

Cross-matching과 AAS에 의한 바닥충격음 평가기술에 관한 연구

A study on the evaluation technique of floor impact noises using Cross-matching and AAS

정 영* 김 정 미** 전 진 용***
Young - Jeong Jeong - Mi Kim Jin - Yong Jeon

ABSTRACT

A series of preliminary experiments were carried out to quantify the annoyance and noisiness caused by floor impact noise. From the results of the experiments, the heavy impact source was found to be felt louder and noisier than the light impact source.

Measurements of noise were also conducted by a diagnostic system based on the model(the model consists of the autocorrelators and the cross-correlation for signals arriving at two ear entrants)of the human auditory-brain system. Physical factors in the model were calculated by use of the ACF(autocorrelation function) and IACF(interaural cross correlation function) of binaural signals. From the ACF/IACF analysis, it was found that perceived loudness of floor impact noise could be represented by the factors of the ACF/IACF model.

1. 서론

공동주택 주거환경의 질을 손상시키는 주요한 요인 중의 하나인 바닥충격음에 대해 소음평가와 더불어 실제적인 조절대책을 수립하기 위해서는 소음으로 인해 사용자가 느끼게 되는 Annoyance를 정량화하고 청감영향요소를 평가하는 작업이 필요하다고 사료된다.

본 연구에서는 이와 같은 배경에서 공동주택 바닥충격음의 크기와 충격원의 특성이 피험자가 느끼는 Loudness와 Noisiness에 어떠한 영향을 미치는지 분석하기 위하여 현장에서 녹음한 바닥충격

음원과 Pink noise로 비교 청감실험⁽¹⁾⁽²⁾을 실시하고, 충격음의 지각 차이를 분석하기 위하여 인간의 청각 시스템 Model을 기본으로 한 측정/분석 시스템⁽³⁾을 사용하였다.

이 Model의 물리적 변수들은 Binaural 신호의 ACF(autocorrelation function)와 IACF(interaural cross correlation function)를 기본 개념으로 하고 있다.

2. 주관적 반응의 평가

2.1 청감실험의 개요

본 실험에 사용된 음원은 각기 다른 3가지 유형의 완충재를 D사 아파트 현장에 시공 후, 거주자들의 입주를 위한 마무리 공사가 완료된 상황에서

* (주)한진중공업 건설기술연구소

** 한양대학교 대학원 건축공학과 석사과정

*** 한양대학교 건축공학부 조교수

완충제를 사용하지 않은 바닥을 포함하여 4가지 유형의 바닥 구조체를 대상으로 하부층의 바닥충격음을 녹음한 것이다.

내부 환경은 실제 거주에 가까운 조건을 형성하기 위하여 실내에 폴리우레탄을 설치한 후 잔향시간이 0.4초가 되도록 조절하였다.

실험에 사용된 충격원은 중량충격원(Bang machine)과 경량충격원(Tapping machine)으로, 지향성 마이크로폰을 이용하여 바닥에서 1.3m 높이에서 녹음하였다. (KS F 2810)

DAT로 녹음된 음원들은 컴퓨터에서 편집되어 하드디스크에 웨이브 파일 형태로 저장되었으며, 비교음원으로 사용된 Pink noise와 바닥충격음은 길이가 5초로 조절되었다.

바닥충격음(중량/경량충격음)은 실제레벨 부터 -3dB 간격으로 12dB까지 청취레벨이 조절되었으며, 동시에 45dB에서 65dB까지 1dB간격으로 청취레벨이 조절된 Pink noise가 비교음원으로 사용되었다.

본 실험의 피험자는 정상의 청감을 가진 3명의 남자와 9명의 여자로 구성되었고, 평균연령은 27세(24세~40세)이다. 각각의 음원은 헤드폰을 통해 제시되었으며, 피험자의 평가는 모니터상의 응답 key를 선택하는 방법으로 이뤄졌다.

2.2 실험방법

본 연구에서는 서로 다른 4개의 바닥 구조체를 대상으로 현장에서 녹음한 중량충격음 및 경량충격음에 대하여 피험자들이 Loudness 와 noisiness의 두가지 평가방법을 이용하여 측정·평가하게 하였다.

- Matching : 실제현장 측정 음압의 중량충격음(51dB~52dB) 또는 경량충격음(60dB~65dB)을 5초간 들려주고 크기가 다른 30개의 pink noise중 하나를 임의로 선택하여 듣고 난 후 제시했던 noise와 loudness가 같거나 noisiness가 같다고 생각되는 것을 선택하여 대응하게 하였다.

