

# 의자 흡음특성에 영향을 미치는 인자에 관한 실험적 연구

## Experimental Investigation of Factors Influencing Chair Absorption Characteristics

최영지,<sup>†</sup> 구재오

(Young-Ji Choi<sup>†</sup> and JaeOh Koo)

강원대학교 공과대학 도시건축학부 건축공학전공

(Received March 18, 2015; revised April 22, 2015; accepted June 10, 2015)

**초 록:** 본 논문은 공연장에서 의자 설치 조건의 변화가 의자의 흡음특성에 미치는 영향에 관하여 실험적인 연구를 실시하였다. 실제 공연장 의자의 흡음특성을 재현한 1/10 스케일의 축소 의자와 인체모형을 이용하여 실험을 진행하였다. 실험변수로는 의자의 흡음정도, 의자 열 간격의 변화, 청중의 착석유무, 그리고 바닥의 카펫설치 유무로 제한하였다. 열 간격에 따른 청중의 착석 및 바닥의 카펫설치 유무의 영향을 평균적으로 분석하였을 때 의자의 흡음률이 낮을수록 즉, 카펫 혹은 청중 등의 부가적인 흡음력이 없을 때, 열 간격에 의한 흡음률 변화폭이 작게 나타났다. 의자 열 간격 평균 주파수 대역별 흡음률 증가 값에 따르면 주변 인자에 의한 흡음률의 변화는 주파수대역별로 다르게 나타났다.  
**핵심용어:** 의자, 흡음특성, 열 간격

**ABSTRACT:** This paper examines the combinations of factors influencing the absorption characteristics of theatre chairs. One-tenth scale model chairs and listeners that closely approximated the absorption characteristics of full scale theatre chairs were used to measure the interactive effects of the test variables on the chairs absorption characteristics. The test variables were the type of chairs, the row spacing, as well as the presence of people and carpet. The variations of absorption increments with varied row spacing tended to be smallest when the chairs were less absorptive, i.e. with less carpet or occupants. The incremental effects of adding occupants or carpet averaged over three row spacings varied over frequency.

**Keywords:** Chairs, Absorption characteristics, Row spacing

**PACS numbers:** 43.55.Br

### 1. 서 론

공연장에서의 객석의자는 청중의 착석상태에 관계없이 실내 총 흡음력에 중요한 부분이며, 그 결과 의자흡음이 전체 음향 상태에 미치는 영향이 크다. 따라서 정확한 의자흡음특성의 예측은 공연장 음향 설계의 중요한 과정이며, 실제 공연장에서 설치된 의자의 조건에 따른 흡음특성이 예측 가능하여야 한다.

의자의 흡음특성에 영향을 미치는 인자는 의자 자체 구성요소와 주변설치조건에 따른 영향을 들 수 있다.<sup>[1]</sup> 의자의 구성요소로 인한 영향은 8종류의 실제

공연장 의자를 대상으로 조사하였으며, 그 결과 각 구성요소로 인한 영향이 주파수대역별로 다르게 나타났다.<sup>[1]</sup> 또한, 의자의 흡음 정도에 따라 청중의 착석 유무가 의자의 흡음률에 미치는 정도가 다르며, 의자의 흡음률이 낮을수록 청중의 착석에 따른 흡음률의 변화가 크게 나타났다.<sup>[1,2]</sup> 의자의 흡음률은 청중의 착석유무, 의자 열 간격변화 등 여러 가지 주변 조건에 영향을 받는다.<sup>[1,2]</sup> 정확한 의자 흡음특성을 예측하기 위해서는 이들 주변인자의 변화가 의자의 흡음특성에 미치는 영향에 관한 연구가 이루어져야 한다.

