

## 중량충격음의 주관적 반응에 대한 공간음향요소의 영향

### Effect of spatial factors on subjective responses to heavy-weight floor impact noise

이평직† · 김재호\* · 유승엽\*\* · 사토 신이치\*\*\* · 전진용\*\*\*\*

Pyoung Jik Lee, Jae Ho Kim, Seung Yup Yoo, Shin-ichi Sato, Jin Yong Jeon

**Key Words** : 중량충격음 (Heavy-weight impact noise), 주관적 반응 (Subjective response), 공간음향요소 (IACC)

#### ABSTRACT

The effect of spatial factors on subjective responses to heavy-weight floor impact noise was investigated. Heavy-weight impact noises were generated and recorded in several apartments and a testing building using impact ball and binaural microphone to measure IACC of the noises. Just noticeable differences (JNDs) of IACC and SPL of heavy-weight impact noise were also investigated. Auditory experiments were conducted using method of limit. It was found that the JNDs of IACC and SPL were 0.12 and 1.5dB, respectively. Contribution of IACC and SPL to annoyance of heavy-weight floor impact noise is being further investigated.

#### 1. 서 론

중량충격음 평가등급을 포함하는 모든 법적 규제기준의 평가지표는 역 A특성 가중 바닥충격음 레벨( $L_{iFmax,AW}$ )이다. 그러나 동일한 단일수치 평가량을 갖는 중량충격음이라 할지라도 각 음원의 주파수 특성과 심리지표들은 바닥 구조와 측정조건에 따라 달라진다. 단일수치 평가량이 동일한 음원에 대해서도 거주자들은 상이한 주관적 반응을 보이게 된다. 따라서 중량충격음에 대한 거슬림을 저감하기 위해서는 음압레벨뿐만 아니라 중량충격음의 주관적 반응에 영향을 미치는 요인들을 규명하고 통제하기 위한 노력이 병행되어야 한다.

현재까지 연구를 통해서 바닥충격음과 생활소음의 특성을 규명하기 위해 다양한 종류의 심리음향지표들이 적용되었으며, 특히 Zwicker 파라미터와 ACF/IACF 요소가 많은 연구자들에 의해 활용되었다. Jeon 등<sup>(1)</sup>은 벽, 바닥, 천장 각 구조의 부위별 조합 시공에 대한 청감평가를 실시하였으며, 물리적 저감량과 Zwicker 파라미터와의 상관

관계를 분석하였다. Jeon<sup>(2)</sup>은 ACF/IACF 요소를 기반으로 바닥충격음의 주관적 평가를 실시하였으며, Sato 등<sup>(3)</sup>은 중량충격음을 대상으로 진행한 청감실험 결과를 바탕으로 ACF/IACF 요소와 주관적 선호도와의 관계를 조사하였다. 이와 같은 연구들을 통하여 음압레벨과 피치뿐만 아니라 공간음향요소 중 IACC가 중량충격음의 주관적 반응에 영향을 미치는 중요한 요인이라는 사실을 밝혀냈다. 그러나 다양한 공동주택의 공간적 특성을 반영된 상태에서 IACC가 주관적 반응에 미치는 기여도에 대해서는 추가적인 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 먼저 다양한 공동주택과 표준실험실에서 측정된 중량충격음의 특성을 분석하고, 중량충격음의 주관적 반응에 대한 공간음향요소(IACC)의 기여도를 도출하기 위한 초기연구로 먼저 IACC와 중량충격음 음압레벨의 최소인지한계량(Just noticeable difference)을 조사하였다.