- Cross-matching : matching과는 역으로 pink noise를 5초간 제시한 후, 크기를 다르게 한 bang noise 혹은 tapping noise를 임의로 선택하여 듣고, 크기가 같거나 시끄럽기가 같다고 생각되는 소음

을 대응하게 하였다

2.3 실험결과

Matching의 방법으로 51.3~52.2dB의 Bang noise를 들려주고, Loudness와 noisiness측면에서 동일한 크기를 갖는다고 판단되는 pink noise를 선택하게 한 결과, pink noise가 평균 54.1~54.7dB로 2.5~3.1dB 높게 평가되었으며, Cross-matching에서는 평균 4.9~5.5dB 정도 낮은 Bang noise를 선택하였다.(Table 1. 참조)

Tapping noise 또한 Loudness와 noisiness 측면에서 Bang noise와 동일한 실험 방법에 따라 평가한 결과, Matching에서 평균 3.0~4.1dB 낮게 평가되었으며, cross-matching에서는 1.3~1.7dB 높은 Tapping noise를 선택하였다.(Table 2. 참조)

실험에 적용된 Bang noise와 Tapping noise의 청취레벨이 다르므로 직접적으로 비교할 수 없으나 청취레벨이 같은 조건을 이루는 56dB영역에서 Loudness와 noisiness에 대한 평가결과를 살펴보면 동일한 레벨인 경우, Bang noise이 Tapping noise보다 더 크고 시끄럽게 느껴지고 있음을 알 수 있었으며, 경량충격음의 경우, 정상소음⁽⁴⁾과 비교하여 3dB정도 과소평가 되었다.

pink noise에 대하여 중량 및 경량충격음을 선택한 Cross-matching 방법의 Loudness와 noisiness를 나타낸 Fig 1, 2.의 결과, matching방법의 결과와 같이 중량충격음이 경량충격음보다 더 크고 시끄럽게 느껴지는 것으로 평가되었다.

Table 1. Results of matching and cross-matching (Bang noise) (dB)

slab	Loudness			difference
	matching		cross-matching	
	bang	pink	bang	
1	51.3	53.9	49.2	-2.1
2	52.2	54.8	49.9	-2.3
3	51.6	51.6	47.4	-4.2
4	51.2	56.1	50.3	-0.9
avg	51.6	54.1	49.2	-2.4

Noisiness				
slab	matching		cross-matching	difference
	bang	pink	bang	
1	51.3	54.4	49.0	-2.3
2	52.2	54.6	49.4	-2.8
3	51.6	53.2	47.9	-3.7
4	51.2	56.7	50.6	-0.6
avg	51.6	54.7	49.2	-2.4

Table 2. Results of matching and cross-matching (Tapping noise) (dB)

Loudness				
slab	matching		cross-matching	difference
	tapping	pink	tapping	
1	65.1	65.0	63.4	-1.7
2	62.6	59.3	60.9	-1.7
3	61.8	56.8	59.5	-2.3
4	59.7	56.1	58.5	-1.2
avg	62.3	59.3	60.6	-1.7

Noisiness				
slab	matching		cross-matching	difference
	tapping	pink	tapping	
1	65.1	60.4	61.3	-3.8
2	62.6	58.8	60.2	-2.4
3	61.8	57.3	59.2	-2.6
4	59.7	56.4	58.9	-0.8
avg	62.3	58.2	59.9	-2.4

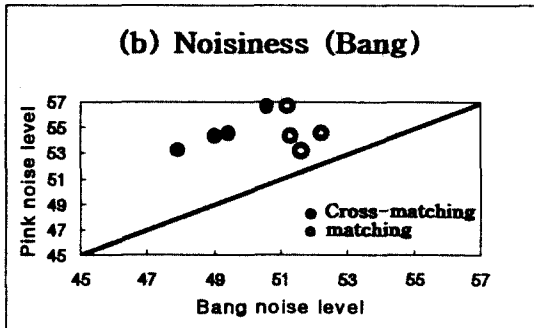
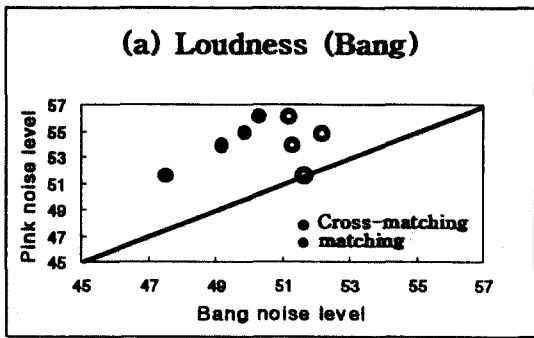