본 연구에서는 공연장에서 의자의 흡음정도에 따라 의자 설치 조건의 변화가 의자의 흡음특성에 미치는 영향에 관하여 축소모형을 이용하여 실험적인

<sup>†</sup>Corresponding author: Young-Ji Choi (youngjichoi@kangwon.ac.kr)  
Major in Architectural Engineering, Kangwon National University,  
1 Kangwondaehak-Gil, Chuncheon 200-701, Republic of Korea  
(Tel: 82-33-250-6224, 82-33-259-5542)

연구를 실시하였다. 실험변수로는 의자의 흡음률, 청중의 착석유무, 의자 열 간격의 변화, 그리고 바닥의 카펫설치 유무로 제한하였다. 실제 공연장 의자의 흡음특성을 재현한 1/10 스케일의 축소 의자와 인체모형<sup>[3]</sup>을 이용하여 실험을 진행하였다. 공연장에서 큰 면적의 객석흡음률을 정확하게 예측하고자 Perimeter-to-Area 법(이하 P/A법으로 기술함)을 이용하였다.<sup>[4,5]</sup>

## II. 측정개요

### 2.1 축소모형

측정에 이용한 의자와 인체모형은 실제 공연장의 자의 공식시와 만석시의 흡음특성을 재현하였고,<sup>[3]</sup> 축소의자와 인체모형 제작에 사용된 재료를 Table 1에 제시하였다. 의자의 흡음정도에 따라 의자 설치 조건의 변화가 의자의 흡음특성에 미치는 영향을 조사하고자 의자는 흡음 정도를 달리하여 두 종류로 개발하였다. 개발한 두 종류의 의자는 주파수대역 평균 흡음률(125 Hz~4 kHz)이 공식시 각각 0.5와 1.0이다. 전주파수대역에서의 평균 흡음률이 0.5인 의자를 LAC(Low Absorption Chairs)로, 1.0인 의자를 HAC(High Absorption Chairs)로 각각 기술하였다.

Fig. 1은 LAC와 HAC의자에 인체모형이 착석한 상태에서 측정한 주파수대역별 흡음률을 만석시 실물 의자<sup>[1]</sup>와 비교하여 보여주고 있다.

축소카펫은 실제 두꺼운 카펫의 흡음특성과 유사하도록 두께 1 mm인 부직포와 0.5 mm인 파인애플 시트지를 조합하여 제작하였다. 축소카펫은 주파수대역이 높아질수록 흡음률이 증가하는 전형적인 다공성 흡음재의 추이를 보였다. 측정결과, 실물 카펫과 축소카펫의 4000 Hz에서의 흡음률은 약 0.7로 유사하게 나타났다.

### 2.2 측정방법

의자의 흡음률 측정은 ISO 354법<sup>[6]</sup>을 토대로 실시하였다. 측정은 음원점 2개소와 수음점 3개소에서 실시하여, 흡음률 도출을 위해 6개 지점의 잔향시간 ( $T_{20}$ )을 측정하여 산술평균하였다. 음원은 1.37 s의 로그스윙(logarithmic sweep)을 이용하였으며 재생주파수대역은 1 kHz ~ 100 kHz(실물 환산시 100 Hz~10 kHz)로 하였다. 모든 측정은 지점별로 3회 반복 측정하여 측정결과의 재현성을 확인하였다. 측정시 온도는 22 °C와 습도는 4%로 유지하였으며, 습도는 질소치환법을 이용하여 고주파수에서의 공기 흡음을 배제하였다.

공연장에서의 실제 큰 객석의 흡음률을 정확하게 예측하고자 총 18개 의자를 이용하여 의자 샘플의 크기가 다른 7가지 배열의 흡음률을 P/A법을 이용하여 각각 측정하였다. 7가지 배열의 P/A 값은 1.29 ~ 2.40  $m^{-1}$ 이며, 의자 열간 간격은 0.91 m로 고정하였다. P/A 값이 다른 7가지 배열의 흡음률을 선형회귀분석 방법을 이용하여 P/A 값이 0.5  $m^{-1}$ 일 때의 실제 공연

Table 1. Summary of the model chairs and listeners developed in the previous study.<sup>[3]</sup> PVC indicates poly vinyl chloride.

