

중량충격음의 어노이언스에 대한 IACC 시간적 변화의 영향

Effect of temporal variation of IACC
on annoyance of heavy-weight floor impact noise

김재호†·이평직*·사토 신이치**·전진용***

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

Key Words : 중량충격음 (Heavy-weight impact noise), 주관적 반응 (Subjective response), 공간음향요소의 시간적 변화량 (Temporal variation of IACC)

ABSTRACT

In this study, the effect of temporal variation of IACC on subjective response to heavy-weight floor impact noise generated by impact ball was investigated. Subjective evaluation was conducted to investigate the effect of temporal variation of IACC on perception of heavy-weight floor impact noise using paired comparison test. The results showed that the effects of SPL and temporal variation of IACC on the annoyance of heavy-weight impact noises were independent and the contribution of SPL was much larger than that of temporal variation of IACC. It was also found that the effect of IACC is larger than temporal variation of IACC comparing to previous study.

1. 서 론

중량충격음은 상부층에서 아이들이 뛰거나 달리는 행위로 인해 발생하는 저주파 충격소음으로 공동주택의 음환경에 영향을 미치는 요인 중 하나이다. 따라서 중량충격음에 대한 거주자의 만족도를 증가시키기 위한 노력들이 지속적으로 이루어지고 있으며, 대부분의 경우 음압레벨의 저감을 위한 바닥충격음 저감구조의 개발에 중점을 두고 있다. 이를 위해 Jeon⁽¹⁾ 등은 바닥충격음의 측정 및 평가를 위해 표준충격원과 실충격원의 특성을 비교하였으며, 표준충격원을 활용한 바닥충격음 저감구조 개선방향에 대한 연구를 진행하였다. 최근에는 음압레벨뿐만 아니라 중량충격음의 주관적 반응에 영향을 미치는 지표들에 대한 연구들이 진행되었으며, 이를 통해 다양한 심리음향지표들이 중량충격음의 주관적 반응을 결정하는 요인임이 밝혀졌다. 또한 Jeon⁽²⁾과 Sato 등⁽³⁾은

ACF/IACF를 이용하여 중량충격음을 분석하였으며, 음압레벨과 음고(pitch) 그리고 공간음향요소(IACC)가 중량충격음의 주관적 반응에 영향을 미치는 주요한 요인이라고 보고하였다.

IACC는 공간감을 평가하는 지표 중 하나로 주로 실내음향에서 사용되어 왔으며, 최근에는 항공기, 철도, 급배수 소음뿐만 아니라 바닥충격음의 주관적 평가에도 활용되고 있다.⁽³⁻⁶⁾ Lee⁽⁷⁾ 등은 임팩트볼의 가진을 통해 발생한 중량충격음의 IACC 특성을 조사하였으며, 중량충격음의 주관적 반응에 대한 IACC와 음압레벨의 영향을 상호 비교하였다. 중량충격음의 IACC는 충격음이 발생한 시점부터 시간이 지날수록 그 값이 감소하는 양상을 보이거나 감소량은 바닥구조의 종류와 수음실의 음향특성에 따라 다양한 양상을 보이는 것으로 조사되었다. 이러한 IACC의 시간적 변화 특성은 Sato⁽³⁾ 등의 연구에서 중량충격음의 주관적 반응에 영향을 미치는 유효한 지표로 밝혀졌으나, IACC의 시간적 변화량이 주관적 반응에 미치는 기여도에 대해서는 추가적인 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 공동주택에서 녹음된 임팩트볼 중량충격음의 주관적 반응에 대한 IACC의 시간적 변화량의 기여도를 도출하기 위해 청감실험을 진행하였으며, 음압레벨과 IACC의 시간적 변화량의 영향을 비교

† 한양대학교 건축환경공학과, 석박사 통합과정
E-mail : nosaer4@gmail.com
Tel : (02) 2220-1795, Fax : (02) 2220-4794

* 한양대학교 건축환경공학과, 박사과정

** 한양대학교 BK21 계약교수

*** 한양대학교 건축대학, 부교수

하였다.

2. 주관적 반응에 대한 IACC의 영향

선행연구에서는 표준충격원으로 임팩트볼을 사용하여 실제 공동주택에서 84개의 중량충격음을 녹음하였으며, 녹음음원에 대한 IACC 특성을 조사하였다. 또한 공간음향요소(IACC)가 중량충격음의 주관적 반응에 미치는 영향을 청감실험을 통해 조사하였으며, IACC가 주관적 반응에 미치는 기여도를 정량화하기 위해 음압레벨이 주관적 반응에 미치는 영향과 비교하였다. 공간음향요소 지표로는 IACC 그리고 음압레벨 지표로는 역 A 특성 가중 바닥충격음 레벨 ($L_{iFmax, AW}$)이 사용되었다.

