

중량충격음원에 의한 차음성능 평가방법에 관한

연구

○ 전진용*, 박영환,** 박해준,*** 김상식,****

Evaluation Method of Floor Impact Noise Generated by Standard Bang Machine

○ Jin-Yong Jeon, Young-Hwan Park, Hea-Jhon Park and Sang-Sik Kim

ABSTRACT

기존의 타이어를 사용한 중량충격음에 대한 차음성능 평가방법의 타당성을 살펴보기 위하여 청감실험에 의한 감성적 반응결과와 L등급 및 Leq에 의한 평가 결과를 비교 분석하였다. 동일한 바닥충격원에 대한 분석결과 L등급평가 보다 Leq에 의한 평가가 청감실험의 반응에 잘 대응하는 것으로 나타났다. 또한, Zwicker parameters 중 Loudness와 Unbiased Annoyance는 청감실험과 가장 유사한 경향을 보였다.

1. 서 론

1.1 연구의 목적

우리나라의 공동주택은 인구의 도시 집중화에 따른 주택난 해결을 위해 우리나라의 공동주택은 70년대 이후 그 수요가 지속적으로 증가하여, 최근에는 연간주택공급물량의 80%이상을 차지하는 대표적인 주거형태가 되었다. 그러나 현재 주거생활의 질적 수준향상에 따른 요구와 층간소음으로 인한 민원 등으로 바닥충격음의 문제는 점차 공동주택에 있어서 성능을 평가하는 중요한 개선사항의

하나로 대두되게 되었다.

이에 따라 정부는 2000년 7월 법제처를 통하여 주택건설기준 등에 관한 규정을 개정하여 상하층간 소음차단시설 설치를 의무화하려는 움직임을 보이고 있다. 그 동안 바닥충격음에 대한 현장측정 방법은 KS F 2810에 규정되어 있었으나 그 평가 방법 및 기준이 규정되어 있지 않아 일본의 평가 방법인 JIS A 1419에 의거하여 바닥구조에 대한 차음성능을 평가하여 왔다. 따라서 국내 실정에 맞는 바닥충격음의 차음성능을 객관적으로 정량화할 수 있도록 평가방법의 다각적인 검토가 필요한 시점이라고 사료된다.

이를 위하여 비교적 연속적 정상소음으로 평가되는 경량충격음에 반해서 간헐적 비정상소음인 중량충격음의 평가방법에 대한 검토가 우선적으로

* 한양대학교 건축공학부 조교수, 건축학박사

** 한양대학교 대학원 건축공학과 석사과정

*** (주)대방엔지니어링 대표이사

**** 한진중공업(주) 건설기술연구소 연구원

요구된다. 공동주택에서 지적되는 바닥충격음으로 가장 문제시되는 아이들의 뛰는 소음은 결과적으로 간헐소음이며 그 영향이 지속소음보다 크다. 따라서 이에 대한 차음성능 평가를 위해 일본에서 제정되어 우리에게도 활용되어온 타이어를 활용한 표준중량 바닥충격음원에 있어서 현행 일본 공업규격의 차음평가곡선인 L곡선과 Leq에 대한 바닥충격음 측정결과를 비교하였으며 청감실험에 의한 주관적 반응 결과치와의 상관성을 비교·분석하였다.

1.2 가설

타이어를 사용하는 중량충격음원은 충격후 바닥 및 수음실 등의 조건에 따라 울림이 다르며 충격주기가 2.5~3초 정도가 되기 때문에 특히 아파트 입주전의 마감상태에서는 충격과 충격사이 울림에 의한 영향은 최대음압레벨과 더불어 annoyance에 영향을 미친다.

따라서 L등급과 같이 평가치가 특정 주파수대역의 Peak값에 의하여 단순히 정하기보다는 최대음압레벨의 영향을 포함한 총에너지 개념을 대표할 수 있는 Leq값에 의한 평가가 간헐소음인 중량충격음에 대한 인간의 annoyance반응의 정도를 정확하게 예측할 수 있을 것으로 사료된다.

