

# 장방형 실의 형태가 실내음향에 미치는 영향

연철호\*, 박계균\*, 김홍배\*\* 한찬훈\*\*\*

충북대학교 공과대학 건축공학과

## The Effects of Room Shape on the Acoustics of Rectangular Rooms

Yeon Chul-Ho, Park Kye-Kyun, Kim Hong-Bae, Haan Chan-Hoon

Dept. of Architectural Engineering, Chungbuk National University

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

### 요 약

본 연구는 과학적이고 실험적인 접근을 통하여 공간의 비례와 실내음향과의 상관관계를 규명하기 위하여 체적과 마감재료가 같고 비슷한 기본축척의 모델을 중심으로 가로, 세로, 높이의 비율이 다른 4개의 모델에서 각각 SPL, EDT, C, RT, LEF, IACC 등을 측정하여 각 형태의 모델의 값을 비교 분석하였다. 실험결과 잔향은 동일한 체적인 경우 음원으로부터 평균거리가 멀리 위치한 장방형의 형태가 양쪽 측벽 사이의 거리가 넓은 장방형보다 잔향시간이 긴 것으로 나타났다. 음압은 실의 체적이 작고 음원으로부터의 평균거리가 짧은 순서로 큰 반면, 명료도는 잔향의 크기순서에 반대로 분석되었으며 특히 음원으로부터의 직선거리가 짧은 순서로 명료도가 좋게 나타났다. IACC는 양쪽 측벽의 거리가 가장 긴 모델에서 가장 작게 나타났다. 그러나, 초기 음장에서는 그 변화가 작게 나타났는데 이것은 IACC가 실의 형태에 장시간 관여하는 지수라는 것을 의미한다.

### 1. 서 론

실의 형태(shape)는 실의 크기(size)와 마감재료(material), 표면의 상태(surface condition)와 함께 실내음향에 가장 큰 영향을 미치는 인자이며 실의 용도와

종류에 따라 최적 형태가 기본적인 음향적 조건으로 간주되어 왔다. 특히 일반적으로 가장 많이 사용하는 장방형실에 있어서 3차원적 형태를 규정하는 실의 비례는 건축음향적 조건의 형성에 많은 영향을 주는 것으로 인식되어 지고 있다. 그러나 실내공간의 비례가 실제로 물리적인 음향인자에 구체적으로 어떤 영향을 주는가에 대한 실험적인 결과가 뒷받침되어지지 않았다. 본 연구는 과학적이고 실험적인 접근을 통하여 공간의 비례와 실내음향과의 상관관계를 규명하고 한다.

### 2. 축척모델을 이용한 실험

#### 2.1 실험의 개요

실의 형태가 실내음향에 미치는 영향을 축척모델(scaled model)로 제작 실험함으로써 기존의 이론을 실험을 통하여 증명하는 동시에 실제 실의 공간에서 실내음향을 분석함으로써 설계 시 필요한 이점을 제시하고자 한다.

축척모델(scaled model)은 길이(length), 폭(width), 높이(height)를 변화시켜 동일한 형태를 따라 4개의 모델을 각각 제작한다. 각 부위별 실내마감 재료는 동일하게 적용하며 축척모델(scaled model) 실험에 맞는 무지향성 음원을 별도로 제작하여 실험에 임하였다. 본 실험에서는 잔향시간(RT), 음압레벨(SPL), 명료도(C<sub>80</sub>),

현장감(IACC)의 4가지 음향성능평가요소를 통하여 실내음향 특성을 분석하였다.

### 2.2 축척모델(scaled model)의 제원

코어합판으로 표 1에 나타난 비율에 따라 치수를 달리하여 각각 형태가 다른 M-1, M-2, M-3, M-4의 4종류의 축척모델(scaled model)을 제작하였다. 각 모델에서 체적의 크기순서는 M-4 > M-2=M-3 > M-1 순이다.

표 1. 각 모델의 길이 : 폭 : 높이의 비율

구 분	Ratio of Dimensions (L : W : H)
M-1	15 : 15 : 1
M-2	2 : 15 : 1
M-3	15 : 2 : 1
M-4	15 : 15 : 1.5

각 모델에서 객석바닥은 시중에서 유통되고 있는 종이로 만든 계란판으로 흡음면으로 적용하였고, 객석 뒷벽도 흡음재(SONO fabric)로 흡음면으로 적용하였다. 그 이외의 면은 반사면으로 적용하였다. 각 모델의 투시도와 실내표면 상태는 그림 1 ~ 그림 4에 나타낸 바와 같다.

