

# 바닥충격음의 주관적 평가에 관한 연구

## A Study on the Subjective Evaluation of Floor Impact Noises

전진용\*, 정대업\*, 조문재\*\*, 은희준\*\*

(Jin Yong Jeon\*, Dae Up Jeong\*, Moon Jae Jho\*\*, Hee Joon Eun\*\*)

※ 본 논문은 한국표준과학연구소의 1999년 감성공학국제 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

### 요약

소음으로 인해 사용자가 느끼게 되는 어노이언스를 정량화하여 표현하고 평가하는 작업은 경제적이고 효율적이며 사용자 중심의 소음조절대책의 수립을 위하여 필수적이다. 바닥충격음의 경우, 정상소음과는 그 동적특성이 달라서 이와 같은 정량화 작업에 있어서 세심한 주의를 요한다. 본 연구에서는, 바닥충격음으로 인해 야기되는 어노이언스의 정량화를 위하여 일련의 청감실험이 시행되었다. 실험결과, 바닥구조체의 특성보다는 충격원의 특성이 사용자가 느끼는 라우드니스와 시끄러움에 보다 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 중량충격음이 경량충격음보다 5-6dB 정도 더 크고 시끄럽게 느끼는 것으로 분석되었다.

### ABSTRACT

It is necessary to express and evaluate annoyances, caused by noises, as a comparable quantity for establishing an efficient, economic and user-oriented noise control plan. In particular, cares should be taken for impact noises, since their dynamic properties are different from those of steady-state noises. A series of preliminary experiments were carried out to quantify the annoyances caused by floor impact noises. Results suggests that the characteristics of an impact source was more important factor than the properties of a floor structure for determining loudness and noisiness of subjects. Also, the heavy impact source was found to be felt louder and noisier by 5-6dB than the light impact source.

### I. 서론

외국에서는 새로운 표준충격원(중량) [1] 과 바닥감재가 개발(보행감의 평가)되고, 충격음의 저감기법으로 대형 슬래브공법에서의 중량충격음 저감기법, 목조주택에서의 바닥구조 개선 사례 [2,3] 등이 있으며, 예측기법으로 임피던스법, SEA (Statistical Energy Analysis)법 [4] 등이 개발되었다. 국내에서는 바닥충격음에 대한 차음성능 기준에 관한 연구, 충격음 저감을 위한 완충재 개발, 바닥충격음의 전달특성 평가 등 많은 연구를 시행 해왔으나 아직도 많은 연구가 필요한 실정이다. 특히 현재 국내에서 사용하고 있는 바닥충격음의 평가곡선은 국내 거주환경과 거주자들의 감성특성을 고려하지 못하고 있는 것이 사실이다. 본 연구는 이와 같은 배경에서 아파트의 바닥구조체를 대상으로 하여 청감실험을 통하여 바닥충격음으로 인한 사용자의 감성적 반응을 측정하고 분석함으로써 보다 국내실정에 적합한 주관적 평가의 기초자료를 제공하고자 한다.

### II. 소음에 대한 주관적 반응의 정량화

각종 소음이 인간에게 미치는 영향에 대한 평가는 물리적, 생리적(physiological) 그리고 심리적 영향을 규명하는데 중점을 두고, 소음이라는 물리적 자극(dose)과 이에 대한 인간의 반응(response)을 측정함으로써 소음의 영향정도를 평가하는 것이다 [5]. 이를 위해서는 소음의 물리적 양을 측정하고 해당 물리량으로 인해 인간에게 나타나는 주관적 반응을 객관적으로 정량화 함으로써 개인간 또는 음원간의 직접적인 비교가 가능토록 하는 과정이 요구된다. 소음으로 인해 야기되는 주관적 반응을 정량화하여 평가하는 방법론으로서 심리측정학적 방법들(Psychometric methods)과 심리물리학적 방법(Psychophysical methods)들이 사용되어 왔다.

