

## 표준바닥충격원의 ACF/IACF 및 Zwicker 파라메타 분석

### ACF/IACF and Zwicker Parameters Analysis on Floor Impact Noise

전진용\*, ◦정정호\*\*, Yoichi Ando\*\*\*, 조문재\*\*\*\*

Jin-Yong Jeon, ◦Jeong-Ho Jeong, Yoichi Ando and Moon-Jae Cho

**Key Words:** Floor impact noise(바닥충격음), ACF/IACF, Zwicker parameters, Loudness(라우드니스)  
Auditory perception test(청감실험)

#### ABSTRACT

Floor impact noise has been evaluated by investigating the temporal and spectral characteristics of the noise. The noises generated by different impactors were analyzed to find out whether there is any correlation with the factors of ACF/IACF (Autocorrelation Function/Inter-aural Cross-correlation Function) [1] and Zwicker parameters [2]. Experiments were undertaken to compare the objective and subjective parameters of the floor impact noises generated by a bang/tapping machine, a rubber ball [3], and a walker. As a result, it was found that  $\phi(0)$  and IACC extracted from ACF/IACF, and Loudness, Unbiased Annoyance from Zwicker parameters showed high correlation with subjective evaluations of loudness concerning floor impact noises. In addition, it was revealed that jumping is similar to the ball.

#### 1. 서 론

바닥충격음은 공동주택에서 발생하는 소음들 중에서도 가장 거슬리는 소음으로 알려져 왔으며, 최근 공동주택 거주자들의 음환경에 대한 요구가 증가함에 따라 바닥충격음에 대한 새로운 평가 기준이 감성적인 측면에서도 제안되어야 할 것이다. 그러나, 바닥충격음의 측정에 있어서 일반적인 쟁점은 현재 표준충격원에 관한 것으로 사료된다. 태핑머신과 뱅머신은 ISO 및 JIS에 제안되고 있으며, 또한 새로운 충격원으로 JIS에서는 고무공으로 알려진 중량충격원이 도입되었으나 현재 ISO에 의해서 표준화되지는 않았다. 표준충격원에 대한 ACF/IACF (Auto-Correlation

Function/Inter-Aural Cross-correlation Function) 요소와 Zwicker의 파라메타에 의한 충격음의 심리음향학적 특성들은 아직 완전히 알려지지 않았다.

본 연구에서는 태핑머신, 뱅머신, 볼음원 그리고 실제 발생음원으로 성인이 제자리 뛰는 소음(jumping)을 대상으로 각 음원의 물리적, 심리음향학적 분석을 실시하였으며, 중량충격원, 경량충격원 및 고무공 세 가지 음원에 대하여 라우드니스 평가를 위한 청감실험을 진행하였다. 라우드니스 청감실험 결과와 물리적, 심리음향학적 분석결과와의 상관관계 분석을 통하여 주관적 라우드니스 반응과 상관관계가 높은 물리적, 심리음향학적 파라메타를 도출함과 동시에 세 가지 음원의 상관정도를 통하여 주관적 반응과 가장 상관관계가 높은 바닥충격음원 선정을 목적으로 하였다. 이를 통하여 공동주택의 바닥충격음 저감성능에 대하여 실제 발생소음과 물리적 특성 및 주관적 청감 반응이 가장 유사한 음원을 도출하여 바닥충격음 평

\* 정회원, 한양대 건축공학부  
E-mail : jyjeon@hanyang.ac.kr  
Tel : (02)-2290-1795, (02)-2291-1793

\*\* 정회원, 한양대 대학원 건축공학과

\*\*\* Graduate School of Science and Technology,  
Kobe University, Japan

\*\*\*\* 정회원, 한국표준과학연구원 음향진동그룹

\* 본 논문의 일부는 2001년 17차 ICA(Rome)에서 발표되었음.

가방법으로 제안하고자 하며, 주관적 청감반응과 관계가 높은 물리적, 심리음향학적 요소들을 도출하여 바닥충격음에 대하여 실제 거주자가 청감적으로 개선됨을 인식할 수 있는 주거환경 구현을 위한 방향 설정 및 바닥충격음 저감성능 평가에 활용하고자 한다.

