

# 축척모델을 이용한 실의 확산성 영향평가

연철호\*, 박계균\*, 한찬훈\*\*

충북대학교 공과대학 건축공학과

## The Effects of Surface Diffusivity on the Room Acoustics Using Scaled Models

Yeon Chul-Ho, Park Kye-Kyun, Haan Chan-Hoon

Dept. of Architectural Engineering, Chungbuk National University

E-mail : yeon7520@trut.chungbuk.ac.kr, chhaan@cbucc.chungbuk.ac.kr

### 요 약

실의 음향성능을 규명하기 위하여 많은 음향인자가 개발되어지고 제시되어 왔다. 음향인자 중 확산은 실의 전반적인 음향성능에 매우 유용한 것으로 여겨져 왔다.

본 연구는 장방형의 형태를 가지고 채적과 마감재료가 같은 2종류의 축척모델을 제작하여 각각의 모델에서 RT, EDT, SPL, C, IACC 등을 측정하여 확산체의 유·무에 따른 실의 실내음향 성능을 알아 보고자 한다. 실험결과 실내 표면의 확산성의 차이에 따라 표면의 확산성이 좋은 공간에서 초기음장에서 음에너지가 집중되고 분산되는 것을 입증하였다. 즉 확산성이 좋은 모델에서 잔향시간(RT)은 더 짧으나 초기감쇠시간(EDT)이 더 길게 나타남으로 인하여 음에너지의 분포가 실의 확산상태에 의하여 음의 발생이후 짧은 시간내에 집중하여 전달되고 있음을 증명하였다. 또한 실의 확산상태가 좋은 공간의 명료도가 확산이 되지 않은 실에 비하여 훨씬 더 좋은 결과를 보이고 있음을 나타냈다. 이상의 결과를 종합하여 볼 때 실내 표면의 확산성이 전반적인 실내 음장의 향상에 크게 기여하고 있음을 밝혀냈다.

### 1. 서 론

건축음향의 연구에 있어서 가장 어려운 점은 실내음향성능의 평가가 객관적이고 물리적인 지표에 의해서가 아닌 청취자의 주관적인 평가에 의해 일부가 이루어지

는 점에 있다. 객관적인 평가요소를 주관적인 평가에 접목시키려는 움직임은 잔향시간(RT), 명료도(Clarity), 초기지연시간(Initial Time Delay Gap)과 같은 시간적 평가요소보다 측벽효과(Lateral Fraction), 양이효과(Interaural Cross-correlation), SDI(Surface Diffusivity Index)와 같은 공간적 평가요소를 접목시키려는 움직임이 두드러지고 있다. 특히 SDI처럼 표면의 확산성에 관련된 평가요소는 실의 전반적인 음향성능을 평가하는데 아주 유용한 것으로 보인다. 확산(Diffusion)이 실의 음향성능에 필요하다는 것은 널리 알려진 사실이다. 그러나 확산에 대한 연구는 아직 미흡하고 활발히 이루어지지 않고 있었는데 이것은 확산의 정의에 따른 측정이 어려움과 이론적인 증명이 어려웠기 때문이다.

따라서 본 연구는 축척모델을 이용하여 확산체의 유·무에 따른 실의 음향성능에 미치는 영향을 규명하고자 한다.

### 2. 축척모델을 이용한 확산성실험

#### 2.1 실험의 개요

실의 확산이 실내음향에 미치는 영향을 축척모델(scaled model)을 제작 실험함으로써 실내음향에 미치는 영향을 객관적인 음향인자로 비교·분석하고 설계시 필요한 이점을 제시하고자 한다. 같은 형태를 가진 장방형의 축척모델에서 확산체의 유·무에 따른 RT, EDT, SPL, C, IACC 등을 측정하여 실의 실내음향 특성을 분석하였다.

## 2.2 축척모델의 제원

형태는 같고 다만 확산체의 유·무에 따라 M 과 M-D 모델을 제작하였다. M 과 M-D 축척모델은 같은 비율과 치수를 가지고 있다. 각 모델에 적용된 비율 및 치수는 아래의 표 1에 나타난 바와 같다.

표 1. 각 모델의 비율과 치수

구분	L	W	H	비고
비율	2	1.5	1	M, M-D
치수	2.4m	1.8m	1.2m	형태 동일

각 모델에서 객석바닥은 계란판으로 흡음면으로 적용하였고, 객석 뒷벽도 흡음재(SONO fabric)로 흡음면으로 처리하였다. 그 이외의 면은 M 모델에서는 반사면으로, M-D 모델에서는 확산면으로 적용하였다.

각 모델의 투시도와 실내표면 상태는 그림 1과 그림 2에 나타난 바와 같다.