청감실험 설계를 위해 먼저 IACC 및 음압레벨의 최소인지한계량(Just noticeable difference)이 조사되었으며, 음압레벨의 최소인지한계량은 2dB, IACC의 최소인지한계량은 0.13으로 나타났다. 이를 바탕으로 청감실험을 진행하였으며, 음압레벨이 증가할수록 그리고 IACC가 감소할수록 주관적 반응(거슬림)이 증가하는 것으로 나타났다. 또한 주관적 반응에 대한 음압레벨과 IACC의 기여도는 각각 약 80%, 20%로 조사되었다. 또한 두 지표는 주관적 반응에 독립적으로 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 이를 바탕으로 주관적 반응에 대한 회귀식을 아래와 같이 도출하였다.

$$SV_{annoyance} = a \text{ IACC} + b \text{ SPL} \quad (1)$$

(a : -0.344, b : 0.923, $R^2 = 0.97$)

3. 중량충격음의 IACC

3.1 중량충격음의 IACC 분석결과

이전연구⁽⁷⁾에서 분석된 84개 공동주택 중량충격음의 IACC 특성은 그림 1과 같다. 이때 충격음 발생시점부터 0.5초까지의 IACC 평균값은 0.13에서 0.95까지 분포하는 것으로 나타났으며 IACC의 감소 특성은 측정환경에 따라 상이하였다. 그림 2는 IACC 평균값의 분포로 대부분의 음원이 0.4~0.7의 평균값을 갖으며, 0.6~0.7의 IACC 평균값을 갖는 음원이 20개로 가장 많은 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 중량충격음의 IACC 평균값을 0.6~0.7로 일정하게 통제한 상태에서 IACC값의 시간적 변화량이 주관적 반응에 미치는 영향을 청감실험을 통하여 조사하였다.

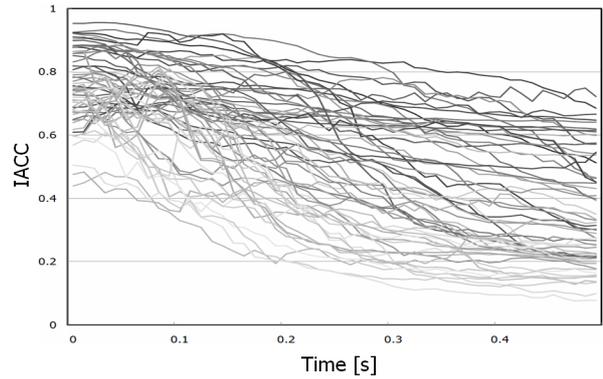


Fig. 1 Temporal variation of IACC

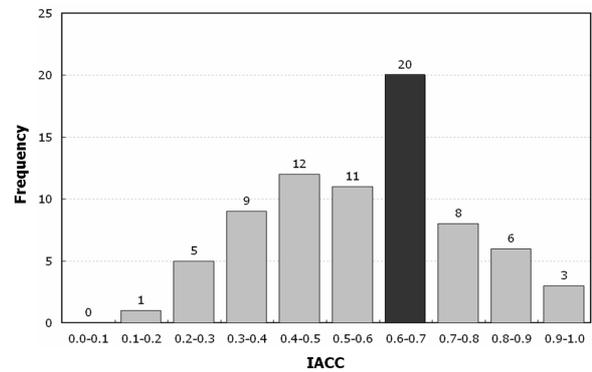


Fig. 2 Distribution of IACC

3.2 중량충격음 IACC의 시간적 변화량

이전연구⁽⁷⁾에서 중량충격음의 IACC 특성을 0.01초 간격으로 0~0.5초간 분석한 것과 마찬가지로 본 연구에서도 0.01초 간격으로 분석된 IACC 값을 기준으로 시간적 변화량을 계산하였다. 식 (2)에 나타난 바와 같이 0~0.5초간 분석된 50개의 결과를 바탕으로 먼저 인접한 2개 IACC 값의 기울기를 계산하였으며, 그 후에 각 기울기의 평균값으로 IACC의 시간적 변화량을 도출하였다. 0.6~0.7의 IACC 평균값을 갖는 중량충격음 20개의 시간적 변화량은 0.17~1.42의 분포를 갖는 것으로 나타났다.