#### 2. 공간음향요소(IACC)

IACC는 청취자의 양 귀에 도달하는 음의 유사한 정도를 나타내며 완전히 같으면 1이 되고 완전히 다르다면 0이 된다. 이 값이 적을수록 양 귀 상관이 적은 음이 도달한다는 것을 의미하며 공간감(spatial impression)이 크다

† 한양대학교 건축환경공학과, 석박사 통합과정  
E-mail : pyoungjik@daum.net

Tel: (02) 2220-1795, Fax: (02) 2291-1793

\* 한양대학교 건축환경공학과, 석박사 통합과정

\*\* 한양대학교 건축환경공학과, 박사과정

\*\*\* 한양대학교 BK21 계약교수

\*\*\*\* 한양대학교 건축대학, 부교수

는 것을 뜻한다. 음원으로부터 발생하는 소리로부터 전달되는 양 귀의 상관관계의 계산은 식(1)과 같이 양이자기 상관함수(Interaural cross-correlation function), 즉  $IACF_i(\tau)$ 를 이용한다.

$$IACF_i(\tau) = \frac{\int_{t_1}^{t_2} p_L(t)p_R(t+\tau)dt}{\left(\int_{t_1}^{t_2} p_L^2 dt \int_{t_1}^{t_2} p_R^2 dt\right)^{\frac{1}{2}}} \quad \text{식 (1)}$$

위의 식에서  $\tau$ 의 범위 그리고 적분시간 내에서 두 귀에 도달하는 모든 음의 최대 유사성을 측정하는 단일 수치를 얻기 위해 아래의 식으로 양이상관도인 IACC를 구한다.

$$IACC_i = |IACF_i(\tau)| \max \text{ for } -1 < \tau < 1 \quad \text{식 (2)}$$

IACC는 주로 콘서트 홀과 오페라 하우스의 음향평가 지표로서 활용되어 왔지만 최근에는 항공기-철도소음, 급배수소음<sup>(4-6)</sup> 등 환경소음의 분석 및 주관적 반응 고찰을 위한 연구에서도 활용되고 있다.

### 3. 공동주택에서의 IACC 분포

#### 3.1 개요

임팩트 볼로 상층부의 중앙부를 가진 하였을 때 발생하는 중량충격음은 국내 18개 벽식구조 공동주택의 거실과 안방의 중앙부에서 Head & Torso (B&K Type 4128D)를 이용하여 녹음하였다. 표 1에 나타난 바와 같이 측정 대상 공동주택의 바닥 슬라브 두께는 150~180mm이었으며, 대부분 30평형 규모였다.

Table 1 Rooms where sound sources were recorded

구분	계	20평형	30평형	40평형	50평형	60평형
공동주택	18	1	14	-	2	1
거실/안방	18/16	1/1	14/11	-	2/2	1/2

#### 3.2 측정 결과

공동주택에서 녹음된 중량충격음의 IACC 분석결과는 그림 1에 나타난 바와 같다. 중량충격음의 IACC는 최초 지연시간(delay time)에서 최대값을 나타내며 지연시간이 증가함에 따라 그 값이 점차 감소하는 것으로 나타났다. 최초 지연시간부터 0.5초까지의 IACC 평균값은 0.3~0.9로 공동주택의 측정조건에 따라 다양한 레벨 분포를 갖는 것으로 조사되었다. 이는 공동주택의 평면형태, 바닥구조, 수음실의 흡음력 등의 차이에 따른 것으로 사료된다.

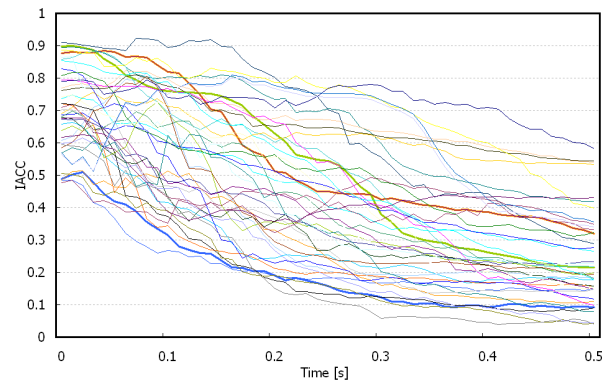


Fig. 1 IACC in real apartments

### 4. 표준실험동에서의 IACC 분포

#### 4.1 개요

공동주택은 다양한 측정조건들로 인해 IACC 값이 영향을 받을 수 있기 때문에 외부 측정조건들이 비교적 통제된 표준실험동에서 중량충격음을 녹음하고 녹음음원의 IACC를 분석하였다. 표준실험동에서는 공동주택과 달리 가진점과 수음점을 그림 2와 같이 중앙점을 포함한 5개 지점으로 다양화하여 가진점과 수음점 위치 변화에 따른 IACC 값의 변화를 조사하였다. 표준실험동의 슬라브 두께는 180mm였으며(바닥면적은 23m<sup>2</sup>, 압축강도 210 kg/cm<sup>2</sup>) 잔향시간은 중주파수 평균 4.6초였다.