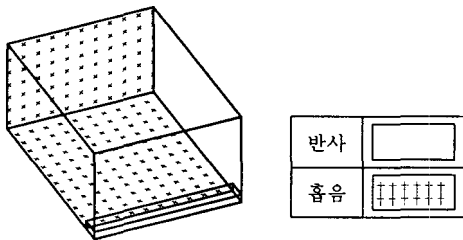


그림 1. M 모델

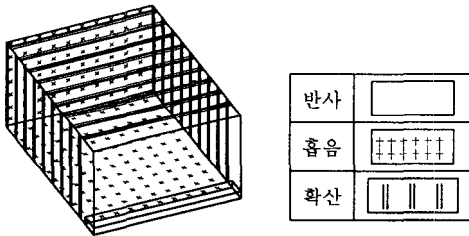


그림 2. M-D 모델

모델의 실내 마감재료는 각각 동일하게 적용하였으며 부위별 적용재료는 표 2에 나타난 바와 같다.

표 2. 각 모델에 적용된 실내 마감재료

구분	부위	재료
1	천장 및 측벽	코어합판(①1.8mm)
2	무대바닥	MDF panel (①0.3mm)
3	객석바닥	계란판(30cm×30cm)
4	객석뒷벽	흡음재(SONO fabric, ①2.5mm)

## 2.3 음원과 수음점의 설정

각 모델에서 4개의 임의의 수음점을 같은 위치, 이격

거리를 두고 바닥 위 0.12m 높이로 설정하였고, 또한 무대 중앙에 무대바닥 위 0.15m 위치에 1개의 음원을 설정하였다. 평면상과 단면상에 나타난 음원과 수음점의 위치는 그림 3에 나타난 바와 같다.

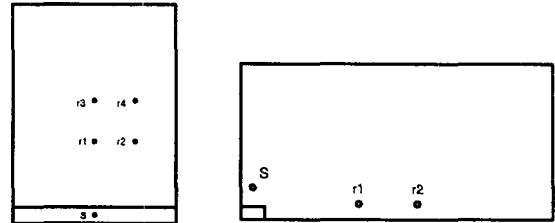


그림 3. 평면, 단면상의 음원과 수음점의 위치

## 2.4 실험방법 및 실험기기의 내역 및 구성도

축척모델(scaled model)에서 요구되는 무지향성 음원으로는 250Hz의 주파수부터 분석하기 위하여 3in 스피커 12개를 사용하여 한변의 길이가 7.8cm인 정오각형으로 이루어진 12면체의 무지향성 스피커를 자체 제작하였다. 각각의 측정점에서의 실험은 Microphone를 무대로 향하여 지향시킴으로써 직접음과 초기반사음의 측정에 용이토록 하였다. 측정시 음원 신호는 음원조사 및 무대에서 일정한 음압의 1/3옥타브 밴드대역의 MLS(Maximum Length Sequence) 신호를 사용하였고 파워 음압레벨은 90dB로 하였다. ETANI에서 발생된 음신호는 power amplifier를 거쳐 증폭된 뒤 무대 위의 음원에서 방사되어 지정된 측정점의 Microphone에서 수음된 신호를 3번씩 측정하여 Audio & Sound Analyzer Main Frame ASA-2 (ETANI)에 Digital Data로 저장하고 이 Data를 노트북에서 운용되는 ETANI software 프로그램에서 분석하였다. 또한 IACC 값을 측정하기 위하여 Microphone를 Holder Set에 고정시켜 Microphone에서 수음된 신호를 3번씩 측정하여 분석하였다. 축척모델에서 실험에 사용된 기기의 내역은 아래 표 3과 같다. 또한 실험에 사용된 실험기기의 구성도는 그림 4와 같다.

표 3. 실험기기의 내역

측정기기	제품명
Real-time Analyzer	Audio & Sound Analyzer Main Frame ASA-2 (ETANI)
Omni-directional Source	자체제작
Calibrator	B&K Type 4231
Power Amp	B&K Type 2706
Microphone	ASA-2 Random Incidence (2EA)
분석용 Software	Audio & Sound Analyzer Main Frame ASA-2 (ETANI) Software, Notebook

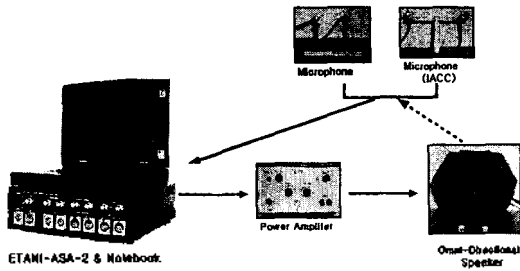


그림 4. 실험기기의 구성도

확산체가 있는 M-D의 축척모델에서 측정모습을 그림 5과 그림 6에서 보여 주고 있다.