1.3 연구의 범위

본 연구는 차음시공상태가 서로 다른 30평형대의 고층공동주택 3개세대에 대하여 안방(5.5평), 작은방(3.2평)과 거실(8.5평)을 대상으로 바닥충격음에 대한 차음구조별, 녹음원 및 측정자료를 바탕으로 중량충격음에 대한 L등급, 3초간의 등가소음도(Leq), 청감실험 및 Zwicker Parameters 등에 대하여 각각 평가분석을 실시하였다.

2. 이론적배경

2.1 바닥충격음 평가

일본의 경우 바닥의 차음성능을 평가하기 위한 일본공업규격(JIS) 및 일본건축학회에서 L등급의 평가방법과 기준을 정하고 있으며 이는 바닥충격

음에 대하여 C-weighting Peak값의 1/1주파수대역별 Level을 L등급곡선에 접선법을 사용하여 해당 등급을 결정하는 평가하는 방법이다.

2.2 등가소음도

등가소음도(Leq : Equivalent continuous level)란 변동하는 소음의 에너지 평균 레벨로서 정해진 시간대에서 변동하는 소리에너지를 동시간대의 정상 소리에너지로 치환한 레벨값이며, 인간의 청감적 반응에 대하여 일반적인 경향을 잘 나타내고 있으므로 한국, 미국, 영국 등을 비롯한 대부분의 나라에서 환경기준의 평가시 사용되고 있다.

2.3 청감실험

청감실험 방법론은 정신심리학적 계량방법론을 응용하여 외부의 자극에 대한 인간의 반응과의 정량적 관계를 다루는 학문분야이다. 건축 음환경 분야에서는 각종 소음이 인간에 미치는 영향을 규명하는데 청감실험을 활용하고 있다. 소음의 자극에 대한 인간의 반응의 관계를 엄격히 확립하기 위해서는 가능한 비음향적 요소가 최소화된 환경하에서 서로 다른 자극이 동일하게 제시될 수 있는 통제된 조건이 필요하다. 즉, 일정한 조건 하에서 발생하는 음의 지각에 대해 정밀하게 조사하는 실험이 필요하다. 바닥충격음의 평가를 위해서는 현장에서 녹음된 바닥 충격소음에 대한 피실험자의 반응을 분석하여 실제 거주자의 예상반응을 유추한다.

2.4 Zwicker parameters

Loudness는 소리 에너지를 사람이 인지하는 소리의 세기인 sone 단위로 나타낸다. Loudness 산정의 기준음인 1 sone은 1kHz, 40dB 순음에 대해 사람이 인지하는 세기로, Steven의 방법(ISO R 532A)과 Zwicker의 방법(ISO R 532B)에 의하여 구할 수 있다. Loudness 10%는 Loudness 상위값 10%에 해당하는 소리의 세기를 나타낸다.

Unbiased Annoyance는 같은 소리를 들을 때에도 듣는 사람의 감정, 소리에 대한 주관적인 느낌에 따라 평가가 달라지므로 소리의 불쾌함이나 유쾌함을 객관화하는 것은 어렵기 때문에 이러한 감정적인 요소를 배제한 annoyance를 Unbiased

Annoyance라고 한다.

Fluctuation Strength는 20Hz 이하의 변조주파수 (f_{mod})를 가진 음의 주기적인 변동이 음의 크기 변화로 인식되는 정도를 나타낸다. 또한 소리의 날카롭게 나타내는 정도를 나타내는 Sharpness, 음의 조화량을 나타내는 Tonality, tone의 envelope 변 화인식 정도를 나타내는 Roughness 등이 있다.

3. 연구 방법 및 절차

3.1 대상

동일한 건물의 공동주택 내 안방(R1), 작은방(R2) 및 거실(L)에 있어서 상부층의 바닥충격음에 대한 추가적인 차음시공이 되어있지 않은 일반세대(A구조)와 바닥에 차음시공한 세대(B구조), 경우 또는 천장, 벽 및 바닥에 차음시공한 세대(C구조) 등 세가지 구조를 대상으로 측정된 중량충격음에 대하여 조사되었다.

