

# 슬랫천장이 소규모실의 음향에 미치는 영향

## The effect of a slat ceiling on the acoustics of a small performance space

오예담,<sup>1</sup> 이효진,<sup>1</sup> 정대업<sup>†</sup>

(Yedam Oh,<sup>1</sup> Hyojin Lee,<sup>1</sup> and Daeup Jeong<sup>1†</sup>)

<sup>1</sup>전북대학교 건축공학과

(Received July 19, 2018; accepted September 17, 2018)

**초 록:** 최근 슬랫형 천장은 음악전용공연장인 음악당에서부터 공항대합실을 포함한 다양한 규모와 용도의 건물에서 그 적용범위가 확대되고 있다. 그러나 이와 같은 구조의 활용에 따른 공간의 실내음향에 미치는 영향에 관한 연구가 거의 없어 공간의 계획 시 활용·가능한 자료가 거의 없다. 본 연구에서는 1/20 축소모형실험을 통하여 shoe-box 형태의 소규모 공연장에서 슬랫형 천장의 적용이 객석의 음향에 미치는 영향을 측정·분석하였다. 실험은 슬랫의 간격 및 설치높이 변화의 조합에 따른 6가지 설치조건들을 대상으로 하였으며, 잔향시간( $T_{30}$ ), 명료도( $D_{50}$  및  $C_{80}$ ), 그리고 음의 세기( $G$  및  $G_{80}$ ) 측면에서 그 영향을 분석하였다.

**핵심용어:** 슬랫천장, 잔향시간, 언어명료도, 음악명료도, 음의 세기, 소규모 연주공간

**ABSTRACT:** Recently a slat type ceiling is widely used in various spaces, such as music performance spaces and concourse of airport and a general reception area of a building. However, it is hard to find a proper design guideline or material useful in designing such spaces, due to the lack of relevant researches on the effect of a slat ceiling on room acoustics. The present work investigated the effect of a slat type ceiling using a physical scale model method. A 1/20 scale model of a small shoe-box type music performance hall was built and a slat ceiling with different configurations was installed. 6 cases of different ceiling configurations were considered with the combination of 2 slat ceiling height cases and 3 distance cases between slats. The effect of a slat ceiling on the acoustics of a room was evaluated by measuring reverberance( $T_{30}$ ), intelligibility and clarity( $D_{50}$  and  $C_{80}$ ), and loudness( $G$  and  $G_{80}$ ).

**Keywords:** Slat ceiling, Reverberation time, Definition, Clarity, Loudness, Small performance space

**PACS numbers:** 43.55.Fw, 43.55.Hy

### 1. 서 론

최근 건립된 인천공항 제 2청사의 대합실(Fig. 1)에서 볼 수 있듯이 슬랫천장(slat ceiling)은 인테리어 측면에서의 간편함과 간결하고 입체적인 미적 특성 등으로 인해 음악공연장(Fig. 2)을 포함한 대공간 및 다양한 용도의 소규모 공간에서의 활용빈도가 증가하고 있다.

슬랫천장은 슬랫스타일 천장(slat style ceiling), 선

형(linear) 또는 그릴(grill) 천장 등의 명칭으로 불리우며 목재나 알루미늄재질의 슬랫패널 등의 판상재를 이용하여 천장을 구성한다. 일반적으로는 슬랫의 배후에 흡음재를 설치하여 실의 흡음률을 조절하는 목적의 흡음구조로써 상용화되어 판매되고 있으며,<sup>[1]</sup> 천장뿐만 아니라 벽체에도 적용되고 있다. 그러나 이와 같이 잔향조절의 목적을 갖는 흡음구조로써 적용되는 경우를 제외하고는 슬랫구조와 천장슬래브 사이에 공기층을 둔 상태의 활용이 보다 일반적이거나 이와 같은 경우, 슬랫천장의 사용이 해당공간의 음향에 미치는 영향은 거의 알려져 있지 않아 실제 설

<sup>†</sup>Corresponding author: Daeup Jeong (daepj@jbnu.ac.kr)  
Department Architectural Engineering, Chonbuk National University,  
567 Baekje-daero, Deokjin-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do, 54896,  
Republic of Korea

(Tel: 82-63-270-2278, Fax: 82-63-270-2285)

“이 논문은 2018년 한국음향학회 춘계학술대회에서 발표하였던 논문임”



Fig. 1. The slat structure used on the ceiling of the second terminal of the Incheon international airport.