태핑머신에 의한 바닥충격음 측정방법은 1932년 독일의 Reiher에 의해 개발되어 1953년 독일에서 최초로 바닥충격음 측정방법을 공업규격화, 바닥충격음레벨의 실험실 및 현장측정(DIN-52211), 습식 뜬 바닥구조 시공지침(DIN 4109)이 제정되었고 이와 함께 여러 나라에서 1950년대부터 측정방법을 설정하였다.

1965년에 Watters [4]는 ISO에서 규정한 태핑머신과 여성의 하이힐 구두의 바닥충격력에 대한 바닥충격음 스펙트럼의 추증성에 관한 실험결과를 발표하였다. Olynyk 과 Northwood [5] 또한 태핑머신에 의한 바닥충격음 평가는 실제 발생하는 충격음의 특성을 잘 나타내지 못하며 또한 FHA (US Federal Housing Administration)의 평가곡선에 의한 평가가 라우드니스 청감실험 결과와 차이가 있다고 주장하였다. Belmondo 등[6]의 연구에서도 태핑머신을 사용한 ISO 평가 방법이 목구조의 주거환경에서 거실자의 주관적 반응과 잘 부합되지 않는 것으로 나타났다. 이처럼 바닥충격원이 실제 발생소음과의 차이점에 관한 연구가 이루어졌으며, Istvan [7]은 바닥충격음의 방지대책으로 견고한 바닥재, 탄성표면마감재, 뜬바닥구조의 충격음레벨 계산방법에 관한 연구를 실시하였다. 이후 Shi 등[8]은 실제발생충격음(Walking, Running, Jumping)과 모래주머니, 모래공, 타이어, 태핑머신을 이용하여 충격음의 주파수 특성을 비교한 결과 특정 높이에서의 모래공의 낙하가 실제발생 충격음의 주파수 특성과 가장 유사한 것으로 결론지었다. 또한 Stewart 등[9]의 연구에서는 바닥충격음의 예측방법으로 SEA(Statistical Energy Analysis)법을 활용하여 바닥충격음의 실측치와 비교하였다. 최근 캐나다 NRC (National Research Council of Canada)의 Warnock [10]의 연구결과에 의하면 구미의 경우 실제 발생충격음의 라우드니스는 경량충격음과 유사한 것으로 발표하였다.

일본에서는 1965년 "주택건설계획법"이 제정, 공포되었고, 1973년 "바닥충격음 측정방법(JIS A 1418)"이 마련되었다. 이후, 일본의 실정에 맞게 독자적으로 개발된 중량충격음(타이어)에 대한 측정방법이 추가되었고, 이를 토대로 한 차음성능 개선방안인 "뜬 구조용 록울 완충재(JIS A 9321)"등 차음재료와 건축물의 차음성능 기준과 설계지침이 마련되었다. 일본

주택공단에서는 1970년 초에 공동주택의 내부소음 기준설정 및 방지대책 등에 관한 실태조사를 실시하였으며, 바닥충격음 방지를 위하여 Yago 와 Inoue [11]에 의해 실험연구가 진행되었다. 1980년대 중반에는 유한요소법, 모우드해석법, 임피던스법을 이용하여 바닥충격음 예측을 위한 연구가 활발하게 이루어졌다. 최근 Tachibana 등[12]은 바닥충격음의 저음부를 주요 소음 대상으로 한 청감실험에서 정확한 소음의 평가방법으로 Zwicker의 Loudness, 옥타브대역의 주파수대역 산술평균값을 제안하였다.

