한국소음진동공학회 2003년도 춘계학술대회논문집, pp. 202~207.

# 중량충격음의 청감 평가에 대한 배경소음의 영향

# Investigating the Effect of Background Noise on Magnitude Estimation of Heavy-weight Impact Noise

○정 영* 송 희 수** 전 진 용***
Young - Jeong Hee-Soo Song Jin - Yong Jeon

**ABSTRACT**

The purpose of this study was to investigate the effect of background noise on loudness magnitude estimation of Heavy-weight impact noise. Relationship between loudness magnitude estimation and estimation methods about floor impact noise had appeared low in apartment which receive much effect of background noise. Then, to need new estimation method about effect of background noise. Masking effects by background noise is increased steadily, there is a continuous transition between an audible impact noise and one that is totally masked. Result that analyze interrelationship of phychoacoustical data and values through Zwicker Parameters, to investigate that an estimation experiment about Annoyance need.

## 1. 서론

최근 공동주택 바닥충격음에 대한 관심의 증가와 함께 주거환경의 질을 손상시키는 주요한 요인 중 하나인 바닥충격음에 대한 실제적인 조절대책을 수립하기 위하여 객관적인 평가방법에 대한 연구와 검토가 다양하게 진행되고 있으며, KS규격도 국제 수준에 부응하는 실제적인 내용으로 개정, 제정되었다.

그러나 이러한 노력에도 불구하고 현재까지의 연구에서는 인간의 청감을 고려한 평가방법 및 물리적 결과와의 대응성과 상관성이 실제적이고 실용적인 결과로 도출되지 않고 있으며, 바닥충격음 현장 측정시 영향을 줄 수 있는 다양한 요소들에 대한 검토가 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 바닥충격음중에서 중량충격음에 대하여 현장 측정시 영향을 줄 수 있는 요소 중 배경소음의 영향을 검토하였다. 최근 공동주택 거실부 공간활용을 위하여 내부창호 구조변경을 통한 공간활용이 일반화되어 실외소음의 영향을 받는 세대의 빈도가 증가하고 있다. 또한 공동주택 단지 배치에 따라 도로변에 인접하는 동과 단지 내부에 있는 동의 실외소음의 차이가 실제 동일 단지내에서 상당한 것으로 측정되고 있다. 따라서 본 연구에서는 실외배경소음(도로교통소음)의 영향에 따른 공동주택 중량충격음의 물리적 평가치와 이에 대한 주관적 반응치의 상관관계를 살펴보고 배경소음이 중량충격음 평가량과 평가방법에 영향을 주는 요소인지를 검토하고자 한다.

이를 위하여 현장 충격음의 물리적인 자극(음의 세기)에 대하여 청감자가 느끼는 주관적인 반응치를 평가할 수 있는 청감실험인 ME(magnitude estimation)방법을 사용하여 충격음의 물리적 측정 및 평가값과 청감실험 결과를 비교하였다.

* 한양대학교 대학원 건축공학과 박사과정 수료
** 한양대학교 대학원 건축공학과 석사과정
*** 한양대학교 건축공학부 부교수

## 2. 본론

### 2.1 현장측정 및 음원녹음

본 연구의 실험대상 아파트는 경기도 고양시에 위치한 D아파트로 12개 동으로 구성되어 있다.

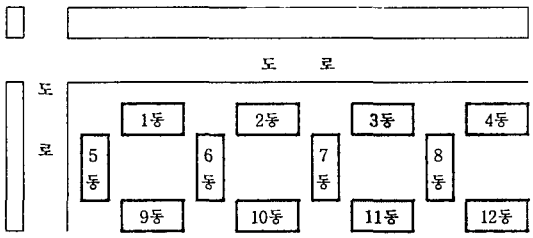


그림 1. 아파트 단지 배치 개략도

측정대상은 그림 1.에서와 같이 도로변(편도 3차선)에 인접한 제3동과 단지 내에 위치하여 배경소음인 도로교통소음에 영향을 적게 받는 제11동을 선택하였다.

측정 시 현장조건은 입주 15일 전으로 모든 공사가 완료되고 있었으며, 마무리 하자보수 및 단지 외부 조경공사를 진행 중이었다.