측정시 마감상태는 도배, 장판 등이 되어있지 않은 상태이며 측정은 15층 이상으로 천장 공기층(250mm)을 두고있는 상태이다.

3.2 연구 방법

상부층의 중앙부에서 중량충격원(Bang machine) 가진시 하부층 중앙부에서 더미헤드를 통하여 녹음된 음원을 사용하여 L등급 및 Leq값을 비교하였고, 평가결과에 따른 상관성을 분석하였다. 또한, 청감실험을 통하여 평가된 상대적 크기 순위를 비교·분석하였다. 청감실험 음원은 기준음과 비교음에 대하여 그림 1과 같은 방법으로 헤드폰을 통하여 피실험자에게 들려주었다.

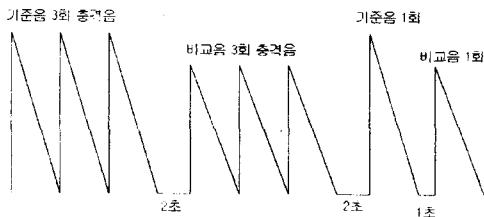


그림 1 : 청감실험 음원제시방법

녹음된 바닥충격음을 들려주고 소음의 크기정도를 5점 척도로 상호 비교하게 하였다. 기준음에 대하여 비교음이 매우 크다: +2(>>), 크다: +1(>), 비슷하다: 0(=), 작다: -1(<), 매우 작다: -2(<<)로 표시하도록 하였고 실험은 각구조(A, B, C)에 대하여 표 1과 같이 실험(R1, R2, L) 조합으로 청감 실험을 실시하였다.

청감실험 결과의 신뢰도를 평가하기 위해 통계 프로그램인 SPSS를 활용하였다. 우선, 반복실험의 일관성을 평가하기 위해 상관성을 알아보았으며, t-검증(T-test)과 일원변량분석(one-way ANOVA), 교차분석(Crosstabs) 등의 기법을 이용하여 각 항목의 관련성과 통계적인 차이를 검증하였다.

표 1 : 각구조에서 실험 Loudness 청감실험 결과비교

| 비교음 기준음 | R1 | R2 | L |
|------------|----|----|----|
| R1 | | -1 | -1 |
| R2 | +1 | | 0 |
| L | +1 | 0 | |

본 연구의 진행흐름은 그림 2와 같다.

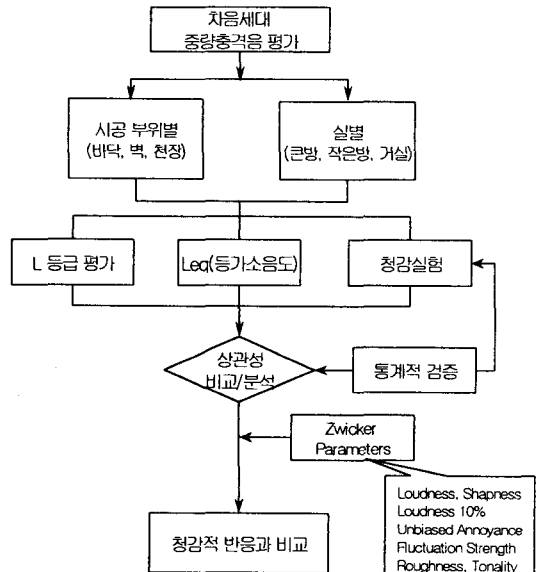


그림 2 : 연구진행흐름도

4. 결과 및 분석

4.1 L등급 및 Leq 평가 결과

중량충격음을 측정된 900여개 자료의 L등급평가에 있어서 등급을 결정하는 주파수대역의 대부분이 63Hz와 125Hz의 저주파대역이었으며, Peak값에 의하여 평가되므로 초기 바닥충격 후 뒤따르는 바닥의 떨림음 및 수음실의 잔향음에 의한 영향이 평가에 반영되지 않는다. 거실이나 안방의 경우 초기 Peak값이 작아도 슬라브의 울림과 잔향음으로 인하여 L등급은 낮은 반면에 Leq 값은 크며, 작은방의 경우 초기 Peak값은 큰 반면에 후기음이 급격하게 줄어들어 반대의 경향을 보이고 있다. (그림 3 참조)