일본에서 바닥충격음 측정에 경량충격원(Tapping Machine)과 중량충격원(Bang Machine 또는 Tire)이 사용되어 왔으나, 최근 바닥충격음 측정 및 평가방법에 대한 개정을 통하여 고무공이 제2의 중량충격원으로 제안되었다. Tachibana [3]의 연구결과 고무공이 여러 바닥구조에서 실제 발생 충격음과 주파수 특성이 유사하게 나타났으며, 또한 바닥충격음 성능 평가는 주택 품질확보 촉진법에서 바닥충격음 성능을 5개 등급(Fukusima 등, [6])으로 정하고 있다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 음원의 녹음 및 측정

본 연구를 위한 바닥충격음의 측정 및 녹음은 철근콘크리트구조의 아파트(4개 침실) 10개 세대를 대상으로 하였다. 이때 현장 조건으로는 마감시공이 완료된 입주 직전의 상황으로 벽지 마감되었고, 거실 및 방에 대한 바닥마감재 시공이 완료된 상태였다. 10개 세대의 구성은 기존의 바닥구조를 유지한 기준세대(1세대)와 바닥충격음 저감성능 측정을 위해 조건을 달리하여 시공된 (9세대)세대에서 실시하였다. 기준세대의 바닥구조는 Fig. 1과 같이 바닥으로부터 밀로 마감재 + 바닥몰탈(50) + 경량기포콘크리트(80) + 철근콘크리트 슬래브(150) + 공기층(250) + 석고보드(10)로 구성되었다.

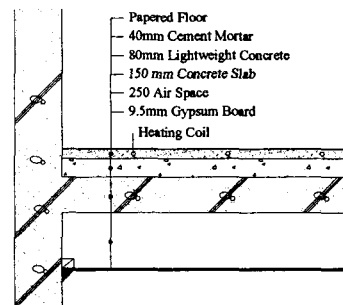


Fig. 1 A detailed section of an apartment floor

바닥충격음 측정 기준은 JIS A 1418에 규정된 방법을 적용하였다. 또한 JIS A 1418-2, 2000에 새롭게 규정된 바닥충격음 측정용 고무공을 적용하여 실시하였다. 충격원은 5개지 점에서 가진하였고, 중앙지점에서 수음하였다.

청감실험을 위한 음원의 녹음은 바이노럴 더미헤드(B&K 4100)를 사용하였다. 청감실험 및 심리음향학적 분석을 위해서 ISO 140-7:1998 의 Tapping Machine, JIS A 1418-2의 타이어(뽕 머신) 및 JIS A 1418-2:2000의 고무공과 더불어 실제 주거 시에 발생하는 충격원(Jumping)을 재현하여 녹음하였다. Jumping 소음은 국내 공동주택에서 성인의 보행 및 아이들의 놀이 상황에서 가장 빈번히 발생하는 음원으로 충격량이 큰 성인(20대 중반, 65-70kg)을 대상으로 제자리에서 뛰는 상황을 재현하였다. 위의 10개 세대에서 각각의 바닥충격음원을 대상으로 JIS A 1419에 규정되어 있는 바닥충격음 분석방법에 따라 실제 발생 바닥충격음과 태핑머신, 뽕머신 그리고 고무 볼의 주파수 특성의 평균값을 비교하여 Fig. 2에 나타내었다.

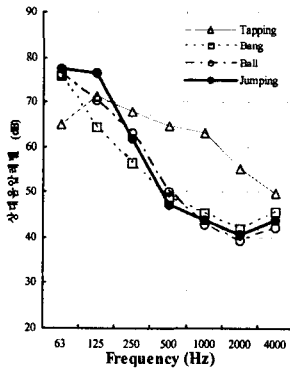


Fig. 2 Floor impact noise from different impact devices

그림 2에서와 같이 실제 발생충격음(jumping)의 주파수 대역별 최대음압레벨 특성은 뽕머신과 고무공의 주파수 특성과 유사하였으며, 특히 고무공의 주파수 특성과 더 유사한 것으로 나타났다.

## 2. 2 청감실험 장비

청감실험을 위한 음원 제시는 먼저 Electrostatic Headphone (Senheiser HD-600)을 통하여 바이노럴로 재생하고, loudspeaker (Bose-101)를 이용하여 모노럴로 재생하였다. 두 실험 모두 25dBa 정도의 배경

소음을 갖고있는 실험용 부스(2.1m×2.6m×2.0m, 잔향시간:0.2초)를 통해 진행되었다. 주관적 반응의 기록 및 음원제시를 위해 MEDS (Musical Experiment Development System) 프로그램을 활용하였으며, Korg 1212-I/O sound card가 설치된 컴퓨터 및 Crown CE-100 power amplifier를 사용하여 음원을 제시하였다.

