

# 입력 매개변수에 따른 시뮬레이션 오차에 관한 연구

## About the simulation error which follows in input parameters research

김태훈† · 김동욱\* · 박광진\* · 공정철\*\* · 배동명\*\*\*

Tae-Hoon Kim, Dong-Uk Kim, Kwang-Jin Park, Jeong-Chul Kong  
and Dong-Myung Bae

Key Words : Acoustic simulation(음향예측), Reverberation time(잔향시간), Definition(회화적명료도), Clarity(음악명료도)

### ABSTRACT

The research which sees, the parameters inputs and acoustic measurement result in simulation error most on a large scale concreteness of 3D models which affect number of effective surface. Therefore DATA of above the comparison which will listen, analyzed and investigated

## 1. 서 론

최근 국내에 건물의 용도에 따른 음향성능의 필요성이 증대되고 있어, 건축음향이라는 설계분야가 도입되었지만, 여전히 디자인적인 측면과 시공의 편의성에 초점을 맞추어 설계를 진행하는 경우가 많다. 그로 인한 음향적 결함으로 준공 후 음향성능 개선을 위한 재공사를 필요로 하여 유지관리비가 증대되는 결과를 초래하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 1990년대 후반부터 설계 단계에서 실내음장(sound fields, 音場)을 분석하고, 각종 음향인자의 예측 및 계산을 위하여 기하음향학에 기초를 둔 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 음향설계기법이 도입되었으며, 음향 시뮬레이션 프로그램을 통하여 설계 단계에서 공간의 형태와 내부 마감재료의 크기 및 위치

등을 고려하여 적절한 음향성능을 시공 전에 예측할 수 있게 되었다. 시뮬레이션을 통한 음향설계의 경우, 음향성능을 사전에 예측할 수 있다는 장점이 있지만, 시뮬레이터 입력 값으로 인한 예측치와 실제 측정 시 보정되어야 할 가변 매개변수들에 의하여 오차가 발생하게 된다.

따라서 공간 사용목적에 적합한 정밀한 실내음향설계 예측이 필요하나, 현실적으로 단순화된 모델은 결과의 신뢰성을 저하시키고, 과도하게 세밀한 모델은 분석 및 계산에 많은 시간 및 효율성이 저하되는 문제가 있다.

이러한 예측 및 실측값에 대한 오차는 입력 및 측정값에 따른 다양한 매개변수에 의해 발생되고, 보다 더 정확한 예측을 위해서는 각 변수에 따른 반복적인 오차 자료의 연구가 필요하다고 생각된다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 관련연구 동향

음향 시뮬레이션을 이용한 관련 연구들을 살펴보면, 대부분의 연구가 음향성능 개선에 초점이 맞추어

† 교신저자; 정회원, 티엘엔지니어링(주) 대표이사, 부경대학교 대학원, 박사과정

E-mail : tleng@paran.com

Tel : 051)623-3999 , Fax : 051)623-4222

\* 정회원, 부경대학교 대학원, 석사과정

\*\* 정회원, 부경대학교 대학원, 박사수료

\*\*\* 정회원, 부경대학교 조선해양시스템공학과

져 있다. 또한 장영자 등의 청감실험실의 음향 예측치와 측정치 비교·분석에 관한 연구(1)와 박찬재 등의 3D 모델의 구체성과 시물레이션의 관계 연구(2), 김태훈 등의 음향시물레이터 오차에 관한 연구(3) 등이 음향 예측 오차에 대해 연구하였지만, 다양한 대상건물의 용도별 선정에 따른 매개변수 그에 대한 반복적인 실험 및 측정 오차의 결과값이 부족하여 시물레이터 입력 시 매개변수의 보정 자료는 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 음향 시물레이션을 이용하여 설계·시공·준공 후 실측 비교 평가된 문화시설을 대상 건물로 선정하여 매개변수에 따른 오차범위를 알아보려고 한다.

