

실내음향 예측을 위한 컴퓨터 프로그램 이용에 관한 연구

김선우*, ○최형욱***, 한명호**

A Study on the Utilization of Computer Program for the Prediction of Room Acoustics

Kim, Sun-Woo* Choi, Hyung-Wook*** Han, Myung-Ho**

ABSTRACT

The computer simulation and mock-up test are recently applied to the practical design for the room acoustics to predict and evaluate its characteristics.

In this paper, the sound field properties predicted and evaluated by the computer simulation were compared to the measured data.

Comparison and analysis between simulation data and measured data were performed for the Reverberation Time, Sound Pressure Level at the various measuring positions and frequencies and Definition, Early Decay Time, Speech Transmission Index.

I. 서론

생활수준의 향상과 더불어 주거공간은 물론 문화예술 등에 대한 관심의 증대로 음향 성능이 좋은 건축공간이 요구되고 있다.

건축물 내·외부의 음향상태는 건축 후 실측에 의해 평가하고 그 대책을 수립할 수 있으나, 음향성능이 우수한 건축공간을 만들기 위해서는 건물시공전 기본설계단계에서부터 실내음향 특성을 예측·평가하여 설계에 반영하는 것이 중요하다.

현재 건물시공전 기본설계단계에서 실내의 음향성능실태를 사전에 예측하고 평가할 수 있는 방법은 모형실험을 이용하는 방법과 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하는 방법으로 대별된다. 이 두 방법은 서로 다른 장단점을 가지고 있는데, 이 중 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하는 방법은 모형제작의 번거로움을 피할 수 있으며, 여러 가지 상황을 가정하여 시뮬레이션 함으로써 건물내부의 음향적인 결합을 예측하고 이에 대한 대책을 수립할 수 있는 장점이 있다.

이에 본 연구에서는 현재 시공되어 있는 건축물의 내부공간 음향상태를 실측하고, 각각의 공간에 대한 모델을 작성한 후 컴퓨터 시뮬레이션으로 예측한 결과를 비교·분석하여, 실측치와 예측치의 일치여부를 검토하였다.

II. 실내음향평가

실내음향의 연구는 청취자의 심리효과를 결정하는 주관적인 요소와 내부공간의 건축적·음향적 특성간의 상호관련성을 규명하는 것을 목표로 하고 있다. 실내음향에 관한 연구에서 심리적인 효과에 영향을 미치는 인자로서의 음향적 특성은 Sabine에 의하여 정립된 잔향시간으로 대표할 수 있다. 20세기 초 수십년간은 음의 본질적 속성이나 반향, 요해도 등의 음향인자들과 실내음장상태간의 상호관련성에 관한 연구의 부족으로 잔향시간이 실내음향을 대표하는 것으로 받아들여졌다. 그리고 현재까지도 파동적으로 해석하기 어려운 실내음장상태를 이론적으로 단순, 명쾌하게 해석할 수 있다는 이유로 잔향이론의 기본적인 정의는 그대로 지켜지고 있다. 그러나 적정 잔향시간에 대한 권장치가 제안되어 있으나, 그 범위가 아직은 명확하다고

* 전남대학교 건축학과 교수, 공학박사

** 서남대학교 건축공학과 전임강사, 공학박사

***전남대학교 대학원 석사과정

할 수 없다. 또한 잔향시간은 허용범위안에 있고, 거의 같은 잔향시간을 나타내는 홀의 경우에도 그 평가가 다르게 나타난다. 따라서 어느 허용범위를 가진 잔향시간의 최적치는 홀이 좋은 음향효과를 갖기 위한 필요조건이지만 충분조건은 아닌 것으로 된다.

실내음향에 관한 연구에서 심리적인 효과에 영향을 미치는 인자로서의 음향적 특성은 Beranek이 뉴욕 필하모니홀의 음향개선 설계에서 도입한 초기반사음의 지연시간차와 그 밖의 음향적 특성은 실내에서 균일한 청취조건을 확보하기 위한 음압분포와 실의 형태계획에 관한 요소들이다.