주로 많이 사용되어 온 심리측정학적 방법으로는 평정척도(Categorical scale)와 의미분별척도(Semantic Differential), 그리고 조합비교법(Paired comparison) 등이 있다. 평정척도를 활용한 연구 [6]에서는 소음을 피험자에게 들려주고 이에 대한 주관적 느낌을 제공된 카테고리(category)를 이용하여 표현하는 것이다. 일반적으로 각 카테고리에는 서열척도(ordinal scale)가 사용되며 감각의 크기나 심리적 특성의

\* 한양대학교 건축공학과

\*\* 한국표준과학연구원 음향진동그룹

접수일자: 1999년 9월 29일

증가 또는 감소의 순으로 5개 내지 7개의 스케일이 제공된다. 반면, Thurston의 비교 판단의 법칙(Law of comparative judgement)[7,8]을 근간으로 하는, 조합비교법에서는 각기 다른 두개의 음원을 쌍을 지어 무작위로 피험자에게 들려 주고, 평가가 요구되는 심리적 특성에 준하여, 감각의 양이 큰 음원을 선택하도록 요구한다. 이를 통하여 각 음원에 대하여 선택된 빈도수가 결정되고 구해진 빈도수는 정규 분포 곡선상에 표시되어 z 스케일 (z-scale)로 변환됨으로써, 이를 토대로 음원들 간의 심리적 거리가 결정된다.

심리물리학적 방법으로서 the method of magnitude estimation, the method of adjustment 등이 많이 사용되어 왔다. Berglund [9,10]은 어노이언스 측정결과에서 나타나는 극심한 개인차를 보정하여 감각적 반응의 스케일을 선형화 하는 한 방법으로써 보정등급을 활용하는 Master scaling 방법을 제시한 바 있다. 이 방법에서는 피험자로 하여금, 음압레벨을 달리한 참고음(핑크노이즈)의 라우드니스를 Magnitude estimation 방법을 통하여 평가하도록 요구한다. 그런 다음, 기울기와 y 절편 측면에서 Master function과 개인의 함수(라우드니스 대 음압레벨) 사이의 편차를 개개인의 어노이언스 판단의 보정자료로서 활용한다. Berglund 와 그의 동료들은 전선소음(power line noise)에 대한 실험실연구를 통하여 음압레벨과 라우드니스간의 상관관계가 이러한 보정을 통하여 극적으로 증가됨을 보여준 바 있다. 이외에 소음이 개인의 활동이나 행위에 미치는 영향을 직접적으로 측정하는 방법으로서 관찰이나 응답시간을 측정하는 방법이 사용된다. Kuwano 등 [11]은 정상소음(steady-state noise)과 비정상소음(intermittent noise)이 시끄러움에 미치는 영향을 측정하기 위하여 Magnitude estimation 방법을 사용하였다. Yoshida [12]는 낮은 레벨의 소음이 반응시간 및 숫자 셈하기 등의 임무에 미치는 영향을 직접 측정할 바 있다.

III. 청감 실험 개요

3.1. 음원

청감실험에 사용된 음원들은 각기 다른 4가지 유형의 바닥 구조체를 대상으로 하여 녹취되었다 (표 1). 이를 위하여 각기 다른 3가지 유형의 완충재를 상계동의 D아파트 현장에 시공하였으며, 실험용 음원의 녹취는 거주자들의 입주할 위한 마무리 공사가 완료된 상황에서 야간에 이루어졌다. 또한 실제 거주환경에 가까운 청취조건을 형성하기 위하여 실내에 폴리우레탄을 설치하여, 음원실 (4.2m×4.3m)과 수음실 (4.2m×4.3m)의 잔향시간이 0.4초가 되도록 조절하였다 (그림 1). 실험에 사용된 충격원은 중량충격원(Bang machine)과 경량충격원(Tapping machine)으로서, 음원은 주침실의 중앙에서 가진하고, 직하실의 중앙지점에서 지향성 마이크를 이용하여 바닥에서 1.3m 높이에서 녹음하였다. 사용된 실험기기는 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 (PCD-D10, SONY),  
 Directional microphones(1/2 inch)

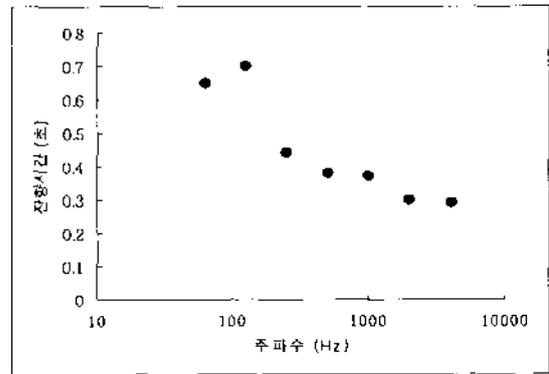


그림 1. 수음실 및 음원실의 잔향시간 (수음실과 음원실의 잔향 시간은 동일하도록 조절되었음)

Fig. 1. Measured reverberation time in the receiving and source room (equal).