## 2.2 음향 시물레이션

실내 음향 예측을 위하여 사용되고 있는 시물레이션 프로그램으로는 ODEON(덴마크), CATT(스웨덴), EASE(독일), RAY NOISE(벨기에) 등이 있다. 이러한 프로그램은 유사한 이론적 알고리즘을 가지고 있고, 본 연구에서는 벨기에의 RAY NOISE R3.1 프로그램을 이용하였다.

RAY NOISE R3.1은 광선 반사법칙에 근거를 둔 음파에 관한 수학적 모델과 기하음향학 원리를 이용하고 있다. 이 프로그램은 원추형(Conical)과 삼각형 광선모델(Triangle Beam Method)을 이용하는데, 이는 음선추적법(Ray Tracing Method)과 허상투영법(Mirror Image Source Method)을 조합한 것이다. RAY NOISE R3.1은 AutoCAD의 3D Face 기능과 연계하여 편리하게 모델링 할 수 있고, 잔향시간, 음성 및 음악명료도, 음선경로 등을 다양한 형태로 출력할 수 있으며, 건물 형태, 내장재, 음원 등의 변화에 따라 발생음의 전달과 주위 영향 등 실내 음장 특성을 예측할 수 있다.

(1) 장영자, 박병진, 유남구, 청감실험실의 실내 음향 특성에 관한 이론 예측치와 측정치의 비교·분석, 대한건축학회논문집 12권 9호 pp.193~199, 1996

(2) 박찬재, 한찬훈, 3D 모델의 구체성이 음향시물레이션에 미치는 영향, 대한건축학회 제5회 우수졸업논문전 수상 논문 개요집 제5권 제1호, pp. 203~206, 2009

(3) 김태훈, 공정철, 조은경, 정근주, 임영빈, 시사실 음향시공 사례에 의한 음향시물레이터 오차에 관한 연구, 대한건축학회지회논문집 11권 3호 pp.177~184, 2009

## 2.3 매개변수

### (1) 측정 매개변수

음향지수에 대한 측정결과는 현장의 온도, 습도, 측정조건에 따라 달라진다. 여름철 실내가 겨울철에 비해 6m/s 이상의 속도로 빠르게 전달됨을 알 수 있으며, 실내습도 권장치는 40~60%로써 습도가 높은 공기일수록 소리가 더 빨리 전달된다.

현장에서 공연장 및 체육시설 등은 공기조화설비를 통해 실내 온·습도가 제어되는 시스템을 사용하고 있으며, 관객 및 시설 이용자에 의한 조건에 따라 주파수 대역별로 소리의 전달 정도가 달라진다.

실내 음향측정은 배경소음의 영향에서 비교적 자유로운 MLS음원과 무지향성 스피커를 이용하여 ISO 3382에 준하여 측정된다. 무대의 중앙, 체육시설의 중앙 등에 무지향성 스피커를 1.5m 높이로 설치하고, 각 수음점의 위치에 마이크로폰을 1.2m 높이로 설치하여 측정한다. 각 벽면과 최소 1m 이상을 이격하여 벽면에 의한 반사음 영향을 최소화한다. 음원과 마이크로폰의 사이에 장애물이 없도록 하고, 측정 시 온·습도 및 측정 인원, 측정자의 위치 등의 영향도 고려해야한다. 따라서 공간에 따른 실내 적정 온도, 습도, 측정조건을 고려한 음향설계의 보정이 필요하다.

### (2) 입력 매개변수

3D로 모델링 된 건물을 시물레이션 시 입력되는 마감 재료의 흡음률은 잔향실법 흡음률 측정방법에 의해 나온 값을 사용하여야 하나 잔향실법으로 측정하기엔 많은 어려움이 따르므로, 업체에서 제시하는 자재흡음률을 사용하고 있다. 따라서 기존의 흡음률 측정 조건이 실제 건물 내부의 마감 조건과 상이할 경우, 예측에 영향을 미치며 경험적 보정치의 추가 적용이 필요하다.

