

바닥충격음 평가를 위한 고무공 충격원의 타당성 검토

Investigating the Adequacy of Rubber Ball Impactor for Floor Impact Noise Evaluation

정정호** · 이성찬** · 전진용*

Jeong-Ho Jeong, Sung-Chan Lee and Jin-Yong Jeon

ABSTRACT

The purpose of this study was to present the possible use of a new standard impactor, the rubber ball (so called, impact ball), and to assess its evaluation method as for heavy-weight impact in multi-story residential buildings. Several experiments were carried out to investigate the effect of the impact on noise propagation in reinforced concrete buildings. Then, the noise from the impact ball was psychoacoustically evaluated. The correlation between the L-value evaluation methods and auditory responses was also investigated. Results show that the ball noise is quite similar to the jumping noise. The noise level of ball is even higher than the bang machine noise, although it has much lower impact force. It was also found that L-indexing seems to be inappropriate for evaluation of ball noise.

Key Words : Rubber Ball Impactor, L-index, Psychoacoustic, Bang Machine noise

1. 서론

최근 바닥충격음에 대한 관심이 증가함에 따라 중앙환경분쟁조정위원회에 제소되는 건수가 증가하고 있다. 이러한 환경분쟁을 합리적으로 판단하기 위해서는 국내 공동주택 바닥구조의 바닥충격음 차음성능을 합리적으로 평가할 수 있는 방법이 제안되어야 할 것이다. 바닥충격음을 가장 합리적으로 평가할 수 있는 방법은 실제충격원을 평가하는 방법이지만 충격원의 재현성 등 제반 사항의 부족으로 실현 불가능한 방법이다. 그렇다면 실제충격원을 가장 잘 재현할 수 있는 충격원을 선정하여 바닥충격음의 주관적, 사회적 반응과 가장 잘 맞는 평가방법을 적용하여 평가하는 것이 가장 합리적인 방법일 것이며, 동시에 거주자의 바닥충격음 차단성능 이해도 용이할 것이다.

그러나, 현재 사용하고 있는 표준 바닥충격원(경량 및 중량 충격원)은 실제 발생소음과 물리적인 차이점이 있다.⁽¹⁾ 경량충격원은 과거 Watters⁽²⁾의 연구 결과에서 알려진 것처럼 하이힐에 의한 충격소음과 주파수 특성 및 가진주기에서 상이한 점을 나타내고 있으며, 중량충격원은 충격력에서 차이점을 나타내고 있다. 이에 따라, 최근 일본에서는 Tachibana⁽³⁾에 의해 제안된 고무공(Ball)을 신중량충격원으로 제안하였다.

따라서, 본 연구에서는 신 표준 중량 충격원인 고무공의 특성 분석과 실제발생 충격음 중량, 경량충격원에 의해 발생한 바닥충격음에 대한 물리적, 청감적 특성을 비교하여, 실제발생 충격음과 고무공 충격음과의 유사성 및 평가법의 적절성을 확인하고자 한다.

2. 신 중량충격원의 개요

신 중량충격원(JIS A 1418-2, 2000)은 일본내의 목조주택 바닥충격음 차단성능을 평가하기 위하여 개발된 충격원으로 과거의 중량충격원(Bang Machine)

* 정회원, 한양대학교 건축공학부
E-mail : jvjeon@hanvam.ac.kr
Tel : (02) 220-1735 Fax : (02) 220-1733

** 정회원, 한양대학교 대학원 건축공학과

은 충격력이 커서 목구조의 성능을 열화시킬 가능성이 있어 충격 에너지를 감소시켜 개발한 충격원이다. 이때 고무공 충격원은 실제충격원에 근접시켰으며, 충격 시간을 20ms이 되도록 하였다. JIS에 제안된 신중량 충격원인 고무공의 특성은 표 1~3과 같다^(4,6).