## 2.3 청감실험계획

물리적 분석과 심리음향학적 파라미터의 차이점에 대한 주관적 평가를 위해서 일대일비교(Pair comparison) 방법이 사용되었다. Fig. 3에서 보는 바와 같은 기준세대 구조에서의 소음원이 기준음원(S)으로써 사용되었고, 9개의 비교음원(C)은 바닥충격음 저감을 위한 구조에서 녹음된 바닥충격음원으로부터 얻어졌다. 피험자에게 제시된 충격음의 레벨은 실제현장에서와 동일한 음압레벨로 제시하였다. 1:1 비교의 목적은 바닥충격음레벨 감소에 대한 심리 음향적 반응을 확인하기 위함이다. 세 가지 음원(Tapping, Bang and Ball)에 대하여, S-C, C-S를 각각 두 번씩 반복하는 방식으로 9개의 비교 바닥들과 비교하여 총 108개의 비교 음원이 제시되었다. Fig. 3(a)와 3(b)에서처럼, 각각의 비교에는 음을 두씩씩 제시하였다.

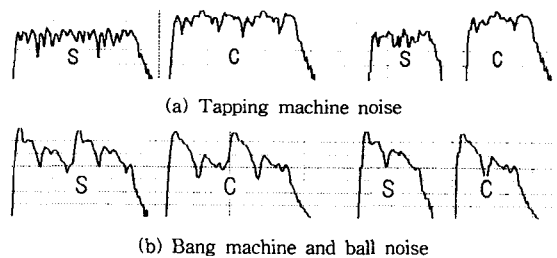


Fig. 3 Pair structures of noises for auditory experiments

첫 번째 쌍은 0.5초의 ISI(inter-stimulus interval)를 갖는 1.6초의 자극이 제시되었으며, 1초의 간격을 둔 후에 제시된 두 번째 쌍(각 0.8초)은 실험대상들의 판단 확인을 위한 것이다. 그림 3(b)에 따르면, 중량 충격음의 경우 처음 쌍에는 두개의 반복되는 소음이 제시되었고, 두 번째 쌍에서는 단일 소음이 제시되었다.

라우드니스 평가는 5점 척도로 반응하도록 설정되었다(-1, -0.5, 0, +0.5, +1). 피험자들은 첫 번째 음원이 많이 큰가(>>), 조금 큰가(>), 두 음원의 크기가

같은가(=), 혹은 두 번째 음원이 조금 큰가(<), 혹은 많이 큰가에 대하여 답변하였다. 음원은 기준음원과 비교음원의 순서를 바꾸어 실험하고, 제시순서는 불규칙하게 제시되었다. 평가는 약 15분간 진행되었고, 대략 5분에서 10분간의 휴식 후에 두 번째 실험이 다시 15분간 진행되었다. 각각의 실험이 시작되기 전에, 실험자들은 실험 전에 반응방법을 연습하도록 하였고 음원의 라우드니스에 반응하도록 통제하였다.

## 2.4 실험대상자

청감실험을 위한 총 대상자는 모노럴과 바이노럴 실험에 각각 30명이었다. 피험자의 연령 분포는 24세부터 41세(평균연령 27세)까지의 대학생(학부생과 대학원생)과 연구원들이었고, 27명의 남성과 3명의 여성으로 구성되었다. 실험자의 과반수는 유사한 청감실험 경험이 있었으며, 총 실험대상자의 절반은 공동주택 거주 경험이 있었다.

## 3. 심리음향학적 평가

충격음간의 ACF/IACF요소와 Zwicker 파라미터간에 상관관계를 조사하기 위하여 충격음의 심리음향학적 파라미터를 분석하였다.

