

# 컴퓨터시뮬레이션에 의한 오디토리움의 음향설계 방법

\* 이 수 일 \* 이 상 우 \*

\* 경기대학교 건축공학과

## - An Acoustical Design Method of Auditorium by Computer Simulation -

\* Su Yul Lee \* Sang Wook Lee \*

\* Dept. of Architectural Engineering, Kyonggi University

### 0. 요약

본 연구는 오디토리움에서 일어나는 음향특성을 설계단계에서 미리 예측함으로써 그 설계가 음향학적 요구에 적합한지를 효과적으로 검토할 수 있는 컴퓨터시뮬레이션모델을 개발하고자 한다.

개발된 모델에 의해 음향설계단계에서 이루어지는 방내하고 반복적인 계산작업을 효율적으로 처리할 수 있게 됨으로써 음향평가에 소요되는 시간과 오차를 줄일 수 있게 되었으며, 실내음향에서의 초기 시간차, 음압분포, 잔향시간, 그리고 적정 흡소유지율을 위한 구조체의 차음성능을 예측하고 다목적용의 설계사려와 비교하여 컴퓨터를 이용한 음향설계 기법의 실용성 및 타당성을 검토하였다.

### 1. 머리말

#### 1.1 연구배경 및 목적

오디토리움이 사용자에게 친근한 장소가 될 수 있도록 계획하는 것은 건축인에게 중요한 과제이며, 그것은 계획과정에서 실내음향상태의 예측정도에 의하여 가능하다.

그러나 음향설계 과정은 실내음향이론을 바탕으로 한 수학적 계산과 통계적으로 알려진 주관적 평가요소 사이의 상관관계를 분석하는 반복적인 작업과정이며, 무대예술수준의 향상과 실내음향연구에 의한 다양한 평가척도의 발전에 의하여 계획안들을 평가하는 데는 많은 시간과 노력을 필요로 하고 있다.

그러므로 보다 나은 건축음향설계를 위해서는 음향평가 기술의 전문화와 방대한 계산작업을 수행할 수 있는 컴퓨터 활용에 대한 연구가 요구되고 있다.

본 연구에서는 문헌고찰을 통하여 음향성능 평가요소로 선정된 초기 시간차, 음압분포, 잔향시간, 차음성능의 분석을 통해 음향특성을 파악할 수 있는 컴퓨터시뮬레이션 프로그램을 개발하고자 한다.

#### 1.2 연구방법

본 연구는 다음과 같은 방식으로 전개 하였다.

- 1) 문헌을 통하여 선행연구에서 제안한 주관적인 요소와 물리적인 요소의 상관관계 고찰.
- 2) 선행연구를 토대로 물리량의 적용형태와 범위를 결정하고, 물리적 인자인 음선거리차, 음압분포, 잔향시간, 차음성능이론 고찰.

3) 컴퓨터시뮬레이션에 필요한 관련변수와 이론식을 모형화하고, 이들을 토대로 음향성능분석 프로그램 개발.

4) 선정모델의 제원과 음향설계 사려를 검토하여 관련정보를 추출하고, 음향성능분석 프로그램에 적용.

5) 프로그램에 의한 음향성능분석 결과와 음향설계 사려 비교·분석함으로써 프로그램의 타당성과 실용성 제시.

### 2. 음향성능분석척도 선정

#### 2.1 선정배경

##### 2.1.1 실내음향에 관한 연구

호크스(R. J. Hawks)와 더글라스(H. Douglas)의 보고서(1971)는 콘서트 홀의 음향에 관한 주관평가에 관한 연구로서 실내음향 효과를 각 홀마다 분석하고, 그 결과로부터 공존인자를 추출한 결과 음에 대한 울림(Reverberance)은 잔향시간과 관련되고 차분함(Evenness)은 오케스트라부터의 거리와 관련되며 친근감(Intimacy)은 오케스트라와의 근접의 정도 및 초기반사음과의 시간간격(Initial time-delay gap)이나 홀단면, 그리고 음의 밝기(Brilliance)는 고음역의 잔향시간과 관계되는 것으로 나타났다.