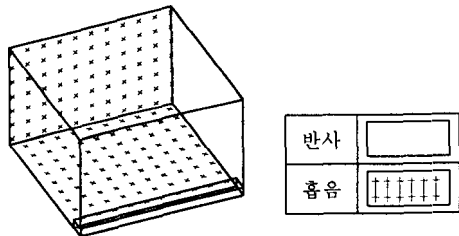


그림 1. M-1 모델

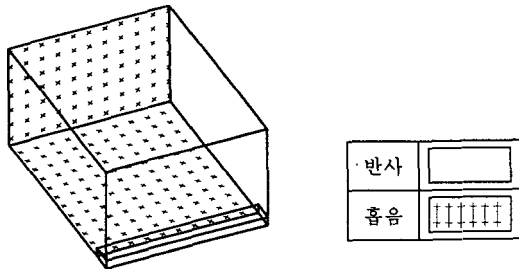


그림 2. M-2 모델

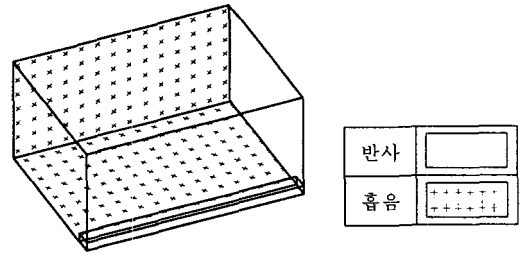


그림 3. M-3 모델

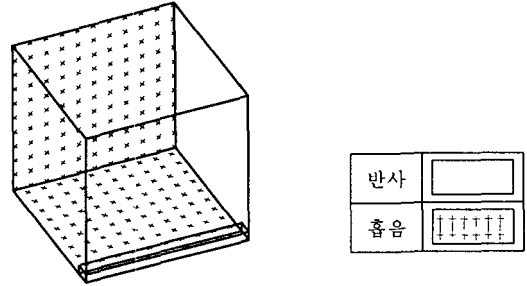


그림 4. M-4 모델

### 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. 음원(S)과 수음점(r1-r4)의 좌표는 표 2에 나타난 바와 같고 평면상과 단면상에 나타난 음원과 수음점의 위치는 각각 그림 5와 그림 6에 나타낸 바와 같다.

표 2. 음원 및 수음점의 좌표

구 분		X	Y	Z
음원	S	0.00	0.09	0.25
	r1	0.00	0.90	0.12
수음점	r2	0.45	0.90	0.12
	r3	0.00	1.35	0.12
	r4	0.45	1.35	0.12

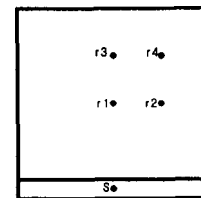


그림 5 평면상의 음원과 수음점의 위치

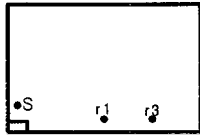


그림 6 단면상의 음원과 수음점의 위치

### 2.4 실험방법 및 실험기기의 내역 및 구성도

축척모델(scaled model)에서 요구되는 무지향성 음원으로는 250Hz의 주파수부터 분석하기 위하여 3inch 스피커 12개를 사용하여 한 변의 길이가 7.8cm인 정오각형으로 이루어진 12면체의 무지향성 스피커를 자체 제작하였다. 각각 축척모델에서 무지향성 음원은 무대 바닥에서 0.15m 높이로 설치하였고, 수음점은 각 측정점에서 0.12m 높이로 설치하였다. 각각의 측정점에서의 실험은 마이크를 무대로 향하여 지향시킴으로써 직접음과 초기반사음의 측정에 용이도록 하였다. 측정시 음원 신호는 음원조사 및 무대에서 일정한 음압의 1/3 옥타브 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 마이크에서 수음된 신호를 3번씩 측정하여 Audio & Sound Analyzer Main Frame ASA-2 (ETANI)에 Digital Data로 저장하고 이 Data를 노트북에서 운용되는 ETANI software 프로그램에서 분석하였다.