### 3.1 ACF/IACF 요소

심리음향학적 분석을 위해 사용된 ACF/IACF 파라미터는 일본 고베대학의 Ando [1]에 의해 제안된 파라미터로서 총 8개로 구성된다. 파라미터별 정의는 Table 1과 같다.

바닥충격음의 주관적 반응과 ACF/IACF 분석에 대한 이전[15]의 연구결과에 의하면 바닥충격음의 주관적 반응은  $\phi(0)$ 와 IACC와 관련이 있는 것으로 나타났다. 이를 바탕으로 실제발생 충격음(Jumping)과 태핑머신, 뱅머신, 고무공의 3가지 충격음원에 대하여 기준세대의 충격음에 대하여 ACF/IACF를 분석하여 그림 4에 나타내었다.

Table 1 Description of ACF/IACF Factors

파라메타	내 용
$\phi_0$	초기시간에 존재하는 에너지
$\phi_1$	최초 피크치의 진폭 (피치의 세기)
SPL	음원의 시간별 음압을 나타냄
$\tau_e$	ACF상에서 10dB감쇠시 소요시간
$\tau_1$	최초 피크치의 지연시간
$W_{IACC}$ , IACC, $\tau$ IACC	음원의 방향성과 공간감

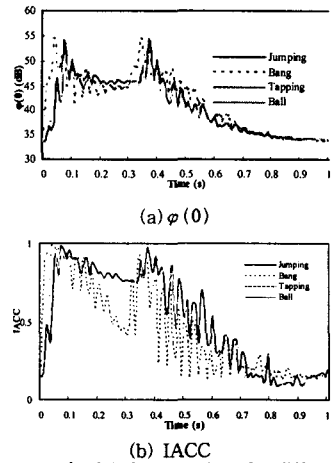


Fig. 4 Measures of related parameters for different impactors

Fig. 4(a)에서는 중량충격음과 고무공충격음 모두 Jumping 소음과 비교하여  $\phi(0)$ 변화가 유사함을 알 수 있다. 또한 Fig. 4(b)와 같이 중량충격음은 IACC가 급격하게 변화함을 알 수 있다. 소음의 공간적 영향은 라우드니스와 노이지니스의 지각에 관한 영향요인으로써 이전[15]에 논의되었다. 본 실험에서는 표준 충격음원들이 상호 유사한 충격음압레벨을 보였으나, 공간감의 영향이 중량충격음이나 경량충격음에 모두 일치하지 않는 것으로 나타났다. 또한 충격음원들과 Jumping 소음의  $\phi(0)$  및 IACC의 사이의 관계를 분석하여 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5는 중량충격음( $\phi(0)$   $r=0.88$ ,  $p<0.01$ ; IACC  $r=0.82$ ,  $p<0.01$ )과 고무공충격음( $\phi(0)$   $r=0.91$ ,  $p<0.01$ ; IACC  $r=0.943$ ,  $p<0.01$ )이 Jumping 소음과 유사한 것으로 나타났다. 결과적으로, 고무공충격음은 세 가지의 표준 충격음원들 중에서 실제 충격소음인 Jumping과 가장 유사한 것으로 평가된다.

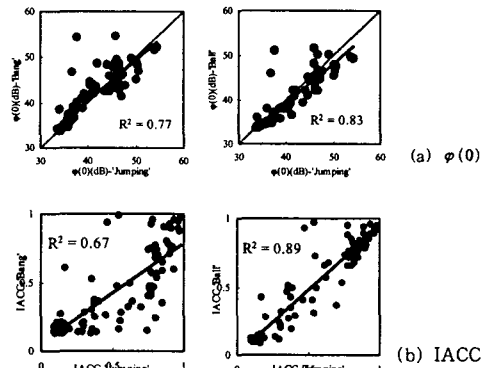


Fig. 5 Relation of different impactors

### 3.2 Zwicker 파라메타

Sound Quality의 평가와 인간의 주관적 소리 인지를 고려하여 정의된 Zwicker 파라미터들은 주파수요소와 시간요소에 의한 마스킹 효과를 적용한 것으로 등청감 곡선을 반영한다. 본 연구에서는 Table 2의 6개의 파라메타를 적용하였다.

