중함수와 충격 폭로 레벨로 규정하고, 충격원 특성 1인 뱅머신(타이어, bang machine)과 특성 2인 고무공(실리콘계고무공, rubber ball)의 크기와 재질 등의 관리 기준을 제시하고 있다.

고무공은 임팩트볼(impact ball)이라고도 하며, 뱅머신의 과도한 충격력이 목구조 주택에서 구조체에 미칠 영향을 피할 목적으로 2000년 일본에서 새로 개발한 SBR(Styrene Butadiene Rubber) 재질의 충격원이 온도 변화에 따른 충격력

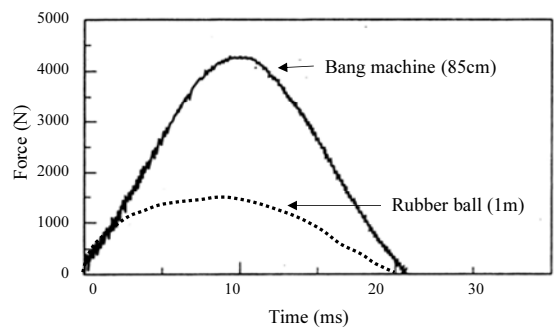


Fig. 1 Force function standard heavy impact sources specified in KS F 2810-2:2012

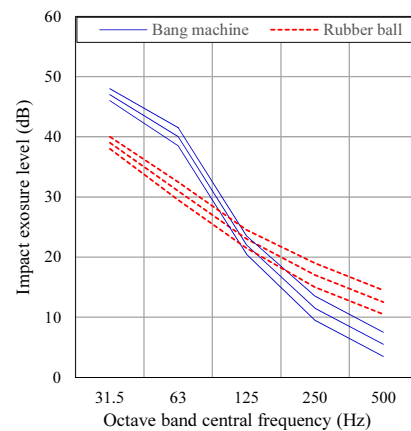


Fig. 2 Impact exposure level for standard heavy impact sources specified in KS F 2810-2:2012

차이를 보이자 이를 보완하여 실리콘 고무 재질로 만든 충격원으로 ISO 규격과 국내 규격에 도입되었다. 많은 선행 연구에서 임팩트볼의 명칭을 사용해 왔으나, ISO 규격과 맞추어 개정된 KS 규격에서는 고무공(rubber ball)으로 명명하고 있다.

Fig. 1은 각 충격원의 충격력 크기 함수로 충격시간 20 ± 2 ms의 단봉형(unimodal) 충격력 파형을 가지며, 뱅머신은 타이어 낙하높이 85 cm일 때 약 4200 N, 고무공은 1 m 높이에서 자유낙하 시 1500 N 정도의 최대 충격력을 갖는다.

Fig. 2는 각 충격원의 충격력 에너지 스펙트럼으로, 주파수 대역에 따라 충격 폭로 레벨에 허용되는 $\pm 1.0 \sim \pm 2.0$ dB의 편차 한계를 포함하여 나타내었다. 뱅머신은 주파수 대역에 따라 충격 폭로 레벨이 급격히 변화하여, 63~125 Hz에서는 고무공보다 높은 수준을 보이나 250~500 Hz에서는 더 낮은 값을 가진다.

2.1.2 주거 공간의 실충격원

주거 공간에서 발생하는 바닥충격음의 70% 이상이 위층에서 아이들의 뛰어나 보행이 원인이다. 실충격원과 표준 충격원의 특성과 관련하여 여러 연구자들이 충격력의 크기 및 스펙트럼 특성, 음압레벨 특성을 비교 분석한 바 있다.

5~11세 아동의 달리기와 뛰어내림에 대한 충격력을 측정 한 Kim et al.(2005)연구에 의하면 달릴 때의 충격력의 크기는 230~3,000 N으로 600~800 N 범위에 가장 많이 분포하며, 뛰어내릴 때의 경우 그 크기는 1,000~6,000 N으로 2,000~3,000 N 범위에 가장 많이 분포한다. 실험 참가 아동의 체중은 16~58 kg으로 전체 70%가 25~35 kg이다.

한편, 체중 19 ~ 40 kg인 초등학교 1학년생을 대상으로 달리기와 뛰어내림에 대한 충격력을 측정한 Jeon et al.(2006)의 실험에서는 최대 충격력은 달릴 때와 뛰어내릴 때 각각 2600 N과 5600 N이고, 평균 충격력은 각각 900 N와 1600 N이다.

이들 연구 결과의 차이는 실험 참가 대상 아동의 연령과 체중 차이의 영향으로, 어린이가 달리기나 뛰어내릴 때 충격력의 크기는 몸무게에 비례하는 경향이 있으나 그 상관성은 매우 낮다. 동일 체중인 경우에도 개인 차이가 크게 나타나고 있는데, 착지자세나 발이 센서에 닿을 때 체중이 실리는 면적 등이 충격력의 크기에 영향을 크게 미치기 때문이다(Jeon et al., 2006; Kim et al., 2005).

Fig. 3은 Kim et al.(2005)의 연구 결과로 아동의 달리기와 뛰어내림의 충격력과 표준 중량 충격원의 충격력 스펙트럼을 비교한 것이다. 실제 충격원의 주파수 특성은 뱅머신보다 고무공이 더 유사한 경향을 보이고 있으나, 스펙트럼 분포의 기울기 형태에서 고무공도 실충격원과 다소 차이를 보이고 있다.

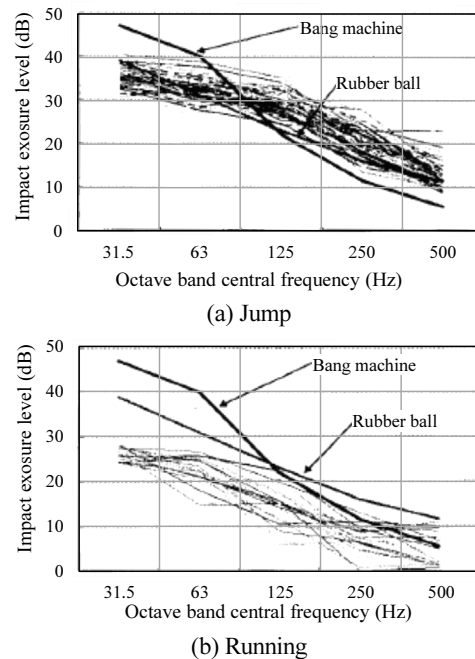


Fig. 3 Comparison of spectrum for standard and actual impact sources (Kim et al., 2005).