이와 같은 이유로 인해 기존의 실내음향연구에서는 건축·음향적 특성들이 음향성능평가인자별로 제안되었으며, 그 결과는 Table 1과 같다.

Table 1. Factors of Acoustical Assessment

평가인자	건축·음향적 특성	비고
음선거리	· 음원과 수용점 거리 · 초기반사음 지연시간 · 직접음과 반사음의 비율 · 음압분포(음압레벨) · 측면반사음비율(측벽효과)	실형태평가
잔향시간	· 고음역 잔향시간 · 음절 명료도 · 명확성	실내마감재료 평가
차음	· 적정 압소음 유지	구조체평가
기타	· 초기반사음의 방위각 · 양쪽귀의 간섭성 · 초기잔향시간의 주파수 특성	실형태계획 완공후평가

따라서 본 연구에서는 우선적으로 가장 중심이 되는 잔향시간에 대한 데이터를 비교한 후, 그 결과에 따라 다른 실내음향평가지수들에 대한 실측치와 예측치를 비교해 보았다.

예측·평가 및 측정치와의 비교는 다음의 5가지 항목에 대하여 실시하였다.

- (1) 잔향시간(Reverberation Time : RT)
- (2) 음압레벨(Sound Pressure Level : SPL)
- (3) 초기음에너지 비율(Definition : D50)
- (4) 초기지연시간(Early Decay Time : EDT)
- (5) 음성전달지수(Speech Transmission Index : STI)

III. 현장측정과 예측

1. 대상 건물의 제원

대상건물은 용적·평면형태·사용목적 등 성격이 다른 3개의 공간을 선정하여 측정을 실시하였는데, 각각 성당·회의실·시청각실로 모두 음성명료도가 중요시되는 공간이다. 대상 건물의 제원은 Table 2와 같다.

Table 2. Details of Measurement Space

구분	광주 I성당	전남대학교 회의실	전남대학교 시청각실
사용목적	미사 등의 집회	회의 및 세미나	강의 및 세미나
천장최고 높이	26M	8M	6.3M
용 적	15049M ³	2458.53M ³	2160.6M ³
수용인원	920명	300명	360명
객석당 용적	16.4M ³	8.2M ³	6.0M ³
평면형식	장방형	원형	장방형
단면형식	2층 발코니 형식		
길이/폭	1.8/1	0.8/1	1.4/1

2. 측정방법과 측정기기

1) 측정방법

대상 실의 음향상태를 대표할 수 있는 점들을 내부공간의 크기에 따라 성당 18지점, 회의실 13지점, 시청각실은 9지점으로 선정된 측정점에 대하여 일정한 파워레벨을 가진 음원을 주어 측정을 실시하였다.

각 측정점은 Fig. 1에 표시되어 있다.

2) 측정기기

측정은 노트북 컴퓨터에서 운용되는 실내 음향 측정 프로그램인 MLSSA (Maximum-Length Sequence System Analyzer)를 이용하였으며, 측정된 데이터를 디스켓에 저장한 후, 실험실에서 자료분석 프로그램을 이용하여 125~4000Hz 범위의 각 주파수별 측정치를 받아들여 분석하였다. 측정기기의 구성 및 배열방법은 Fig. 2와 같다.

3. 예측

1) 예측 프로그램의 개요

예측에 사용된 프로그램은 Raynoise Rev.