아파트의 바닥단면은 콘크리트 바닥슬래브(180 mm)+경량기포콘크리트(60mm)+마감몰탈(40mm)로 구성되어 바닥충격음을 저감하기 위한 완충재는 사용하지 않았으나, 슬래브 두께를 강화하여(180 mm)중량충격음의 저감에 유리한 조건을 가지고 있었다.

실험에 사용된 표준충격원은 배경소음의 마스킹 영향을 고려하여 중량충격원(bang machine)으로 정하고, 음원은 윗층 거실에서 가진 할 때, 직하실의 거실 중앙지점에서 지향성 마이크로폰과 더미헤드를 사용하여 바닥으로부터 1.3m 높이에서 녹음하였다(KS F 2810).

특히 본 연구에서는 주요 영향요소로 검토하고자 하는 외부배경소음을 측정하기 위하여 거실내부 창호의 개폐상태를 변화시키며 충격음을 녹음하여 또한 각 지점, 측정 전에 배경소음을 함께 녹음하므로 차후 물리적 측정과 청감실험에 대한 배경소음의 영향을 검증할 수 있도록 하였다.

측정시간은 밤 08:00시~익일 오전 05:00까지 진행하였으며, Loudness의 관점에서 중량충격음의 물리적 평가에 있어서 다음의 5가지 사항을 평가하였다.

- L-index
- Inverse A-weight
- $L_A$, $L_B$, $L_C$ : 소음계의 A, B, C특성에 의한 Fast Peak치
- $L_{(f1-f2)}$ : 중심주파수 f1 ~ f2의 옥타브 밴드 레벨의 산술평균치
- Zwicker Psychoacoustic parameters

제3동 측정시 외부 배경소음(도로교통소음)은 34 dBA~55dBA, 중량충격음은 50~53 dBA로 측정되었고, 11동에서는 외부 배경소음(도로교통소음)은 32 dBA~40dBA, 중량충격음은 역시 50~53 dBA로 측정되었다.

실험에 사용된 기기 및 사양은 다음과 같다.

- Tapping machine (FI-01, RION)
- Bang machine (T TYPE, FI-02, RION)
- Dual Channel Real-Time Frequency Analyzer (B&K, Type 2144)
- Audio analyzer (ETANI ASA II)
- DAT Recorder (TCD-D10, SONY)
- Omni-Directional microphones(B&K 4165, 1/2 inch)

### 2.2 1차 청감실험 ME(Magnitude Estimation)

실험에 사용한 음원은 현장에서 DAT에 녹음된 음원을 컴퓨터에서 청감실험에 적합하도록 편집한 뒤, 하드디스크에 웨이브 파일 형태로 저장하여 사용하였다. 청감실험 방법은 중량충격음의 배경소음 변화에 따른 Loudness 정량화를 위해서 ME(기준점을 정하지 않고 청감자가 각 음원에 대해 자유롭게 free-scale로 ME값을 대응시키는 방법)을 실시하였다.

1단계 실험은 외부배경소음의 영향을 크게 받고 있는 제3동 아파트에서 측정 및 녹음된 음원중 충격음이 79~82dBC(50~53dBA)되는 음원을 선별하여 배경소음을 2~3dB간격으로 48~59dBC(37~52dBA)까지 변화하는 음원으로 구성하였으며, 각 음원을 3번 반복하여 청취할 수 있도록 하였다. 청감실험 평가는 배경소음이 포함된 중량충격음을

청취 후, 중량충격음만의 Loudness에 대한 평가를 하도록 하였다. 각 피험자가 전체의 실험을 마치는 데는 평균 4~5분 정도 소요되었고, 피험자의 반응은 미리 설명하여 배포된 기록지 위에 최대/최소가 기록된 수평선상의 임의의 부분에 직접 기록(∨) 하도록 하였다.

제2단계 실험은 외부배경소음이 적은 제11동 아파트에서 측정 및 녹음된 음원중 배경소음이 50dBC(36dBA)인 음원을 선별하여 충격음이 2~3dB간격으로 76~83dBC(49~55dBA)까지 변화하는 음원으로 구성하여 1단계와 동일한 단계로 청감실험을 진행하였다.