Fig. 2. An example of slat ceiling used in a concert hall (William M. Lowman Concert Hall, California, USA).<sup>[2]</sup>

계과정에서 활용·가능한 자료가 거의 없는 형편이다.

이와 같은 배경에서 본 연구에서는 흡음재와 결합된 흡음구조가 아닌 천장슬래브와의 사이에 공기층을 갖는 천장마감재로써의 선형 슬랫구조를 대상으로 하였으며, 슬랫의 간격 및 슬랫천장면의 설치높이 변화가 슬랫하부 공간의 음향에 미치는 영향을 모형실험을 통하여 측정·분석하였다. 대상공간은 슈박스 형태(shoe-box type)의 소규모 공연장으로써 1/20 축소모형실험을 활용하였다.

## II. 모형실험개요

본 연구에서는 슈박스 형태의 소규모 공연장(실물척도,  $L \times W \times H = 14 \text{ m} \times 8 \text{ m} \times 10.9 \text{ m}$ )에서 슬랫천장의 적용이 객석의 음향에 미치는 영향을 1/20 축소 모형실험을 통하여 측정·분석하였다. 대상공간모형(Fig. 3)은 두께 20 mm의 아크릴로 제작하였으며, 무대의 측벽 및 천장은 두께 10 mm의 포맥스를 사용하였고, 객석바닥면에는 두께 1 mm의 펠트를 적용



Fig. 3. The interior view of the scale model room with a slat ceiling.

Table 1. The distance between slats and the height of a slat ceiling considered in the present work.

	Cases	1/20 scale (mm)	1/1 scale (m)
Distance between slats	Narrow	13	0.26
	Middle	28	0.56
	Wide	43	0.86
Height of slat ceilings	High	447.5	8.95
	Low	356	7.12

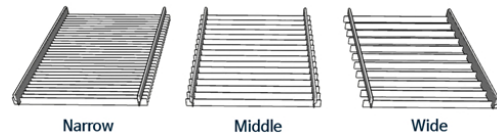


Fig. 4. Three cases of the distance between slats were considered in this work(narrow, middle, and wide).

하였다. 장방향실의 특성상 대향벽면에 의해 발생·가능한 플러터 에코(flutter echo) 등의 음향적 결함을 방지하기 위해 측벽에는 1차원 확산체(10 mm × 10 mm)를 설치하였다. 슬랫은 객석천장 전면에 적용하였으며, 길이 380 mm, 폭 24 mm, 그리고 두께 2 mm의 포맥스를 사용하였다.

실험은 슬랫의 간격 변화(0.26 m, 0.56 m, 그리고 0.86 m) 및 슬랫천장면의 설치높이 변화(객석바닥면으로부터 8.95 m 및 7.12 m)의 조합에 따른 6가지 설치조건들을 대상으로 하였다(Table 1 및 Fig. 4). 슬랫의 간격변화는 Fig. 5에 나타난 바와 같이 슬랫간의 틈새를 통해 직접음이 투과되는 경로 및 정도를 고려하여 3가지 경우를 선정하였다(Narrow: 회절 및 반사에 의한 투과, Wide: 직접투과, 그리고 Middle: 직접투과 및 회절과 반사를 통한 투과). 슬랫천장에 의한

실의 음향성능 변화는 잔향시간( $T_{30}$ ), 명료도( $D_{50}$  및  $C_{80}$ ), 그리고 음의 세기( $G$  및  $G_{80}$ ) 측면에서 그 영향을 측정·분석하였다.