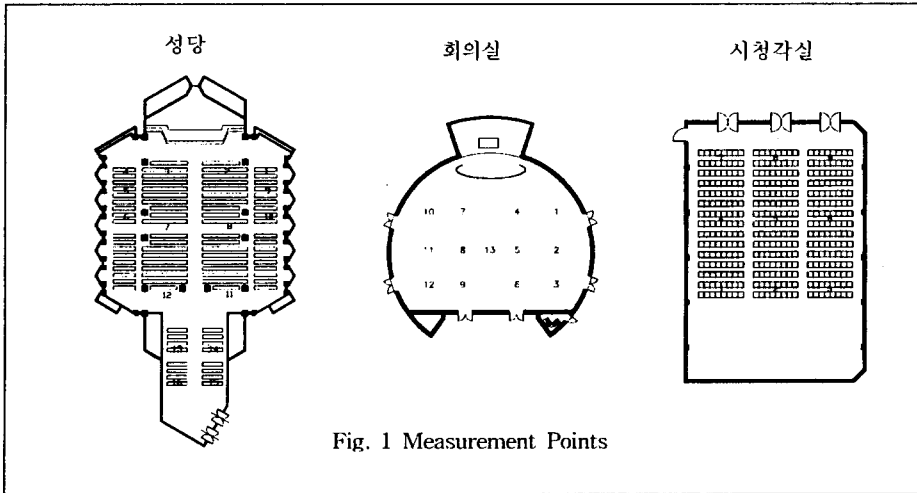


Fig. 1 Measurement Points

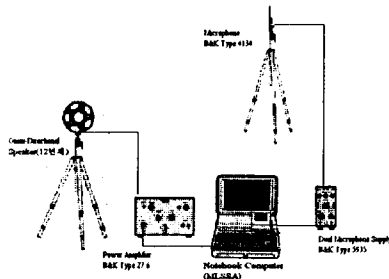


Fig. 2 Measurement Application Composition

Conical Beam Method(CBM), Triangular Beam Method(TBM)를 이용한다. 본 연구에서는 CBM을 이용하였다.

시뮬레이션 모델은 AutoCAD R.12 프로그램을 사용하여 3차원 기하학 모델을 작성하였으며, Element와 Node 구성은 Table 4과 같다.

Table 3. Element & Node Number

구분	성당	회의실	시청각실
Element	207	159	91
Node	285	194	128

음원과 마이크론의 위치는 실제 측정지와 동일한 지점으로 설정하였으며, 모든 시뮬레이션 조건들을 실제 측정 상황에 근접하도록 입력하였다. 내부공간의 마감재료와 주파수별 흡음률 데이터는 Table 4와 같다.

Table 4. Coefficients of Sound Absorption

마감재료	주파수 (Hz)	125	250	500	1K	2K	4K
		성당	콘크리트	0.02	0.03	0.04	0.04
회의실	카페트	0.03	0.09	0.20	0.54	0.70	0.72
	나무 의자	0.10	0.20	0.30	0.30	0.30	0.35
	화강석	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	Curtain	0.05	0.03	0.35	0.40	0.50	0.50
	Hi-max	0.07	0.21	0.64	0.86	0.58	0.21
	강제흡음재+요펜라겐리브	0.23	0.71	0.89	0.54	0.29	0.34
	유리	0.08	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02
시청각실	마루바닥	0.25	0.15	0.10	0.09	0.08	0.07
	목재마감	0.03	0.06	0.07	0.18	0.33	0.18
	반사판	0.14	0.11	0.10	0.06	0.05	0.05
	마루바닥	0.25	0.15	0.10	0.09	0.08	0.07
	나무의자	0.10	0.20	0.30	0.30	0.30	0.35

IV. 분석 및 고찰

상기한 방법으로 실제공간에 대한 측정 데이터와 시뮬레이션 모델에 대한 예측값을 비교한 결과는 다음과 같다.

1. 잔향시간

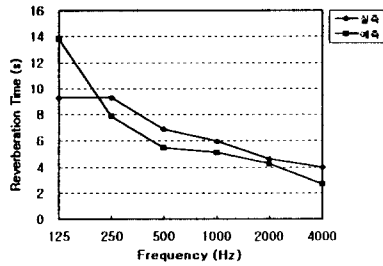
잔향시간은 건축물 내부공간의 음향성능을 평가하는데 있어서 필요조건이라고 할 수 있으며, 현재 가장 주된 척도로 사용되고 있으므로, 먼저 각 대상공간의 잔향시간을 측정

하여 그 음향상태를 알아본 후, 그 결과를 예측치와 비교하였다.