Tachibana(1998)는 철근콘크리트 구조, 목구조, 철골 구조의 4가지의 서로 다른 구조로 되어있는 일본 내의 주거건물에서 신 표준 중량 충격원(JIS)에 의한 바닥 충격음을 측정하여 표준 중량 충격원(KS) 및 실제 충격음과 비교 검토한 결과 표준 중량 충격원(KS)보다 신 표준 중량 충격원(JIS)이 실제 중량 충격음을 보다 잘 제한하는 것으로 나타났다. 그림 1은 일본 내 철근콘크리트 주거에서 측정된 각 충격원의 주파수 특성을 나타낸다.

표 1. 고무공충격원의 제원

| | |
|--------|--|
| 구성 | SBR(Styrene butadiene rubber) / NR(Natural rubber) = 80 / 20 |
| 형상 | 구 (지름r:185mm, 외피두께 : 30mm) |
| 형태 | 충격면 - 형태 : 충격면 지름 9-25cm - 면적 : 250cm ² |
| 무게 | 2.5 ± 0.2 Kg |
| 반발력 | 0.5 ± 0.1 Kg |
| 충격력 파형 | 충격시 20±0.1ms |
| 낙하높이 | 1m 높이에서 자유낙하 |

표 2 고무공 재료구성

| 재료 | 비율 |
|-----------|-----|
| SBR 1712 | 110 |
| NR | 20 |
| SRF C/B | 20 |
| HAF C/B | 15 |
| Aroma oil | 15 |

그 외에, 아연화, 스티어린실, DCPD수지, 유황, 촉진제 등이 필요시에는 필요에 따라 혼합.

표 3. 고무공 충격력 특성

| 유타나 매트 중심주파수 [Hz] | L ₁₀ [dB] | 허용오차[dB] |
|-------------------|----------------------|----------|
| 31.5 | 39.0 (47.0) | ± 1.0 |
| 63 | 31.0 (40.0) | ± 1.5 |
| 125 | 23.0 (22.0) | ± 1.5 |
| 250 | 16.0 (11.5) | ± 2.0 |
| 500 | 11.5 (5.5) | ± 2.0 |

(): 중량충격원

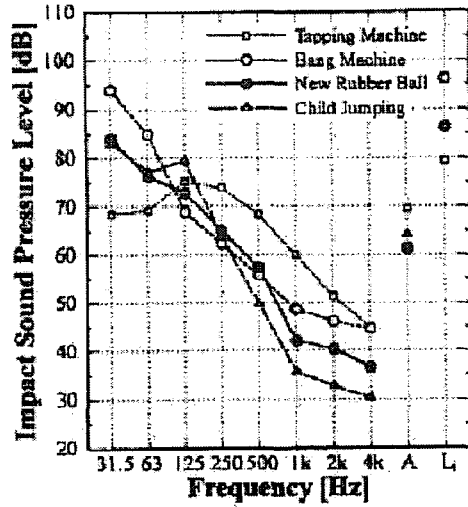


그림 1. 일본 철근콘크리트 공동주택에서의 충격음 특성

그림 1에서와 같이 철근콘크리트 구조의 일본 공동주택에서 8세 어린이의 Jumping 충격에 의해 발생된 주파수 특성과 신중량충격원의 충격에 의해 발생된 주파수 특성 및 음압레벨이 가장 유사한 것을 나타내고 있다. 또한 철골구조 및 목구조의 경우에도 실제충격원과 가장 유사한 특성을 나타내었다. 따라서 목구조 공동주택의 보호를 위해 개발된 새로운 충격원이지만 다양한 구조의 공동주택에서 실제충격음과 가장 근접한 특성을 나타내고 있으므로, 바닥충격음의 정량적 평가를 위해서도 가장 신뢰도 높은 측정방법으로 사료된다.

3. 신중량충격원의 특성 평가

일본의 철근콘크리트 구조의 공동주택은 바닥방 구조 등의 차이로 인해 국내 동일한 구조의 공동주택과는 상이한 부분이 있다. 또한 국내의 바닥 충격음 측정에 있어서도 중량충격원을 활용한 방법은 실제충격력보다 큰 충격력을 가지므로 실제 거주 환경에서 발생하는 바닥충격음의 크기와는 다른 특성을 갖는다고 할 수 있다. 신중량충격원의 경우 충격력이 실제충격력과 보다 유사하므로 국내공동주택에서 발생하는 실제충격음 및 기존의 중량, 경량충격음과의 평가를 통해 실제충격음 제한 정도와 신중량충격원의 국내 적용의 가능성을 판단할 필요가 있다.