Table 2 Description of Zwicker parameters

파라메타 [단위]	내 용
Loudness [sone]	사람이 인지하는 소리에너지 크기
Sharpness [acum]	소리의 날카로운 정도
Fluctuation Strength [vacil]	20Hz 이하의 변조주파수를 가진 음의 주기적 변동의 지각 정도
Unbiased Annoyance [au]	소리의 불쾌한 정도 (Loudness 10%, Sharpness, Fluctuation Strength의 결합)
Tonality [tu]	스펙트럼에서 음색 성분
Roughness[Asper]	20Hz~300Hz Envelope에 의한 소리의 거칠게 들리는 정도

상관관계 분석을 통하여 상관성이 높은 파라메타들을 Table 3에 나타내었다. Table 3에서와 같이 증량충격원과 고무공에 의하여 발생된 바닥충격음에 대한 Loudness와 Unbiased Annoyance가 Jumping 소음과 상관관계가 높게 나타났다.

Table 3 Correlation coefficient in Zwicker parameters

	Loudness				Unbiased Annoyance			
	Jumping	Bang	Tapping	Ball	Jumping	Bang	Tapping	Ball
Jumping	1.00				1.00			
Bang	0.93	1.00			0.70	1.00		
Tapping	0.81	0.83	1.00		0.63	0.48	1.00	
Ball	0.84	0.81	0.86	1.00	0.74	0.46	0.85	1.00

### 4. 물리적 평가와 청감평가와의 비교

청감실험을 통하여 도출된 바닥충격음의 주관적 반응과 물리적 요소와 심리음향학적 요소들간의 상관관계를 분석하여 바닥충격음의 주관적 반응과 상관관계가 높은 물리적 심리음향학적 요소들을 도출하였다. Fig. 6은 상관관계 분석을 통하여 상관계수가 높게 나타난 5개 물리적, 심리음향학적 요소들과 주관적 반응의 관계를 나타낸 것이다.

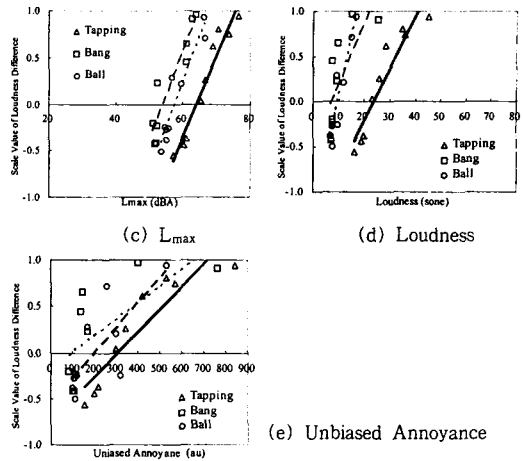
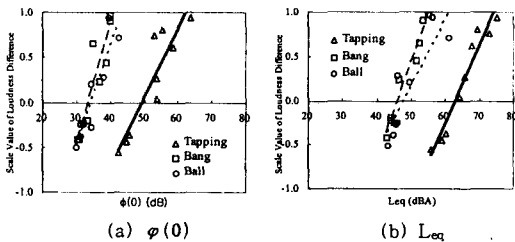


Fig. 6. 10 Subjective evaluations of floor impact noises in relation to objective parameters