축소모형실험의 특성상 불가피하게 발생하는 공기흡음의 영향을 최소화하기 위하여 질소를 충전한 상태(모형내 상대습도 4% 유지)에서 실험이 진행되었다.<sup>[3]</sup> 좌우대칭인 실의 형상을 고려하여 음원은 무

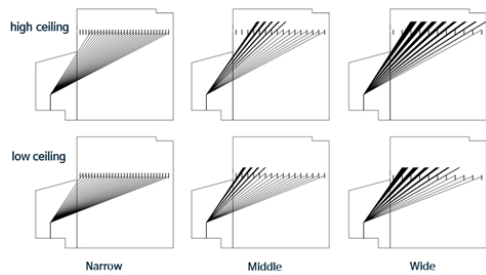


Fig. 5. Three cases of the distance between slats were considered in this work (narrow, middle, and wide).

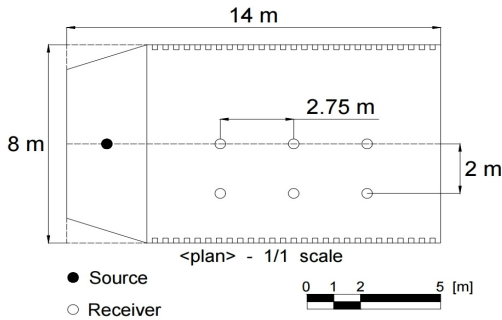


Fig. 6. A source and six equally distributed receiver positions on the left side of audience area were selected in a scale model room.

Table 2. The equipment used in the scale model measurement.

Equipment	Model	Manufacturer
Dodecahedron loudspeaker	Lab made	CNU AALAB
1/8" random type mic.	Type 40DP	G.R.A.S
Dirac 6.0	Type 7841	B&K
Power amplifier	PM-11S1	Marantz
Conditioning amplifier	Type 2690	B&K
A/D board	Lynx Two	Lynx Studio Technology Inc.
Nitrogen generator	CN-M15-04	CELLFA
Thermo-hydrometer	M170	VAISALA

대중앙 1 개소 그리고 객석 내 6 개 수음점들(Fig. 6)을 대상으로 ISO<sup>[4]</sup>에 준하여 실시하였다. 모형실험에 사용된 주요장비들은 Table 2와 같다.

### III. 실험결과 및 토의

Fig. 7은 슬랫천장이 설치되지 않은 공실상태의 대상실에서 측정된 잔향시간을 나타낸 것이다. 별도의 저음흡음구조를 사용하지 않은 상태에서 측정된 잔향시간으로써 125 Hz 및 250 Hz에서의 잔향시간이 매우 길게 측정되었으나, 본 연구의 목적이 슬랫천장의 적용에 따른 실의 음향변화를 평가하는 것이므로 별도의 저주파 흡음재 추가없이 실험을 진행하였다. 슬랫천장의 설치조건 변화에 따른 각 파라메타 값별로 나타나는 차이의 유의성은 Table 3의 ISO 제안치<sup>[4]</sup>를 사용하여 평가하였다.

Fig. 8은 슬랫천장의 간격 및 설치높이 변화에 따른 6개 대상지점에서 잔향시간 측정결과를 1/1옥타

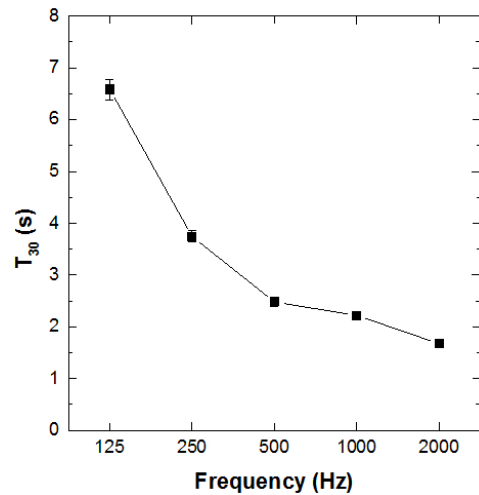


Fig. 7.  $T_{30}$  measured in an empty scale model room (room average  $T_{30} \pm$  standard deviation).