Fig 1. Cross-matching and Matching (Bang)

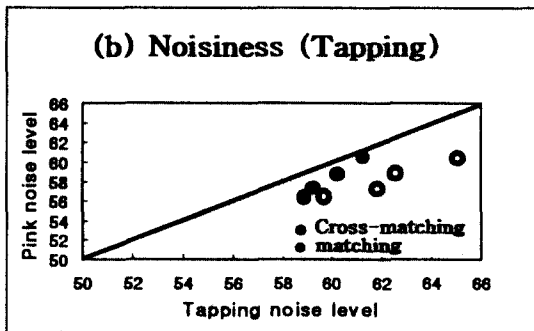
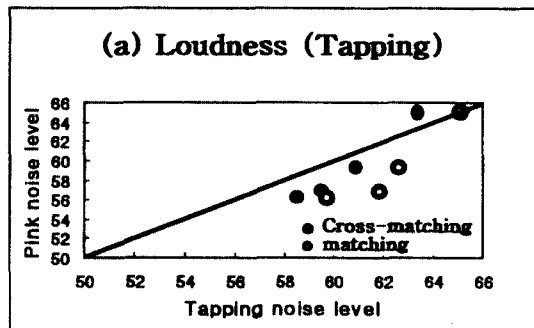


Fig 2. Cross-matching and Matching (Tapping)

3. ACF(autocorrelation function)/ IACF(interaural cross correlation function) MODEL

인간의 청각 시스템 Model을 기본 알고리즘으로 한 측정 시스템⁶⁾을 활용하여, Model의 물리적 파라메타들은 Binaural 신호의 ACF(autocorrelation function)와 IACF(interaural cross correlation function)에 의하여 측정하였다.

ACF/IACF 변수의 평균값과 각각 4개의 슬래브 구조체로부터 얻은 충격소음 레벨을 Table 3.에 나타내었다.

Table 3. 에서 보여주고 있는 각 변수의 결과에

대한 시스템의 측정조건은 Integration interval 10 Oms, Running step 10ms, Max Dealy time 100ms 이다.

ACF의 $10\log_{10} \phi(0)$, τ_e , τ_1 , ϕ_1 와 IACF의 IACC, τ_{IACC} , W_{IACC} , SPL값은 충격음압레벨이 가장 높은 SPL값을 기록하는 1초 동안 측정되었으며, IACC는 두 청각에 도달하는 신호의 충격음원 특성(충격력)이 클 때 값이 크게 나타났다.

이 모델의 물리적 특성치 중 $\phi(0)$ 는 오른쪽(또는 왼쪽)ACF로부터 얻은 monoaural factor이며, SPL은 오른쪽 $\phi(0)$ 와 왼쪽 $\phi(0)$ 의 기하학적 평균에 의해 얻어진 값이다. 충격소음 레벨의 ACF/IACF Model에서 계산된 특정변수들과 측정 음압들 간의 높은 상관관계는 Table 4, 5에 나타나고 있다.

Table 3. Averaged results of tested ACF/IACF factors obtained from the impact noise on four slab structures

	Slab	$10\log_{10} \phi(0)$	τ_e	τ_1	ϕ_1	SPL	IACC	τ_{IACC}	W_{IACC}	Leq	Lmax
Bang	1	53.4	-64.6	1.6	0.08	53.9	0.60	-0.01	0.07	46.2	51.3
	2	55.8	-21.5	2.6	0.11	55.5	0.66	0.00	0.11	47.5	54.8
	3	51.6	-103.6	1.3	0.05	51.6	0.52	0.01	0.05	46.2	51.6
	4	54.4	-22.3	1.7	0.10	54.5	0.65	0.00	0.06	46.4	56.1
	Average	53.8	-53.0	1.8	0.90	53.9	0.61	0.00	0.08	46.6	51.7
Tapping	1	63.7	17.7	2.3	0.09	64.0	0.25	0.18	0.31	64.1	65.1
	2	61.7	38.7	1.6	0.12	61.8	0.45	0.04	0.53	61.0	62.6
	3	58.9	23.9	4.6	0.20	59.8	0.50	-0.08	0.55	60.2	61.8
	4	58.6	20.5	4.0	0.15	58.7	0.57	-0.02	0.46	58.3	59.7
	Average	60.7	25.2	3.1	0.14	61.1	0.44	-0.03	0.46	60.9	62.3

Table 4. Correlation coefficients among factors calculated in the ACF/IACF model and the noise levels generated by the bang machine