또한 3D모델링 시 사용되는 음선수 및 유효표면수의 많고 적음에 따라 시물레이션 결과 값이 달라진다. 3D모델을 구체적으로 작성할수록 주파수대역의 오차가 줄어들고, 단순한 3D모델을 사용할 경우 사용 음선수를 증가시키면 보다 정확한 예측이 가능하다. 음향 설계를 위한 3D모델링 시 자의적으로 mesh의 수를 간략화하므로 이에 대한 보정값 및 건물의 사용 목적에 따라 유효표면수를 달리하여 반복 시물레이션하여 오차를 줄이는 것이 음향설계에 유리하다.

### 3. 음향성능측정

#### 3.1 부산예술회관 공연장 측정 및 분석

##### (1) 측정대상의 개요

부산예술회관 공연장은 폭 17.1m, 길이 17.7m, 높이 6.5m, 체적 1,800m<sup>3</sup>의 다목적 공연장의 음향 특성이 요구되는 실이며, Table 1은 마감 재료 종류 및 흡음률을 나타낸 것이다.

**Table 1** Sound absorption rate of objective close material

	250	500	1K	2K	4K
천연섬유질 불연흡음재 15T	0.15	0.35	0.7	0.65	0.7
천연섬유질 불연흡음재 25T	0.55	0.45	0.5	0.6	0.75
천연섬유질 압착흡음재 25T	0.41	0.47	0.32	0.28	0.33
방음문	0.13	0.1	0.1	0.1	0.1
좌석	0.25	0.4	0.45	0.45	0.4
카펫	0.1	0.2	0.25	0.3	0.4
시창	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04
분산흡음재	0.17	0.21	0.19	0.13	0.13
무대바닥	0.15	0.1	0.09	0.09	0.09
필름	0.11	0.1	0.07	0.06	0.06

##### (2) 측정 방법

부산예술회관 공연장은 장방형의 형태를 지니고 있어 실의 중심을 기준으로 임의의 그리드(Grid)를 설정하고 일정 간격으로 16개소 수음점을 선정하였다. 음원의 위치는 무대부 앞쪽 중심으로 선정하였으며, 각 실의 수음점 위치는 Fig 1과 같다.

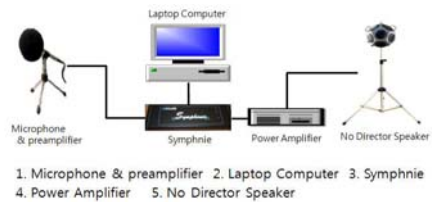


**Fig 1** Masturbation point location of objective performing arts center

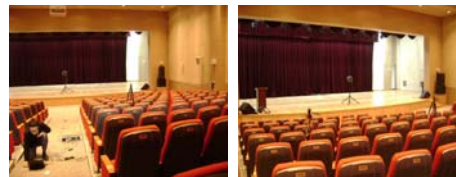
**Table 2** Pusan performing arts center acoustic measurement result (500Hz)

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	평균
RT60(sec)	0.72	0.70	0.75	0.77	0.84	0.69	0.77	0.76	0.89	0.87	0.66	0.79	0.76	0.66	0.67	0.86	0.76
D50(%)	61.4	66.1	66.2	56.1	62.5	71.5	53.0	57.7	59.5	76.2	52.9	53.1	60.2	61.0	53.5	38.7	59.4
C80(dB)	6.3	8.4	6.8	6.8	5.6	7.0	6.2	3.7	3.8	6.5	2.3	5.0	3.1	7.0	3.6	7.1	5.6

음향요소 측정은 ISO3382에 준하여 실시하였고, 측정시 실내온습도 11℃, 35%였으며, 음원은 무지향성스피커(SP-600)를 1.5m 높이에서 사용하고, 마이크로폰의 높이는 좌석에 사람이 앉았을 때와 비슷한 높이인 1.2m로 하였다. 측정기는 01dB사의 Symphonie를 사용하였으며, dBBATI 프로그램의 음원을 발생시킨 측정시스템의 구성은 Fig 2와 같다.