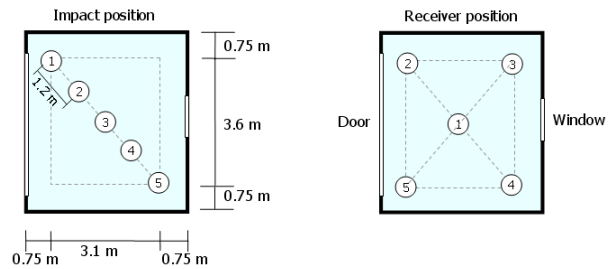


Fig. 2 Impact and receiver positions

#### 4.2 측정 결과

표준실험동에서 측정된 중량충격음의 IACC 분석결과는 그림 3-4와 같다. 그림 3은 임팩트 볼의 가진점이 고정되었을 경우 다양한 수음점에서의 IACC 분석결과를 나타낸다. 중앙점을 가진하고 수음실의 중앙부에서 녹음한 음원의 IACC가 가장 높았으며, 실의 모서리를 가진했을 때 수음점별 IACC의 차이가 증가하는 것으로 나타났다. 그림 4는 수음점이 고정되었을 경우 다양한 위치에서 임팩트 볼을 가진하여 발생한 중량충격음의 IACC 분석결과를 나타낸다. 이 경우에도 중앙점을 가진하고 수음실의 중앙부에서 녹음한

음원의 IACC가 가장 높았다.

표준실험동에서 측정한 중량충격음의 IACC는 공동주택과 달리 지연시간이 증가할 경우에도 값이 일정하게 유지되는 것으로 나타났다. 이는 표준실험동이 콘크리트로 마감되어 저주파 대역의 충격음이 공동주택에 비해 비교적 오랜 시간 음압레벨을 유지하기 때문인 것으로 사료된다.

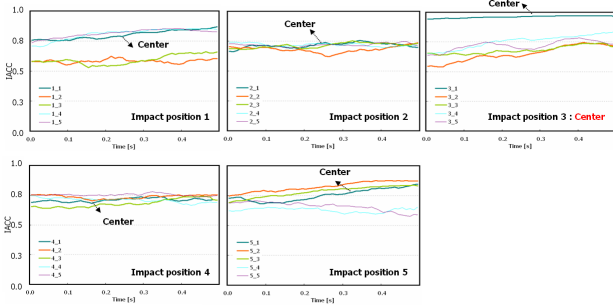


Fig. 3 IACC when an impact position was fixed

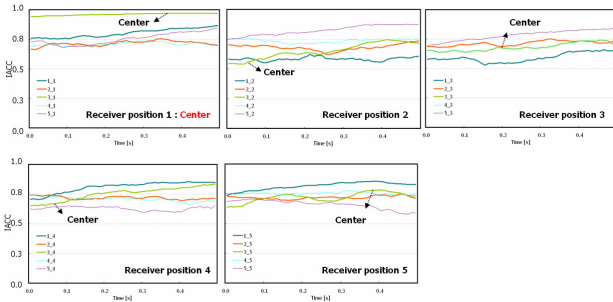


Fig. 4 IACC when a receiving position was fixed

## 5. IACC와 음압레벨의 JND

### 5.1 개요

중량충격음의 거슬림에 대한 IACC와 음압레벨의 기여도를 고찰하기 앞서 IACC와 음압레벨의 최소인지한 계량 (Just noticeable difference, 이하 JND)을 조사하였다. 이를 위해 임팩트 불 중량충격음의 분류 (classification) 결과 가장 대표적인 주파수 특성을 갖는 group 2의 음원<sup>(7)</sup>을 실험음원으로 선정하였다. 이는 IACC와 음압레벨 이외의 다른 심리음향지표들은 통제 변인으로서 일정한 값을 갖도록 유지시키면서 조작변인이 되는 IACC와 음압레벨만을 일정한 간격으로 변화시킨 후 IACC와 음압레벨 차이 인지에 대한 주관적 반응을 조사하기 위해서이다. IACC는 최소값을 기준으로 총 21개의 변환음원을 생성하였으며, 음압레벨은 44~52 dB의 분포에서 0.5dB 간격으로 조정된 총 16개의 음원을 사용하였다. 실험에 사용된 21개 음원의 IACC 분석 결과는 아래의 그림 5와 같다.