표 1. 청감실험 대상자의 개요

| 실험종류 | 피험자수 | | | 연령 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 남 | 여 | 합 | | |
| Loudness의 ME | 18 | 3 | 21 | 21~39세 | 정상청감자 |

본 실험의 피험자는 표1과 같이 정상의 청감을 가진 18명의 남자와 3명의 여자로 구성되었고, 평균연령은 30세이다. 각각의 음원은 헤드폰을 통하여 피험자에게 제시되었다.

### 2.3 1차 청감실험결과

외부배경소음의 영향이 큰 제3동 아파트에서 측정 녹음된 중량충격음원을 대상으로 청감 실험한 결과, 그림2에서와 같이 배경소음의 보정특성($L_A$, $L_B$, $L_C$)별 측정값과 주관적 평가간의 상관관계는 A. B 보정특성 $R^2$값이 0.52~0.71로 상관성이 있는 것으로 나타났으며, 배경소음(37~52dBA)이 증가함에 따라 중량충격음의 Loudness에 대한 평가가 작은 소음으로 인식하고 있음을 추세선의 방향(-)을 통하여 알 수 있었다.

그림3, 4에서의 주관적 평가와 배경소음의 L지수, 역A특성, 산술평균($L_{(63-500)}$)의 상관관계 또한 그림2의 결과와 유사한 결과가 나타났으며, 이는 충격음(79~82dBC(50~53dBA))이 일정하나, 배경소음(48~59dBC(37~52dBA))이 주관적 반응에 영향을 주고 있음을 알 수 있었다.

이에 대해 외부배경소음의 영향을 상호 비교하

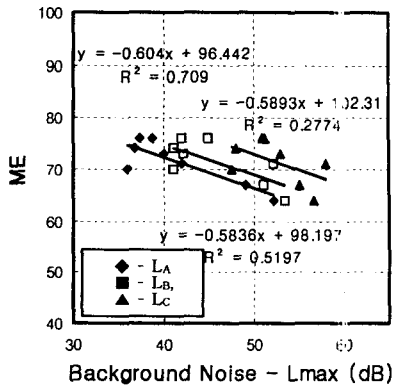


그림 2. 배경소음의 물리적평가($L_A$, $L_B$, $L_C$)와 중량충격음의 주관적 평가간의 상관관계 (제3동)

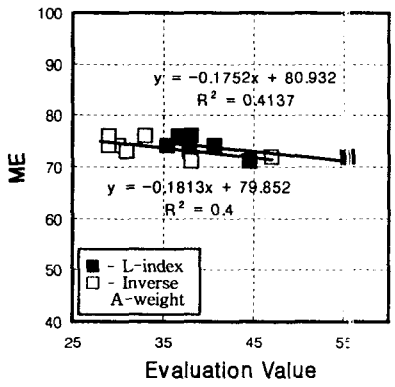


그림 3. 배경소음의 물리적평가(L-index, Inverse A-weight)와 중량충격음의 주관적 평가간의 상관관계 (제3동)

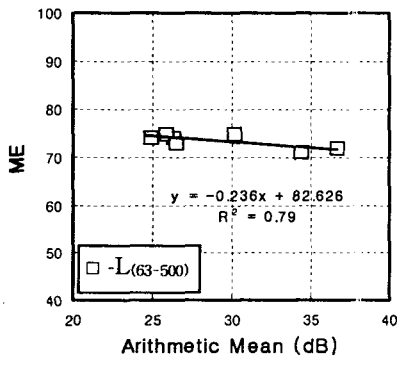


그림 4. 배경소음의 물리적평가($L_{(63-500)}$)와 중량충격음의 주관적 평가간의 상관관계 (제3동)

기 위하여 배경소음이 낮은 제11동 아파트에서 측정 및 녹음된 중량충격음원을 대상으로 음원을 분석하고, 청감실험을 실시한 결과, 그림 5에서와 같이 충격음이 증가함에 따라 주관적 평가간의 상관관계는 $R^2$값이 0.97~0.99로 매우 높게 나타났으며, 추세선의 방향(+) 또한 충격음이 증가함에 따라 주관적 평가에서 큰 소음으로 인식하는 것으로 나타났다.