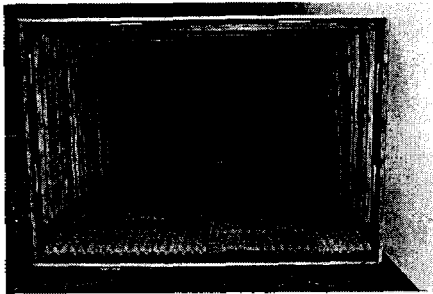


그림 5. 확산체가 있는 축척모델실험 사진 1

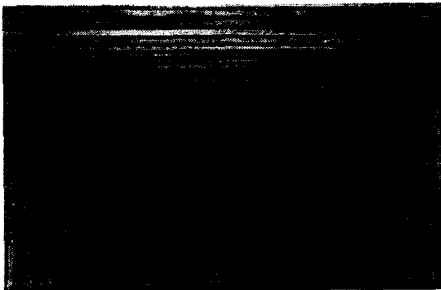


그림 6. 확산체가 있는 축척모델실험 사진 2

### 3. 실험결과

축척모델에서 확산체의 유·무에 따른 실험 결과 2개의 축척모델 실험을 통하여 각 모델에서 3번씩 측정하여 각 모델의 4개의 수음점(r1~r4)에서 얻어진 값을 평균한 값을 취하였다.

#### 3.1 잔향시간 (RT ; Reverberation Time)

두 축척모델에서 잔향시간은 확산체가 없는 M 모델에서 약 0.08초 정도 더 길게 나왔다. 이것은 확산체가 있으므로 그만큼 체적이 작아지고, 실내표면적이 증가하여 발생된 결과로 판정된다.

그림 7은 각 모델에서 전체 주파수의 평균 잔향시간

을 나타내고 있다.

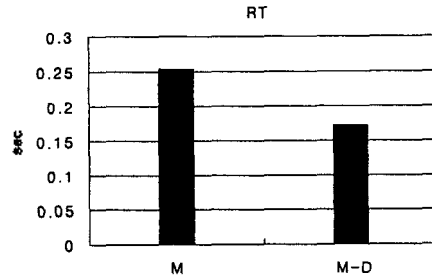


그림 7. 모델의 확산체에 따른 잔향시간(RT)의 비교

#### 3.2 초기감쇠시간 (EDT ; Early Decay Time)

초기감쇠시간은 잔향시간과는 반대로, 확산체가 있는 M-D 모델에서 더 길게 나왔다. 일반적으로 잔향시간이 길면 EDT 값도 따라서 길게 나타나는데 확산체가 있는 모델에서는 잔향시간이 짧은 모델에서 EDT 값이 길게 나타났다. 이것은 확산성이 좋은 홀에서는 에너지가 많은 음, 즉 초기음의 공간채류 시간이 길어짐에 따라 초기의 음 감쇠시간이 길어진다는 것을 의미한다. 이것은 확산성이 좋은 홀은 실내표면적의 증가로 인한 잔향시간은 짧아지나 음 방사후 전체 음에너지의 대부분이 초기에 집중되어 분산됨에 따라 실내음향에 긍정적인 영향을 준다는 것을 의미한다. 그림 8은 각 모델에서 전체 주파수의 평균 잔향시간을 나타내고 있다.

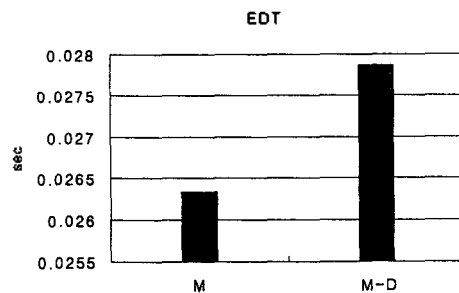


그림 8. 확산체에 따른 초기감쇠시간(EDT)의 비교

#### 3.3 음압레벨 (SPL ; Sound Pressure Level)

음압레벨을 주파수별로 분석해 본 결과 각 모델에서 저주파에서는 높고 고주파에서는 낮은 값을 보이고 있다. 확산체가 있는 M-D 모델에서 전 주파수대역에서 약 1.27dB 낮은 값을 보이고 있다. 이것은 잔향시간이 M 모델보다 짧기 때문에 그만큼 음의 채류시간이 짧아지므로 자연히 음압레벨도 낮은 값을 나타내게 된다. 그림 9는 각 모델에서 음압레벨의 주파수별 평균값을 나타내고 있다.