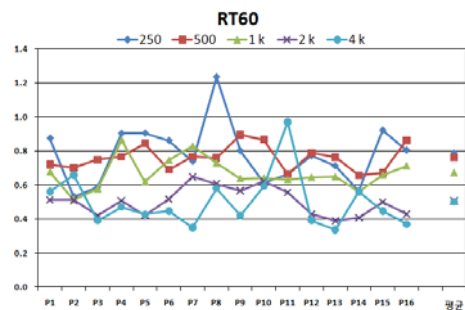


**Fig 2** Composition of measurement system



**Fig 3** Measurement features of objective place

부산예술회관의 측정 광경 Fig. 3의 측정결과 500Hz 대역 음향요소별 평균값이 잔향시간(RT<sub>60</sub>) 0.76sec, 회화적 명료도(D50) 59.4%, 음악적 명료도 C80) 5.6dB로 나타났다. 각 수음점 및 주파수별 결과값은 Table 2와 같고, Fig 4~6은 각 음향요소별 측정 주파수별 그래프이다



**Fig 4** Frequency range by Reverberation time(RT60) measurement result

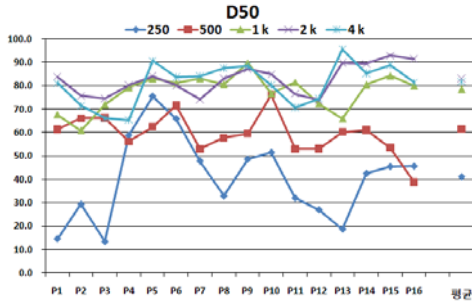


Fig 5 Frequency range by Definition (D50) measurement result

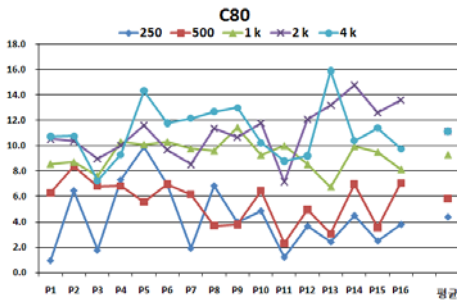


Fig 6 Frequency range by Clarity (C80) measurement result

## 4. 음향 시뮬레이션

### 4.1 연구 방법 및 범위

본 논문은 벨기에의 RAY NOISE R3.1을 이용하여 부산예술회관 공연장의 음향설계시공측정의 사례를 반복 분석하였다. 그 결과를 바탕으로 프로그램의 잔향시간, 회화적 명료도, 음악적 명료도 오차를 비교 고찰하였다.

유사 예측 프로그램들도 음선추적법과 같은 알고리즘을 공히 이용하고 있는 등 음향특성 연산 알고리즘이 대동소이 하다고 판단되어 본 논문에서는 여타의 프로그램은 범위에서 제외하였다.

### 4.2 음향 시뮬레이션의 개요

시뮬레이션을 위한 3D모델링은 AutoCAD를 이용하여 무대부를 제외한 객석부만 모델링하였으며, 공연장의 마감재료 및 흡음률은 Fig 1과 같다. Fig 7은 시뮬레이션에 사용된 부산예술회관 공연장 3D 모델이다.

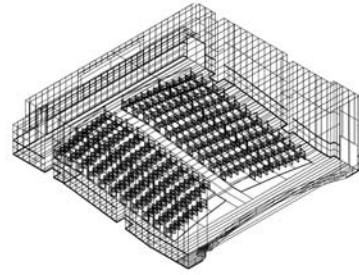


Fig 7 3D models of objective performing arts center

Dummy source를 음원으로 사용하였으며, 음선 수는 2,042개, Time Window 2,000ms, 에코 반사차수는 10차, 음선경로의 반사차수는 171차로 하였고 음 확산을 고려하였다. 이와 같은 조건 하에서 시물레이션을 시행하고 결과값은 실내음향 평가시 주로 사용되는 500Hz의 값을 기준으로 음향요소 예측값을 출력하였다.