콘서트 홀에서 초기 반사음의 중요성에 대해 검토한 바론(M. Barron; 1971)의 보고서는 측방향으로부터의 초기 반사음이 음장의 확산감(Spatial Impression)에 기여한다는 것을 명확히 하였다.

일본의 야마구치(아마구치)를 대상으로 홀내에서 장소에 의한 음향효과의 차이를 분석한 야마구치(K. Yamaguchi; 1972)의 상관분석결과에 의하면 척도화한 주관량과 잔향특성 및 직접음성분 대 분산음 에너지 비(Definition), 음압분포, 명료도, 전승특성이 밀접한 상관성을 가지고 있으며, 인자부하량이 큰 것으로 나타났다.

슈로더(H. R. Schroeder), 갓트롭(D. Gottlob), 그리고 사이브러세(K. F. Siebrasse) 등은 유럽의 22개의 홀을 대상으로 하여 음에 대한 심리효과(Preference)와 물리량의 상관관계를 구하는 실험(1974)에서 조단(V. L. Jordan), 슈로더(H. R. Schroeder) 등이 제안한 음감쇄 초기과정의 잔향시간(Initial Reverberation Time)과 전반적인 잔향시간이 밀접한 상관성을 가지고 있는 것으로 나타났고, 두 귀의 간섭성(Coherence)은 홀음장을 나타내는 독립된 매개변수의 하나로써 고려할 수 있는 것으로 나타났다.

조단(V.L. Jordan ; 1981)은 잔향시간, 측벽효과(Lateral Efficiency), 명확성(Clarity), 그리고 초기 잔향시간(Early Decay Time)의 주파수 특성을 물리량의 예계연수로 체화하여 연구한 결과에서, 음장의 양부를 좌우하는 가장 중요한 물리량은 잔향시간이라고 규정하고, 그 외의 물리량은 잔향시간을 보충하는 역할을 가진다고 밝히고 있다. 또한 잔향시간이 적당하면 청감상에는 문제가 되지 않는 경우가 많다는 것을 지적하였다.

쿠트루프(H. Kuttruff ; 1985)는 측방향에서 입사한 초기 반사음과 전후 방향에서 입사하는 초기 반사음의 에너지비(Seitenschallgrad ; 측방향 반사음의 비율)로 음장을 시뮬레이션한 결과, 바닥면적이 증가함에 따라 측방향 반사음의 비율이 줄어들고, 음원에서 후방으로 떨어진에 따라 부체공의 쪽을 줄여 주는 형상이 측방 반사음의 비율을 높일 수 있다고 하였다.

안도(Y. Ando ; 1985)는 시간적 물리량으로서 잔향시간, 음압 레벨, 초기 반사음의 지연시간(Initial Delay Time)을 선정하고, 공간적 물리량으로서 두 귀사이의 상관도(Interaural Crosscorrelation)를 선정하여 한 종류의 물리량만을 변화시킨 조건하에서 심리실험을 한 결과, 음장이 주어지면 음장 내의 심리량을 예측할 수 있고, 심리량에 대한 물리량의 기여도를 규명할 수 있는 것으로 나타났다.

선행연구에서 제안된 물리량과 연구결과를 정리하면 <표 2-1>과 같다.