축척모델에서 실험에 사용된 기기의 내역은 아래 표 3과 같다. 또한 실험에 사용된 실험기기의 구성도는 그림 7과 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

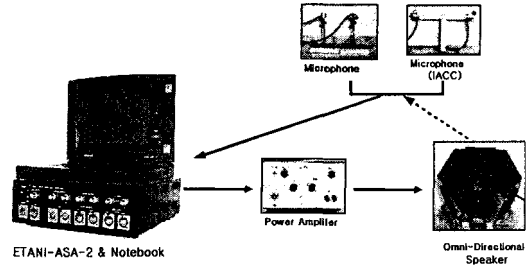


그림 7 실험기기의 구성도

## 3. 실험결과

### 3.1 형태에 따른 실험 결과

각 4개의 축척모델(scaled model) 실험을 통하여 각 모델에서 3번씩 측정하여 각 모델의 4개의 수음점(r1-r4)에서 얻어진 값을 평균한 값을 취하였다. 각 모델에서 형태에 따른 실내음향특성을 알기 위하여 RT, SPL, C<sub>80</sub>, IACC 등의 음향평가요소 값을 측정하여 분석하였다.

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

잔향시간은 그림 8에 나타난 바와 같이 체적이 가장 큰 M-4 모델에서 가장 길었고 나머지 M-2, M-1, M-3 모델 순으로 나타났다. M-2 모델과 M-3 모델에서는 체적은 같지만 M-2 모델에서 약 0.04초 길게 나타났다.

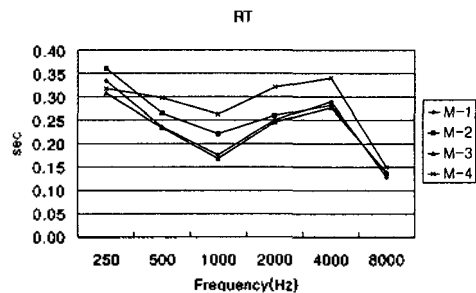


그림 8. 모델에 따른 주파수별 잔향시간(RT)의 비교

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

음압레벨은 전체적인 음향 인상(overall acoustic impression)에 직접적인 영향을 주는 요소는 아니지만 음압레벨이 기대이상으로 낮다면 명료도에 악영향을 미치므로 중요 음향성능 평가인자로 간주된다. 음압레벨은 M-1 모델에서 가장 높게 나타났고, M-3 모델과 M-2 모델에서는 약 0.12dB 차이로 M-3 모델에서 높게 나타났다. 그림 9는 각 모델에서 전체 주파수의 음압레벨(SPL) 값을 나타내고 있다.

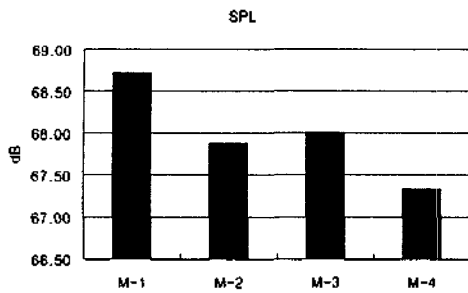


그림 9. 모델의 형태에 따른 음압레벨(SPL)의 비교

### 3.1.3 명료도 ( $C_{80}$ ; Clarity)

일반적으로 명료도는 음압레벨에 비례하여 증가하는 경향이 있는데,  $C_{80}$  값은 음압레벨의 경향과 같이 M-1 모델에서 가장 큰 값을 나타냈고 M-3 > M-2 > M-4 크기 순으로 나타났다. 그림 10은 각 모델에서 전체 주파수의 평균 명료도( $C_{80}$ ) 값을 나타내고 있다.