2.2 단일수치 평가 방법

2.2.1 국내 규격 KS F 2863-2: 2007

공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준에서는 중량충격음레벨을 KS F 2863-2에 규정된 평가 방법 중 역A특성 곡선에 의한 방법으로 평가한 “역A특성 가중바닥충격음레벨”로 규정하고 바닥충격음 차단성능의 등급기준을 4개 등급으로 제시하고 있다.

KS F 2863-2에서는 바닥 충격음 차단 성능을 63~500 Hz 범위의 4개 옥타브 밴드 중심주파수 측정 결과를 이용한 단일 수치 평가량으로 평가하고 있는데, 이를 역 A특성 가중 바닥

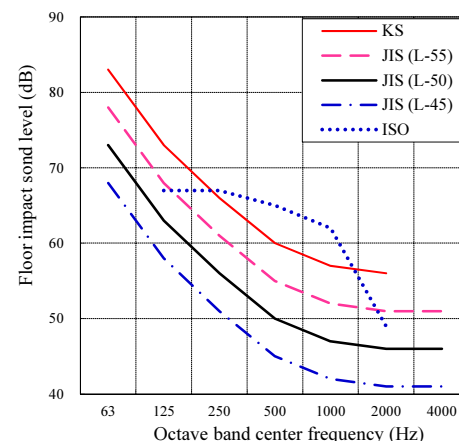


Fig. 4 Reference curve for rating of floor impact sound level

충격음 레벨(Li, Fmax, AW)이라 한다. 바닥충격음의 단일수치평가량인 역 A 특성 가중 바닥 충격음 레벨은 기준곡선을 측정값 아래로 오도록 이동시키되 기준곡선 이상이 되는 측정값의 합이 8 dB을 넘지 않는 최저 위치에서 최저 기준곡선의 500 Hz에 해당하는 레벨로 결정된다.

Fig. 4는 우리나라와 일본, 국제 규격 ISO의 기준 곡선을 나타낸 것으로 국내 규격 KS F 2863-2의 역 A 특성 기준곡선은 일본 규격 JIS A 1419의 60 dB 등급의 기준선과 일치하고, 기준곡선을 이동시켜 500 Hz의 값을 단일수치평가량으로 결정하는 방법은 ISO 717-2의 경량 바닥충격음 평가 방법과 상응한다.

2.2.2 일본 규격 JIS A 1419-2

일본의 건물 차음성능 평가 방법 규정인 JIS A 1419에서는 옥타브 대역 중심 주파수 63~4,000 Hz를 고려 대상으로 하여 바닥충격음 차음성능을 45~60 dB범위에 대하여 5 dB 간격의 6개 등급으로 구분하고 있다. Fig. 4에서 45~55 dB에 해당하는 평가 기준곡선을 확인할 수 있다.

JIS A 1419의 평가 방법에 따르면 동일 주파수 범위에서 측정된 바닥충격음이 모든 주파수 대역에서 어느 등급의 기준선 이하가 될 때, 그 최소 기준선의 명칭이 대상 바닥의 바닥충격음 레벨이 된다. 이때 각 주파수 대역의 측정값에서 각각 2 dB를 감할 수 있는 허용치를 제시하고 있다. 일본 규격의 2 dB 허용치를 KS F 2863-2의 4개 중심 주파수 대역에 대하여 적용할 경우 기준곡선 이상이 되는 측정값의 합이 8 dB이 된다.

일본 기준에서는 차음등급에 의미를 부여하고 있는데, 공동주택의 거실 바닥은 중량충격음에 대하여 ‘차음성능상 바람직 함’의 등급으로 보통 사용 상태에서 사용자로부터 차음성능상의 지장을 주는 불평은 거의 없다고 평가되는 L-50 이상의 차음성능을 요구한다.

2.2.3 국제 규격 ISO 717-2

국제 표준 규격인 ISO에는 태핑머신을 이용한 경량 바닥 충격음 및 뱅머신과 고무공을 포함한 중량 충격원에 대한 바닥 충격음 측정 방법에 대한 규정은 마련되어 있으나, 평가 방법은 현재 경량 바닥 충격음에 대해서만 ISO 717-2에 규정되어 있다. 바닥 중량 충격음에 대한 평가 방법 규정은 현재 준비중으로 아직까지 국내 규격 KS F 2863-2에 대응하는 국제 규격은 없다.

ISO 717-2의 경량 충격음 평가 방법은 국내 KS 규격에서와 같이 기준 곡선을 1 dB씩 수직 평행 이동하여 기준 곡선을 상회하는 측정값이 10 dB을 넘지 않도록 최저 위치로 이동시켰을 때 500 Hz에 해당하는 기준곡선의 값에서 5 dB을 차감한 값을 단일 수치 평가량으로 결정하게 된다.

ISO 717-2의 바닥 충격음에 대한 평가 방법은 기준 곡선의 이동 및 기준 곡선을 상회하는 값의 합을 제한하는 방법이 국내 KS F 2863-2의 역 A 특성 가중 바닥 충격음 레벨 산정 방법과 상응하나, 기준 곡선은 Fig. 4와 같이 국내 규격 및 일본 규격의 중량 충격음 평가 기준 곡선과 다른 형태를 가진다.

3. 충격원에 따른 바닥충격음 평가

3.1 바닥 충격음 측정

3.1.1 실충격원

실충격원의 충격력 크기는 체중 외에 개인 습성 차이에 따라 그 분포 범위가 매우 넓다. 층간소음 문제에 있어서 충격력의 크기 외에도 충격력의 발생 빈도를 고려할 필요가 있다. 특히 미취학 아동의 경우 취학 아동보다 체중은 적으나 집안에서 뛰어내리거나 달리는 행동을 더 많이 행할 가능성이 크다. 유아동의 경우 개인 성향 외에 활동성과 행동 제제의 가능성 등에 연령의 영향을 받는다. 예를 들면, 제자리 뛰은 일반적으로 만 2세 이상 가능한 발달 단계이다.

대한소아과학회의 성장발달표준곡선에 따르면 만 2세부터 초등 1학년생에 해당하는 만 7세까지 아동의 각 연령별 체중은 Fig. 5과 같이 10~37 kg 범위에 있다. Fig. 5에서 백분율은 100명 중 몇 번째 순위인지를 의미한다.