Fig. 6(a)은 주관적 반응과  $\phi(0)$ 간의 관계로, 바닥충격음에 대한 실험대상자들의 평가가  $\phi(0)$ 와 높은 상관관계를 갖는다는 것을 나타낸다. 각각의 스케일 값들의 상관계수는 경량충격음은 0.90( $p < 0.01$ ), 증량충격음은 0.92( $p < 0.01$ ) 그리고 고무공충격음은 0.93( $p < 0.01$ )이었다. Fig. 6(b)는 주관적 반응과  $L_{eq}$ 사이의 관계로서 경량충격음의 상관계수는 0.96( $p < 0.01$ )이고, 증량충격음은 0.98( $p < 0.01$ ), 고무공충격음은 0.89( $p < 0.01$ )이다. Fig. 6(c)는 주관적 반응과  $L_{max}$ 와의 관계를 보여준다. 경량충격음의 상관관계는 0.96( $p < 0.01$ ), 증량충격음은 0.94( $p < 0.01$ ) 그리고 고무공충격음은 0.94( $p < 0.01$ )이다.  $\phi(0)$ ,  $L_{eq}$ ,  $L_{max}$ 의 세 가지 요소들은 모두 바닥충격음에 대한 라우드니스 평가값과 높은 상관관계를 가지고 있다.

Zwicker 파라미터의 경우, 바닥충격음의 Loudness와 Unbiased Annoyance는 바닥충격음의 라우드니스 평가값과 높은 관련성이 있다. Fig. 6(d)와 (e)는 Loudness, Unbiased Annoyance와 주관적 평가사이의 관계를 나타낸다. 라우드니스에 대한 스케일 값의 상관계수는 경량충격음의 경우 0.94( $p < 0.01$ ), 증량충격음의 경우 0.74( $p < 0.01$ ) 그리고 고무공충격음의 경우 0.94( $p < 0.01$ )이다. Unbiased Annoyance에 대한 상관계수는 경량충격음은 0.92( $p < 0.01$ ), 증량충격음은 0.72( $p < 0.01$ ) 그리고 고무공충격음은 0.76( $p < 0.01$ )이다. 이를 통해 Loudness와 Unbiased Annoyance가 바닥충격음의 주관적 평가치와 높은 상관관계가 있음을 나타낸다. 특히 경량충격음과의 매우 높은 상관계수 값을 통하여 Zwicker 파라메타는 간헐소음인 증량충격음보다는 연속소음인 경량충격음에 대하여 사람

의 주관적 반응을 잘 대변하는 것으로 나타났다.

경량충격음 청감실험 결과와 ACF요소간에는  $\varphi(0)$   $r_e$  그리고  $r_1$ 과 관계가 높은 것으로 나타났다. 반면에, 간헐적 소음인 중량충격음(중량충격원 또는 고무공)의 경우 오직  $\varphi(0)$ 만이 라우드니스의 지각과 관련이 있는 것으로 나타났다.

## 5. 결 론

각기 다른 구조의 10개 슬래브에서 녹음된 실제발생 충격음(Jumping)과 경량충격음, 중량충격음 그리고 고무공 충격음의 주파수 특성을 분석하여 각 음원의 최대음압레벨 주파수 특성을 비교한 결과 실제발생 음원(Jumping)은 중량충격음(중량충격원, 고무공)과 유사한 특성을 나타냈으며, 특히 고무공과 더욱 유사한 주파수 특성을 나타냈다.

10개의 각기 다른 바닥구조에서 ACF/IACF 요소의 시간변화에 따른 상관관계 분석을 실시한 결과 ACF 요소인  $\varphi(0)$ 와 IACF요소인 IACC 사이의 상관관계가 간헐소음인 중량충격음(중량충격원, 고무공)에서 매우 높게 나타났으며 특히 고무공음원에서 상관관계가 더욱 확연하게 나타났다. 연속소음인 경량충격음의 경우  $\varphi(0)$ 와  $\varphi_1$ 과의 상관관계가 매우 높게 나타났다가 이를 통하여 간헐소음인 중량충격음의  $\varphi(0)$ 변화는 IACC(공간 정보의 변화)관련이 있으며, 연속소음의  $\varphi(0)$ 변화는  $\varphi_1$ (주파수 정보의 변화)과 관련이 있는 것을 알 수 있다.