Table 3. Just noticeable differences for acoustic quantities in ISO 3382-1.

Acoustic quantities	JND	Typical range
$T_{30}$ , EDT	5 %	1.0 s ~ 3.0 s
$D_{50}$	0.05 (5 %)	0.3 ~ 0.7 (30% ~ 70%)
$C_{80}$	1 dB	-5 ~ 5 dB
G	1 dB	-2 ~ 10 dB

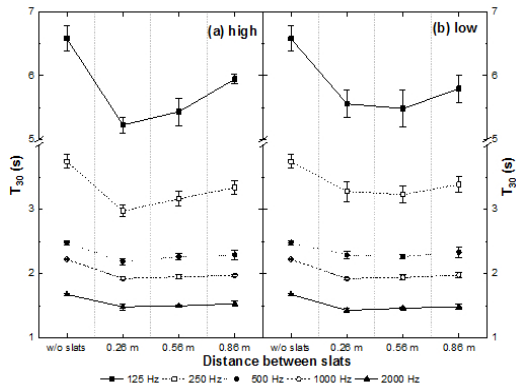


Fig. 8. Comparison of the  $T_{30}$  as a function of the distance between slats for each ceiling height (room average  $T_{30} \pm$  standard deviation).

브랜드의 중심주파수별로 나타낸 것이다. 측정 시 충분한 INR(Impulse response to Noise Ratio)의 확보가 어려운 4 kHz 대역에서의 측정결과는 분석대상에서 제외하였다.

분석결과, 슬랫천장의 설치 시 잔향시간( $T_{30}$ )은 설치하지 않은 경우에 비해 모든 주파수 대역에서 유의적으로 감소하는 것으로 나타났으며, 감소폭은 저주파수 대역일수록 크게 나타났다(≈ 2 JND). 반면, 슬랫이 설치된 상태에서 슬랫의 간격변화에 따른 실의 잔향시간은 간격이 좁을수록 잔향시간의 감소폭이 크며 슬랫간격이 대상음 파장의 1/4보다 작은 250 Hz 이하의 저주파수 대역에서의 감소폭이 상대적으로 크게 나타났다. 슬랫의 설치 높이에 따른 차이는 슬랫의 밀도가 높은 0.26 m 슬랫간격에서만 낮은 천장의 적용 시 잔향시간이 길어지는 것으로 나타났으나, 위치별 표준편차를 고려할 때 천장이 높은 경우에는 250 Hz 이하의 경우에서 그리고 천장이 낮은 경우에는 125 Hz 이하에서만 유의적인 차이가 있는 것으로 분석되었다 (Figs. 9 및 10). 또한 슬랫 간격이 0.86 m로 증가한 경우에는 천장고가 모든 주파수대역에서 잔향시간 변화에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

명료도 분석결과(Fig. 11),  $D_{50}$ 은 슬랫천장의 설치에 의해 모든 주파수 대역에서 슬랫천장이 없는 경우에 비해 약간씩 증가하는 패턴을 나타내고 있다. 그러나 ISO의 JND 제안치와 비교한 결과, 슬랫천장의 유무에 따라 천장고가 높은 경우의 2 kHz를 제외

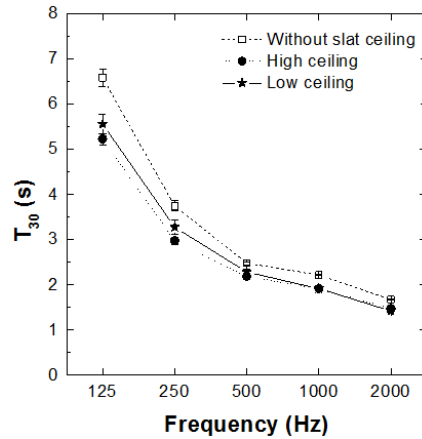


Fig. 9.  $T_{30}$  measured with and without a slat ceiling (room average  $T_{30} \pm$  standard deviation). The distance between slat ceiling was 0.26 m.