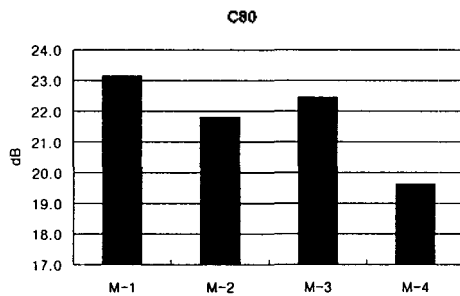


그림 10. 모델의 형태에 따른 명료도( $C_{80}$ )의 비교

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

80ms 기준으로 초기·후기로 나누어서 분석한 결과, 초기·후기 모두 M-2 모델에서 가장 높게 나타났고 M-4, M-1, M-3 크기 순으로 나타났다. 각 모델에서는 초기보다 후기 값이 높게 나타났다. 그림 11은 각 모델에서 전체 주파수의 평균 1-IACC 값을 나타내고 있다.

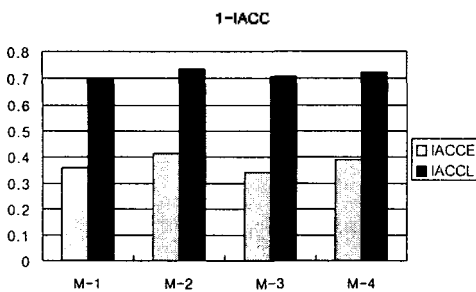


그림 11. 모델의 형태에 따른 현장감(1-IACC)의 비교

## 3.2 수음점에 따른 실험 결과

각 4개의 축척모델(scaled model) 실험을 통하여 각 모델에서 3번씩 측정하여, 각 모델의 4개의 수음점( $r_1 \sim r_4$ )을 객석 위치에 따라  $r_{1r3}$ 와  $r_{2r4}$ 로 두 Zone으로 나누어  $r_{1r3}$  값과  $r_{2r4}$  값의 평균한 값을 취하였다. 각 모델에서 수음점에 따른 실내음향특성을 알기 위하여 RT, EDT, SPL,  $C_{80}$ , IACC 등의 음향평가요소 값을 측정하여 분석하였다.

### 3.2.1 잔향시간 (RT ; Reverberation Time)

잔향시간은 각 4개의 모델에서 동일하게 측벽과 거리가 가까운  $r_{2r4}$  Zone의 값이 측벽과 거리가 먼  $r_{1r3}$  Zone 값보다 더 길게 나타난다. 그림 12는 각 모델에서 객석의 위치에 따른 전체 주파수의 평균 잔향시간을 나타내고 있다.

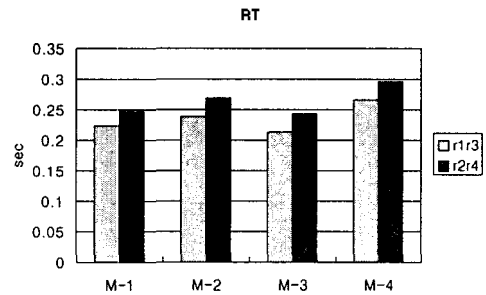


그림 12. 객석의 위치에 따른 잔향시간(RT)의 비교

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

초기감쇠시간은 M-2, M-3, M-4 모델에서는 측벽과 거리가 가까운  $r_{2r4}$  Zone에서 길게 나타나고, M-1 모델에서는 측벽과 거리가 먼  $r_{1r3}$  Zone에서 약 0.75ms 정도 길게 나타났다. 이것은 M-1 모델의 체적이 상대적으로 M-2, M-3, M-4 모델보다 작고 음선거리가 짧기 때문인 것으로 판단된다. 그림 13은 각 모델에서 객석의 위치에 따른 전체 주파수의 평균 EDT 값을 나타내고 있다.

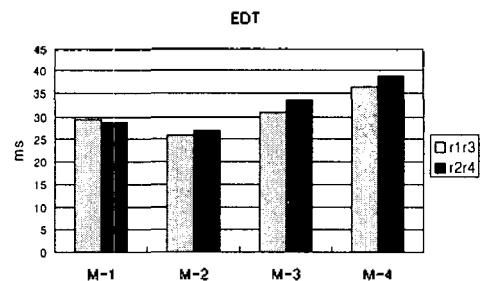


그림 13. 객석의 위치에 따른 초기감쇠시간(EDT)의 비교

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

음압레벨은 각 4개의 모델에서 동일하게 측벽과 거리가 가까운 r2r4 Zone의 값이 측벽과 거리가 먼 r1r3 Zone 값보다 더 높게 나타난다. 잔향시간이 길어지면 당연히 음의 체류시간이 길어지므로 음압레벨이 높게 나타난 것으로 판단된다. 그림 14는 각 모델에서 객석의 위치에 따른 전체 주파수의 평균 음압레벨 값을 나타내고 있다.