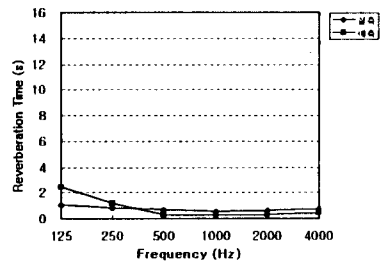
잔향시간을 측정된 결과 성당의 경우 그 용적이 크고, 내부의 흡음처리가 되어 있지 않으므로 125와 250Hz 에서는 10초 이상으로, 500Hz 대역에서는 5초 이상으로 측정되었으며, 높은 천장과 용적이 큰 관계로 심한 울림현상이 생기고 있어 가까운 거리에서도 음성전달의 어려움이 있다.

반면, 회의실과 시청각실에서는 측정잔향시간이 1초 내외로 나타나 적정잔향시간을 만족하고 있음을 알 수 있다.

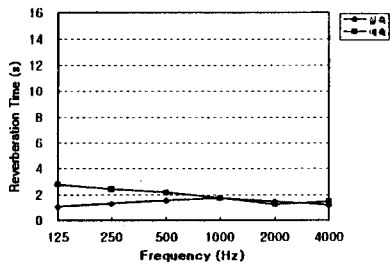
실제 잔향시간은 그 측정지점에 따라 다소 다르게 나타나지만, 일반적으로 실 전체의 대표값으로 나타내는 경우가 많으므로 예측치와 측정 평균치를 비교해 보았다. Fig. 3은 각 내부공간에 대한 잔향시간을 비교한 결과이다.



(a) I 성당



(b) 회의실



(c) 시청각실

Fig. 4 Comparison of Reverberation Time

그림에서 알 수 있는 바와 같이 회의실과 성당의 경우, 500Hz 이상의 대역에서는 예측치와 실측치의 오차가 회의실 0.4초, 시청각실 0.6초 내외이고 250Hz 이하에서도 1초 내외로 다소 작게 나타났지만, 성당의 경우 1.5초 정도로 그 오차가 다소 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 성당의 잔향시간이 길고 현재의 실내음향상태가 좋지 못한 결과로 판단된다.

2. 음압레벨

측정치와 시뮬레이션 결과를 비교한 결과 음원의 파워레벨을 실제 측정시와 동일한 레벨로 입력하여 시뮬레이션 한 결과 그 오차가 10dB 이상으로 나타났다. Fig. 4는 성당의 1번 측정점에서의 음압레벨에 대한 예측치와 실측치의 비교 결과의 예이다. 따라서 시뮬레이션 음원의 파워레벨을 낮추어 설정한 경우, 측정치에 근접한 예측값을 얻을 수 있었다. 파워레벨을 낮추는 정도는 시뮬레이션 모델에 따라 다르게 나타났는데, 공간의 흡음력이 높은 경우에는 실제 파워레벨과의 차이를 줄일 수 있는 것으로 나타났다.

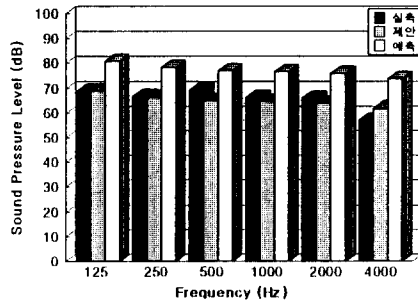


Fig. 4 Comparison of SPL (Point1)

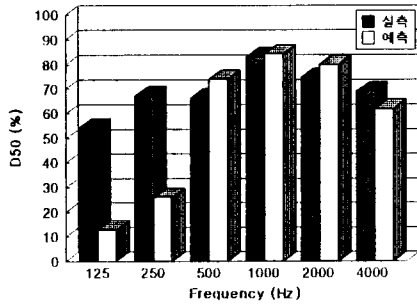
3. 초기음에너지 비율

초기음에너지 비율의 측정 데이터는 성당의 경우, 전체적으로 그 값이 낮게 나타나 음성명료도가 매우 좋지 않음을 알 수 있다.