또한 측정값과 예측값의 정확한 비교를 위해 측정시와 동일하게 수음점의 위치를 선정하였다.

Table 3은 시물레이션 시 입력한 각종 파라미터이다.

Table 3 Objective input parameter value

	Model 1
Number of Effective Surface	4,223
Rays	2042
Reflect Order	171
dynamic range	90
Time Window	2000
Echo Store	10
Ray Path Store	5
Histogram Interval	10
Histogram Length	40

### 4.3 시뮬레이션 결과 분석

#### (1) 잔향시간(RT60)

500Hz에서 컴퓨터 시뮬레이션 출력값은 Fig 8과 같이 0.71~0.95초의 범위를 보이고 있고, 전 좌석에서 고르게 나타났다. 측정값과 비교하였을 때, 측정값에 비해 예측값이 고른 분포를 보이고 대부분의 좌석에서 측정값보다 약 0.1~0.2초 정도 길게 나타났다.

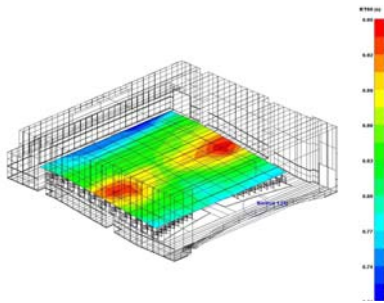
이러한 오차는 입력된 흡음률과 실제 흡음률의 차이 및 입력된 다른 파라미터 외의 다른 조건들을

**Table 4** Measurement and simulation value comparisons (500Hz)

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	평균
RT60 (sec)	측정값	0.72	0.70	0.75	0.77	0.84	0.69	0.77	0.76	0.89	0.87	0.66	0.79	0.76	0.66	0.67	0.86	0.76
	Model 1	0.77	0.85	0.93	0.84	0.80	0.83	0.87	0.82	0.80	0.85	0.87	0.79	0.79	0.88	0.92	0.81	0.84
D50 (%)	측정값	61.4	66.1	66.2	56.1	62.5	71.5	53.0	57.7	59.5	76.2	52.9	53.1	60.2	61.0	53.5	38.7	59.4
	Model 1	64.2	65.9	70.9	64.2	67.9	67.5	69.2	65.9	67.2	64.2	69.2	65.9	65.9	65.9	70.8	64.2	66.8
C80 (dB)	측정값	6.3	8.4	6.8	6.8	5.6	7.0	6.2	3.7	3.8	6.5	2.3	5.0	3.1	7.0	3.6	7.1	5.6
	Model 1	5.6	5.6	5.1	5.4	5.4	5.4	6.4	6.1	5.1	5.7	6.1	5.6	5.6	5.6	5.4	5.6	5.6

고려하지 못하는 시뮬레이션의 한계로 판단된다.

Fig 8은 잔향시간 예측값을 그래픽으로 나타낸 것이며, Table 4는 측정값과 예측값 그래픽을 수치로 나타낸 표이다.



**Fig 8** Reverberation time(RT60) simulation result of model 1

(2) 회화적 명료도(D50)

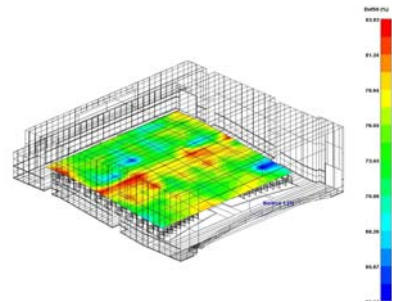
500Hz에서 회화적 명료도 D50의 측정값과 예측값의 비교 결과, 시뮬레이션 예측값은 평균 66.8%, 측정값 평균은 61.5%로 나타나 평균값의 차이는 5% 정도로 큰 차이가 없었지만, 잔향시간의 결과와 동일하게 각 수음점별로 비교하였을 경우, 다소 차이를 보였다.

Fig 9는 회화적 명료도의 예측값을 그래픽으로, Table 4는 측정값과 예측값의 수치를 나타낸 것이다.