<표 2-1> 선행연구에서 제안된 물리량

번호	저	언	어	물	리	량	선행연구에서 내린 단
197	R. K. Beer R. K. Biegel	물리량(Physical Quantity)	잔향시간(Reverberation Time)	음속의 속속감(Initial Decay Time)	잔향시간(Reverberation Time)	음속의 속속감(Initial Decay Time)	음향(Acoustics)과 음향학(Acoustics)의 관계
							잔향시간(Reverberation Time)의 측정 방법
198	R. Beranek	물리량(Physical Quantity)	초기 잔향시간(Initial Delay Time)	잔향시간(Reverberation Time)	잔향시간(Reverberation Time)	잔향시간(Reverberation Time)	음향(Acoustics)과 음향학(Acoustics)의 관계
							초기 잔향시간(Initial Delay Time)의 측정 방법
199	L. Beranek	물리량(Physical Quantity)	잔향시간(Reverberation Time)	음속의 속속감(Initial Decay Time)	잔향시간(Reverberation Time)	음속의 속속감(Initial Decay Time)	음향(Acoustics)과 음향학(Acoustics)의 관계
							잔향시간(Reverberation Time)의 측정 방법
200	R. L. Schomer L. F. Soderstrom	물리량(Physical Quantity)	잔향시간(Reverberation Time)	음속의 속속감(Initial Decay Time)	잔향시간(Reverberation Time)	음속의 속속감(Initial Decay Time)	음향(Acoustics)과 음향학(Acoustics)의 관계
							잔향시간(Reverberation Time)의 측정 방법
201	V. L. Jordan	물리량(Physical Quantity)	잔향시간(Reverberation Time)	음속의 속속감(Initial Decay Time)	잔향시간(Reverberation Time)	음속의 속속감(Initial Decay Time)	음향(Acoustics)과 음향학(Acoustics)의 관계
							잔향시간(Reverberation Time)의 측정 방법
202	R. Kuttruff H. Kuttruff	물리량(Physical Quantity)	잔향시간(Reverberation Time)	음속의 속속감(Initial Decay Time)	잔향시간(Reverberation Time)	음속의 속속감(Initial Decay Time)	음향(Acoustics)과 음향학(Acoustics)의 관계
							잔향시간(Reverberation Time)의 측정 방법

### 2.1.2 베라네크(L.L. Beranek)의 제안

베라네크는 세계 여러나라의 음악홀에 대한 연구에서 지명인 음향학자·음악가들과의 토론을 통해 홀의 음향효과를 평가하고, 계획하는 방법을 제안했다.

그는 음향에 영향을 받는 음질로는 음의 충만감(fullness of tone), 맑음(clarity), 친근감(intimacy), 음질(timbre)과 음색(tone color), 조화(ensemble), 강약 범위(dynamic range)를 선정하고 다음과 같이 정의하고 있다.

음의 충만감은 청중들이 음악 속에 잠겨져 있는 것과 같은 느낌으로 잔향시간이 적절하게 길어지고 직접음이 강한 1차 반사음에 의하여 보강될 때 얻을 수 있고, 음의 충만감과

맑음은 음악의 연주 속도에 관계한다.

친근감은 연주홀의 크기를 느끼게 해주는 청취감에 의해 좌우되는 음질로, 적절한 초기 지연시간차에 의하여 얻어지며, 다른 요소들보다 음력에 대한 음의 적합도를 잘 나타내 준다.

음질은 다른 악기나 음성과 구별되는 음의 특성이요, 음색은 음질의 조합으로 나타나는 효과이며, 음질의 저하는 음색에 영향을 미치게 될 것이다.

강약범위는 가장 낮은음과 높은 음간의 범위로 임소음에 의하여 영향을 받지 않도록 고려하여야 한다.

이와 같은 청취를 토대로 베라네크는 음질을 평가하는 심리적도에 대한 물리량을 <표 2-2>와 같이 제안하였으며, 세계 여러나라의 이용되는 음악홀의 평가와 유명한 음악평론가들의 판정이 잘 일치한다고 하였다.

<표 2-2> 베라네크가 제안한 물리량

표	어	물	리	량
신근감(Intimacy)	적용음에 대한 초기반사음의 지연시간(delay)			
음질(Timbre)	잔향시간(Reverberation Time)	(한에서 300-1000ms)		
바탕음(Bass)	125Hz와 250Hz의 잔향시간 비율			
잔향음의 크기(Loudness)	음향으로부터 측정가능한 거리(L)			
잔향음의 초기(Loudness)	잔향시간(300ms - 1000ms)의 비율(RL%)			
음색(Tone Color)	저역 영역의 음속과 고역 영역의 음속의 차이			
조화(Ensemble)	인위적이 다른 음을 포함 수 있는 능력			
음속(Speed)	저역 음속과 고역 음속의 차이			

### 2.2 적용방법 및 범위

선행 연구에서 심리적인 효과에 영향을 미치는 요소로 제안된 물리량을 실제 음향계획 단계에서 검토한 결과, 크게 음선거리와 잔향시간, 그리고 차음에 관한 물리량으로 분류할 수 있었다. 이와 같이 분류된 물리량을 본 연구의 음향성능분석에서 어떤 형식으로 적용하여 평가할 것인가를 분석한 결과 <표 2-3>와 같이 나타났으며, 분석 결과를 토대로 적용방법에서 나타난 물리량을 음향성능분석적으로 선정하였다.