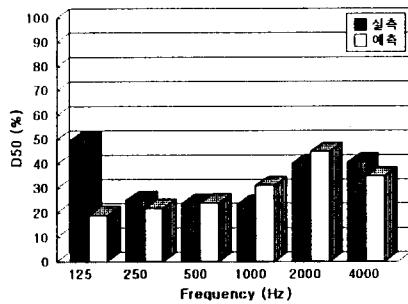
회의실과 시청각실에서의 측정값은 실의 용적이 작고 잔향시간이 짧으므로 초기음에너지 비율값은 높게 나타났으나, 측정지점과 주파수에 따라 그 편차가 크게 나타났는데 이는 실 전체의 주파수에 따른 흡음 성능의 차이가 크기 때문인 것으로 판단된다.

측정치와 예측치의 비교 결과는 회의실과 시청각실의 경우 125Hz를 제외한 전 주파수 대역에서 실측치에 근접한 예측값을 얻을 수

있었으나, 성당의 경우는 전 주파수 대역에서 그 오차의 범위가 넓게 나타났다. 이 결과 역시 성당의 잔향시간이 길고 전체적인 내부음향상태가 불량하기 때문에 생긴 결과로 판단된다. Fig. 5는 회의실(a)과 시청각실(b)에서의 초기음에너지 비율 측정치와 예측치를 비교한 그래프의 예이다.



(a) 회의실(Point 8)



(b) 시청각실(Point 6)

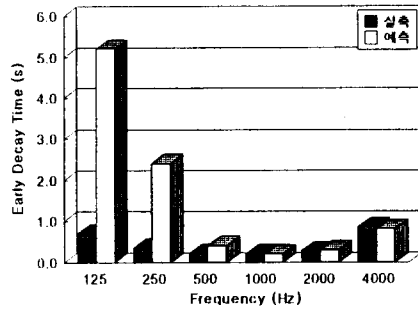
Fig. 5 Comparison of D50

4. 초기지연시간

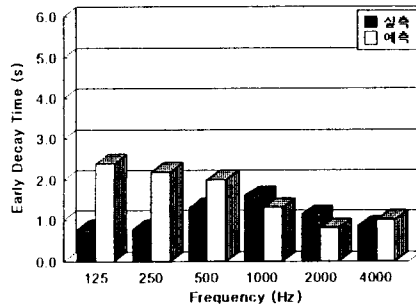
성당에 있어서의 초기지연시간은 그 측정치와 예측치의 오차가 매우 큰 것으로 나타났다. 반면 잔향시간이 짧은 회의실이나 시청각실의 경우에는 역시 500Hz 이상의 주파수 대역에서 예측치가 측정치에 매우 근접하고 있으나, 125와 250Hz 에서의 오차는 상당히 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. Fig. 6은 회의실(a)과 시청각실(b)에서의 초기지연시간 비교 결과의 예이다.

5. 음성전달지수

음성전달지수의 측정결과 성당의 경우 그 값이 모두 0.5이하(대부분 0.3이하)로 측정되어 내부공간의 음성전달상태가 매우 좋지 않은 것으로 나타났다. 또한 이 값은 앞에서



(a) 회의실(Point 4)



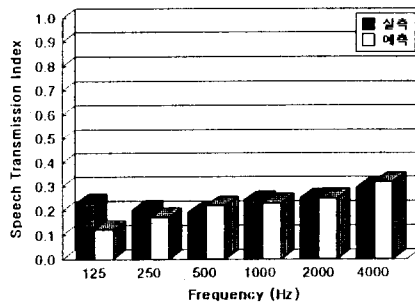
(b) 시청각실(Point 2)

Fig. 6 Comparison of EDT

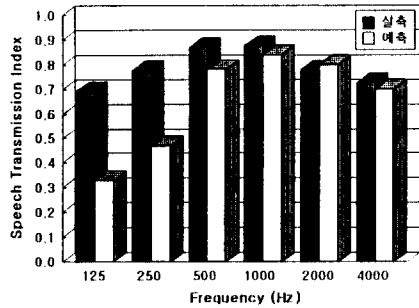
기술된 다른 평가지수들의 측정값과 비교해볼 때, 전체적으로 성당내부공간의 음향상태가 좋지 못함을 나타낸다.