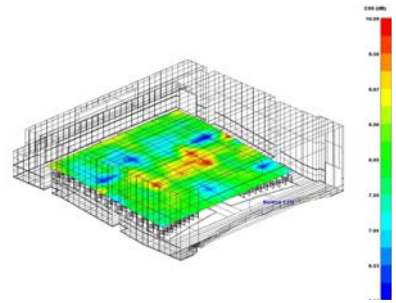
(3) 음악적 명료도(C80)

500Hz에서의 음악적 명료도 C80의 예측값과 측정값의 비교 결과, 예측값은 평균 5.6dB이고 측정값 평균은 5.6dB로 나타났다. 회화적 명료도와 유사하게 예측과 측정값의 평균이 유사하나 각 수음점별 비교시 차이가 남을 알 수 있다.

Fig 10은 음악적 명료도의 예측값을 그래픽으로, Table 4는 측정값과 예측값의 수치를 나타낸 것이다.



**Fig 9** Definition (D50) simulation result of model 1



**Fig 10** Clarity (C80) simulation result of model 1

**4.4 유효표면수 변화에 따른 예측값 비교**

4.2장에 사용된 Model 1(유효표면수 4,223개)의 유효표면수를 달리하여 시뮬레이션을 실시, 유효표면수가 시뮬레이션 예측에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

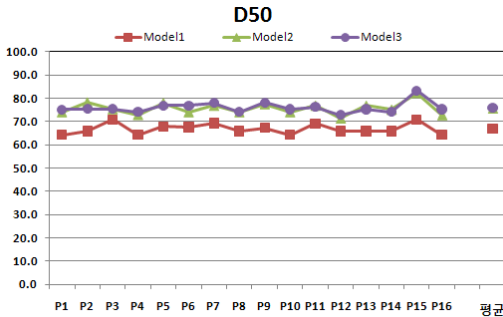
먼저 유효표면수를 약 2,000개씩 증가시키며 Model 2(유효표면수 6,085개)와 Model 3(유효표면수 8,111개)를 모델링한 후, Table 1, Table 3과 동일한 조건으로 시뮬레이션 하였다.

시뮬레이션 결과는 Table 5와 같이 나타났으며, 회화적 명료도 및 음악적 명료도는 Model 2와 3이 서로 유사한 값을, Model 1은 이보다 낮은 값을 보이는데, 이는 유효표면수를 달리하기 위하여 좌석의 등받이 부분 형태(Model 1:단순화, Model 2=Model 3: 구체화)를 약간 변형시켰기 때문으로 판단된다.

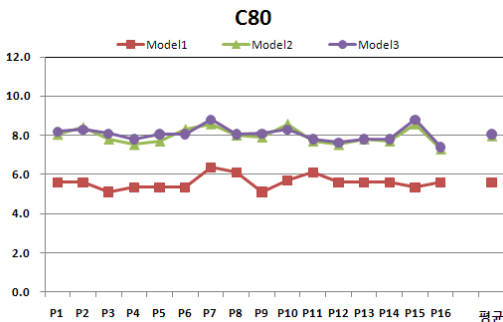
**Table 5** 3D model by results which differ an effective ostensible possibility (500Hz)