그림 6, 7에서와 같이 주관적 평가와 L지수, 역A특성, 산술평균($L_{(63-500)}$, $L_{(63-1000)}$, $L_{(63-2000)}$, $L_{(63-4000)}$))의 상관관계 또한 그림 5의 보정특성과 동일한 매우 높은 상관관계가 나타났으며, 해당음원의 음압 범위 내에서 충격음의 증가에 따라 ME값이 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다.

지금까지 현장측정 중량충격음의 물리적/주관적 평가간의 상관관계를 배경소음의 차이에 따라 평가 분석한 결과, 배경소음의 영향을 크게 받고 있는 제3동의 실내에서는 중량충격음이 발생되었을 경우, 주관적 평가에서 물리적 평가치 보다 작은 소음으로 인식하는 것으로 나타났다.

1차 청감실험(ME) 결과와 물리적 측정치와의 상관관계를 다음의 표와 같이 정리하였다.

표 2. 배경소음(제3동)과의 상관관계(Lmax)
- 배경소음이 높을 때 -

| Impact noise | A weight | B weight | C weight | Ave. | L index | inverse |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Lmax | Lmax | Lmax | (65~500Hz) | | A weight |
| ME 상관성 ($R^2$) | 0.71 | 0.52 | 0.28 | 0.79 | 0.41 | 0.40 |

표 3. 중량충격음(11동)과의 상관관계(Lmax)
- 배경소음이 낮을 때 -

| Impact noise | A weight | B weight | C weight | Ave. | L index | inverse |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Lmax | Lmax | Lmax | (65~500Hz) | | A weight |
| ME 상관성 ($R^2$) | 0.98 | 0.98 | 0.97 | 0.93 | 0.96 | 0.96 |

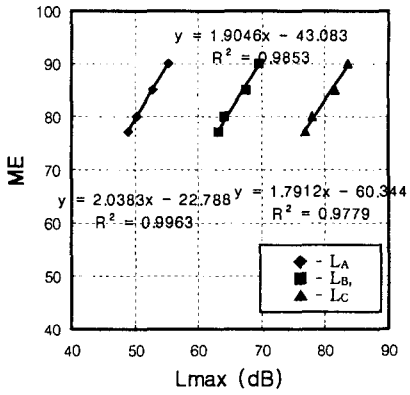


그림 5. 중량충격음의 물리적($L_A$, $L_B$, $L_C$) 주관적 평가간의 상관관계 (제11동)

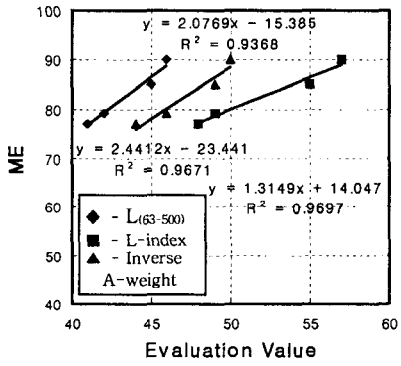


그림 6. 중량충격음의 물리적(L-index, Inverse A-weight, $L_{(63-500)}$) 주관적 평가간의 상관관계 (제11동)

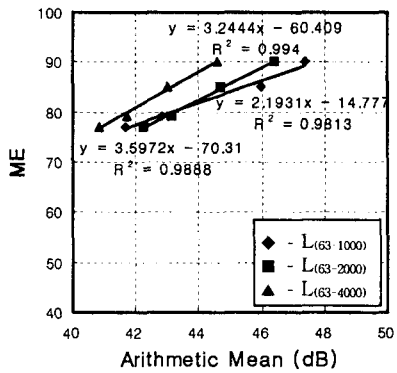


그림 7. 중량충격음의 물리적($L_{(63-1000)}$,$L_{(63-2000)}$, $L_{(63-4000)}$) 주관적 평가간의 상관관계 (제11동)