회의실과 시청각실의 음성전달지수는 각각 0.6~0.9, 0.4~0.7의 범위로 나타나, 실의 사용목적에 어느 정도 만족시키는 것으로 나타났다.

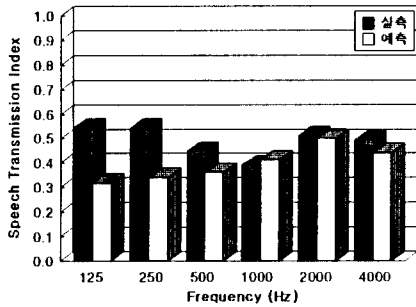
실측치와 예측치를 비교한 결과로는 3개의 대상공간 모두 125와 250Hz를 제외한 전 주파수대역에서 측정치와 예측치가 대부분 일치하는 것으로 나타났으며, 특히 성당의 경우에는 250Hz 에서의 오차도 상당히 작게 나타났다. Fig. 7은 음성전달지수 측정치와 예측치를 비교한 그래프의 예이다.



(a) 성당(Point 12)



(b) 회의실(Point 7)



(c) 시청각실(Point 4)

Fig. 7 Comparison of STI

V. 결론

이상과 같이 현재 시공되어 있는 3개의 공간에 대한 실내음향상태의 실측과 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 예측하여 얻은 결과를 비교해, 그 측정치와 예측치의 일치여부와 실제 음향설계단계에서의 예측 가능성을 고찰해 보았다.

그 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 잔향시간을 포함한 다른 평가지수들을 비교한 결과 성당의 경우 실측치와 예측치의 오차가 다소 크게 나타나고 있어, 잔향시간이 긴 내부공간의 경우에는 컴퓨터 프로그램을 이용한 예측이 다소 어려울 것으로 판단된다. 반면 잔향시간이 짧은 회의실과 시청각실의 경우 500Hz 이상의 대역에서는 그 오차의 범위가 매우 작게 나타났다.

2. 시뮬레이션 음장의 경우에는 음원의 파워레벨을 실제 측정시와 동일하게 설정하면 그 오차의 범위가 10dB 이상이 됨을 알 수 있었다. 이것으로 시뮬레이션에 의한 음압레벨 예측시에는 내부공간의 크기에 따라 음원

의 파워레벨을 실제 측정시보다 적정레벨 낮추어 설정하면, 실측 데이터와 예측치가 거의 일치함을 알 수 있었다.

3. 이상 5가지의 실내음향 평가지수(음압레벨 · 잔향시간 · 초기음에너지 비율 · 초기 지연시간 · 음성전달지수)들에 대해 측정치와 예측치를 비교해 본 결과, 잔향시간이 긴 실에서는 시뮬레이션을 이용한 예측이 다소 어려울 것으로 판단된다. 또한 250Hz 이하의 대역에서는 기하음향학을 기본 이론으로 사용하는 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 예측방법의 이용여부가 아직 불투명함을 알 수 있었다. 반면 500Hz 이상의 대역을 대상으로 해서는 상대적인 내부공간의 음향평가가 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 1) 윤장섭, 건축음향계획론, 동명사, 1987
- 2) 前川純一 저, 박병진 역, 건축음향, 기문당, 1989
- 3) 오양기, 음악당의 음향평가에 관한 연구, 서울대학교 대학원 석사학위 논문, 1986
- 4) 永田 穂, 建築の音響設計, オーム社, 1991
- 5) 建築デザイナーのための造形と音響, 理工圖書, 1989
- 7) 長友宗重, 建築の音響技術, 理工圖書
- 8) Vern O. Knudsen and Cyril M. Harris, Acoustical Designing in Architecture, John Wiley & Sons. Inc., 1955
- 9) M. David Egan, Concepts in Architectural Acoustics, McGRAW-HILL BOOK COMPANY, 1972
- 10) Leslie L. Doelle, Eng., M. Arch, Environmental Acoustics, McGRAW-HILL BOOK COMPANY, 1972