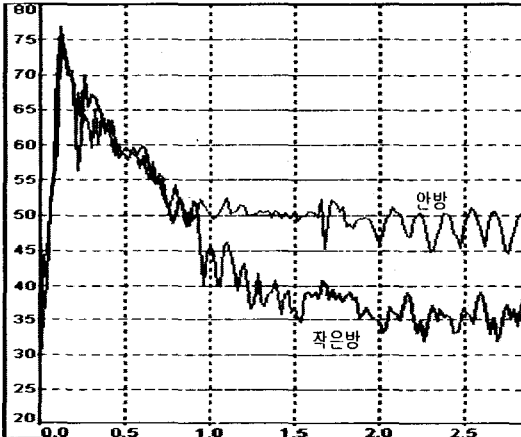


그림 3 : 중량충격음의 실별 Time decay curve

바닥충격음 측정 및 L등급 평가에서는, KS F 2810에 근거하여 5개지점(중앙부 및 코너부위 4개 지점)위치에서 음원을 가진하고, 수음측 3개지점(중앙부 및 코너부위 2개지점)에 대하여 15개 측정값의 평균을 사용하였다. 중량충격음 L60등급에 해당되는 실에 대하여 중앙위치 충격시 중앙위치에서의 녹음한 음원들을 대상으로 평가한 결과이다.

표 2에서와 같이 L지수와 L_{eq} 에 대한 평가순위

는 실별 바닥충격음에 대한 차음성능의 경우 L지수 상으로는 L(L-57.3), R2(L-59.9), R1(L-62)의 순으로 나타났으나, 중량충격음 1회 주기인 약 3초간의 L_{eq} 값으로는 R2(47.2dB), L(49.5dB), R1(53.3dB)순으로 나타났다.

차음구조별 바닥충격음에 대한 차음성능은 L지수 상으로는 A구조가 가장 양호하고 B구조와 C구조가 동일하게 나타났으나, L_{eq} 값에 의한 분석결과는 C구조, A구조, B구조의 순으로 나타났다. 따라서 L등급(지수) 평가방법에 의한 결과와 L_{eq} 에 의한 평가는 상당한 차이를 나타내므로 중량충격음에 대한 L등급평가가 거주자의 청감적 반응특성과 잘 대응하는 평가방법인지에 대한 타당성 검토를 위한 대응실험을 실시하였다..

표 2 : L등급 및 Leq 평가결과

| 구분 | L지수(등급) 평가 [dB] | | | | | Leq(등가소음도) 평가 [dB(A)] | | | | |
|----|-----------------|------|------|------|----|-----------------------|------|------|------|----|
| | C 구조 | B 구조 | A 구조 | 평균 | 순위 | C 구조 | B 구조 | A 구조 | 평균 | 순위 |
| R1 | 65 | 61 | 60 | 62.0 | 3 | 51.6 | 55.3 | 52.9 | 53.3 | 3 |
| L | 57 | 58 | 57 | 57.3 | 1 | 48.2 | 53.4 | 46.8 | 49.5 | 2 |
| R2 | 58 | 60 | 60 | 59.7 | 2 | 45.4 | 48.5 | 47.7 | 47.2 | 1 |
| 평균 | 60 | 60 | 59 | | | 48.4 | 52.4 | 49.1 | | |
| 순위 | 2 | 2 | 1 | | | 1 | 3 | 2 | | |

4.2 청감실험결과

청감실험결과 유사한 L등급이나 대체적으로 안방에서의 소음이 작은방에 비하여 크게 느껴지는 것으로 평가되었고 거실은 차음구조에 따라 차이를 나타내었다. 표 2와 표 3의 결과를 비교해보면 L등급(지수)에 의한 평가보다는 L_{eq} 에 의한 평가결과가 보다 청감적 반응과 일치되는 경향을 보이고 있다. 그러나 일부 실에 있어서는(B구조 L:R2, A구조 R2:L) 차이가 있어 바닥충격음 차음성능에 대한 평가는 청감에 대한 다양한 인자들을 검토하여 보정 및 보완되어야 할 것으로 사료된다.