Models	Materials, thickness (mm)	Size (mm) (width × length × depth)
Chairs	PVC, 2 Felt, 1 Bubble wrap, 3	60 × 84 × 40
Listeners	Head: wood Torso: PVC, 10 Upper legs: PVC, 10 Lower legs: PVC, 5 Felt, 1 Pineapple sheet, 0.5	Head: Ø25 Torso: 36 × 60 × 10 Upper legs: 36 × 30 × 10 Lower legs: 15 × 30 × 5

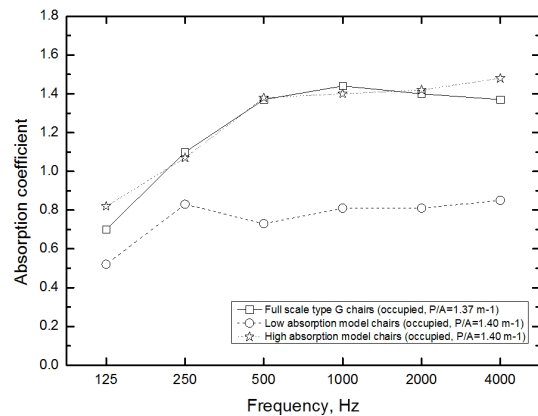


Fig. 1. Absorption coefficients versus frequency for both occupied low and high absorption model chairs.

장에서 큰 객석의 흡음률을 예측하였다. 선형회귀 분석은 Origin 소프트웨어<sup>[7]</sup>를 사용하여 실시하였다. P/A법에 의한 측정법<sup>[8]</sup>은 의자 샘플의 크기가 다른 배열 5가지 이상의 흡음률을 각각 측정하여 그 측정값을 토대로 선형회귀분석을 이용하여 실제 객석에서의 큰 의자 샘플의 흡음률을 예측하는 방법이다. P/A법은 기존 잔향실 흡음률 측정법<sup>[6]</sup>에서 제한된 의자 자료 크기로 인해 모서리 흡음이 과도하게 평가되는 문제점을 보완하기 위해 제시되었으며, 여러 선행연구<sup>[1,3,4,5,8,9]</sup>에서 P/A법의 정확성이 검증되었다.

### III. 결과 및 토의

#### 3.1 주변 인자가 의자 평균 흡음률에 미치는 영향

본 장에서는 의자 LAC와 HAC의 흡음정도, 청중의 착석(공석과 만석) 및 바닥의 카펫설치 유무의 영향을 의자 열 간격(0.76 m, 0.91 m, 1.2 m)에 따라 측정된 결과를 각각 분석하였다. 총 24측정조건에 따른 결과는 네 가지 주변인자가 의자의 흡음률에 미치는 일반적인 경향을 분석하기 위해 의자 열 간격별로 주파수대역 500~4000 Hz의 평균 의자 흡음률을 산출하여 비교하였다. Fig. 2는 P/A 값이 0.5 m<sup>-1</sup>일 때의 큰 객석의 500~4000 Hz 평균 흡음률을 의자 열 간격에 따라 보여주고 있다. Fig. 2(a)와 2(b)는 각각 LAC와 HAC의 측정결과를 나타낸다.

Fig. 2에 따르면 LAC와 HAC의 열 간격이 증가할수록 의자의 평균흡음률은 감소하였고, 열 간격에 따른 흡음률의 변화범위는 0.06~0.29이다. Fig. 2(a)의 흡음률이 낮은 LAC의 경우 열 간격에 따른 영향은 공석의 의자에 카펫이 설치되지 않은 경우 흡음률의 변화는 0.06으로 가장 낮게 나타났다. 카펫이 설치되지 않은 경우 열 간격이 작아짐에 따라 청중의 착석으로 인한 영향은 커지지만(흡음률 0.17 증가), 카펫이 설치된 경우 가장 좁은 열 간격 0.76 m에서 청중의 영향은 미미하였다(흡음률 0.03 증가). 흡음률이 낮은 LAC의 경우 카펫의 설치에 따른 흡음률의 증가(0.39)가 청중의 착석으로 인한 영향보다 크다.