본 연구에서는 신중량충격원의 물리적 특성을 평

가하고 다양한 구조에서 측정, 녹음된 신중량충격원. 중량 및 경량충격원에 대한 청감실험을 통해 신중량충격음의 주관적 반응과 기존의 평가방법간의 상관관계를 분석하여 국내 공동주택 바닥충격음 평가에 적용 가능한지 여부를 판단하고자 한다.

3.1 최대주파수특성 비교

신중량충격원의 물리적 특성 평가를 위해 최대주파수 특성을 기준으로 실제발생충격음, 중량 및 경량충격음과 비교하였다. 위의 4가지 충격음은 서로 다른 바닥충격음 차음구조를 갖는 10개의 공동주택에서 KS F 2810에 의한 측정하였다. 측정당시 공동주택은 마감공사가 마무리 된 입주직전의 공동주택이었다. 측정대상 세대의 기본 바닥구조는 슬래브 150+경량기포콘크리트80+마감플탈50으로 구성되어있었으며, 천장구조의 경우 고층부 세대를 대상으로 하여 공기층(200)이 있는 구조였다. 그림 2는 10개 세대에서 측정된 바닥충격음의 주파수 특성을 평균하여 나타낸 것이다. 실제충격음의 재현을 위해서는 어린이를 통해 현장에서 재현하는 것이 불가능하여 20대 성인(65kg)이 제자리에서 약하게 Jumping 하는 상황을 재현하여 측정하였다.

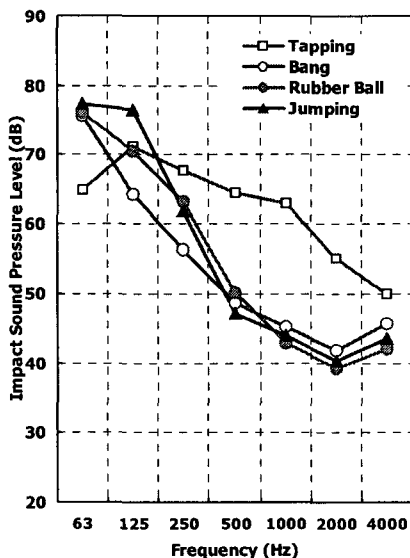


그림 2. 서로 다른 10개 구조에서의 각 충격원 평균적 특성비교

그림 2에서와 같이 각 충격원 중에서 실제충격

음과 가장 유사한 특성을 나타내는 충격원은 신중량충격원에 의한 것으로 나타났다.

실제충격음의 주파수특성을 125Hz가 상당히 높은 특성을 나타내고 있으나 중량충격음의 경우 63Hz에서 가장 높은 특성을 나타내고 있으나 신중량충격원은 125Hz 대역에서 실제충격음 보다 약 3dB정도 낮은 것을 외에 실제충격음과 유사한 특성을 나타내고 있다. 경량충격음의 경우는 250Hz 이상대역의 성분이 실제발생충격음 보다 매우 높게 나타나고 있다. 위의 주파수 특성에 의해 L곡선을 기반으로 한 평가법에 있어 신중량충격원이 중량충격원보다 높은 값을 갖는 것으로 나타났다.

이상의 측정은 실제 거주자의 입주직전에 측정된 것이어서 실제 거주자가 살고 있는 주거 내부의 안방(수음실 4×4.2m, 바닥 마감은 슬래브 135+경량기포 70+마감플탈 40+장판지)을 대상으로 신중량충격원(1m 높이에서의 자유낙하) 및 이전의 실제충격원인 재현 상황(성인 65Kg, Jumping-제자리 뛰기)과 동일하게 하여 충격음을 측정하여 그림 3에 나타내었다. 또한 일본에서의 신중량충격원의 주파수 특성과 함께 나타내었다.