	$10\log_{10} \phi(0)$	τ_e	τ_1	ϕ_1	SPL	IACC	τ_{IACC}	W_{IACC}	Leq	Lmax	Pink
$10\log_{10} \phi(0)$	1.00										
τ_e	0.95	1.00									
τ_1	0.90	0.73	1.00								
ϕ_1	0.99	0.98	0.85	1.00							
SPL	0.99	0.95	0.84	0.98	1.00						
IACC	0.97	0.99	0.76	0.97	0.99	1.00					
τ_{IACC}	-0.72	-0.31	-0.21	-0.23	-0.42	-0.43	1.00				
W_{IACC}	0.85	0.66	0.99	0.80	0.80	0.70	0.01	1.00			
Leq	0.82	0.64	0.97	0.78	0.73	0.64	0.21	0.97	1.00		
Lmax	0.44	0.20	0.78	0.38	0.33	0.20	0.48	0.83	0.88	1.00	
Pink	0.82	0.95	0.49	0.87	0.86	0.93	-0.46	0.40	0.37	-0.13	1.00

Table 5. Correlation coefficients among factors calculated in the ACF/IACF model and the noise levels generated by the tapping machine

	$10\log_{10} \phi(0)$	τ_e	τ_1	ϕ_1	SPL	IACC	τ_{IACC}	W_{IACC}	Leq	Lmax	Pink
$10\log_{10} \phi(0)$	1.00										
τ_e	0.05	1.00									
τ_1	-0.83	-0.53	1.00								
ϕ_1	-0.88	-0.06	0.86	1.00							
SPL	0.99	0.03	-0.76	-0.80	1.00						
IACC	-0.94	0.24	0.59	0.74	-0.96	1.00					
τ_{IACC}	0.94	-0.19	-0.73	-0.94	0.90	-0.91	1.00				
W_{IACC}	-0.68	0.66	0.29	0.71	-0.64	0.78	-0.86	1.00			
Leq	0.93	-0.14	-0.59	-0.67	0.97	-0.99	0.85	-0.67	1.00		
Lmax	0.93	-0.07	-0.61	-0.64	0.97	-0.97	0.82	-0.60	0.99	1.00	
Pink	0.96	-0.22	-0.65	-0.81	0.97	-0.99	0.96	-0.81	0.97	0.94	1.00

Table 4, 5.에서와 같이 τ_e 와 $\phi(0)$ 는 각각 중량 및 경량충격음의 pink noise matching 레벨에서 가장 상관관계가 높은 것으로 나타났으며, IACC값은 두 소음원 핑크노이즈 matching과 모두 상관관계가 높은 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 공동주택에서의 대표적 소음원인 바닥충격음의 분석 및 조절대책을 위하여 정상소음과 동적특성이 다른 바닥충격음의 annoyance를 정량화 하는 청감실험을 위하여 Cross-matching과 Matching을 이용한 결과, 충격원의 특성이 거주자가 느끼는 loudness와 noisiness에 영향을 주는 요소로 분석되었으며, 중량충격음이 경량충격음보다 5.5~7.1dB정도 더 크고 시끄럽게 느끼지는 것으로 평가되었다.

ACF/IACF Model의 factor간 상관 관계에서는 τ_e , IACC값이 Bang noise로부터 지각된 noise level과 크게 관계되는 것으로 분석되었다.

Tapping noise는 $\phi(0)$ 와 상관관계가 높으며, pink noise에 대한 matching값은 실제 측정 level (Leq, Lmax)과 높은 상관관계를 보였다.

짧은 시간에 소음의 피크가 반복되는 Tapping noise에서는 음원이 확산되었으며, Bang noise가 지각되는 음원의 크기와 시끄러움은 IACF Model

에 의한 noise의 피크 방향성에 의해 분석할 수 있었다.

참 고 문 헌

- (1) Berglund, B., Berglund, U., and Lindvall, T. "Measurement and control of annoyance, in Environment annoyance" (characterization, measurement, and control) Amsterdam : Elsevier, 1987, pp. 29~44.
- (2) Berglund, B., et al., "Scaling loudness, noisiness, and annoyance of aircraft noise," J. Acoust. Soc. Am., 57, 1975, pp. 930~934.
- (3) Ando, Y., "Aechitectural Acoustics - Blending sources, sound fields, and listeners," New York, AIP Press., 1998.
- (4) Kuwano, S., Namba, S., and Nakajima, Y. "On the noisiness of steady state and intermittent noises," J. Sound and Vib., 72(1), 1980, pp. 87~96.
- (5) Ando, Y., Sato, S., Sakai, H., "Fundamental subjective attributes of sound fields based on the model of auditory-brain system (Sendra, j. j. ed.)," WIT Press., 1999, pp. 63~99.