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	평균
RT60 (sec)	Model1	0.77	0.85	0.93	0.84	0.80	0.83	0.87	0.82	0.80	0.85	0.87	0.79	0.79	0.88	0.92	0.81	0.84
	Model2	0.77	0.86	0.90	0.83	0.79	0.84	0.86	0.80	0.80	0.83	0.84	0.81	0.77	0.86	0.90	0.80	0.83
	Model3	0.77	0.85	0.92	0.83	0.80	0.84	0.88	0.81	0.80	0.84	0.85	0.79	0.78	0.88	0.91	0.82	0.84
D50 (%)	Model1	64.2	65.9	70.9	64.2	67.9	67.5	69.2	65.9	67.2	64.2	69.2	65.9	65.9	65.9	70.8	64.2	66.8
	Model2	74.1	78.2	75.3	72.9	77.9	74.1	76.8	74.1	77.5	74.1	76.8	71.4	76.8	75.1	82.2	72.8	75.6
	Model3	75.1	75.4	75.4	74.1	76.8	76.8	78.0	74.1	78.1	75.3	76.3	72.8	75.3	74.1	83.3	75.3	76.0
C80 (dB)	Model1	5.6	5.6	5.1	5.4	5.4	5.4	6.4	6.1	5.1	5.7	6.1	5.6	5.6	5.6	5.4	5.6	5.6
	Model2	8.0	8.4	7.8	7.5	7.7	8.3	8.6	8.0	7.9	8.6	7.7	7.5	7.8	7.7	8.6	7.3	8.0
	Model3	8.2	8.3	8.1	7.8	8.1	8.1	8.8	8.1	8.1	8.3	7.8	7.6	7.8	7.8	8.8	7.4	8.1

Fig 11, Fig 12는 회화적 명료도와 음악적 명료도의 Model 1, 2, 3의 비교를 그래프로 나타낸 것이다.



**Fig 11** 3 models by simulation Definition (D50) comparisons

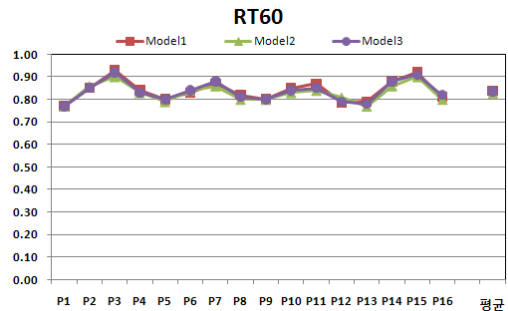


**Fig 12** 3 models by simulation Clarity (C80) comparisons

그에 반해 잔향시간의 경우 Fig 13과 같이 유효 표면수와 상관없이 유사한 값을 보인다. 이는 잔향시간 예측값이 회화적 명료도의 약 1/100, 음악적 명료도의 약 1/10 정도로 작은 값이기 때문에 좌석의 구체화가 잔향시간의 예측에 미친 영향을 파악하기 어려웠기 때문으로 판단된다.

Model 1과 Model 2, 3의 좌석의 구체화 차이가

나지 않았다면 모델별 음향요소의 예측값이 동일하게 나왔을 것이라 생각된다. 따라서 대상건물이 직선 위주의 디자인일 경우, 형태의 변화가 없다면 유효표면수를 달리하여도 도출되는 결과는 거의 동일하므로 요철(凹凸)부를 제외한 면들은 단순하게 모델링하여도 될 것으로 판단된다.



**Fig 13** 3 models by simulation Reverberation time (RT60) comparisons

## 5. 결론

본 논문은 부산예술회관 공연장 사례에서 입력 매개변수가 시뮬레이션 오차에 미치는 영향을 분석하였으며, 이를 통하여 문화시설의 음향설계시공 시 보다 정밀한 음향성능 예측에 기여하고자 하였다. 본 연구의 조사 분석 결과는 다음과 같다.

부산예술회관 공연장(체적 1,800m<sup>3</sup>)의 측정값 평균은 잔향시간 0.76초, 회화적 명료도 59.4%, 음악적 명료도 5.6dB로 나타났으며, RAY NOISE R3.1을 이용하여 시뮬레이션 한 Model 1의 예측값 평균은 잔향시간 0.84초, 회화적 명료도 66.8%, 음악적 명료도는 5.6dB로 나타났다.

측정값과 예측값 평균의 잔향시간 오차는 +0.08 초, 회화적 명료도 오차는 7.4%, 음악적 명료도 오차는 0.0dB로 나타났는데, 이들 오차는 인체가 차이를 느끼기엔 미미한 수준이라 할 수 있다.