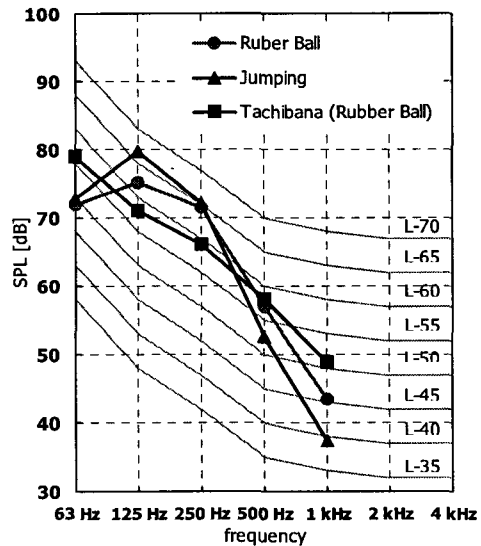


그림 3. 실제주거에서의 충격원 특성비교

그림 3의 경우 그림 2와 유사하게 실제충격음은 125 Hz에서 최대값을 갖는 특성을 나타내고 있다. 신중량충격음의 특성은 위의 실제충격음의 주파수 특성과 비교하여 125Hz에서 최대값을 갖는 특성이 유사하게 나타나는 것을 볼 수 있다. 일본의 철근콘크리트 구조

공동주택에서의 신중량충격음 특성은 국내 공동주택에서 발생된 신중량충격음과 상이한 주파수 특성을 나타내지만 일본, 국내의 두 가지 경우에서 모두 실제충격음과 유사한 특성을 나타내므로 신중량충격원이 다양한 공동주택 구조에서 실제충격음을 가장 잘 재현하는 충격원임을 알 수 있다.

3.2 청감평가에 의한 평가방법 비교

실제충격음을 가장 잘 재현하는 신중량충격원에 대한 청감실험을 통하여 도출된 주관적 반응과 L지수 및 역 A특성곡선에 의한 평가방법의 상관관계를 분석하여 신중량충격음 평가방법의 타당성을 확인하고자 한다. 이를 위해 청감실험은 총 2회 실시하였다. 청감실험 1은 약 37개의 서로 다른 구조 및 공간에서 측정된 신중량, 중량 및 경량충격음의 ME(Magnitude Estimation)를 실시하였으며, 청감실험 2는 서로 다른 바닥충격음 차음구조를 갖는 10개 공동주택의 주관적 라우드니스를 기준음원과 1:1 비교하였다.

3.2.1 청감실험 1

본 실험에서는 청감반응과 평가방법과의 상관관계를 알아보기 위하여, ME(Magnitude Estimation)법으로 37개 음원에 대해 소리의 크기(Loudness)에 대한 청감실험을 실시하였다. 청감실험은 배경소음이 낮은 챔버에서 실시하였다. 챔버의 배경소음은 20dB(A) 수준으로 헤드폰에 의한 청감실험에 영향을 미치지 않는 수준이었다.⁽⁴⁾

피험자의 수는 20명이며 모두 정상청력을 지닌 20대의 대학생으로 공동주택에서의 생활경험이 있는 피험자들로 구성하였다. 청취레벨은 실제 현장 음압레벨을 재현하였으며, 더미헤드로 녹음된 음원을 헤드폰을 통해 제시하여 청감실험을 진행하였다.

중량충격음의 경우 그림. 4에서와 같이 역A특성곡선에 의한 평가치와 L지수에 의한 평가치가 각각 0.29, 0.37로 나타나 두 가지 평가방법 모두 주관적 반응과 상관성이 매우 낮은 것으로 나타났다. 경량충격음의 경우 그림. 5와 같이 역 A특성곡선과 L지수에 의한 평가치와 주관적 반응의 상관관계가 각각 0.97, 0.94로 나타나 두 가지 평가방법 모두 주관적 반응과 상관성이 매우 높은 것으로 나타났다.