## 2.4 2차 청감실험 및 결과

2차 청감실험에서는 제3동과 제11동에서 녹음된 음원 중 중량충격음레벨이 동일한 값을 갖으며, 각각 3dB간격이 되는 4개 음원(47, 50, 53, 56dBA)을 선별하여 각 음원을 3번 반복하여 청취 평가할 수 있도록 하였다. 제3동의 4개 음원은 배경소음이 39~52dBA로 증가하였으며, 제11동의 4개 음원의 배경소음은 36~37dBA으로 정온한 가운데 충격음이 3dB 간격으로 증가하는 음원으로 구성되었다.

각 피험자가 전체의 실험을 마치는데는 평균3분 정도 소요되었고, 실험의 반응은 미리 설명하여 배포된 기록지 위에 직접 표시하도록 하여 1차 청감실험과 동일한 단계로 진행하였다.

실험 결과는 그림 7에 같다. 제3, 제11동 모두 동일한 물리적 값을 가지고 있으나, 배경소음의 차이에 따라 매우 상반된 결과가 평가되었다. 특별히 3동은 1차 실험의 결과와 같이 배경소음이 증가함에 따라 중량충격음의 주관적 평가는 오히려 작은 소음으로 인식함을 알 수 있었으며, 제11동은 배경소음의 영향을 받지 않으므로 물리적 증가에 따라 소음의 주관적 평가치도 증가하는 것으로 나타났다.

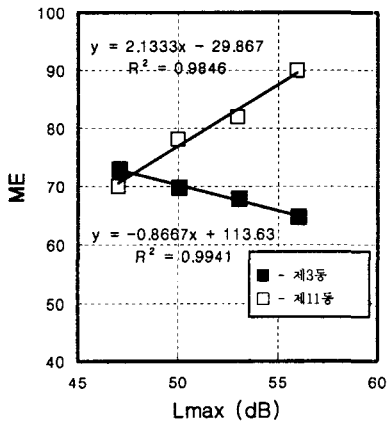


**그림 7.** 배경소음의 변화에 따른 물리적 주관적 평가간의 상관관계

## 2.5 심리음향 파라메타

심리음향 파라메타(Psych oacoustic Parameters)는 인간의 temporal masking 과 frequency masking 현상에 관한 Zw- icker의 연구에 기초하여 제안된 Parameter로서 인간의 크기에 대한 감각을 잘 표현하는 것으로 알려져 있다. 또한 소리자극에 대한 여러 가지 인간의 반응에 관한 Sound Quality의 지속적인 연구를 통하여 인간의 청감반응을 잘 표현할수 있는 여러가지 Parameter가 제안되고 있다.

본 연구에서는 심리음향 파라메타중 가장 많이 사용되는 Loudness, Sharpness, Fluctuation Strength, Tonality, Roughness, Unbiased Annoyance을 이용하여 배경소음의 영향을 받고 있는 제3동의 ME 실험에서 사용된 음원을 대상으로 주관적 평가치와의 상관관계를 분석하였으며 결과는 표 4, 그림 8에 나타내었다.

Parameter를 분석한 결과, 주관적 평가와 Loudness 값은 낮은 상관성이 나타났으나, Unbiased annoyance의 상관성이 있는 것으로 나타나 소음

**표4.** 주관적평가(제3동)의 심리음향적 분석

| | ME | Loudness | Sharpness | Fluctuation Strength | Tonality | Roughness | Unbiased Annoyance |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **ME** | 1.00 | | | | | | |
| Loudness | 0.05 | 1.00 | | | | | |
| Sharpness | 0.01 | 0.79 | 1.00 | | | | |
| Fluctuation Strength | 0.02 | 0.37 | 0.37 | 1.00 | | | |
| Tonality | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.12 | 1.00 | | |
| Roughness | 0.02 | 0.65 | 0.65 | 0.60 | 0.04 | 1.00 | |
| Unbiased Annoyance | 0.44 | 0.01 | 0.01 | 0.21 | 0.39 | 0.01 | 1.00 |