본 연구에서는 주거 공간에서 뛰어내리거나 달리는 활동량이 많으나 그 행동을 제제하기가 쉽지 않아 충격원로서 발생 빈도가 비교적 높을 것으로 예상되는 만 4세 아동의 뛰어내리기와 달리기를 실충격원으로 선정하여 바닥 충격음을 측정하였다. Fig. 5에 실험 참가 아동의 체중 18.3 kg을 파선으로 나타내었는데, 이는 만 2년부터 미취학 아동인 만 6~7세 전체 평균 체중과 같고, 만 3세의 상위 97%, 만 4세의 상위 80%, 만 5세의 42%, 만 6세의 12% 수준에 해당한다.

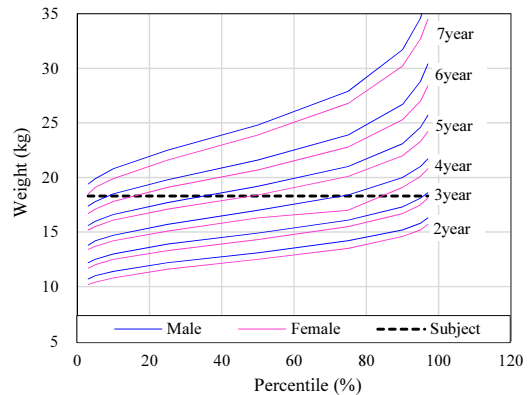


Fig. 5 Normal value for children's physical development

3.1.2 바닥 중량 충격음 측정

충격원에 따른 바닥 충격음 측정은 D연구소의 공동주택 mock-up 실험동에서 수행되었다. 실험동의 단위세대 평면은 Fig. 6과 같고, 충격원은 뱀머신과 고무공, 아동의 뛰어내림과 달리기를 각각 표준 중량 충격원과 실충격원으로 적용하였다.

공동주택 현장에서 충격원에 따른 최대소음레벨은 충격원 특성 외에 기타 환경 차이의 영향을 받는다(Park et al., 2013). 공동주택 현장마다 서로 다른 바닥 및 천장 등의 마감과 구조체의 진동 거동 특성이 음압레벨에 영향 미치는 환경의 차이를 형성한다. 특히 바닥충격음은 충격력으로 발생한 바닥진동으로 말미암은 고체전달음이므로 슬래브의 바닥 진동 거동 특성은 바닥충격음 발생에 직접 영향 요인이 된다. 본 연구에서는 구조체의 거동과 충격원 종류를 음압레벨에 미치는 영향 요인으로 고려하기 위하여 바닥 구조를 맨슬래브 조건으로 한정하였다.

공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준에서는 바닥충격음 차단성능 평가를 위한 측정대상 공간을 거실로 규정하고 거실과 침실의 구분히 명확하지 않은 소형평형 공동주택의 경우 가장 넓은 공간을 대상으로 측정하도록 규정하고 있다. 본 연구에서는 바닥충격음 음압레벨에 영향을 미치는 슬래브의 진동 거동 차이 비교를 위해서 거실(living room)

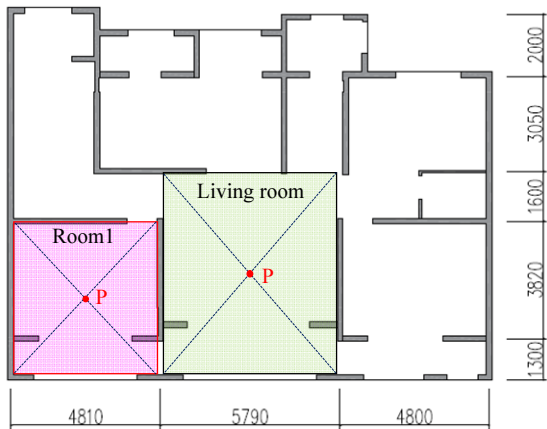


Fig. 6 Plane of subject unit

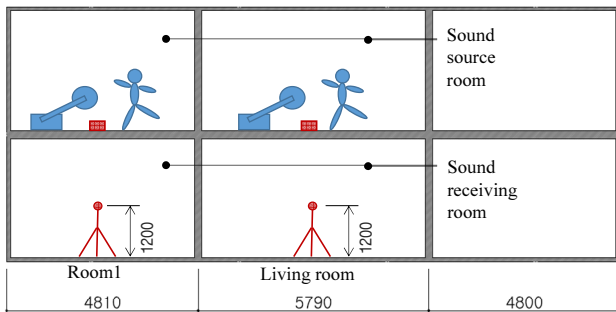


Fig. 7 Setting points of loading and sensors

외에 가장 큰 침실(room1)을 추가하여 2개 공간의 바닥 슬래브에 대하여 진동 가속도와 음압레벨을 측정하였다. Fig. 6에서 거실의 바닥면의 길이는 침실의 1.2~1.3배이고, 바닥 면적은 대상 침실의 1.6배로 크다.

진동 실험 시 거실의 경우 맨슬래브 조건을 충족하나, 침실의 경우 바닥 마감은 되지 않은 상태이나 수음실의 천장 일부에 공동주택의 생활환경 재료 실험을 위한 마감재가 일부 잔존한 상태였다.

거실 및 침실의 공간은 벽체의 위치와 바닥의 면적에 따른 슬래브의 진동 거동과 실제 생활환경에서 거주자의 동선, 가구배치 등을 고려하여 발코니를 포함한 Fig. 6에 표시된 영역으로 고려하였다.

Fig. 7은 실험대상 세대의 단면에 가속도계 및 마이크론의 설치와 충격원 가력 등에 대한 실험 구상도를 나타낸 것으로 바닥 진동 거동의 측정을 위해 가속도계를 음원실 바닥 슬래브 면의 Fig. 6에 “P”로 표기한 위치에 설치하고 음압레벨 측정을 위한 마이크론은 수음실의 “P”위치에 바닥면에서 1.2 m 높이로 설치하였다.

표준 중량 충격원은 음원실 “P”점 가속도계에서 0.5 m 정도 떨어진 위치를 가력 하도록 하였다. Photos 1과 2는 아동의 실충격원 가력 모습으로, 뛰어내림(jump)의 경우 표준 중량 충격원과 마찬가지로 가속도계와 0.5 m 정도 떨어진 위치에서 아동이 의자에서 뛰어내리도록 하고, 달리기(running)의 경우 가속도계에서 0.5 m 정도 떨어진 점을 지나는 위치의 양 벽면 사이를 자유롭게 마음껏 왕복하여 달리도록 하였다. 충격력 가력 시 국내 주거양식을 반영하여 아동은 신발을 착용하지 않았으며, 마감처리 안된 맨바닥 슬래브면에 아동이 긁히거나 다치지 않도록 달릴 때에는 덧양말을 신기고, 점핑 시에는 의자 앞 바닥에 충분히 넓게 종이를 밀착하여 깔아두었다.