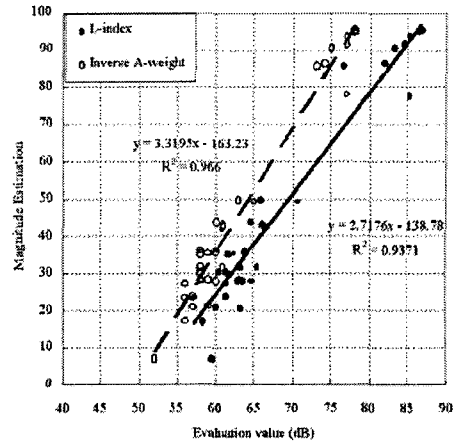


그림 4. 경량충격음의 물리적, 주관적 평가간의 상관관계

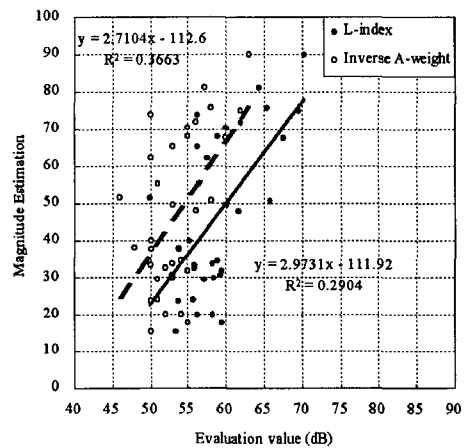


그림 5. 중량충격음의 물리적, 주관적 평가간 상관관계

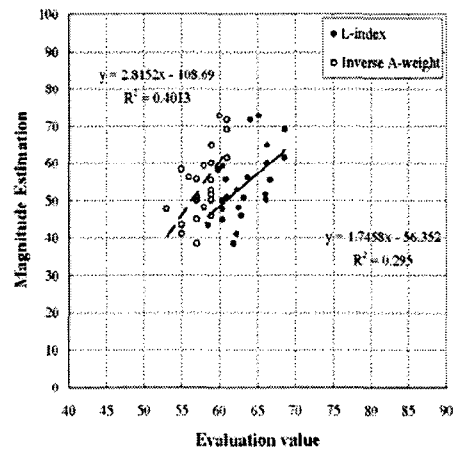


그림 6. 신중량충격음의 물리적, 주관적 평가간 상관관계

신중량충격음의 경우 그림. 6과 같이 역A특성곡선에 의한 평가치와 L지수에 의한 평가치가 각각 0.40, 0.29로 나타나 두 가지 평가방법 모두 주관적 반응과 상관성이 낮은 것으로 나타났다.

두 가지 평가 방법 모두 경량충격음에서는 주관적 반응과 높은 상관관계를 보였으나 중량충격음에서는 주관적 반응과 낮은 상관관계를 보였다. 한국의 공동주택의 거주자들은 경량충격음 보다 중량충격음에 더 시끄러움을 느끼는 것으로 보고⁽⁵⁾되고 있으므로 주관적 반응과 상관관계가 낮은 중량충격음에 대해 보완이 필요하다고 사료된다.

3.2.2 청감실험 2

3가지 표준충격원에 대한 주관적 청감반응을 조사하기 위하여 실험1과 달리 기준음원과 비교음원의 1:1비교 방법을 적용하여 라우드니스 비교 실험을 실시하였다. 음원의 제시는 헤드폰 (Senhiser HD-630)을 이용하였으며, 청감실험 1과 동일한 조건의 실험용 부스에서 실시되었다.

일대일 비교를 위한 기준음원은 기본구조를 가진 세대에서 측정된 음원을 기준으로 하였으며, 9개의 비교음원은 바닥충격음 저감을 위하여 각기 다른 구조를 가진 차음시공세대에서 녹음된 바닥충격음원을 실제음원의 현장레벨과 동일하게 제시하였다. 청감실험은 음원을 무작위로 제시하고 피험자의 반응을 컴퓨터에 기록하였다. 라우드니스에 대한 피험자의 일대일 비교는 5점척도에 따라 반응되었다. 제시된 음원쌍에서 기준음원에 비하여 비교음원의 라우드니스가 아주 작다고 반응하면 +2, 작으면 +1, 차이가 없으면 0, 크면 -1, 아주 크면 -2로 데이터를 정리하였다.