$$Tvar_IACC = \left| \frac{\sum_{i=1}^{49} \frac{IACC_{(i+1)} - IACC_{(i)}}{0.01}}{49} \right| \quad (2)$$

4. 청감실험

4.1 실험음원

IACC의 시간적 변화량이 임팩트볼 중량충격음의 주관적 반응에 미치는 영향을 알아보기 위해 IACC의 시간적 변화량과 음압레벨을 변수로 하는 청감실험을

설계하였다. 두 요인 이외의 요소들의 영향을 통제하기 위해 이전연구⁽⁷⁾와 같이 대표성을 갖는 중량충격음을 선정하고 IACC의 시간적 변화량과 음압레벨을 3단계로 변화시켜 실험음원을 제작하였다. 청감실험에 사용된 음원의 IACC 시간적 변화 양상은 그림 3에 나타난 바와 같다. 음압레벨은 이전연구⁽⁷⁾와 달리 L_{Amax} 을 기준으로 조정하였다. 음원의 IACC 평균값은 약 0.67로 일정하게 통제 하였으며, IACC의 시간 변화량은 1.29, 0.75, 0.20 그리고 음압레벨은 54, 56, 58 dBA로 조정하였다.

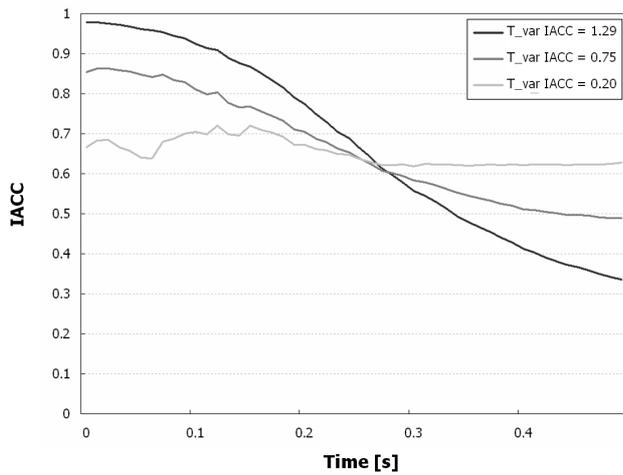


Fig. 3 Variance of IACC of stimuli

4.2 실험방법

주관적 반응을 조사하기 위해 쌍대비교법(Paired Comparison)을 적용하여 청감실험을 진행하였다.

총 9개의 음원을 두 개씩 각각 쌍을 지어 피실험자에게 제시하고 일정 시간을 사이에 두고 들리는 두 음원 중 어떤 음원이 더 거슬리는지 답하게 하여 각 음원의 거슬림에 대한 주관적 반응(scale value)을 도출하였다. 실험은 정상청력의 성인남녀 10명을 대상으로 배경소음이 낮은 청감실험용 부스에서 실시되었으며, 실험 결과는 일관성 테스트와 합치 테스트를 통해 검증하였다.

4.4 실험결과

청감실험 결과 계산된 각 음원의 거슬림에 대한 주관적 반응을 그림 4에 나타내었다. 실험 결과 대체로

음압레벨이 커질수록, IACC의 시간적 변화량이 커질수록 거슬리는 정도가 커지는 것으로 나타났다.

위 실험결과를 대상으로 이원산분석(Two-way ANOVA)을 실시하였으며 그 결과는 표 1에 정리하였다. 분석 결과 음압레벨과 IACC의 시간적 변화량 모두 주관적 반응에 유의한 영향을 주는 것으로 나타났다. 두 변수 서로간의 상호작용 효과는 유의하지 않은 것으로 나타났다. 이를 바탕으로 각 변수의 주관적 반응에 대한 기여도를 계산한 결과 중량충격음의 주관적 반응에 대한 음압레벨의 기여도는 약 91%인 반면 IACC의 시간적 변화량의 기여도는 약 9% 정도로 미미했다. 중량충격음의 주관적 반응에 대한 IACC의 기여도가 약 20% 그리고 음압레벨의 기여도가 80%로 조사되었던 이전연구⁽⁷⁾와 비교하였을 때 IACC 시간적 변화량보다는 IACC 값의 변화가 주관적 반응에 더 큰 영향을 미치는 것으로 사료된다.