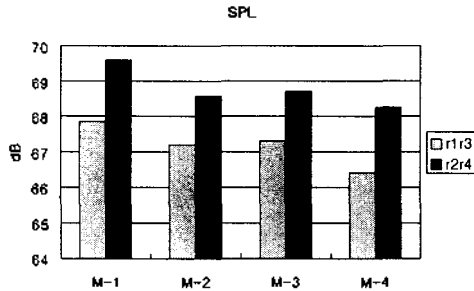


그림 14. 객석의 위치에 따른 음압레벨(SPL)의 비교

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

명료도의 계수로 사용한 C<sub>80</sub> 값은 각 4개의 모델에서 동일하게 측벽과 거리가 먼 r1r3 Zone에서 높게 나타났다. 이것은 C<sub>80</sub> 값은 측벽과의 거리와는 상관없이 음원과 가까운 r1r3 Zone에서 초기의 직접 음에너지가 후기 반사음에너지 보다 크기 때문인 것으로 판단된다. 그림 15는 각 모델에서 객석의 위치에 따른 전체 주파수의 평균 명료도(C<sub>80</sub>) 값을 나타내고 있다.

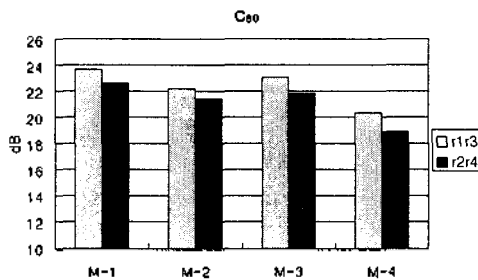


그림 15. 객석의 위치에 따른 명료도(C<sub>80</sub>)의 비교

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

1-IACC<sub>A</sub> 값은 각 4개의 모델에서 동일하게 측벽과 가까운 r2r4 Zone에서 높게 나타났다. 이것으로 실의 확산감(공간감)은 초기 직접음의 영향을 받는 중앙보다는, 후기 반사음의 영향을 받는 측벽과 가까운 지역이 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 그림 16은 각 모델에서 객석의 위치에 따른 전체 주파수의 평균 1-IACC<sub>A</sub> 값을 나타내고 있다.

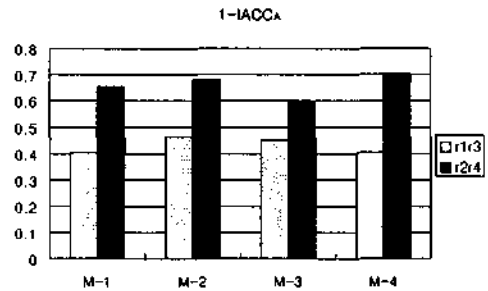


그림 16. 객석의 위치에 따른 현장감(1-IACC<sub>A</sub>)의 비교

### 3.3 축척모델의 종합음향평가

음향인자의 단위가 다르고 비례관계도 다르기 때문에, 각 다른 크기의 값을 표준화시킬 수 있는 Z-Score를 이용하여 각 모델에서의 종합적인 음향평가를 하였다. 표 4는 축척모델에서의 Z-Score를 나타내고 그림 17은 축척모델에서의 종합음향평가지치를 나타내고 있다.

표 4. 축척모델에서의 Z-Score

구분	RT	SPL	C <sub>80</sub>	1-IACC <sub>L</sub>	Σ Z-Score
M-1	-0.605	1.290	0.917	-0.946	0.655
M-2	0.173	-0.184	0.029	1.236	1.254
M-3	-0.904	0.034	0.452	-0.662	-1.079
M-4	1.337	-1.141	-1.398	0.373	-0.829