계측 및 분석 장비로 PULSE 3560-B를 사용하였으며, 4개 충격원 각각에 대하여 30초 동안 연속적으로 가력하여 기록



Photo 1 Jump



Photo 2 Running

하였다. 바닥충격을 음압레벨은 시상수 'fast'로 1/3 Octave band 분석을, 바닥 진동의 경우 'exponential' 평균을 이용한 FFT 분석을 수행하였다.

3.1.3 측정 결과

표준 중량 충격원과 실충격원에 대한 대상 바닥의 진동 거동은 Fig. 8과 같다. Fig. 8에서 거실은 30 Hz에서 지배적으로 거동하고, 침실의 경우 46 Hz와 57 Hz의 2개 모드로 거동하고 있다. 각 바닥의 주파수 응답을 Table 1에 정리하였다.

Fig. 9는 각 중량 충격원에 대한 바닥 충격음 음압 레벨로 거실의 경우 Table 1의 바닥 지배 주파수 대역과 100 Hz 부근에서 최대값과 정점을 가지고 이후 점점 감소하는 형태를 보이고 있다. Fig. 8에서 지배 주파수 이후 바닥의 진동 거동은 거의 소멸되고 있어 100 Hz 부근과 이후 주파수 대역에서의 음압레벨은 바닥진동이 직접적 영향보다 룸모드의 영향이 작용하는 것으로 볼 수 있다.

침실의 경우 아동 달리기를 제외한 나머지 충격원의 경우 25 Hz 정점을 가지고, 이후에는 모든 충격원에서 거실과 마찬가지로 바닥의 지배 주파수 대역과 100 Hz 부근에서 정점을

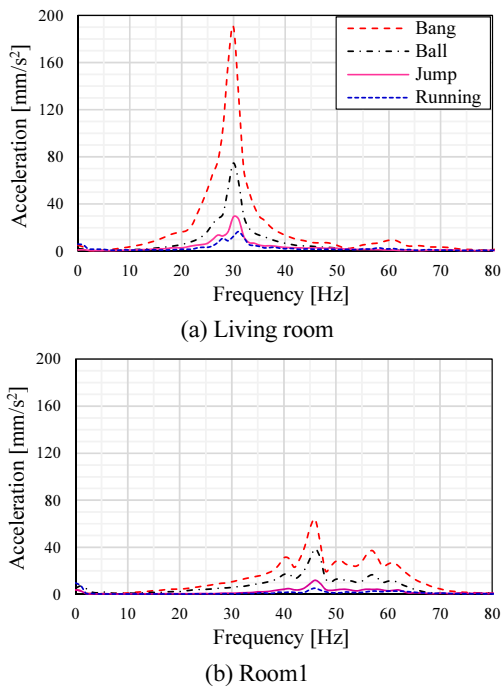
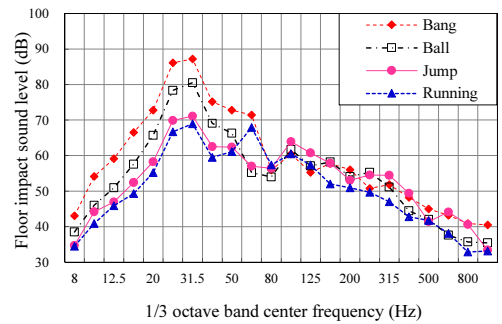


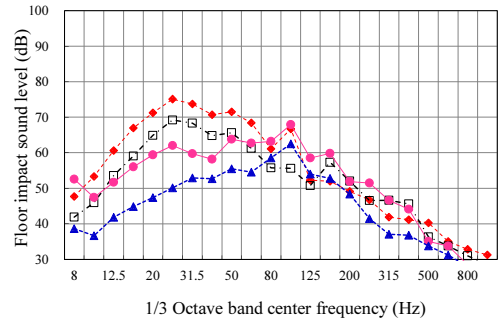
Fig. 8 Floor vibration response

Table 1 Natural frequency of slab for floor vertical vibration

Room	Natural frequency (Hz)	
	1 st	2 nd
Living room	30	61
Room 1	46	57



(a) Living room



(b) Room 1

Fig. 9 Floor impact sound pressure level

가진다. 표준 중량 충격원에서는 25 Hz 대역의 정점에서 최대값을 가지고, 이후 점점 감소하며 실충격원의 경우 100 Hz 부근의 정점에서 최대음압레벨을 나타내고 있다. 이와 같이 거실과 다른 침실의 음압레벨 분포 특성은 각 충격원에 대한 바닥 진동 가속도 크기의 차이와 수음실 천장에 일부 남아있는 마감재의 영향으로 판단된다. 바닥충격음의 음압레벨은 바닥의 지배 주파수 대역에서 가속도 응답의 에너지가 전달되어 발생하는 것으로, 거실의 경우 실충격원에 대한 최대가속도가 어린이 뛰과 달리기에 대하여 각각 30 mm/s², 17 mm/s² 수준을 나타내는 것에 비하여 침실에서 실충격원에 대한 최대가속도는 각각 12 mm/s², 5 mm/s² 수준으로 매우 낮아 지배 주파수 대역과 100 Hz대역에서의 음압레벨 크기는 바닥 진동 거동보다 룸모드의 영향을 더 크게 받고 있는 것으로 판단된다.

한편 거실에서 나타나지 않는 25 Hz 대역의 음압레벨은 침실 수음실 천장에 일부 잔존하는 천장마감재의 영향으로 판단되며, 특히 아동의 달리기의 경우 최대가속도가 5 mm/s² 이하로 뱅머신의 5%미만 수준으로 수음실 천장 마감재에 영향 미치는 바닥 진동 에너지 수준이 낮아 거실에서와 마찬가지로 25 Hz대역에서 음압레벨이 발생하지 않은 것으로 판단된다.

거실과 침실의 진동 거동 및 음압레벨 분포 특성으로 판단할 때, 바닥충격음 음압레벨은 바닥 진동의 지배 주파수 대역에서 전달된 진동 에너지의 전달로 발생하며 진동 가속도 크기가 작을 경우에는 바닥진동의 직접 영향보다 마감재나 룸

모드의 영향을 크게 받을 수 있다.

3.2 바닥 충격음 레벨 평가

3.2.1 단일수치에 의한 평가

공동주택 Mock-up 실험동의 거실과 침실에서 측정된 4개 충격원에 대한 바닥충격음의 단일 수치 평가량을 각국 규격의 방법에 따라 산정하였다.