디지털 오디오 테이프에 녹음된 음원들은 컴퓨터에서 편집 되어 하드디스크에 웨이브 파일 형태로 저장되었다. 비교음원으로 사용된 핑크노이즈와 바닥충격음은 그 길이가 5초로 조절되었다. 또한 바닥충격음 (중량 및 경량)은 -3dB/A 간격으로 12dB까지 청취레벨이 조절되었으며, 45dB에서 65dB까지 1dB 간격으로 청취레벨이 조절된 핑크노이즈 (-3dB/oct)가 비교음원으로 사용되었다.

표 1. 실험에 사용된 바닥구조체

Table. 1. Concrete structure used in the experiments.

구조체별	구조체의 구성	진체두께(mm)
구조 A	슬래브135 + 경량기포 콘크리트60 + 마감물달50	245
구조 B	슬래브135+경량기포 콘크리트60+ 타이어칩6 +마감물달44	245
구조 C	슬래브135 + 경량기포 콘크리트60 + 폴리올레핀8 + 마감물달42	245
구조 D	슬래브135+경량기포 콘크리트60+ 고무스폰지8 +마감물달42	245

3.2. 피험자 및 실험방법

본 실험에는 20명의 남녀 대학생들이 피험자로서 참여하였다. 참여 피험자들의 연령은 21세에서 31세 사이로서, 남자는 11명 그리고 여자는 9명이었다. 참여자들은 모두 청력과 관련한 질환을 경험한 바가 없는 것으로 파악되었다.

실험은 총 4개의 블록으로 구성되었으며 (블록 1: 라우드

니스 대응, 블록 2 : 라우드니스 평가, 블록3 : 시끄러움 대응, 블록 4 : 시끄러움 평가), 각 피험자가 전체의 실험을 마치는 데는 평균 1시간 15분 정도 소요되었다. 피험자들은 각각 조용한 실에 앉혀 졌으며 컴퓨터 모니터와 키보드가 제공되었다(암소음레벨 35dBA 미만). 각 피험자는 헤드폰을 통하여 컴퓨터 하드디스크에 저장된 음원을 듣고 컴퓨터 키보드를 이용하여 응답하였다. 블록 1과 3에서, 피험자의 임부는 본인이 들은 바닥충격음과 그 라우드니스 또는 시끄러움이 동일하다고 판단되는 핑크노이즈를 선택하여 대응시키는 것이며, 블록 2와 4에서는 바닥충격음의 소리의 크기 (또는 시끄러움) 정도를 컴퓨터 모니터상에 제공된 표시창의 슬라이더를 활용하여 표현하는 것이었다 (그림 2 참조).

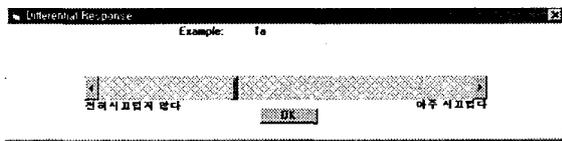


그림 2. 라우드니스 및 시끄러움의 평가에 사용된 피험자용 응답창  
Fig. 2. Subjects' response window for the judgements on loudness and noisiness.

IV. 결과 및 토의

본 연구에서는 각기 그 구성이 다른 4개의 바닥 구조체를 대상으로 하여 현장에서 녹음한 중량 및 경량충격음의 음압레벨을 변수로 하여 이에 따른 청취자들의 라우드니스 (loudness)와 시끄러움(noisiness)을 두 가지의 평가방법을 이용하여 측정·평가하였다. 첫 번째 평가에서, 피험자들은 헤드폰을 통해서 들은 중·경량 충격음에 대해서 라우드니스 (또는 시끄러움) 측면에서 동일한 크기를 갖는다고 판단 되는 핑크노이즈를 선택하여 대응시키는 것이었다. 두 번째 평가에서는 무작위로 헤드폰을 통해 재생되는 바닥충격음들을 듣고, 이에 대해 피험자용 응답창을 이용하여 라우드니스와 시끄러움의 정도를 표현하도록 피험자들에게 요구되었다.