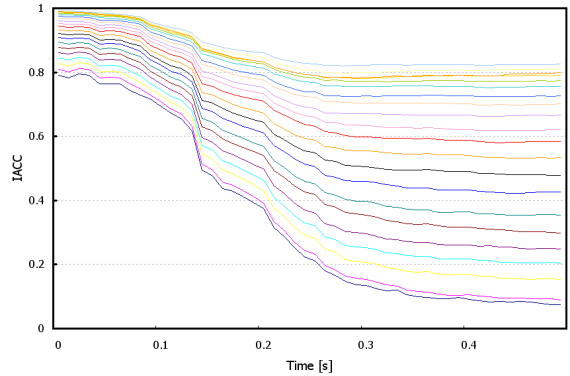


Fig. 5 Distribution of IACC for JND test

### 5.2 실험설계

일정 간격으로 제작된 변화음원에 대하여 청감실험을 통한 주관적 평가를 실시하였다. 이와같은 청감실험에 숙련된 4명의 피험자가 여러번 실험에 참여하는 방식으로 진행되었으며, 실험방법으로는 한계법 (method of limit)<sup>(8)</sup>이 활용되었다.

중량충격음의 IACC와 음압레벨 JND에 대한 주관적 평가시 원본음원과 음질이 변화된 실험음원을 하나의 쌍으로 피실험자에게 제시하였으며, 두 음원 중 더 큰 값을 갖는 음원을 선택하도록 하는 2AFC (2 Alternative Forced Choice)법이 적용되었다. 이 때 제시음원의 음압레벨은 실제 공동주택에서 발생하는 중량충격음 레벨을 대표할 수 있는 48dB로 조정하였으며, 음원은 헤드폰을 통해 제시되었다.

### 5.3 실험결과

IACC와 음압레벨의 JND에 대한 주관적 평가 결과는 각각 그림 6, 그림 7과 같다. 쌍으로 제시된 원본음원과 실험음원 사이의 IACC와 음압레벨 값의 차이를 X축에 나타냈으며, 그 차이를 청감적으로 인지한 반응비율을 Y축에 나타내었다. 실험결과 전체 피실험자의 반응 중 75% 이상이 차이를 인지한 때의 IACC 및 음압레벨의 값 차이를 JND로 설정하였다<sup>(9,10)</sup>.

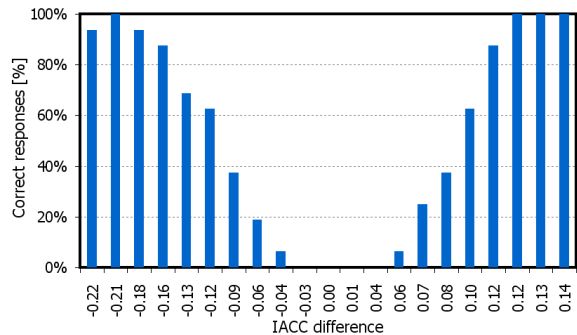


Fig. 6 JND test result of IACC

IACC의 경우 그림 6과 같이 0.12의 차이가 나는 실험음원 쌍에 대하여 75% 이상의 피실험자가 차이를 인지하기 시작하는 것으로 나타났다. 따라서 중량충격음 IACC의 JND는 약 0.12로 설명할 수 있으며, 동일한 방식으로 음압레벨의 JND는 약 1.5dB에서 발생하는 것으로 나타났다.