Fig. 10은 국내 규격 KS F 2863-2의 규정에 의한 바닥 충격음 레벨 단일 수치 평가량 결정 과정을 나타내고 있으며, 거실에서 표준 중량 충격원인 뱅머신과 고무공의 단일수치에 의한 바닥충격음 레벨은 각각 50 dB과 48 dB이고, 실충격원으로 사용한 아동의 뛰어내림과 달리기의 경우 각각 50 dB과 46 dB로 결정된다. 침실의 바닥충격음 단일수치 평가량은 뱅머신, 고무공, 아동의 뛰어내림, 달리기에 대하여 순서대로 49 dB, 45 dB, 49 dB 43 dB이다.

수음실 천장 마감재의 영향이 포함되는 것으로 판단되는 침실을 제외하고 거실의 슬래브에 대한 바닥충격음 단일수치 평가량을 분석해보면, 뱅머신은 63 Hz과 250 Hz 대역에서, 고무공과 아동의 뛰어내림 및 달리기의 경우 125 Hz와 250 Hz 대역에서 결정적이며 모두 50 dB 이하로 대상 바닥의 슬래브는 공동주택 바닥구조의 바닥충격음 차단성능 기준 제한을 만족한다.

일본 JIS A 1419-2에 의한 바닥 충격음 레벨 평가는 Fig. 11에 나타내었다. 거실의 아동 달리기에 대한 음압레벨과 침실에서의 고무공과 아동 달리기에 대한 음압레벨은 50 dB이고 나머지는 모두 측정값에서 2 dB 감한 점이 L-50과 L-55 사이에 있어 55 dB로 결정된다. 거실의 바닥충격음 음압레벨은 뱅머신의 경우 63 Hz와 250 Hz에서, 고무공은 250 Hz에서, 그리고 아동의 뛰과 달리기는 125 Hz와 250 Hz에서 단일수치 레벨이 결정된다. JIS A 1419-2의 기준으로 평가할 경우 대상 바닥의 슬래브는 거실의 아동 달리기에 대한 바닥충격음과 침실의 고무공 및 아동 달리기에 대한 바닥충격음에 대해서만 바닥구조 성능 기준 제한을 만족한다.

ISO 717-2는 경량 충격음에 대한 평가 방법이지만 기준선을 이동시키는 방법이 국내 규격과 상용하고 사람의 청감을 반영한 기준 곡선에 대한 단일 수치 결정이라는 점에 의미를 두어 본 연구의 바닥충격음 측정값에 대한 ISO 717-2의 단일 수치 평가량을 산정해 보았다.

각국 기준에 따라 산정된 단일수치 평가량을 Table 2에 정리하였는데, ISO 717-2의 단일수치 평가량의 경우 기준곡선 이동으로 결정된 레벨을 기록하고 그 레벨에서 5 dB 차감한 단일수치 평가량을 괄호 안에 기록하였다. 또한 전 주파수 대역에 대한 오버올 레벨(overall level)을 평탄특성(dB(lin))과 A 특성 가중 값(dB(A))으로 산정하여 비교하였다.

Table 2 Sound pressure levels according to impact sources and evaluation criteria(dB)

Impact sources	Overall level		Single number quantity			
	Linear dB(lin)	A-weighted dB(A)	KS	JIS	ISO (-5 dB)	
Living room	Bang	90.1	57.2	50	55	57 (52)
	Ball	83.1	54.4	48	55	56 (51)
	Jump	75.2	54.5	50	55	50 (45)
	Running	73.8	51.0	46	50	45 (40)
Room 1	Bang	80.6	51.8	49	55	55 (50)
	Ball	74.6	49.6	45	50	51 (46)
	Jump	72.9	53.3	49	55	48 (43)
	Running	66.3	47.5	43	50	42 (37)

Table 2에서 음압레벨의 평탄특성 오버올 레벨은 Fig. 8의 바닥 진동 가속도 수준과 같이 뱅머신>고무공>뛰어내림>달리기 순서의 크기를 갖으나, A 특성 가중된 오버올 레벨과 단일 수치 평가량의 크기는 거실의 경우 뱅머신 ≥ 뛰어내림 ≥ 고무공 ≥ 달리기 순서이고, 침실의 경우 뛰어내림 ≥ 뱅머신 ≥ 고무공 ≥ 달리기 순서를 나타내고 있어 A 특성에 의해 저감된 바닥진동의 지배 주파수 대역의 음압레벨이 고무공의 경우가 가장 큰 것을 알 수 있다.

충격원 특성을 Table 2와 Figs. 10~11에서 각 충격원에 대한 단일수치 음압레벨 및 단일수치 평가량 결정에 큰 영향을 미치는 주파수 대역으로 분석할 경우 실충격원은 뱅머신보다 고무공과 더 유사하며, 고무공은 특히 아동의 뛰어내림과 가까운 표준 충격원이라 할 수 있으며, 이는 충격원에 대한 이전 연구자들의 연구와 같다(Jeong and Jeon, 2005; Kim et al., 2005; Park et al., 2013).

본 연구에서 측정한 바닥충격음 레벨에 대한 평가는 충격원 뿐만 아니라 적용한 기준 및 평가량에 따라 상이한 결과를 나타내고 있다. 특히 국내 기준의 평가 방법으로는 성능 기준을 만족하나, 오버올 레벨이나 일본 규격의 평가 방법을 사용할 경우 성능 기준을 만족하지 못하는 경우가 더 많아 일본의 JIS A 1419-2에 의한 단일수치 평가량이 KS F 2863-2의 평가량보다 더 보수적인 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한 바닥충격음에 대한 인지 및 불쾌감 수준을 A 특성 가중 오버올 레벨(dB(A))로 나타내고, 현행 기준의 성능기준으로 평가할 경우 거실과 침실에서 아동의 뛰어내림에 대하여 충분히 불쾌감을 나타낼 수 있는 수준이다.