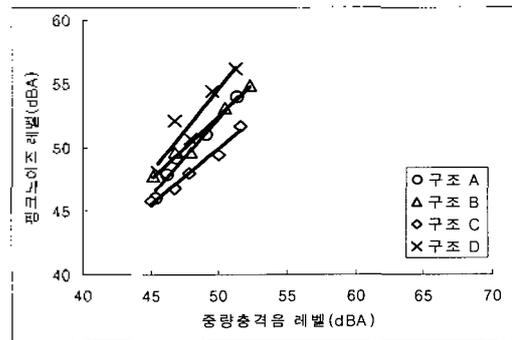
그림 3과 4는 각 구조체 별로 측정된 중량 및 경량충격음에 대한 라우드니스와 시끄러움 측면에서의 핑크노이즈의 대응결과를 나타낸 것이다. 라우드니스 측면에서, 중량충격음에 대해서는 각 구조체 별로 상당한 차이를 나타내고 있으나, 경량충격음에 대해서는 구조체의 종류에 따른 차이가 거의 발견되지 않았다. 이와 동일한 특성은 시끄러움 측면에서 시행된 핑크노이즈 대응 실험에서도 발견되고 있다. 또한 피험자들에 의해서 평가된 라우드니스와 시끄러움은, 피어슨의 상관관계분석에 의하여, 아주 높은 상관관계를 갖는 것으로 분석되었다 (pearson's  $r = 0.916$ ,  $P < 0.01$ ).

그림 7은 소음의 크기 및 시끄러움에 대한 Magnitude 평가 결과를 도표로 나타낸 것이다. 실험에 적용된 중량 충격음과 경량충격음의 청취레벨이 다르기 때문에 직접적인 비교는 불가능하다. 그러나 청취레벨이 같은 조건을

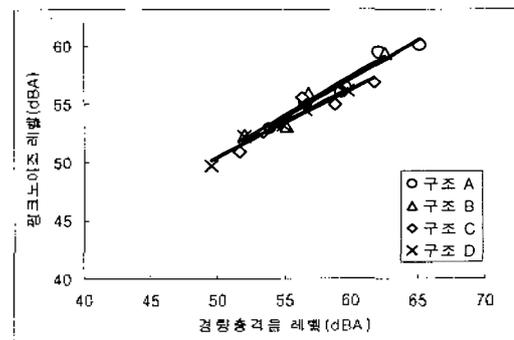
이루는 50-55dB영역에서의 소리의 크기 및 시끄러움에 대한 평가결과를 살펴보면 같은 레벨인 경우 중량충격음이 경량충격음보다 더 크고 시끄럽게 느낀다는 것을 유추할 수 있다. 표 2 및 3은 각 구조체별로 라우드니스와 시끄러움을 핑크노이즈로 대응한 결과와 선형회귀분석을 통해서 얻은 예상 대응치를 비교한 것이다. 표 1에서 중량 충격음의 경우 평균 2.3~2.5dB정도 높은 레벨의 핑크노이즈를 이용하여 라우드니스를 표현하고 있으며, 경량충격음에 대해서는 평균 3~3.3dB정도 낮은 레벨의 핑크노이즈를 이용하여 표현하고 있다. 이와 같은 경향은 시끄러움에 대해 실시한 실험결과 및 회귀분석에 의한 예측치에서도 나타나고 있다. Kuwano 등(1980)은 정상소음 (steady-state noise)과 간헐소음(intermittent noise)으로 인한 시끄러움(noisiness)에 대한 연구를 통하여, 정상소음으로 인한 시끄러움은 전체에너지레벨에 비례하며, 간헐소음은 다음과 같은 관계를 갖는다는 연구결과를 발표하여 간헐소음과 정상소음간의 상관관계를 설명한 바 있다.