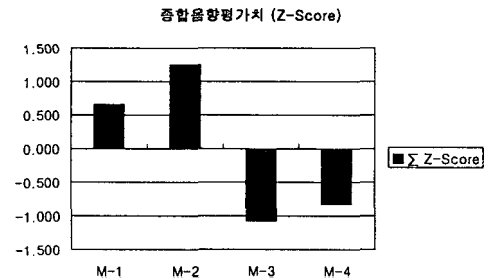


그림 17. 축척모델에서의 종합음향평가지치

## 4. 결론

건축공간에서 형태와 실의 비례(Proportion)에 의한 실내음향의 변화에 대한 조사를 위하여 다양한 형태의 실에 대한 음향적 조사를 실시하였다. 4개의 대표적인 형상에 대하여 축척모델(scaled model)을 이용한 실험을 실시하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 실의 잔향은 공간의 형태에는 영향없이 기존의 이

른대로 실내공간의 체적에 가장 큰 영향을 받았으나, 특히 동일한 체적인 경우 음원으로부터 거리가 멀리 위치한 장방형의 형태가 양쪽 측벽 사이의 거리가 넓은 장방형보다 잔향시간이 긴 것으로 나타났다.

2) 음압(Loudness)은 실의 체적이 작고 음원으로부터의 평균 이동거리(sound path)가 짧은 순서로 큰 것으로 밝혀졌다.

3) 명료도는 잔향과의 역비례의 관계에 있는 관계로 잔향의 크기순서에 정확하게 반대로 명료도의 크기가 분석되었으며 특히 음원으로부터의 직선거리가 짧은 순서로 명료도가 좋게 나타났다.

4) 본 연구에서 물리적인 공간적 음향지수(spatial parameter)로 측정된 양이효과 지수(IACC)는 예상한 대로 양쪽 측벽의 거리가 가장 긴 M-3 model에서 가장 작게 나타났다. 그러나, 초기 음장에서는 그 변화가 작은 것은 IACC가 실의 형태에 장시간 관여하는 지수라는 것을 의미한다.

5) 객석의 중앙위치와 측벽에 가까운 위치의 차이를 분석한 결과 측벽에 가까운 위치에서 보다 긴 잔향(RT)과 초기감쇠시간(EDT), 음압레벨(SPL)이 나타나고 있으며, 특히 높은 현장감(1-IACC)을 얻는 것으로 나타났다. 이것은 일반적인 홀의 경우 넓은(wide) 홀이 흔히 가지게 되는 음향적 단점을 증명하는 것으로 객석 중앙에 형성되는 음향적 불리함(Acoustic Shadow Zone)을 보여주고 있다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때 음향의 조건은 실의 형태와 3차원적인 비례(proportion)에 의하여 가장 많은 영향을 받는다는 것을 실험에 의하여 입증하였으며 특히, 실내 표면의 확산성이 전반적인 실내 음장의 향상에 크게 기여하고 있음을 밝혀내었다. 따라서, 향후의 음향공간의 설계시 본 연구의 결과를 바탕으로 실의 용도와 규모에 따른 실의 형태와 내부 표면의 확산성을 결정하는 데 많은 도움이 되리라 판단된다.

#### 참고문헌

1. C. H. Haan, "Geometry as a Measure of the Acoustic Quality of Auditoria", Ph.D. thesis, The University of Sydney, 1993.

2. C. H. Haan and F. Fricke, "Guidelines for the Acoustic Design of Auditoria", Proc.of ANZAScA Conference, p.67-77., 1990.
3. C. H. Haan and F. Fricke, "Geometry as a measure of acoustic performance of auditoria", Proc. of 14th ICA, Beijing, F3-2, 1992.
4. C. H. Haan and F. Fricke, "Statistical investigation of geometrical parameters for the acoustic design of auditoria", Applied Acoustics, 35(2), p.105-127., 1992.
5. Edward, R.M. "A subjective assessment of concert hall acoustics", Acustica 30(4), p. 183-195, 1974.
6. Gade, A.C., "Relationship between objective room acoustic parameters and concert hall design", 12th International Congress on Acoustics, Toronto, E4-8, 1986.
7. Gade, A.C., "The influence of architectural design on the acoustics of concert hall", Applied Acoustics 31, p. 207-214, 1990.
8. Gade, A.C., "Prediction of room acoustical parameters", J.Acoust.Soc.Am. 89, 1857.
9. Hawkes, R.J. and Douglas, H., "Subjective acoustic experience in concert auditoria", Acustica 24(5), p 235-250, 1971.