Table 2에서 평가량과 충격원 및 기준에 따라 다른 결과를 나타내고 있음은 Figs. 10~11에 보여지는 바와 같이 현행 평가 기준의 단일수치 평가량 산정 시 충격원에 따라 상이한 음압레벨의 스펙트럼 특성을 제대로 반영하지 못하기 때문으로

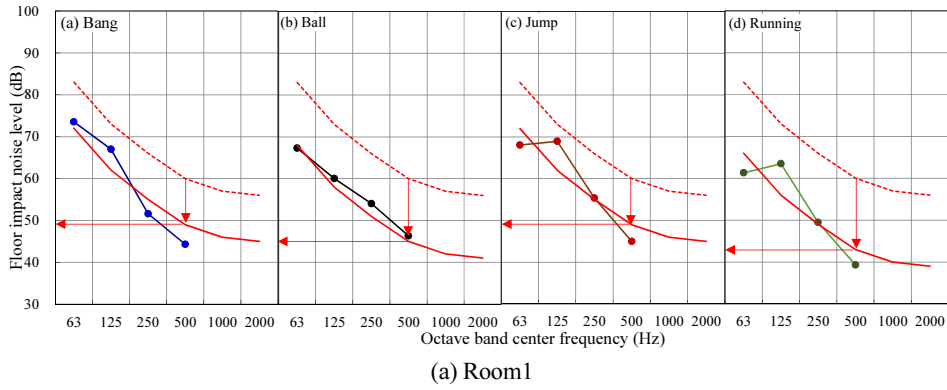
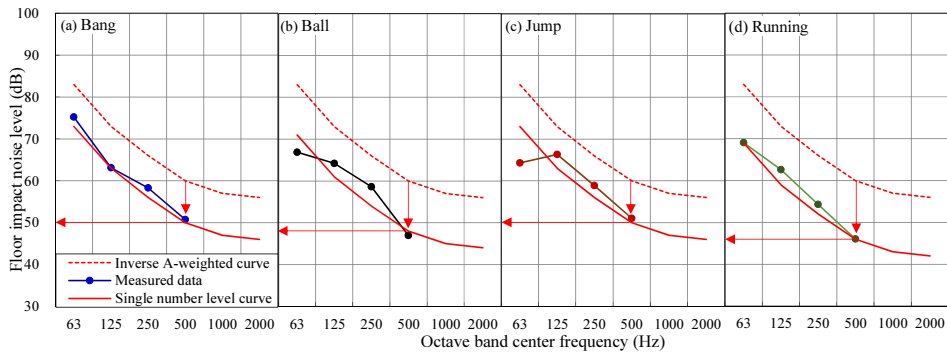


Fig. 10 Determine of single number by KS F 2863-2

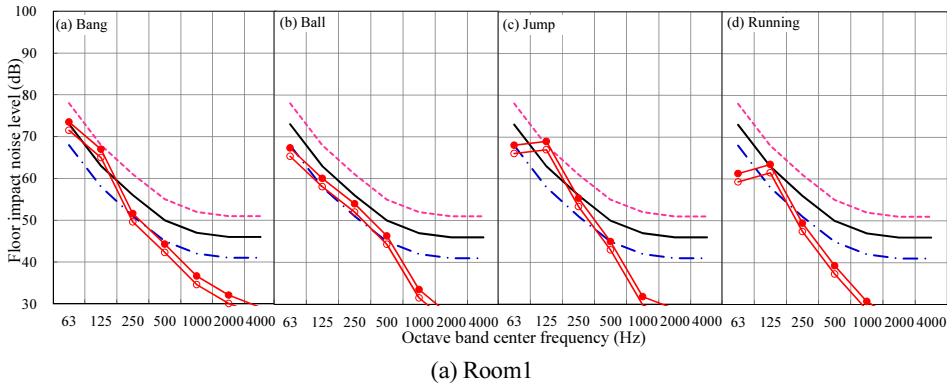
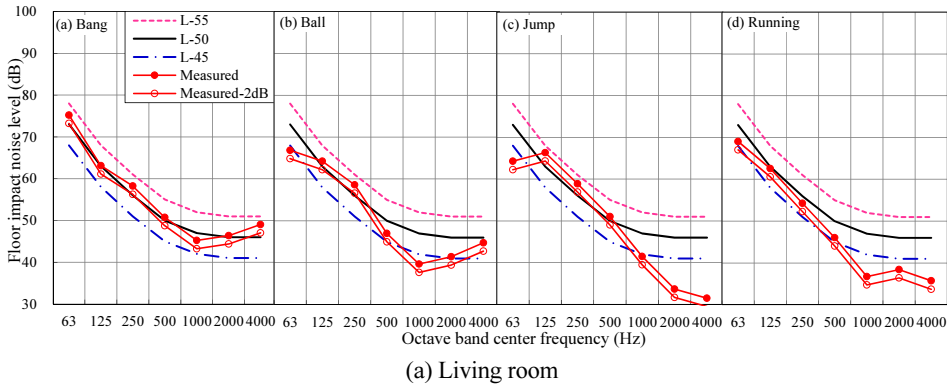


Fig. 11 Determine of single number by JIS A 1419-2

판단되며 이에 대한 보완 방안 마련이 필요하다.

3.2.2 저주파수 대역의 음압레벨 평가

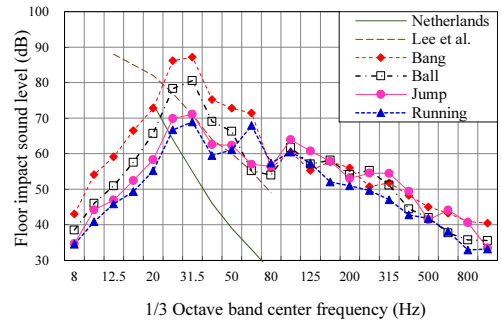
표준 중량 충격원에 대한 바닥 충격음 차단 성능 평가 시 KS F 2863-2(2007)은 63, 125, 250, 500 Hz의 4개 옥타브 밴드 중심 주파수 대역을 고려하고, JIS A 1419에서는 63~4,000 Hz 주파수 범위를 대상으로 7개의 옥타브 밴드 중심 주파수의 음압레벨을 평가한다. 경량 충격음 평가 방법을 규정하는 ISO 717-2는 기준 곡선의 음압레벨이 125~2,000 Hz 범위의 5개 중심 주파수에 대하여 제시되어 있다.

표준 중량 충격원과 실충격원에 대한 대상 바닥의 진동 거동은 Figs. 8~9에서 각 충격원에 대한 바닥 충격음 음압레벨은 100 Hz 이하에서는 바닥진동의 지배 주파수 대역에서 정점을 가지며, 이때 음압레벨은 바닥의 진동 가속도 크기에 영향을 받는다. 그러나 바닥 진동의 지배 주파수는 60 Hz 이하로 바닥 충격음 차단 성능 평가 기준의 주파수 범위를 벗어난다.