표 3 : 청감실험 결과(1)

| 구분 | 실험수 | 평균 | 평가 |
|-----|---------|----|-------|
| A구조 | L : R1 | 14 | +1.43 |
| | L : R2 | 14 | -0.96 |
| | R1 : R2 | 14 | -1.79 |
| B구조 | L : R1 | 14 | +1.20 |
| | L : R2 | 14 | +0.04 |
| | R1 : R2 | 14 | -1.41 |
| C구조 | L : R1 | 14 | +0.21 |
| | L : R2 | 14 | -1.18 |
| | R1 : R2 | 14 | -1.39 |

또한 동일한 실에 대하여 차음구조에 따른 청감적 반응을 평가한 결과 A구조 안방의 경우 L-60 이었고 C구조 안방의 경우는 L-65이었으나 청감 실험결과 표 4와 같이 L등급상으로 불량한 C구조가 더 조용하게 느껴지는 것으로 나타났다.

표 4 : 청감실험 결과(2)

| A구조 | 평가 | C구조 |
|-----|----|-----|
| R1 | >> | R1 |
| R2 | > | R2 |
| L | = | L |

실험자들 응답의 일관성을 알아보기 위해 A, B, C구조에 대한 청감실험의 응답변화의 상관성을 평가한 결과 상관관계가 높은 것으로 나타났다. (r=0.77~0.85 p<0.01)

4.3 Zwicker Parameters

중량중격음의 평가에 대한 보완의 일환으로 음의 평가인자인 Zwicker Parameters에 대하여 분석한 결과 그림 4와 같다. 그림 4에서와 같이 Loudness와 Unbiased Annoyance가 청감실험에서의 반응과 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다.