그리고 선정된 물리량을 실시설계단계에서 어떤 형태로 적용시킬지를 검토한 결과 <그림 2-1>와 같이 나타났으며, 결과 범위 내에서 음향성능분석을 위한 컴퓨터시뮬레이션모델을 개발하기로 한다.

<표 2-3> 물리량의 적용방법

물리량	선행연구에서 제안된 물리량	적용 방법
음선거리	음선거리	음향(Acoustics)과 음향학(Acoustics)의 관계
	음향(Acoustics)과 음향학(Acoustics)의 관계	음향(Acoustics)과 음향학(Acoustics)의 관계
잔향시간	잔향시간	음향(Acoustics)과 음향학(Acoustics)의 관계
	음향(Acoustics)과 음향학(Acoustics)의 관계	음향(Acoustics)과 음향학(Acoustics)의 관계
음속	음속	음향(Acoustics)과 음향학(Acoustics)의 관계
	음향(Acoustics)과 음향학(Acoustics)의 관계	음향(Acoustics)과 음향학(Acoustics)의 관계
가	가	음향(Acoustics)과 음향학(Acoustics)의 관계
	음향(Acoustics)과 음향학(Acoustics)의 관계	음향(Acoustics)과 음향학(Acoustics)의 관계

### 3. 시뮬레이션모델의 음향성능분석 이론

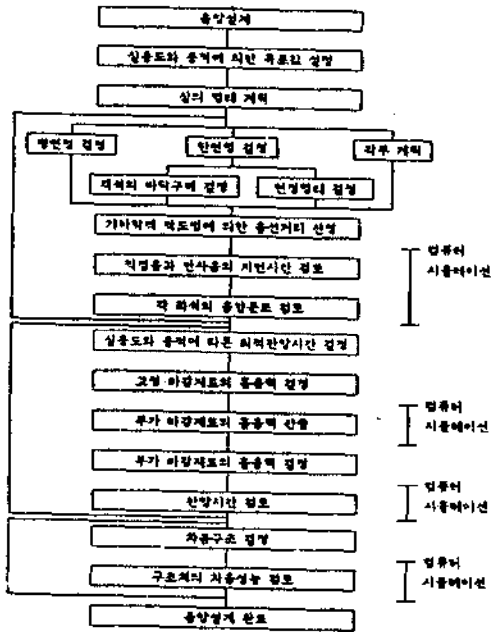
#### 3.1 유효반사음의 지연시간

초기시간지연차(Initial Time-Delay Gap)는 반사음 경로

중 외단 거리를 기하학적으로 계산하여 산정한다.

$$TDG = \left[ \frac{l_r}{C} - \frac{l_o}{C} \right] \times 1000(\text{ms})$$

여기서, TDG : 지연시간차(ms),  $l_r$  : 직접음경도(m)  
 $l_o$  : 반사음경도(m), C : 음의 속도(m/sec)



(그림 2-1) 음향성능분석척도의 적용범위

### 3.2 각 좌석의 음압레벨

실내음장의 음압분포는 음원에서 수음점까지의 음선거리에 의하여 좌우되므로 정상상태에서 거리에 따른 음압레벨은 다음 식에 의하여 구할 수 있다.

$$SPL = PWL + 10 \log \left[ \frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right]$$

여기서, SPL : 수음점의 음압레벨 (dB), r : 음선거리 (m)  
 PWL : 음원의 파워레벨 (dB), R : 실정수  
 Q : 실내의 지향계수

다수의 직접음과 반사음은 음압실효치의 합성에 의하여 이루어지고, 다음 식을 사용하여 계산하면 음압레벨을 알았는데 편리하다.

$$\Delta L = 10 \log [ 1 + 10^{- (L_2 - L_1) / 10} ]$$

여기서,  $\Delta L$  : 합성보정치 (dB)  
 $L_1, L_2$  : 두 음의 음압레벨 (dB)