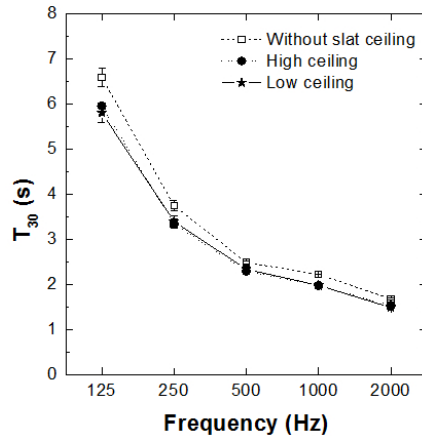


Fig. 10.  $T_{30}$  measured with and without a slat ceiling (room average  $T_{30} \pm$  standard deviation). The distance between slat ceiling was 0.86 m.

한 모든 주파수에서 JND를 초과하는 유의적인 차이는 발견되지 않았다. 슬랫천장이 설치된 조건에서 슬랫간격 및 천장높이 등 설치조건 변화에 따른  $D_{50}$ 값을 비교한 결과, 두 가지 천장고조건 모두에서 슬랫의 간격변화에 따른 JND(5%)를 초과하는 유의적인 차이는 나타나지 않아, 슬랫의 간격변화는 거의  $D_{50}$ 에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다.

$C_{80}$ 의 경우에도  $D_{50}$ 과 마찬가지로 슬랫형 천장의 적용에 의해 증가하는 경향을 나타내고 있으나 JND(1 dB)를 상회하는 유의적인 차이는 없는 것으로 분석되었다(Fig. 12). 또한 슬랫천장이 설치된 조건에서 천장높이 및 슬랫간격 등 설치조건 변화에 따른  $C_{80}$ 값을 비교한 결과, 두 가지 천장고조건 모두

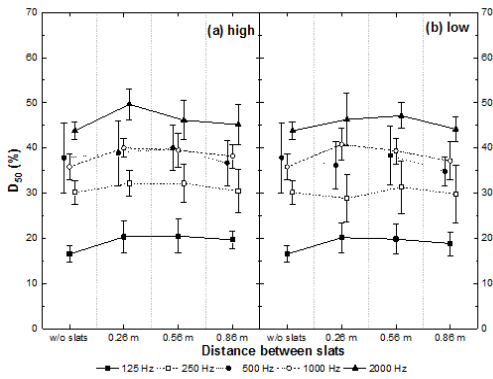


Fig. 11. Comparison of the  $D_{50}$  as a function of the distance between slats for each ceiling height (room average  $D_{50} \pm$  standard deviation).

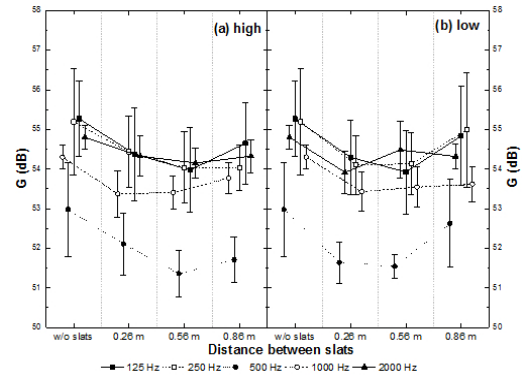


Fig. 13. Comparison of the  $G$  as a function of the distance between slats for each ceiling height (room average  $G \pm$  standard deviation).