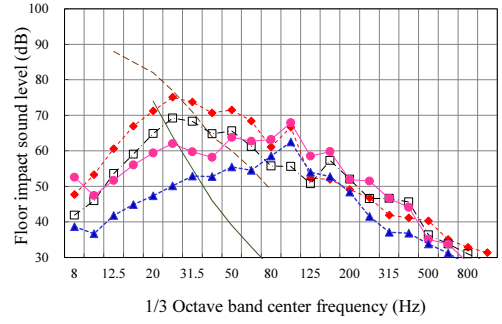
국내에는 바닥의 지배 주파수를 포함하는 저주파수 대역의 음압레벨에 대한 평가 기준이 마련되어 있지 않으나, 독일, 네덜란드 등 유럽 몇몇 국가에서는 저주파수 소음의 영향을 관리하고 있다. 주로 1/3옥타브밴드 중심주파수 100 Hz 이하의 주파수 범위를 대상으로 하며 독일과 네덜란드의 저주파 소음 인지 곡선의 음압레벨은 거의 같은 수준을 나타낸다. 국내에서도 교통수단에서의 저주파 소음 영향에 대한 연구 필요성이 대두되고 있다. Lee et al.(2011)은 저주파 소음 영향 평가의 중요성을 인지하고 무향실에서의 저주파소음 청감시험을 실시하여 저주파소음 기준안을 피험자의 75%와 100%가 성가심을 느끼는 수준의 2단계로 제시하였다.

본 연구에서는 바닥충격음 평가 기준에서 고려하지 못하는 바닥 진동의 지배 주파수 대역의 음압레벨 평가를 위하여 저주파 소음 평가를 시도하였다. 이를 위하여 가청 소음의 여부 결정에 사용되는 네덜란드의 저주파소음 인지 곡선과 피험자의 100%가 성가심을 느끼는 수준의 Lee et al.(2011)의 권고기준안 2단계를 각 충격원별 측정 음압레벨과 비교하였다.

Fig. 12에서 바닥 진동의 지배주파수 범위에서 네덜란드의 저주파수 인지곡선을 상회하고 있어 가청 소음이 발생할 가능성이 크다. 침실의 아동 달리기를 제외한 모든 측정값이 바닥 진동의 지배 주파수 대역에서 Lee et al.(2011)가 제안한 곡선에 근접하거나 높은 수준을 나타내고 있다. 이는 침실에서 달리기를 제외한 모든 경우에 바닥 충격음에 대하여 성가시게 느낄 수 있음을 의미한다. Fig. 12(b)에서 달리기 충격력으로 발생한 침실의 바닥충격음은 인지할 수 있는 수준이며, 일부 거주자는 성가시게 느낄 수도 있는 수준이며, 이는 Table 2에서 A특성 가중 오버올 레벨(dB(A)) 수치가 KS 규격의 단일 수치 평가량과 달리 50 dB을 초과하여 불쾌감을 느낄 수 있음



(a) Living room



(b) Room 1

Fig. 12 Evaluation for low frequency noise

과 상응한다.

실충격원은 대상 아동의 체중과 연령에 따라 최대충격력 크기가 광범위하게 분포한다. 본 연구에 참여한 아동은 미취학 아동 평균에 해당하는 만 4세의 체중 18.3kg인 여아로, 대상 아동보다 더 큰 충격력을 가지는 아동 또는 성인의 경우 발생하는 바닥충격음은 특히 바닥 진동의 지배 주파수 대역에서 더 높은 음압레벨을 발생시킬 수 있으며, 따라서 성가심을 느낄 가능성은 더 높아질 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 표준 중량 충격원과 실충격원에 대한 바닥 충격음을 측정하고 이를 이용하여 현행 기준의 바닥충격음압레벨 평가 방법을 해외 기준과 비교 검토하였다. 또한 현행 바닥충격음 평가 기준의 대상 주파수 범위를 벗어나는 저주파수 대역의 음압레벨은 네덜란드의 저주파 소음 인지 곡선과 국내 연구자가 제안한 저주파 소음 기준안을 이용하여 평가하였다.

표준 중량 충격원으로는 뱅머신과 고무공을 모두 사용하였고, 실충격원으로는 실 주거 공간에서 충격력 발생 빈도가 높을 것으로 예상되는 만 4세 아동의 뛰어내림과 달리기를 선택하였다. 실험에 참가한 아동의 체중은 18.3kg으로 이는 미취

학 아동 만2~7세의 평균 체중에 해당한다.

충격원 특성 외에 바닥의 진동 거동 특성을 반영하기 위하여 공동주택 mock-up 실험동의 거실과 거실 다음 규모의 침실을 대상으로 음압레벨과 함께 바닥 진동 가속도를 측정하였다. 바닥의 진동의 지배주파수는 거실의 경우 30 Hz이며 뱅머신에 대한 바닥 진동 응답에서는 60 Hz에서 약하게 2차모드 거동을 나타내고 있다. 침실은 46 Hz와 57 Hz에서 거동하고 있다.

거실에서 각 중량 충격원에 대한 바닥 충격음 음압 레벨은 바닥 진동의 지배 주파수 대역과 100 Hz 부근에서 정점을 가지고 이후 점점 감소하는 형태를 보이고 있다. 바닥의 진동 거동은 지배 주파수 이후 거의 감소되므로 100 Hz 부근과 이후 주파수 대역에서의 음압레벨은 룸모드의 영향을 받는 것으로 판단된다. 침실의 경우 실충격원에 대한 음압레벨이 바닥의 지배 주파수 대역이 아닌 25 Hz 및 100 Hz 부근의 정점에서 최대음압레벨을 나타내고 있다. 거실과 침실의 진동 거동 및 음압레벨 분포 특성으로 판단할 때, 바닥충격음 음압레벨은 바닥 진동의 지배 주파수 대역에서 전달된 진동 에너지의 전달로 발생하며 진동 가속도 크기가 작을 경우에는 바닥진동의 직접 영향보다 마감재나 룸모드의 영향을 크게 받을 수 있다.

국내 평가 기준에서는 바닥충격음의 단일 수치 평가량을 산정하여 각 등급 기준치와 비교하도록 하고 있다. 본 연구에서 각 충격원에 대한 바닥충격음의 단일수치 평가량은 중량 바닥 충격음 평가 방법에 대한 국내 규격 KS F 2863-2와 일본 JIS A 1419-2 및 경량 충격음에 대한 평가 방법인 ISO 717-2에 따라 산정하였다. KS F 2863-2의 규정에 의한 바닥 충격음 레벨 단일 수치 평가량은 뱅머신, 고무공, 아동의 뛰어내림과 달리기에 대하여 순서대로 거실은 50 dB, 48 dB, 50 dB, 46 dB이며, 침실은 49 dB, 45 dB, 49 dB, 43 dB이다. JIS A 1419-2의 평가 기준에 따르면 침실에서의 고무공과 아동 달리기 충격에 대한 음압레벨은 50 dB이고 나머지의 경우는 55 dB이다. A 특성 가중 오버올 레벨의 경우 47 dB~58 dB 범위 값을 가지며, 침실의 고무공 및 아동 달리기를 제외한 나머지 경우에서 50 dB을 초과한다. 대상 바닥 슬래브는 50 dB 이하의 성능 기준에 대한 평가는 기준 및 평가량에 따라 상이한 결과를 초래하고 있어, 국내 기준의 평가 방법으로는 성능 기준을 만족하나, 오버올 레벨이나 일본 규격의 평가 방법을 사용할 경우 성능 기준을 만족하지 못하는 경우가 더 많다.