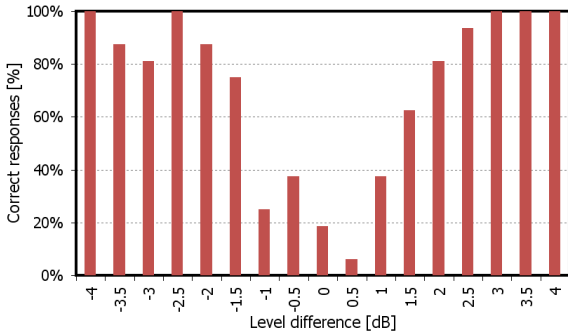


Fig. 7 JND test result of SPL

## 6. 결론 및 향후 진행방향

본 연구에서는 중량충격음의 거슬림에 영향을 미치는 다양한 요인 중 공간음향요소(IACC)의 영향을 조사하기 위한 기초연구로서 먼저 공동주택과 표준실험동에서 측정된 중량충격음의 IACC를 분석하였다. 공동주택과 표준실험동에서 측정된 중량충격음의 IACC 특성은 측정환경의 차이로 다소 상이한 결과를 나타냈다. 또한 공동주택에서 측정된 중량충격음 분석결과에서도 평면형태, 바닥구조, 수음실의 흡음력 등의 차이에 따라 IACC가 다양하게 분포하였다. 이와 같은 IACC 값에 대한 외부 요인들의 영향은 향후 일반화된 모델에서 검토되어야 할 것이다.

중량충격음의 거슬림에 대한 IACC와 음압레벨의 기여도를 고찰하기 앞서 IACC와 음압레벨의 최소인지한계량(JND)을 조사하였다. IACC의 JND는 약 0.12, SPL의 JND는 약 1.5dB로 조사되었다. 따라서 중량충격음 거슬림에 대한 IACC와 음압레벨의 기여도를 조사하기 위한 청감실험을 계획할 경우 IACC와 음압레벨은 각각 0.12, 1.5dB 이상 차이가 나는 음원을 사용해야 할 것으로 사료된다.

## 후 기

본 연구는 산업자원부 “표준화 기술개발사업” (과제번호 : 10023489)의 지원으로 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- (1) J. Y. Jeon, J. H. Jeong, M. Vorländer and R. Thaden, 2004, "Evaluation of floor impact sound insulation in reinforced concrete buildings" Acta Acustica 90. pp. 313-318
- (2) J. Y. Jeon, 2001, "Subjective evaluation of floor impact noise based on the model of ACF/IACF." Journal of Sound and Vibration, 241(1), pp. 147-155.
- (3) S. Sato, J. K. Ryu and J. Y. Jeon, 2005, "Annoyance of floor impact noise in relation to the factors extracted from the autocorrelation and the interaural cross-correlation functions", Proceedings of Acoustics 2005, pp. 2211-2216
- (4) H. Sakai and S. Sato, 2001, "Measurement of regional environmental noise by use of a PC-based system. An application to the noise near airport 'G. marconi' in Bologna", Journal of Sound and Vibration, 241(1), pp. 57-68.
- (5) H. Sakai, T. Hotehama and Y. Ando, 2002, "Diagnostic system based on the human auditory brain model for measuring environmental noise-An application to railway noise", Journal of Sound and Vibration, 250(1), pp. 9-21.
- (6) T. Kitamura, R. Shimokura, S. Sato and Y. Ando, 2002, "Measurement of temporal and spatial factors of a flushing toilet noise in a downstairs bedroom", Journal of Temporal Design in Architecture and the Environment 2(1), pp. 13-19
- (7) P. J. Lee, Y. Jeong, J. Y. Jeon, 2006, "Metrics for evaluation of heavy-weight impact noise generated by impact ball", Proceeding of KSNVE, pp 2211-
- (8) Gelfand S. A., 1998, Hearing: An Introduction to Psychological and Physiological Acoustics, Marcel Dekker, Inc, New York.
- (9) Levitt H., 1971, "Transformed up-down methods in psychoacoustics," Journal of the Acoustical Society of America, 49(2), pp. 467-477.
- (10) Gabriel K. J., Colburn H. S., 1981, "Interaural correlation discrimination: 1. Bandwidth and level dependence," Journal of the Acoustical Society of America, 69(5), pp. 1394-1401.