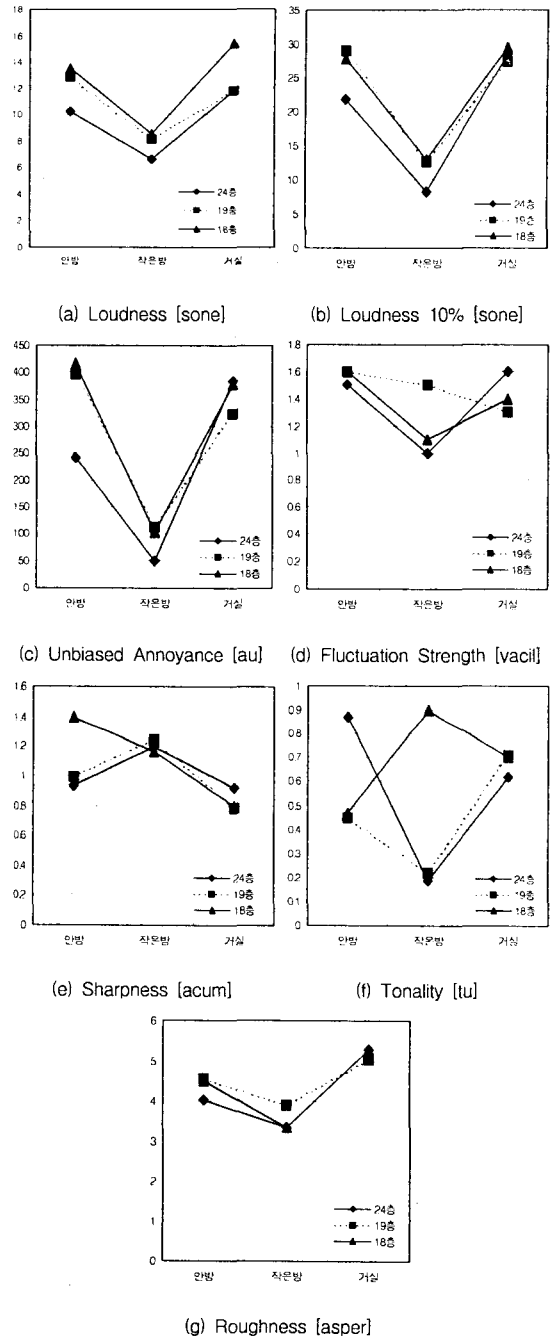


그림 4 : Zwicker parameters 분석결과

5. 결론

중량충격음의 차음성능평가에 있어서 L등급(지수)에 의한 평가방법은 Loudness 청감반응과 차이가 있는 것으로 나타났으며, 이는 L등급의 평가가 Peak값에 의하여 결정되므로 바닥의 울림과 잔향음에 의한 영향을 고려하지 못하고 있음에 기인하는 것으로 사료된다. 이에 따라 초기 Peak 값은 다소 크지만 잔향음이 급격히 저감되는 작은방의 경우와 바닥의 떨림과 잔향음이 지속되는 안방(큰방)의 경우에 있어서는 L등급과 청감반응이 역전되는 사례로부터 L등급 평가방법의 문제가 지적되었다. 즉, 서로 다른 바닥충격음 차음구조를 통하여 바닥충격음을 실제적으로 개선한 경우에 있어서도 L등급 평가는 왜곡된 평가결과를 나타내고 있어 중량충격음의 평가에는 인간의 감성적 반응을 고려한 Sound Quality측면의 평가방법으로 개선되어야 할 것으로 사료된다.

따라서 Leq에 의한 평가방법은 전체소음에너지량을 고려하므로 L등급보다는 청감반응과 유사한 경향을 보였으나 이 또한 인간의 청감반응을 평가하는데 한계가 있어 향후 연관된 청감인자 등을 찾아내 중량충격음의 평가에 반영해야 할 것으로 사료된다.

Zwicker Parameters에 대하여 분석한 결과 Loudness, Un-biased Annoyance는 청감실험반응과 유사한 경향을 보이고 있는 것으로 나타났다.

측정 및 평가과정에 있어서 동일한 측정장소에 있어서의 편차발생, 거실과 같은 부정형 슬라브에 대한 사항 등도 평가방법의 합리적 설정에 함께 고려되어야 할 사항으로 판단된다.

참고문헌

(1) 박병진, 1987, "바닥충격음의 평가방법에 관한 연구", 대한건축학회, 대한건축학회논문집 v.3, n.5, pp.143-152

(2) 장길수, 1988, "공동주택 바닥충격음의 평가방법에 관한 실험적 고찰", 대한건축학회, 춘계학술발표대회논문

집 v.8, n.1, pp.330-333

(3) 김선우, 1997, "바닥충격음에 대한 차음성능기준 설정연구1 중량충격원의 특성을 중심으로" 대한건축학회, 춘계학술발표대회논문집 v.17, n.1, pp.315-320

(4) 김선우, 1997, "바닥충격음에 대한 차음성능기준 설정연구2 평가기준곡선을 중심으로", 대한건축학회, 춘계학술발표대회논문집 v.17, n.1, pp.321-326

(5) J. Y. Jeon, 2001, "Subjective Evaluation of Floor Impact Noise Based on the Model of ACF/IACF", Journal of Sound and Vibration, Vol.241, No.1, pp.147-155.

(6) 전진용외 3인, 2000, "바닥충격음의 주관적 평가에 관한 연구" 한국음향학회 논문집, 제19권, 1호, pp.73-77.

(7) 전진용외 2인, 2000, "생활소음의 감성적 평가에 관한 연구" 대한건축학회, 춘계학술대회논문집, 제20권, 제2호, pp.797-800.

(8) 전진용외 2인, 2000, "바닥충격음의 주관적 평가 및 생활감과의 대응" 대한건축학회, 춘계학술대회논문집 제20권, 제2호, pp.793-796.