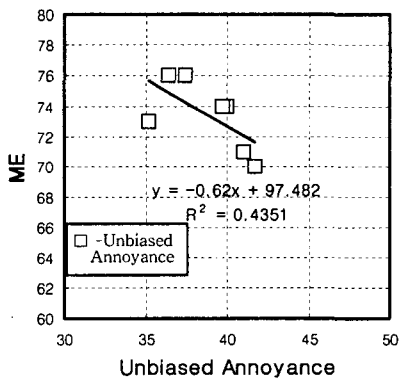


**그림 8.** Unbiased Annoyance와 주관적평가의 상관관계

원의 크기와 감성적인 곤혹도는 반드시 비례하지 않는다는 것을 알 수 있었으며, Unbiased annoyance에 다소 영향을 주는 요소로 평가되고 있는 Sharpness와 Fluctuation Strength는 상관성이 매우 낮은 것으로 평가되었다.

ISO에서는 A특성 보정 음압레벨의 단점을 보완하고 인간의 소음크기의 감각에 기반한 보다 적절한 평가방법의 하나로 Loudness를 제안하고 Loudness를 기반으로 한 실제적이고 경제적인 소음제어 방안을 마련하고 있으나, 배경소음의 영향 큰 실외 환경을 가지고 있는 공동주택에서는 본 실험 결과에서와 같이 현장에서 직접 평가하거나. 청감실험 음원으로 사용될 경우, 주관적 평가 결과에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다 따라서 최근 개정된 KS에서 배경소음 보정 방법에 따라 측정된 중량충격음 값이 실내소음 평가지표로서의 타당한지 검토가 필요하다고 사료된다.

## 3. 결 론

본 연구는 공동주택의 실내생활에서 발생되는 중량충격원의 물리적, 심리음향학적 평가특성을 명확히 파악하기 위하여 외부배경소음(도로교통소음)의 영향에 따른 Loudness반응과의 상관관계를 검토 분석하였다.

본 연구를 통하여 얻은 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 배경소음의 영향이 큰 실내에서 발생되는 중량충격음의 Loudness에 대한 물리적 주관적 평가를 위하여 ME법으로 사용, 각 소음평가 척도와의 상관관계를 검토한 결과, 실외배경소음의 영향이 큰 공동주택 실내에서는 배경소음의 영향이 적절하게 고려된 새로운 평가지표가 필요한 것으로 사료되었다.

2. 실외배경소음의 영향이 작은 실내에서 발생되는 중량충격음의 평가실험에서는 물리적/주관적 평가에 상관관계가 모든 평가지표에서 높게 평가 되었다.

3. Zwicker Parameter를 통해 심리음향적 상관성을 분석한 결과, 배경소음의 영향을 받고 있는 실내의 음원은 Unbiased Annoyance가 ME와 상관성을 가지고 있는 것으로 나타났으며, 실외배경소음의 영향을 받는 충격음레벨의 정도에 따라 심리적 반응치를 예측할 수 있는 Parameter로 '시끄러움'과 '신경쓰임'을 나타내는 Noiseness와 Annoyance의 반응에 대한 평가가 필요한 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌


1. 失野隆, 小林朝人 "規則的非定常騷音の反復回數および變動幅がやかましさに及ぼす影響," 日本建築學會論文報告集 **345**, 70-79 (1983).

2. 佐藤哲身, 泉靑人 "繰り返し衝撃音のやかましさと衝撃効果," 日本建築學會計劃系論文報告集 **352**, 1-9 (1985).

3. K. Hiramatsu, K. Takagi and T. Yamamoto, "A rating scale experiment on loudness, noisiness and annoyance of environmental sounds," Journal of Sound and Vibration **127**, 467-473 (1988).

4. B. Berglund, U. Berglund and T. Lindvall, "Scaling loudness, noisiness, and annoyance of community noises," Journal of the Acoustical Society of America **60**, 1119-1123 (1976).

5. Togerson, W.S., Theory and methods of scaling, John Wiley & Sons Inc., New York, 1962.

6. Tesarz, M., and Kjellberg, A. Calibration of noise annoyance ratings at work, J. Sound and Vib. 205, 523-531, 1997.