그러나 결과를 수음점 별로 비교할 경우 측정값과 예측값이 다소 큰 차이를 보인다. 오차 발생의 원인은 시뮬레이션 시 입력한 대상 실의 마감 재료 평균 흡음률과 실제 재료면 전체의 흡음률과의 미세한 차이와 입력된 공기의 온·습도 등 매개변수가 측정 당일 실제 수준과 미세한 차이, 3D 모델링의 구체성 등 여러 가지 매개변수에 의한 것이라 할 수 있다.

여러 매개변수 중, 3D 모델링의 구체성이 오차에 미치는 영향이 크다고 가정하여, 본 연구에서 발생한 오차에 3D 모델링의 유효표면수가 미치는 영향을 파악하고자 Model 2, 3을 제작, 시뮬레이션 한 결과는 다음과 같다.

1) 유효표면수를 약 2,000개씩 증가시킨 Model 1,2,3의 시뮬레이션 결과, 잔향시간은 차이가 나지 않았으며, 회화적 명료도와 음악적 명료도에서 Model 2,3은 매우 유사한 값을, Model 1은 그보다 약간 낮은 값을 보였다.

2) 회화적 명료도와 음악적 명료도에서 모델별 오차는 객석부 좌석을 구체화시키는 과정에서 Model 1과 등받이 부분 형태 변화에 따른 영향으로 판단되며, 좌석의 형태를 변화 없이 유효표면수만을 달리하였다면 3가지 모델이 동일한 결과가 도출되었을 것으로 생각된다.

3) 잔향시간에서 모델별 오차가 나지 않는 이유는 다른 음향요소에 비해 매우 작은 값이기 때문에 좌석의 구체화가 미친 영향을 파악하기 어려웠기 때문이라 할 수 있다.

이상의 결과를 종합해 볼 때, 부산예술회관 공연장의 3D 모델링의 유효표면수가 측정값과 예측값의 차이에 미친 영향은 미미하다고 생각된다. 따라서 본 논문과 같이 대상 건물이 장방형 직선 위주의 내부 형태 디자인일 경우, 단순화시킨 모델을 이용하여도 예측에 큰 무리는 없을 것으로 사료된다.

끝으로 본 논문에서는 많은 입력 매개변수 중 유효표면수가 시뮬레이션 결과에 미치는 영향을 연구하였으므로 동일한 대상건물에서 다른 측정 매개변수들의 영향에 대한 연구가 필요하며, 내부 형태가

다른 문화시설의 추가 사례를 반복 조사하여, 각 매개변수에 따른 측정값과 예측값의 상관관계를 파악하고 그 결과를 음향설계 시 고려하여야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

(1) Jang, Y. J., Park, B. J. and Yoo, N. K., 1996, Comparison and Analysis on the Room Acoustic Characteristics between Theoretical Estimate Value vs. Measured Data in the Listening Test Room, Proceeding of the Journal of the architectural institute of Korea, pp. 193~199

(2) Park, C. J. and Haan, C. H., 2009, Effects of the Particularity of 3-D Modeling on the Accuracy of the Acoustical Simulations, Proceedings of the 대한건축학회 제5회 우수졸업논문전 수상논문 개요집, pp. 203~206.

(3) Kim, T. H., Kong, J. C., Cho, E. K., Jung, G. J. and Im, Y. B., 2009, A Study on Error of Acoustic Simulator as RAY NOISE with Case of Acoustic Construction in Projection Rooms, Proceedings of the Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea, pp. 177~184

(4) Jeon, J. Y., Lee, P. J. and Seo, C. K., 2007, Acoustical design for remodeling of the Little theatre in Sejong Performing Arts Center, Proceeding of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 991~996.

(5) Lee, B. K. and Kim, M. J., 2006, Analysis of the Factors affecting Reverberation Time in Small Room, Proceeding of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 462~497.

(6) M. David Egan, 1999, "Architectural Acoustics", McGraw Hill.

(7) Seo, H. G., Shin, D. J. and Jeon, J. Y., 2005, The Effect of Stage Ceiling Height on the Acoustic Characteristics of Concert Halls, Proceeding of the The Journal of the Acoustical Society of Korea, pp. 21~28