실험결과는 그림 7, 8에 충격음 평가 방법별로 나타내었다. L지수에 의한 평가방법의 경우 R²값이 중량충격음의 경우 0.63, 경량충격음은 0.66으로 나타났으며, 신중량충격음은 0.02로 매우 낮은 상관성을 나타내고 있다. 역A특성 곡선에 의한 평가방법의 경우 중량충격음은 0.55, 경량충격음은 0.69로 나타났으나 신중량충격음은 0.20으로 낮게 나타났고 추세선의 방향이 충격음의 역A평가 값이 증가함에 따라 주관적으로 적은 소음으로 인식하는 것을 의미한다. 따라서 역A특성 곡선 및 L지수에 의한 신중량충격원 평가방법은 거주자의 주관적 라우드니스 반응과 상관관계가 낮은 것으로 나타났다.

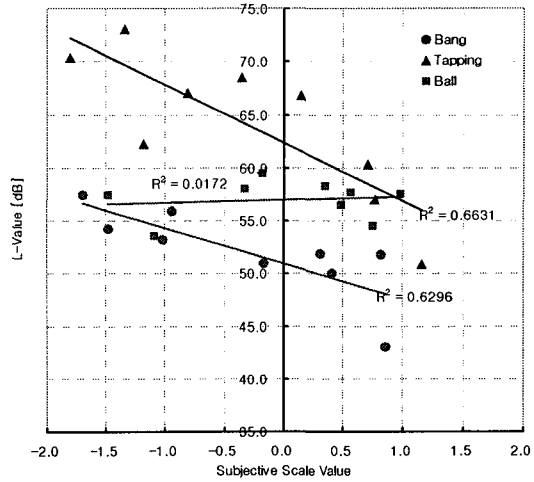


그림 7. 각 표준충격원의 물리적, 주관적 평가간 상관관계 (L지수)

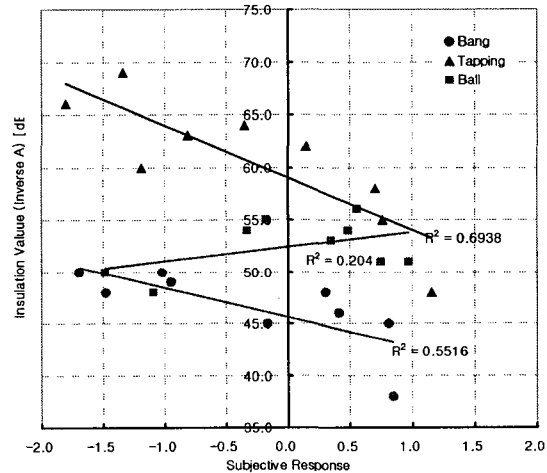


그림 8. 각 표준충격원의 물리적, 주관적 평가간 상관관계 (역A특성 곡선에 의한 평가방법)

4. 분석 및 고찰

이상의 결과에서와 같이 실제충격원의 주파수 특성을 가장 잘 재현하는 충격원은 신중량충격원으로 나타났다. 각 충격원의 주관적 평가와 물리적 평가 L지수 및 역A특성 곡선 평가방법이 잘 맞는 것으로 나타났으나, 중량충격원 및 신중량충격원의 2가지 평가방법이 주관적 반응에 잘 부합되지 않는 것을 알 수 있다. 청감실험 2의 결과를 최근 제안된 바닥충격음 평가에 의한 4가지 평가방법에 의한 값과 주관적 반응과의 상관관계를 분석하여

표 5~7에 나타냈다. 중량충격음과 경량충격음의 경우 각각 0.67~0.74, 0.70~0.74의 상관계수를 나타내 주관적 반응을 잘 나타내고 있으나, 신중량충격원의 경우는 0.21~0.40으로 잘 맞지 않아 신중량충격원의 특성을 합리적으로 평가 할 수 있는 새로운 평가방법이 고려되어야 할 것으로 판단된다.