세 가지 소음원에 대한 라우드니스 지각과 물리적, 심리음향학적 요소들 사이의 관계를 분석한 결과  $\varphi(0)$ ,  $L_{eq}$ ,  $L_{max}$ , 그리고 Zwicker의 Loudness 와 Unbiased Annoyance에 영향을 받는다는 사실을 보여주었다. 이들 가운데 특히  $\varphi(0)$ 와 IACC는 중량충격음과 높은 상관관계를 나타냈다. 따라서, 중량충격음의 라우드니스는 소음의 음압레벨과 공간적 정보에 따라 재현되는 것으로 사료된다. 태평머신에 의하여 지속적으로 발생된 경량충격음의 라우드니스평가는 Zwicker의 Loudness,  $\varphi(0)$ 와  $r_e$  그리고  $r_1$ 에 영향을 받는 것으로 나타났다.

위의 결과를 통하여 경량충격음의 라우드니스 평가는 시간에 대한 음압레벨의 변화에 의하여 인지됨을 알 수 있고, 중량충격음의 라우드니스 평가는 ACF/IACF요소와 Loudness에 의하여 표현되는 것이 가능하고, 경량충격음은 ACF 요소들과 Loudness 그리고 Unbiased Annoyance에 의하여 표현된다.

## 참 고 문 헌

- (1) Y. ANDO, and S. SATO and H. SAKAI 1999 in Fundamental Subjective Attributes of Sound Fields Based on the Model of Auditory-Brain System( J. J. Sendra, editor), 63-99. Southampton: WIT Press. Computational acoustics in Architecture.
- (2) E. ZWICKER, and H. FASTL 1999 Psycho-acoustics: Facts and Models, . Berlin: Springer-Verlag.
- (3) H. TACHIBANA, H. TANAKA, M. YASUOKA, and S. KIMURA 1998 Inter-noise 98, Development of New Heavy and Soft Impact Source for the Assessment of Floor Impact Sound of Building.
- (4) B.G. WATTERS 1965 Journal of the Acoustical Society of America 37, 619-630. Impact-Noise Characteristics of Female Hard-Heeled Foot Traffic.
- (5) D. OLYNYK and T.D. NORTHWOOD 1965 Journal of the Acoustical Society of America 37, 1035-1039. Subjective Judgments of Footstep-Noise Transmission through Floors.
- (6) V.E BELMONDO, T.B. HEEBINK and F.H. GRITTAIN 1973 Journal of the Acoustical Society of America 54, 1433-1441. Ranking the Impact Transmission of Wood-Framed Floor-Ceiling Assemblies.
- (7) L.V. ISTVAN 1971 Journal of the Acoustical Society of America 50, 1043-1050. Impact Noise Isolation of Composite Floors.
- (8) W. SHI, C. JOHANSSON and U. SUNDBACK 1997. Applied Acoustics 51, 85-108. An Investigation of the Characteristics of Impact Sound Sources for Impact Insulation Measurement.
- (9) M.A. STEWART and R.J.M. CRAIK 2000 Applied Acoustics 59, 353-372. Impact Sound Transmission through Floating Floor on a Concrete Slab.
- (10) A. WARNOCK 2000. Proceedings of Noise-Control Engineering Journal 2000, 2611. Low-Frequency Impact Sound Rating of Floor Systems.
- (11) S. YAGO, K. INOUE 1983 Journal of the Acoustical Society of Japan 332, 83-93. An Experimental Study on the Vibration Characteristics of Floor Impact Noise.
- (12) H. TACHIBANA, H. YANO and Y. SONODA 1990 Applied Acoustics 31, 173-184. Subjective Assessment of Indoor Noises- Basic Experiments with Artificial Sounds.
- (13) H. FUKUSIMA, A. HATTORI, J. YOSIMURA, K. INOUE and M. YASUOKA 2000 Proceeding of Journal of the Acoustical Society of Japan 753-754. Introduction to Sound Insulation Regulations in the Japanese New Law Concerning the Labeling System and the System for Quality Securing about Newly-built House, -Part:2-.
- (14) Y. ANDO 2001 Journal of sound and Vibration 241, 3-18. A Theory of Primary Sensations and Spatial Sensations Measuring Environmental Noise.
- (15) J. Y. JEON 2001 Journal of sound and Vibration 241, 147-155. Subjective Evaluation of Floor Impact Noise Based on the Model of ACF/IACF.