$$LN = \text{평균에너지레벨} + 10\log N \text{ (dBA)}$$

여기서, N: 간헐소음의 발생 빈도수



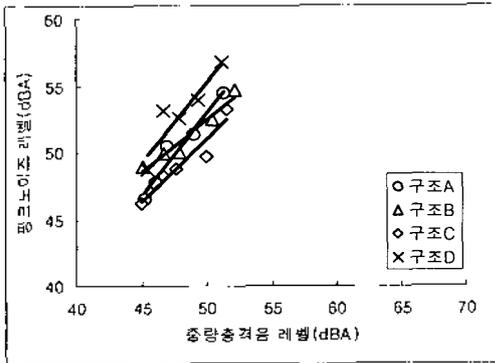
(가) 중량충격음



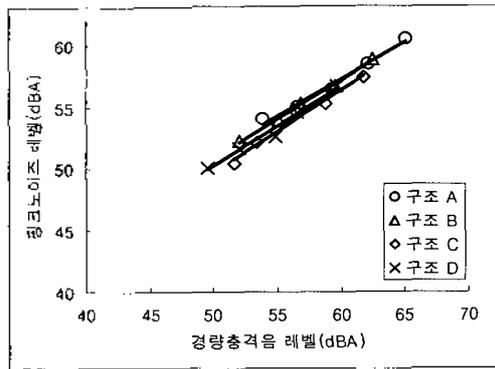
(나) 경량충격음

그림 3. 구조체에 따른 라우드니스 대응실험결과  
Fig. 3. Loudness levels of impact noises matched with pink noise in different structures.

본 연구에서 사용한 중량충격음의 경우, 5초이내에 3개의 충격음이 포함되어 3dB 정도의 상승효과를 유발하게 되며, 핑크노이즈를 이용한 대응실험에서도 이와 같은 결과가 확인되었다. 그러나 경량충격음의 경우, 오히려 정상소음에 비하여 평균 4dB 정도 과소평가되어 이와 같은 관계가 성립하지 않는 것으로 나타났다.

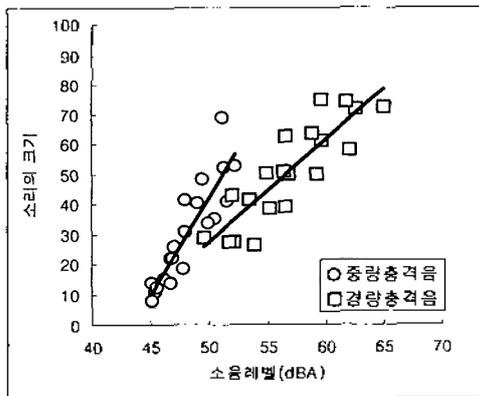


(가) 중량충격음

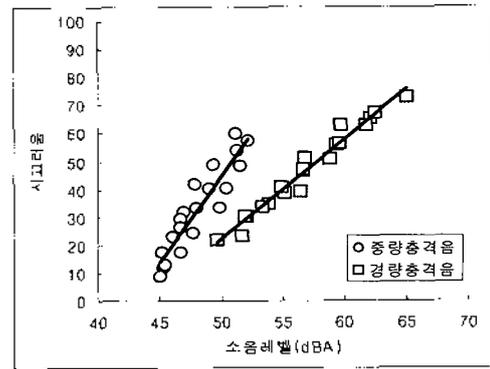


(나) 경량충격음

그림 4. 구조체에 따른 노이지니스 대응실험결과  
Fig. 4. Noisiness levels of impact noises matched with pint noises in different structures.



(가) 소음의 크기



(나) 소음의 시끄러움

그림 5. 소음의 크기 및 시끄러움에 대한 Magnitude 평가  
Fig. 5. Magnitude estimation of loudness and noisiness of noises.

표 2. 라우드니스 대응실험결과와 선형회귀분석에 의한 예측치  
Table 2. Results of loudness matching with prediction of regression analysis.

구조	중량충격음 (dB(A))		회귀식 예측치 (dB(A))		경량충격음 (dB(A))		회귀식 예측치 (dB(A))	
	중량 레벨	핑크 노이즈	중량 레벨	핑크 노이즈	경량 레벨	핑크 노이즈	경량 레벨	핑크 노이즈
A	51.3	53.9	50.0	52.3	65.1	65.0	60.0	57.0
B	52.2	54.8	50.0	52.5	62.6	59.3	60.0	57.5
C	51.6	51.6	50.0	49.9	61.8	56.8	60.0	56.1
D	51.2	56.1	50.0	54.6	59.7	56.1	60.0	56.4
평균	51.6	54.1	50.0	52.3	62.3	59.3	60.0	56.7
편차	+2.5		+2.3		-3.0		-3.3	

표 3. 시끄러움 대응실험결과와 선형회귀분석에 의한 예측치  
Fig. 3. Result of noisiness matching with prediction of regression analysis.