표 6. 중량충격음의 평가방법별 상관관계

| | 청감반응 | L지수 | 역A곡선 | A특성음압 | 산술평균 |
|-------|------|------|------|-------|------|
| 청감반응 | 1.00 | | | | |
| L지수 | 0.67 | 1.00 | | | |
| 역A곡선 | 0.67 | 0.93 | 1.00 | | |
| A특성음압 | 0.74 | 0.94 | 0.98 | 1.00 | |
| 산술평균 | 0.70 | 0.91 | 0.99 | 0.95 | 1.00 |

표 7. 경량충격음의 평가방법별 상관관계

| | 청감반응 | L지수 | 역A곡선 | A특성음압 | 산술평균 |
|-------|------|------|------|-------|------|
| 청감반응 | 1.00 | | | | |
| L지수 | 0.70 | 1.00 | | | |
| 역A곡선 | 0.74 | 0.99 | 1.00 | | |
| A특성음압 | 0.74 | 0.99 | 0.99 | 1.00 | |
| 산술평균 | 0.73 | 0.94 | 0.97 | 0.97 | 1.00 |

표 8. 신중량충격음의 평가방법별 상관관계

| | 청감반응 | L지수 | 역A곡선 | A특성음압 | 산술평균 |
|-------|------|------|------|-------|------|
| 청감반응 | 1.00 | | | | |
| L지수 | 0.24 | 1.00 | | | |
| 역A곡선 | 0.40 | 0.82 | 1.00 | | |
| A특성음압 | 0.21 | 0.67 | 0.90 | 1.00 | |
| 산술평균 | 0.26 | 0.75 | 0.96 | 0.91 | 1.00 |

청감실험2에 사용한 충격음에 대한 Zwicker 파라메타를 분석하여 주관적 반응값과 상관관계를 분석한 결과 신중량충격원의 Loudness와 Unbiased Annoyance는 각각 상관계수가 0.94, 0.76으로 상관관계가 매우 높게 나타났으며 위의 두 가지 요소는 중량 및 경량충격음에서도 0.72~0.74, 0.92~0.94로 상관관계가 높게 나타났다. 그러므로 Zwicker의 Loudness모델의 경우와 같이 신중량충격음의 주관적 반응과 상관성이 높은 평가방법의 개발 및 적용이 필요한 것으로 사료된다.

5. 결 론

신중량충격원, 중량충격원, 경량충격원 및 국내 공동주택에서 재현한 실제발생충격원의 주파수 특성 분석결과 신중량충격원이 실제발생충격원과 가장 유사한 특성을 나타내었으며, 실제충격원과 신중량충격원은 125Hz 대역에서 최대값을 갖는 특성

을 나타내어 L지수 등으로 평가할 경우 중량충격원 보다 높은 값을 나타내었다. 따라서 실제 거주 환경에서의 바닥충격음 평가를 위한 충격원으로는 실제충격음을 가장 잘 재현하는 신중량충격원이 더 적합한 것으로 사료된다. 3가지 표준충격원에 대한 주관적 평가 결과와 L지수 및 역A특성 곡선 평가 등의 결과와 비교할 때 신중량충격원의 경우 주관적 반응을 잘 반영하는 새로운 평가방법의 개발이 필요한 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- (1) 전진용 & 정정호, 2002, "공동주택에서 표준충격음원과 실제발생충격음원과의 대응에 관한 연구", 대한건축학회 논문집 18권 1호, pp.187~194.
- (2) Watters, B.G., 1965, "Impact-Noise Characteristics of Female Hard-Heeled Foot Traffic", J.Acoust. Soc. Am, 37, pp.619-630.
- (3) Tachibana, H., Tanaka, H., Yasuoka, M. and Kimura, S., 1998, "Development of new heavy and soft impact source for the assessment of floor impact sound insulation of buildings", Internoise 98.
- (4) Tachibana, H., 2000, "Development of new heavy impact source", 日本建築學會 學術發表會, pp 229~233.
- (5) JIS A 1418-2, 2000, Acoustics-Measurement of floor impact sound insulation of buildings, Part 2 : Method using standard heavy impact source
- (6) JIS A 1419-2, 2000, Acoustics-Rating of sound insulation in buildings and of building elements, Part 2 : Floor impact sound insulation
- (7) 대한주택공사 주택도시연구원, "공동주택 바닥충격음 차단성능 기준설정 연구"
- (8) 산업자원부 기술표준원, 2001, "건축물 음환경분야 표준화연구 II"