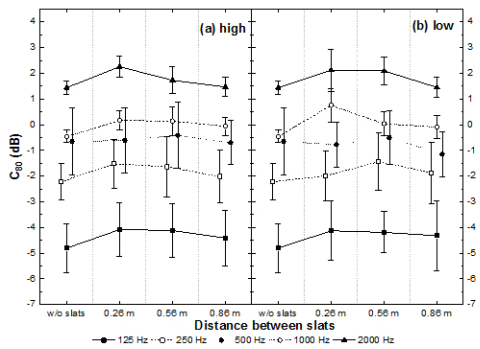


Fig. 12. Comparison of the  $C_{80}$  as a function of the distance between slats for each ceiling height (room average  $C_{80} \pm$  standard deviation).

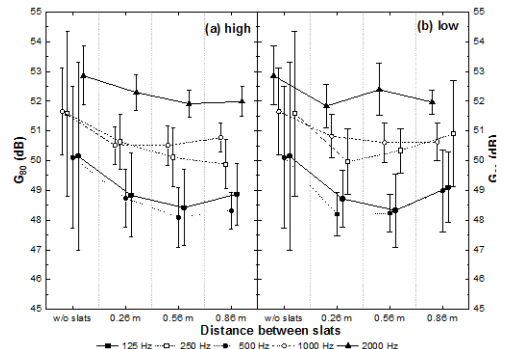


Fig. 14. Comparison of the  $G_{80}$  as a function of the distance between slats for each ceiling height (room average  $G_{80} \pm$  standard deviation).

에서 슬랫의 간격변화에 따른 1 JND를 초과하는 유의적인 차이는 나타나지 않아, 슬랫의 간격변화는  $C_{80}$ 에 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다.

음의 세기 분석결과, 슬랫천장의 설치는 모든 주파수대역에서 전반적인 음의 세기( $G$ )를 감소시키는 것으로 나타났다(Fig. 13). 특히 슬랫의 밀도가 상대적으로 높은 0.26 m 및 0.56 m의 간격 적용 시 슬랫천장을 적용하지 않은 경우보다 모든 주파수대역에서 유의적으로 감쇠( $\geq 1$  JND)하는 것으로 나타났으며, 슬랫의 간격을 0.86 m로 증가시키는 경우에는 설치하지 않은 경우와 JND값(1 dB)을 초과하는 유의적인 차이가 없는 것으로 분석되었다.

또한 슬랫천장이 설치된 조건에서 슬랫의 간격변화에 따른  $G$ 값은 천장고 높이에 관계없이 JND를 초과하는 유의적인 차이는 발견되지 않았다.

초기음장의 음의 세기를  $G_{80}$ 을 이용하여 분석한

결과(Fig. 14),  $G$ 값과 마찬가지로 슬랫천장의 설치에 따라 감쇠하고 있으며, 슬랫의 유무에 따른 차이는 모든 슬랫간격 조건하에서 설치하지 않은 경우에 비해 1 JND<sup>5)</sup> 이상의 유의적인 감쇠가 발생하는 것으로 나타났다. 그러나 설치높이 변화에 따른 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 주목할 점은 슬랫형 천장의 적용에 의해 측정지점별 초기음장의 음의 세기( $G_{80}$ )편차는 모든 슬랫간격 조건에서 크게 감소하는 것으로 나타나 슬랫형 천장이 초기음장의 음의 세기 측면에서 위치별 편차를 최소화시켜주는 확산체로서의 기능을 하는 것으로 평가되었다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 슈박스 형태의 소규모 공연장에서 슬랫형 천장의 적용이 객석의 음향에 미치는 영향을



1/20 축소모형실험을 통하여 측정·분석하였다. 슬랏의 설치높이 및 간격 변화의 조합에 따른 6가지 설치조건들을 대상으로 하였으며, 잔향시간( $T_{30}$ ), 명료도( $D_{50}$  및  $C_{80}$ ), 그리고 음의 세기( $G$  및  $G_{80}$ ) 측면에서 그 영향을 분석하였다.