구조	중량충격음 (dB(A))		회귀식 예측치 (dB(A))		경량충격음 (dB(A))		회귀식 예측치 (dB(A))	
	중량 레벨	핑크 노이즈	중량 레벨	핑크 노이즈	경량 레벨	핑크 노이즈	경량 레벨	핑크 노이즈
A	51.3	54.4	50.0	52.9	65.1	60.4	60.0	57.2
B	52.2	54.6	50.0	52.4	62.6	58.8	60.0	57.1
C	51.6	53.2	50.0	50.9	61.8	57.3	60.0	56.3
D	51.2	56.7	50.0	55.1	59.7	56.4	60.0	56.6
평균	51.6	54.7	50.0	52.8	62.3	58.2	60.0	56.8
편차	+3.1		+2.8		-4.1		-3.2	

V. 결론

거주자가 만족할 수 있는 정온한 음환경의 조성을 위해서는 거주자 개개인이 느끼는 감각을 정량화 하는 작업이 선행되어야 한다. 특히, 소음으로 인해 사용자가 느끼게 되는 어노이언스를 정량화 하여 표현할 수 있다면, 경제

적이고 효율적이며 사용자 중심의 소음조절대책을 수립할 수 있다. 본 연구는 이와 같은 연구의 한 단계로서 바닥충격으로 인해 유발되는 라우드니스와 시끄러움을, 충격음 레벨과 바닥구조체의 종류를 변수로 하여, 검토하였으며, 현장에서 녹음한 경·중량 바닥충격음을 이용한 일련의 청감실험이 시행되었다.

실험결과, 바닥구조체의 특성보다는 충격원의 특성이 사용자가 느끼는 라우드니스와 시끄러움에 보다 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 중량충격음이 경량충격음보다 5-6dB 정도 더 크고 시끄럽게 느끼는 것으로 분석되었다.

### 참 고 문 헌

1. Tachibana, H., et al., "Development of new heavy and soft impact source for the assessment of floor impact sound insulation of buildings," Proceedings of Inter-Noise 98, 1998.
2. Inoue, K., Kimura, S., Hiramitsu, A., Yago, S., and Watanabe, H. "Sensation evaluation test of residential floors in terms of walking feeling," J.Archit.Plann.Environ.Eng., 504, pp.9-16, 1998.
3. Shuzo Sueyoshi and Yoshifumi Miyazaki, "Physiological and psychological responses to light floor-impact sounds generated by a tapping machine in a wooden house, Mokuzai Gakkushi, 41(3), pp.293-300, 1995.
4. Lyon, R.H. *Statistical energy analysis of dynamical systems*, MIT Press, 1975.
5. Job, R.F.S. Community response to noise: a review of factors influencing the relationship between noise exposure and reaction, J.Acoust.Soc.Am., 83, pp.991-1001, 1988.
6. 장길수, 청감실험에 의한 공동주택 바닥충격음 차음성능 평가 방법 연구, 전남대학교 박사학위 논문, 1991.8.
7. Thurston, L.L. "A law of comparative judgment," Psychological Review, 34, pp.273-286, 1927.
8. Togerson, W.S. *Theory and methods of scaling*, John Wiley & Sons Inc., New York, 1962.
9. Berglund, B., Berglund, U., and Lindvall, T. "Measurement and control of annoyance, in Environmental annoyance" : characterization, measurement, and control) Koelega, H.S. ed.), pp.29-44, Amsterdam: Elsevier, 1987.
10. Berglund, B., et al., "Scaling loudness, noisiness, and annoyance of aircraft noise," J.Acoust.Soc.Am., 57, pp.930-934, 1975.
11. Kuwano, S., Namba, S., and Nakajima, Y. "On the noisiness of steady state and intermittent noises," J.Sound and Vib., 72(1), pp.87-96, 1980.
12. Ycsida, T., "Effects of low or moderate noise on performance," J.Sound and Vib., 151(3), pp.429-436, 1991.

#### ▲전 진 용(Jeon Jin-Yong)

현재 : 한양대학교 건축공학부 조교수

#### ▲정 대 업(Jeong Dae-Up)



1987년 : 연세대학교 건축공학과 공학사

1989년 : 연세대학교 건축공학과 공학 석사

1998년 : The University of Sydney, PhD.

1999년 5월~현재 : 한양대학교 건축 공학부 연구원

※ 주관심분야 : 건축음향, 음향심리, 음악음향

#### ▲조 문 재(Jho Moon-Jae)

현재 : 한국표준과학연구원 책임연구원

#### ▲은 희 준(Eun Hee-Joon)

현재 : 한국표준과학연구원 책임연구원