본 연구에서는 바닥충격음 평가 기준에서 고려하지 못하는 바닥 진동의 지배 주파수 대역의 음압레벨 평가를 위하여 네델란드의 저주파소음 인지 곡선과 Lee et al.(2011)의 권고기준안을 이용하였다. 바닥 진동의 지배주파수 범위에서 모든 충격원에 대한 바닥충격음 레벨은 네델란드의 저주파수 인지

곡선을 상회하고 있어 가청 소음으로 인식할 가능성이 크다. Lee et al.(2011)가 제안한 곡선과의 비교할 때, 아동 달리기 충격력으로 발생한 침실의 바닥충격음은 일부 거주자는 성가시게 느낄 수도 있는 수준이나 다른 모든 경우의 바닥 충격음에 대해서는 분명하게 성가심을 느낄 수 있는 수준이다.

현행 평가 기준의 단일수치 평가량 산정 방법은 충격원에 따라 상이한 음압레벨 스펙트럼 특성을 제대로 반영하지 못하며, 바닥의 진동 거동 지배 주파수를 포함하는 저주파수 대역의 음압레벨을 고려하지 않고 있어 바닥충격음에 대한 평가 결과와 사람의 인지 수준에 차이가 발생할 수 있다. 따라서 충격원에 따른 음압레벨의 스펙트럼 특성과 저주파수 대역의 음압레벨을 반영할 수 있도록 현행 기준의 평가 방법을 보완할 필요가 있다.

감사의 글

이 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비 지원(과제번호: 16CTAP-C097335-02)에 의한 결과의 일부임.

References

- International Standard Organization for Standardization (2013), Acoustics-Rating Of Sound Insulation In Buildings And Of Building Elements - Part 2: Impact Sound Insulation, ISO 717-2 :2013.
- Japanese Standard Association (2000), Acoustics-Rating Of Sound Insulation In Buildings And Of Building Elements - Floor Impact Sound Insulation, JIS A 1419-2 :2000.
- Jeon, J., Lee, P., Jeong, J., and Park, J. (2006), Comparison of Standard Floor Impact Sources with a Human Impact Source, *Transactions of the Korean Society of Noise and Vibration Engineering*, KSNVE, 16(8), 789-796.
- Jeong, J. and Jeon, J.(2005), Floor Impact Noise Measurement and Evaluation Method Using Impact Ball, *Transactions of the Korean Society of Noise and Vibration Engineering*, KSNVE, 15(10), 1160-1168.
- Kim, K., Choi, G., Jeong, Y., and Yang, K. (2005), Impact Power Characteristics as Behavior of Real Impact Source(Child), *Transactions of the Korean Society of Noise and Vibration Engineering*, KSNVE, 15(5), 542-549.
- Korean Agency for Technology and Standards (2007), 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, KS F 2863-2: 2007.
- Korean Agency for Technology and Standards (2012), Field measurements of floor impact sound insulation of buildings-Part 2: Method using standard heavy impact sources, KS F 2810-2: 2012.

Lee, J., Lee, W., Choi, K., Gu, J., Jung, S., and Han, J. (2011), Management of Low-Frequency Noise, *Proceeding of Academic Conference of the Korean Society of Noise and Vibration Engineering*, KSNVE, 806-807.

Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Floor Impact Noise Insulation Admission and Management Criteria for Apartment House, 2016.

Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Regulation on Housing Construction Standards, 2017.

Park, H., Kim, K., and Kim, S. (2013), Verification of Effectiveness of

the Standard Floor Impact Source by Comparing with Living Impact Sources, *Transactions of the Korean Society of Noise and Vibration Engineering*, KSNVE, 23(12), 1117-1126.

Received : 03/29/2017

Revised : 05/10/2017

Accepted : 05/15/2017

요 지 : 표준 중량 충격원의 실제 충격원 재현성에 대한 논란이 있음에도 현재 기준에서는 뱅머신 방식만 사용하고 있다. 현행 기준의 평가 방법 및 등급 기준이 충격원 특성을 고려하지 못하고 있어 충격원의 선택에 따라 바닥충격음 차단 성능 등급에 차이가 발생하기 때문이다. 본 연구는 충격원 특성 외에 바닥 진동 거동 특성을 함께 고려한 현행 기준의 바닥충격음 평가 방법 고찰을 목적으로 한다. 공동주택 mock-up 실험실에서 표준 중량 충격원과 실충격원에 대하여 바닥충격음을 측정하고 이를 이용하여 해외 평가 방법과 우리나라의 평가 방법을 비교 검토하였다. 또한 현행 바닥충격음 평가 기준의 대상 주파수 범위를 벗어나는 저주파수 대역의 음압레벨은 네델란드의 저주파 소음 인지 곡선과 국내 연구자가 제안한 저주파 소음 기준안을 이용하여 평가하였다. 그 결과 기준 및 평가 산정 방법에 따라 성능 평가 결과가 상이하며, 바닥 진동의 지배 주파수 범위에서 모든 충격원에 대한 바닥충격음 가청 소음으로 인식하여 성가시게 느낄 가능성이 매우 크다. 현행 평가 기준의 단일수치 평가량 산정 방법은 충격원에 따라 상이한 음압레벨 스펙트럼 특성을 제대로 반영하지 못하며, 바닥의 진동 거동 지배 주파수를 포함하는 저주파수 대역의 음압레벨을 고려하지 않고 있어 바닥충격음에 대한 평가 결과와 사람의 인지 수준에 차이가 발생할 수 있다. 따라서 충격원에 따른 음압레벨의 스펙트럼 특성과 저주파수 대역의 음압레벨을 반영할 수 있도록 현행 기준의 평가 방법을 보완할 필요가 있다.

핵심용어 : 맨바닥 슬래브, 바닥충격음레벨, 바닥진동, 충격원, 층간소음, 단일수치평가량