### 3.3 목표 잔향시간

공기흡유현상을 반영하여 아이링(C.F. Eyring)의 잔향식 수정 보완한 닷센(V.O. Knudsen)-헤리스(C.M. Harris)의 잔향식을 이용한다.

$$T = \frac{K V}{-S \log_e (1-\alpha) + 4mV}$$

여기서, T : 잔향시간(sec),  $\alpha$  : 실내평균흡음율  
 S : 실의 전표면적(m<sup>2</sup>), K : 온도에 따른 상수  
 m : 공기흡음에 의한 감쇠율, V : 실의 용적(m<sup>3</sup>)

실내의 평균 습도율 60%로 가정하여 공기흡음에 의한 주파수별 감쇠율(m)은 다음 식과 같이 계산된다.

$$m = \left[ \frac{85}{60} \times f^2 \times 10^{-10} \right] \times 2$$

여기서, m : 공기흡음에 의한 감쇠율, f : 주파수대(Hz)

적정흡음면적 산정에는 닷센-헤리스의 잔향식을 흡음면적(A)에 대해 변형하여 사용한다.

$$A = \left[ \frac{1 - e^{- (K \times V)}}{T \times S} \right] \times S$$

### 3.4 구조체의 차용성능

외부 소음의 감쇠량은 다음식에 의하여 계산한다.

$$NR = TL + 10 \log \frac{A}{S}$$

여기서, NR : 공유벽체의 소음감쇠량 (dB),  
 TL : 구조체의 투과손실 (dB)  
 A : 수음실의 흡음력  
 S : 투과음 역면적 (m<sup>2</sup>)

## 4. 컴퓨터시뮬레이션모델

### 4.1 모델의 구성

다목적 오디오리움의 음향설계를 위한 컴퓨터시뮬레이션모델은 주프로그램과 14개의 부프로그램으로 구성하였으며, 포트란(Fortran 5.0)로 작성하였다.

본 모델의 관련정보입력은 프로그램 실행시 컴퓨터의 지시에 따라 키보드(keyboard)로 입력하는 방식과 관련정보파일(data file)을 작성하여 입력하는 방식, 2가지로 채택하였고, 키보드에 의한 관련정보입력의 실수를 방지하도록 구성하였다.

#### 4.1.1 주실행프로그램

주실행프로그램은 음향성능분석을 위한 3그룹의 관련프로그램을 선별하여 실행시키도록 구성하였고, 각 그룹에 필요한 관련정보파일(data file)명과 결과치를 출력하는 출력파일(out file)명을 키보드에 의해 입력받아 각 관련그룹에 정

보통 제공한다.

3그룹의 관련프로그램을 선별하여 실행시키기 위한 메인메뉴(main menu)는 그림 4-1 과 같고, 주실행프로그램의 흐름은 그림 4-2와 같다.

본 프로그램은 1991년에 중앙계획을 위하여 개발한 프로그램으로 fortran 5.0을 사용하였다.

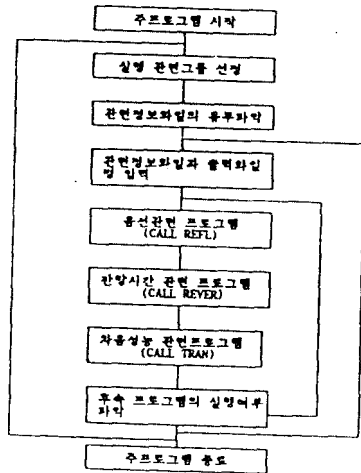
- ..... 주 의 .....
- \* 중앙계획에 필요한 경제조건은 컴퓨터의 지시에 따라 입력하여야 한다.
  - \* 그리고, 입력되는 경제조건은 컴퓨터가 지시하는 순서에 따라 알아( )로 구분하여 입력하여야 한다.
- .....

당신이 원하는 중앙설계 번호는 ?

1. 중앙설계 종료.
2. 옵션관련 중앙설계.
3. 전망시간에 관한 중앙설계.
4. 차용성능에 관한 중앙설계.
5. 3년차 4년에 관한 중앙설계.
6. 전반적인 중앙설계.