Fig. 2(b)의 흡음률이 높은 HAC의 경우 Fig. 2(a)의 LAC결과와 유사하게 의자의 열 간격이 증가할수록

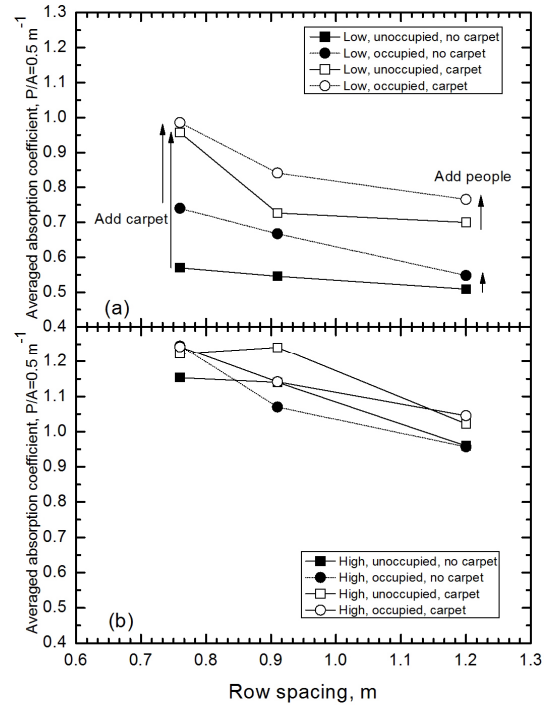


Fig. 2. Frequency-averaged (500 Hz to 4 kHz) absorption coefficients versus row spacing predicted for (a) low absorption model chairs and (b) high absorption model chairs.

의자의 평균 흡음률은 감소하였다. 가장 넓은 열 간격 1.2m에서 청중의 착석유무가 의자 흡음률 변화에 미치는 영향은 0.02로 미미하였으며, LAC와 비교해 주변 인자에 의한 흡음률의 변화가 최대 0.1로 작게 나타났다. 흡음률이 높은 HAC에서의 주변 인자가 의자 흡음률에 미치는 영향이 작게 나타나는 이유는 의자의 흡음률이 높은 상태에서 청중 혹은 카펫의 부가적인 흡음력이 의자의 흡음률 증가에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다. 이 결과는 실물 의자와 모형 의자를 대상으로 한 선행연구결과<sup>[12]</sup>와 일치한다. 반면 흡음률이 낮은 LAC에 있어 청중의 착석 및 카펫의 설치에 의자의 부가적인 흡음면적을 증대시켜주는 것으로 상대적으로 그 효과가 크게 나타난다.

#### 3.2 중요한 주변 인자에 의한 주파수 대역별 흡음률 증가추이

본 장에서는 의자의 흡음률 변화에 영향을 미치는 중요한 주변 인자를 조사하고자 의자의 흡음정도, 청중의 착석 및 바닥의 카펫설치 유무에 따른 영향

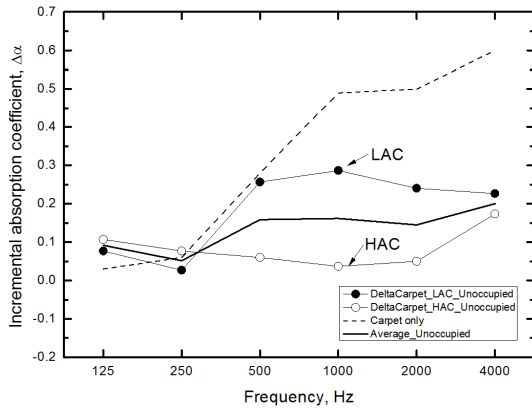


Fig. 3. Measured incremental absorption coefficients due to adding carpet under the chairs without occupants, averaged over three row spacings.

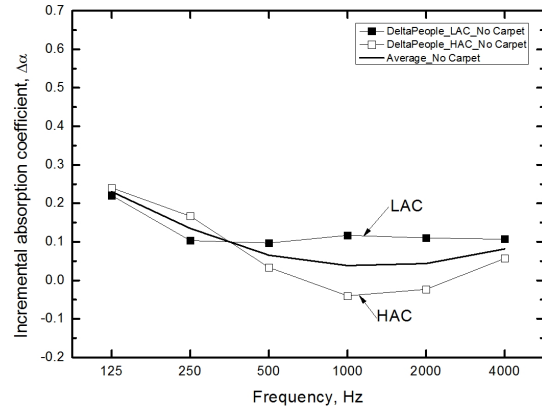


Fig. 5. Measured incremental absorption coefficients due to adding occupants to the chairs without carpet, averaged over three row spacings.