슬랏천장의 설치에 의해,  $T_{30}$ 은 전주파수 대역에서 유의적으로 감소하는 것으로 나타났으며, 특히 저주파수 대역에서 감소폭이 큰 것으로 나타났다.  $D_{50}$  및  $C_{80}$ 은 자연히 증가하는 경향을 나타내지만 1 JND를 초과하는 유의적인 차이는 없는 것으로 분석되었다.  $G$  및  $G_{80}$ 은 전주파수 대역에서 유의적으로 감소하였으며, 초기음장의 음의 세기 측면에서 위치별 편차를 최소화시켜주는 것으로 나타나 슬랏형 천장이 확산체로서의 기능을 할 수 있을 것으로 기대된다.

또한 슬랏천장의 설치높이보다 간격변화가 객석 음향에 미치는 기여도가 비교적 큰 것으로 분석되었다. 전반적으로 슬랏천장의 설치높이가 낮고 간격이 좁을수록  $T_{30}$  및  $G_{80}$ 은 유의적으로 감소하며,  $D_{50}$  및  $C_{80}$ 은 증가하는 경향을 나타내지만 유의적인 차이는 없는 것으로 평가되었다. 단, 슬랏의 밀도가 높은 0.26 m 슬랏간격에서만 낮은 천장의 적용시 잔향시간이 길어지는 것으로 나타났다.

본 결과는 초기연구단계의 실험적 성과물로서 향후 보다 다양한 슬랏의 형상(크기, 간격, 그리고 방향 등), 설치조건(위치 및 면적 등), 그리고 공간조건(반사 및 흡음 등)을 대상으로 슬랏형 천장이 객석의 음향성능에 미치는 영향을 상세하게 검토할 예정이다.

## 감사의 글

본 연구는 한국연구재단의 지원으로 수행된 기초사업연구임(NRF-2017R1D1A3B03031129).

## References

1. <http://www.woodfitacoustics.com/products/slotted/#product-style-tabs1>.
2. <https://www.sander-architects.com/idyllwild-performing-art-center>.
3. Leonid I. Makrinenko, John S. Bradley, Ed. *Acoustics*

*of Auditoriums in Public Buildings* (Acoustical Society of America, N.Y. 1994, originally published 1986), Chap. 4.

4. ISO 3382-1:2009 Acoustics - Measurement of room acoustic parameters - Part 1: Performance spaces. Geneva, Switzerland, 2009.
5. T. J. Cox, W. J. Davies, and Y. W. Lam, "The sensitivity of listeners to early sound field changes in auditoria," *Acta Acustica* **79**, 27-41 (1993).

## 저자 약력

### ▶ 오 예 담 (Yedam Oh)



2018년 2월: 전북대학교 건축공학과 학사  
2018년 3월 ~ 현재: 전북대학교 건축공학과 석사과정

### ▶ 이 효 진 (Hyojin Lee)



2007년 2월: 전북대학교 건축공학과 학사  
2009년 9월: 동경대학교 사회문화환경학과(건축음향) 석사  
2013년 3월: 동경대학교 사회문화환경학과(건축음향) 박사  
2013년 4월 ~ 2018년 3월: 동경대학교 사회문화환경학과(건축음향) 연구원  
2017년 6월 ~ 현재: 전북대학교 건축공학과 연구조교수

### ▶ 정 대 업 (Daeup Jeong)



1986년 2월: 연세대학교 건축공학과 학사  
1989년 8월: 연세대학교 건축공학과 석사  
1998년 2월: Univ. of Sydney 건축공학과 박사  
2000년 9월 ~ 현재: 전북대학교 건축공학과 교수