선택번호입력 :

(그림 4-1) 중앙성능분석 프로그램의 메인메뉴



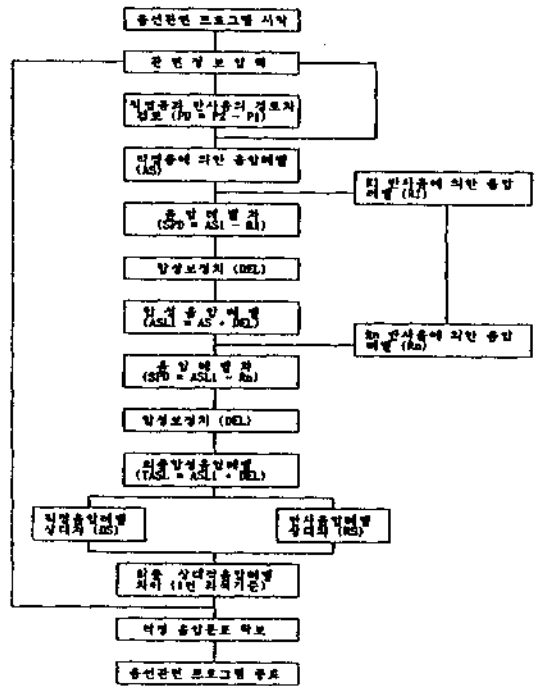
(그림 4-2) 중앙성능분석 프로그램

#### 4.1.2 옵션관련 프로그램

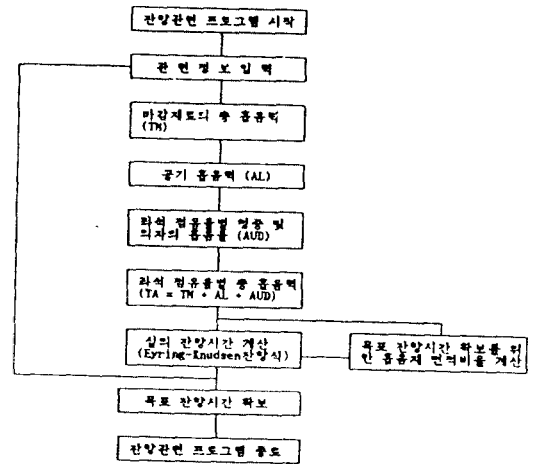
옵션관련 프로그램은 6개의 부프로그램으로 구성되어 있고, 옵션경로수와 좌석수에 의해 반복실행하도록 구성되어 있다. 옵션관련 프로그램의 흐름은 그림 4-3과 같다.

#### 4.1.3 전망시간 프로그램

전망시간 관련프로그램은 6개의 부프로그램으로 구성되어 있고, 전반적으로 순차적인 실행을 하며, 검토를 요하는 주파수대에 의해 반복실행을 한다. 전망시간 관련프로그램의 흐름은 그림 4-4와 같다.



(그림 4-3) 옵션관련 프로그램의 흐름도



(그림 4-4) 전망시간 관련프로그램

#### 4.1.4 차용성능 프로그램

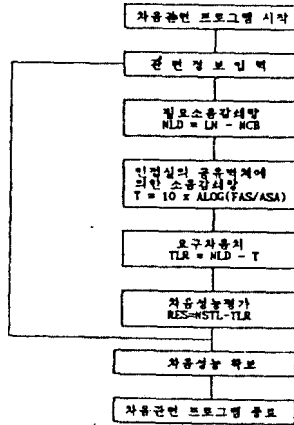
차용성능 관련프로그램은 2개의 부프로그램으로 구성되어 있고, 소음에 노출되는 구조체 수와 검토를 요하는 주파수수에 의하여 반복실행을 한다. 차용성능관련 프로그램의 흐름은 그림 4-5와 같다.

#### 4.2 중앙분석 관련정보

중앙성능분석을 위한 컴퓨터시뮬레이션은 크게 옵션관련,

간향시간, 그리고 차용성능시뮬레이션으로 나올 수 있으며, 3그룹의 교육적인 활용을 위해서는 실행에 필요한 관련정보의 정의를 파악해야 한다.