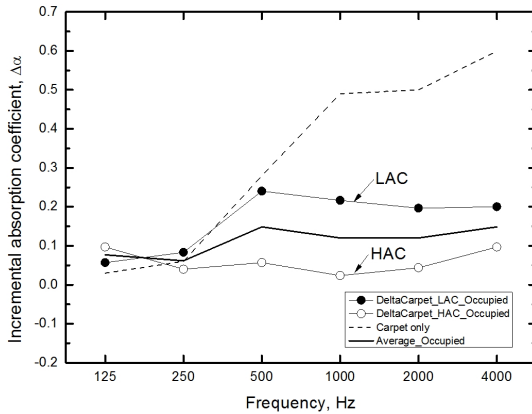


Fig. 4. Measured incremental absorption coefficients due to adding carpet under the chairs with occupants, averaged over three row spacings.

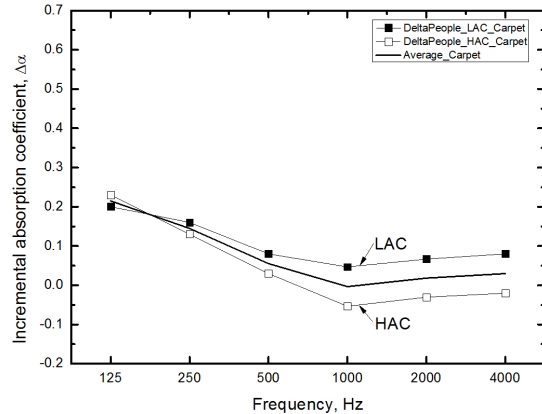


Fig. 6. Measured incremental absorption coefficients due to adding occupants to the chairs with carpet, averaged over three row spacings.

을 열 간격으로 평균하여 주파수 대역별 흡음률 증가값(incremental absorption coefficients)을 산출하였다.

Figs. 3과 4는 카펫의 설치에 따른 공식시(Fig. 3)와 만석시(Fig. 4) 의자의 흡음률 증가 값을 보여주고 있다. 여기서, 의자의 흡음률 증가 값은 카펫의 설치유무에 따른 차이 값을 세 열 간격으로 평균하여 산정하였다. Figs. 3과 4에 의하면 카펫의 효과는 흡음률이 낮은 LAC에서 중주파수대역(500~1000Hz)의 평균 흡음률 증가 값이 약 0.3이며, 고주파수대역(2000~4000 Hz)에서 약 0.25로 다소 감소한다. 반면, 흡음률이 높은 HAC에서는 4000 Hz에서의 평균 흡음률 증가 값이 0.2로 가장 크게 나타난다. 청중이 착석하지 않았을 때(Fig. 3) 카펫의 설치가 의자의 흡음률 증가에 다소 효과적이다.

카펫의 설치로 평균 흡음률이 증가한 주파수대역은 LAC의 경우 500 Hz 이상의 고주파수대역에서, HAC의 경우 4000 Hz에서 나타난다.

Figs. 5와 6은 청중의 착석에 따른 의자의 흡음률 증가 값을 카펫을 설치하였을 때(Fig. 5)와 설치하지 않았을 때(Fig. 6)를 보여주고 있다. 여기서, 의자의 흡음률 증가 값은 청중의 착석유무에 따른 차이 값을 세 열 간격으로 평균하여 산정하였다. Figs. 5와 6에 의하면 청중의 착석에 의한 흡음률 증가는 흡음률이 낮은 LAC에서 카펫이 설치되지 않은 경우 효과적이다. 이 결과는 3.1절에서 전술하였듯이 흡음률이 높은 HAC에서의 주변 인자가 의자 흡음률에 미치는 영향이 작게 나타나는 현상과 일치한다.

Table 2. Average absorption coefficient over all 3 row spacing cases for LAC and HAC with varied occupancy and carpet.

Conditions	Average absorption coefficient	
	LAC	HAC
Unoccupied, no carpet	0.54	1.08
Unoccupied, carpet	0.79	1.16
Occupied, no carpet	0.65	1.09
Occupied, carpet	0.86	1.14

청중의 착석에 의한 흡음률 증가는 125 Hz와 250 Hz에서 약 0.2로 다른 주파수대역에 비해 크다. 이 결과는 청중의 착석으로 인하여 수직방향의 공간이 작아지기 때문에 나타나는 공명흡음에 의한 현상이다. 청중과 카펫의 설치 조건이 의자의 흡음률 증가에 미치는 영향이 주파수대역별로 다르게 나타났다.