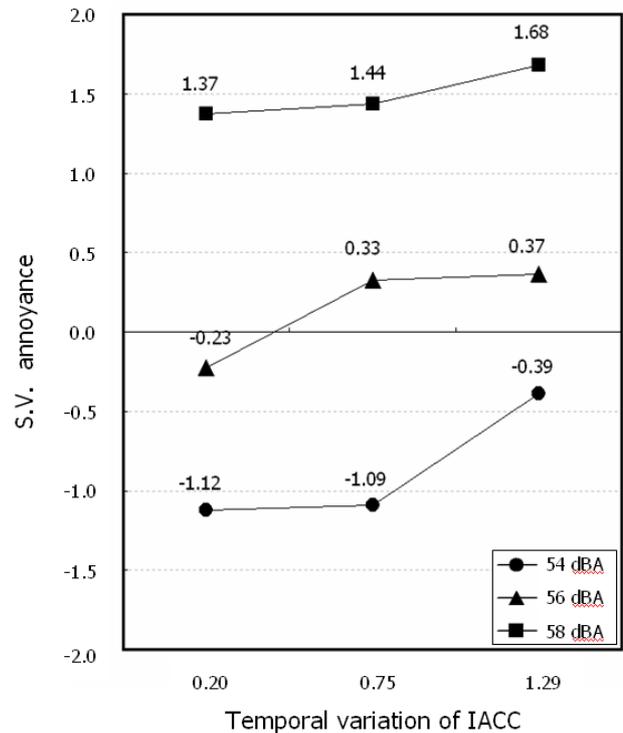


Fig. 4 Scale Value of annoyance

이원산분석 결과 음압레벨과 IACC의 시간적 변화량

Table 1 Result of two-way ANOVA

Factor	Degree of freedom	Sum of square	Mean square	F-test	P	Contribution [%]
SPL	2	31.1	15.2	252.2	< 0.01	91.3
VAR_IACC	2	2.8	1.4	16.6	< 0.01	8.6
Residual	4	2.1	1.0	-	-	-

은 주관적 반응에 독립적으로 영향을 주고 있는 것으로 나타났다. 이를 바탕으로 다중회귀분석을 실시하였으며, 주관적 반응(scale value)의 예측식을 아래의 식 (3)과 같이 도출하였다.

$$SV_{annoyance} = a T \text{ var_IACC} + b \text{ SPL} \quad (3)$$

(a : 0.223, b : 0.962, R² = 0.98)

청감실험결과와 회귀식을 통해 예측된 값 사이의 결정계수는 0.98로 높은 상관관계를 갖는 것으로 나타났다.

5. 결론

본 연구에서는 IACC의 시간적 변화량이 임팩트볼 중량충격음의 주관적 반응에 미치는 영향을 조사하였다. 주관적 반응에 영향을 미칠 수 있는 다른 요소들을 통제하기 위해 하나의 대표음원을 선정하였으며, 음압레벨과 IACC의 시간적 변화량을 변화시켜 청감 실험 음원을 제작하였다.

실험결과 음압레벨과 IACC 시간변화량이 증가할수록 거슬림 정도가 증가하는 것으로 나타났으며, 주관적 반응에 대한 두 변수의 영향 모두 통계적으로 유의한 것으로 조사되었다. 중량충격음의 주관적 반응에 대한 음압레벨의 기여도는 약 91%인 반면 IACC의 시간적 변화량의 기여도는 약 9% 정도로 미미했다. 이는 중량충격음의 주관적 반응에 대한 IACC의 기여도가 약 20% 그리고 음압레벨의 기여도가 80%로 조사되었던 이전연구⁽⁷⁾와 비교하였을 때 IACC 시간적 변화량보다는 IACC 값의 변화가 주관적 반응에 더 큰 영향을 미치는 것으로 사료된다.

향후 공간음향요소 재현에 효과적인 Stereo dipole system을 적용하여 중량충격음의 주관적 반응에 대한 IACC와 IACC의 시간변화 특성의 영향을 살펴보고자 한다.

후 기

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

참 고 문 헌

(1) J. Y. Jeon, J. K. Ryu, J. H. Jeong, H. Tachibana, 2006, "Review of the Impact Ball in Evaluating Floor Impact Sound", ACTA ACUSTICA

UNITED WITH ACUSTICA, Vol 92(5), pp.777-786

(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, J. H. Kim, S. Sato, J. Y. Jeon, 2007, "Effect of IACC on annoyance of heavy-weight floor impact noise" Proceedings of 19th International Congress of Acoustics 2007

(8) 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

(9) 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.

(10) Gelfand S. A., 1998, Hearing: An Introduction to Psychological and Physiological Acoustics, Marcel Dekker, Inc, New York.

(11) Levitt H., 1971, "Transformed up-down methods in psychoacoustics," Journal of the Acoustical Society of America, 49(2), pp. 467-477.

(12) 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.