관련정보의 입력방식과 관련정보의 내용, 그리고 활용범위에 대한 각 그룹의 구체적인 설명은 표 4-1, 표 4-2, 표 4-3, 표 4-4에 나타나 있다.



(그림 4-5) 차용성능 관련프로그램

(표 4-1) 유선관련정보

입력방식	정보명	관련정보의 내용	활용범위	
키보드 (Keyboard)	MCS	신내에서 용이 할당될 가능성이 있는 회선의 수.	30 가지	
	MCS	필요회고와 하는 회선일의 수.	30 가지	
	WAV	인접 회선을 보장할 위한 회선일 번호의 배열.	30 가지	
	PR	인접(echo)현상완화를 위한 회선일과 회선일의 배열.		
	AS	MEC	인접에 의한 인사용선 회선일 요구되는 회선일의 수.	30 가지
	MSW	속도에 필요한 회선일의 최대수.	30 가지	
화 실 (File)	MP	MFC	인접에 필요한 용선점의 최대수.	10 가지
	MW	속도에 필요한 용선점의 최대수.	10 가지	
내 장	ETC	회선일과 인사용선에 관련된 항목의 배열.		
	RESL	용선일과 회선일 항목의 배열.		

(표 4-2) 간향시간의 관련정보

입력방식	정보명	관련정보의 내용	활용범위
키보드 (Keyboard)	M1	신내 회선 회선일제로 사용된 회선의 수.	40 가지
	M4	필요회고와 하는 회선일 점유율의 수.	5 가지
	M7	필요 주파수대의 수.	8 가지
	MEL	신내 회선일.	
	M707	회선일용선선 선정을 위한 회선일 점유율.	5 가지
	TDRP	신내의 평균속도.	
	ORST	회선일 점유율과 용선에 의하여 결정된 목표 간향시간.	
	OPACE	회선일용선선 선정을 요구하는 주파수대.	8 가지
	M1, M2	회선일용선선 선정에 사용될 제로 점유율 배열의 번호.	2 가지
화 실 (File)	ACN	회선일 선제 번호.	
	MASA	필요회고와 하는 회선일 점유율의 배열.	5 가지
	ARC	ARCX	신내 회선일제로 사용된 회선의 주파수별 점유율 배열.
내 장	ARCX	회선일 점유율과 주파수별 점유율 점유율 배열.	
	RMAT	신내 회선일제로의 회선일 배열.	
내 장	MCP	CSN에서 8000회선의 주파수 배열.	

(표 4-3) 차용성능의 관련정보

입력방식	정보명	관련정보의 내용	활용범위
키보드 (Keyboard)	ME	차용성능 검토를 요구하는 구조제도의 수.	180 가지
	MF	필요회고와 하는 주파수대의 수.	8 가지
화 실 (File)	AREA	구조제의 배열의 배열.	
	FMALF	수용선의 용량비율은 간향시간 관련정보 그룹과 차입의 주파수를 통하여 입력됨.	
내 장	MFP	인접 수를, 신내 점유율, 구조제 차용성능의 용량비율 배열.	
	MCP	CSN에서 8000회선의 주파수 배열.	
내 장	FZL, SEC	차용성능분석을 위한 항목의 배열.	

(표 4-4) 프로그램실행을 위한 관련정보

입력방식	정보명	관련정보의 내용	활용범위
키보드 (Keyboard)	MES	메시지유에서 선제된 프로그램을 파악하여 실행.	
	MW	프로그램실행을 위한 관련정보파일의 용량을 파악하여 실행이후를 결정.	
	START	프로그램실행에 필요한 관련정보파일들을 입력 받아 관련프로그램에 전달.	
내 장	RESULT	각 관련프로그램의 결과치를 순차적 회선일 점유율 입력 받아 관련프로그램에 전달.	
	MER	프로그램실행이와 할가시의 실행결과를 파악하여 다음 실행의 가부를 결정.	
내 장	MER	회선일과 인사용선의 회선일 간향시간차를 얻는 회선일 점유율배열 프로그램의 실행이후를 결정.	