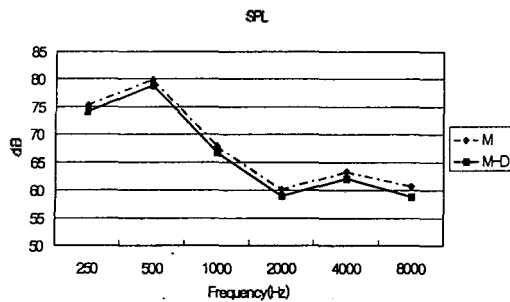


그림 9. 확산체에 따른 주파수별 음압레벨(SPL)의 비교

### 3.4 명료도 (C<sub>80</sub> ; Clarity)

명료도는 주파수별로 분석한 결과 각 모델에서 250Hz ~ 1000Hz 주파수대역에서는 3.41dB 정도 차이가 있고, 2000Hz ~ 8000Hz 주파수대역에서는 11.67dB의 차이를 나타내고 있다. 각 모델에서는 확산체가 있는 M-D 모델에서 명료도가 훨씬 높은 것으로 나타났다. 그림 10은 각 모델에서 명료도의 주파수별 평균값을 나타내고 있다.

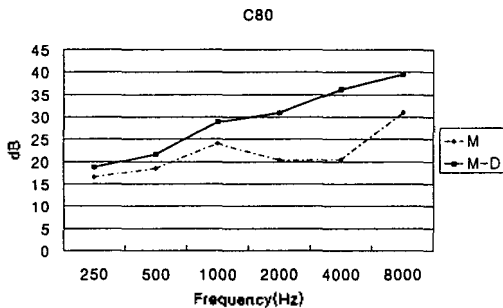


그림 10. 확산체에 따른 주파수별 명료도(C80)의 비교

### 3.5 현장감 (IACC ; Interaural Cross-Correlation)

1-IACC 값은 각 모델에서 초기 IACC 값보다는 후기 IACC 값이 크게 나타나고 있고, 확산체의 유·무에 따라서는 차이가 없는 것으로 나타났다. 그림 11은 각 모델에서 전체 주파수의 초기·후기 평균 1-IACC 값을 나타내고 있다.

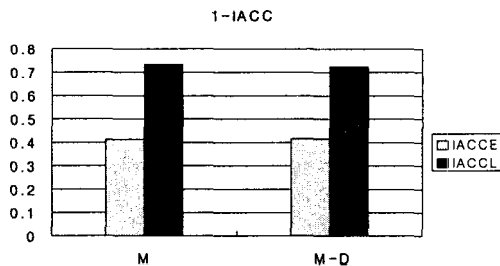


그림 11. 확산체에 따른 현장감(1-IACC)의 비교

## 4. 결론

확산성이 실내음향에 미치는 영향을 축척모델을 이용하여 실험한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1) 확산성이 높은 공간은 초기음장에서 음에너지가 집중되고 분산되는 것을 실험을 통해 입증하였다. 즉 잔향시간(RT)은 더 짧으나 초기감쇠시간(EDT)이 더 길게 나타남으로 인하여 음에너지의 분포가 실의 확산 상태에 의하여 음의 발생이후 짧은 시간내에 집중하여 전달되고 있음을 증명하였다.

2) 실의 확산상태가 높은 공간의 명료도는 확산이 되지 않은 홀에 비하여 훨씬 더 좋은 결과를 나타내고 있다.

이상의 결과를 종합해 볼 때 실의 확산성이 실내음향에 미치는 영향은 많은 문헌에서 지적한 바와 같이 대체로 실의 음향성능을 높여주는 것으로 나타났다.

## 참고문헌

1. C.H.Haan, F.R.Fricke, "An Evaluation of the Importance of Surface Diffusivity in Concert Halls, Applied Acoustics, 51, 53-69, 1997.
2. 한찬훈, "실내음향에 확산성이 미치는 영향에 관한 실험적 연구" 한국음향학회 학술발표대회논문집, 제 17권 제2(s)호, p.69-74, 1998.
3. 박계균, 한찬훈, "실내음향의 확산성에 대한 실험적 연구" 한국음향학회 학술발표대회논문집, 제18권 제 1(s)호, p.313-318, 1999.
4. 권기용, 한찬훈, "실내음향의 새로운 확산성 평가요소에 관한 실험적 연구" 한국음향학회 학술발표대회논문집, 제18권 제2(s)호, p.445-450, 1999.
5. Haan,C.H. "Modelling of Sound Fields with Different Surface Diffusivity of Rooms", Proc. of Institute of Acoustics Conference, Liverpool, p.323-330, 2000.
6. Haan,C.H., & Kwon,K.W. "A Method of Evaluating Surface Diffusivity of Rooms Using Field Measurement", International Symposium on Surface Diffusion in Room Acoustics, Liverpool, 2000.