Table 2에 LAC와 HAC의 각 주변 변수에 의한 주파수대역별(500~4000Hz) 평균흡음률 변화를 세 열 간격으로 평균하여 제시하였다. 전체적인 평균흡음률의 산정은 의자의 흡음률, 청중의 착석유무, 그리고 바닥의 카펫설치 유무에 따른 흡음률 변화를 정량화하여 각 주변 변수의 영향을 파악할 수 있다. Table 2에 따르면 흡음률이 낮은 LAC에 청중 혹은 카펫을 각각 설치하거나 동시에 설치하였을 때 평균 흡음률 증가가 크게 나타났다. 전체적인 흡음률 변화량은 의자의 흡음률이 높을수록 주변 인자의 영향이 작게 나타났으며, 흡음률이 높은 HAC의 경우 청중의 착석유무가 흡음률 변화에 미치는 영향이 미미하였다.

#### IV. 결 론

열 간격의 변화가 의자 평균 흡음률(500 Hz~4 kHz)에 미치는 영향은 의자의 흡음정도에 상관없이 열 간격이 증가할수록 평균 흡음률이 감소하는 추이를 나타냈다. 열 간격에 따른 청중의 착석 및 바닥의 카펫설치 유무의 영향을 평균적으로 분석하였을 때 의자의 흡음률이 낮을수록 즉, 카펫 혹은 청중 등의 부가적인 흡음력이 없을 때, 열 간격에 의한 흡음률 변화폭이 작게 나타났다.

의자 열 간격 평균 주파수 대역별 흡음률 증가 값에 따르면 주변 인자에 의한 흡음률의 변화는 주파

수대역별로 다르게 나타난다. 예를 들어, 청중의 착석으로 인한 효과는 주로 125 Hz와 250 Hz에서 나타나며, 카펫의 설치로 인한 효과는 500 Hz~4 kHz에서 현저하게 나타난다. 따라서 Figs. 3~6의 결과를 종합해볼 때 의자의 주변 설치조건에 따른 영향은 주변 인자별로 다르며, 실제 공연장에서 적용하기 전에 인자에 따른 영향을 실험적으로 분석하는 것이 바람직하다.

#### References

1. J. S. Bradley, Y. J. Choi, and D. U. Jeong, "Understanding chair absorption characteristics using the perimeter-to-area method," *Appl. Acoust.* **74**, 1060-1068 (2013).
2. Y. J. Choi, "Changes for theatre chair sound absorption characteristics with varied occupancy conditions" (in Korean), *J. Acoust. Soc. Kr. Suppl.* **2**(s) **33**, 23-25 (2014).
3. Y. J. Choi, "Modelling chairs and occupants to closely approximate the sound absorption of occupied full scale theatre chairs," *Appl. Acoust.* **75**, 52-58 (2014).
4. J. S. Bradley, "Predicting theatre chair absorption from reverberation chamber measurements," *J. Acoust. Soc. Am.* **91**, 1514-1524 (1992).
5. J. S. Bradley, "The sound absorption of occupied auditorium seating," *J. Acoust. Soc. Am.* **99**, 990-995 (1996).
6. ISO 354-Acoustics, *Measurement of sound absorption in a reverberation room* (2003).
7. *OriginLab data analysis and graphing software*, <http://www.originlab.com/>, 2007.
8. Y. J. Choi, J. S. Bradley, and D. U. Jeong, "Towards better predictions of theatre chair absorption using the perimeter-to-area method," *Appl. Acoust.* **75**, 119-127 (2014).
9. F. Martellota and E. Cirillo, "Experimental studies of sound absorption by church pews," *Appl. Acoust.* **70**, 441-449 (2009).

## 저자 약력

---

▶ 최 영 지 (Young-Ji Choi)



1996년 2월: 계명대 건축공학과 학사  
2000년 3월: 큐슈대 건축공학과 석사  
2004년 9월: 시드니대 건축공학과 박사  
2014년 3월 ~ 현재: 강원대학교 공과대학  
도시건축학부 건축공학 전공 조교수

▶ 구 재 오 (JaeOh Koo)



1979년 2월: 연세대 건축공학과 학사  
1981년 2월: 연세대 건축공학과 석사  
1989년 2월: 연세대 건축공학과 박사  
1984년 2월 ~ 현재: 강원대학교 공과대학  
도시건축학부 건축공학 전공 교수