## 5. 선정모델의 적용 및 검증

### 5.1 선정모델의 제안

본 논문에서 컴퓨터시뮬레이션 모델의 적용 및 검증을 위하여 선정된 모델은 유망설계단계에서 신중한 고려가 사료되는 다목적용을 선정하였다. 선정모델의 입안적 제원은 문헌을 근거로 하였으며, 표 5-1과 같다.

선정모델의 목표관량시간은 늦결과 헤리스가 제안한 최적관량시간을 기준으로 선정하였으며, 다목적용의 목표관량시간은 성능 80% 수완사를 가산하여 500Hz에서 1.4초로 선정하였다.

(표 5-1) 선정모델의 입안적 제원

구	종	중		대		중
		중	대	중	대	
4	수	수	수	수	수	수
		수	수	수	수	수
		수	수	수	수	수
		수	수	수	수	수
		수	수	수	수	수
		수	수	수	수	수
	수	수	수	수	수	수
		수	수	수	수	수
		수	수	수	수	수
		수	수	수	수	수
		수	수	수	수	수
		수	수	수	수	수
수	수	수	수	수	수	
	수	수	수	수	수	
	수	수	수	수	수	
	수	수	수	수	수	
	수	수	수	수	수	
	수	수	수	수	수	

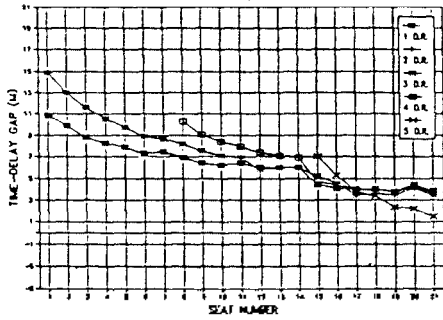
### 5.2 평가결과와 검증

#### 5.2.1 유선관련 결과

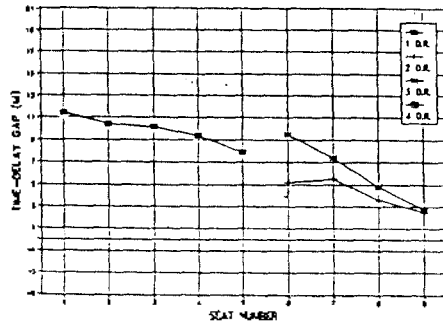
##### 1) 유선거리차

직접음과 1차 반사음의 거리차는 목표치인 17m (50ms)를 넘지 않는 것으로 나타나 반향(echo)현상이 발생되지 않을

것으로 평가되므로, 객석 전체에 유효한 1차 반사음이 확보되어 음원의 확대와 음악의 풍부, 그리고 음향감이 증가될 기대할 수 있으며, 다목적홀을 이용할 관람자에게 친근감을 제공할 것으로 사료된다. 평가결과는 그림 5-3, 그림 5-4와 같다.



(그림 5-3) 천정반사면에 의한 직접음과 1차 반사음의 거리차

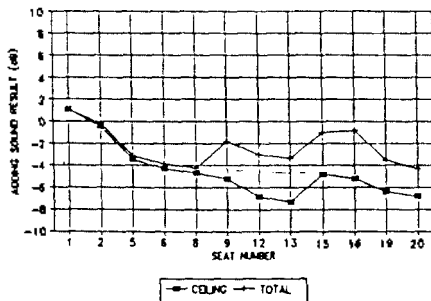


(그림 5-4) 측벽반사면에 의한 직접음과 1차 반사음의 거리차

## 2) 음압분포

종합적으로 음압레벨을 계산한 결과 천정반사면의 음압분포는 중앙 1번 좌석일의 음압레벨이 1.1dB 정도이었으며, 13번 좌석의 음압레벨은 -7.3dB 정도로 나타나 8.4dB의 차이를 보였으나, 측벽 반사음의 보강에 의해 4.4dB도 감소하였다. 전반적으로 5.4dB정도의 차이를 보이므로 비교적 고른 음압분포를 확보할 수 있을 것으로 사료된다.

무대전면중앙(S1)음원에 의한 음압분포의 종합적인 결과는 그림 5-5와 같다.



(그림 5-5) 각 좌석별 음압레벨

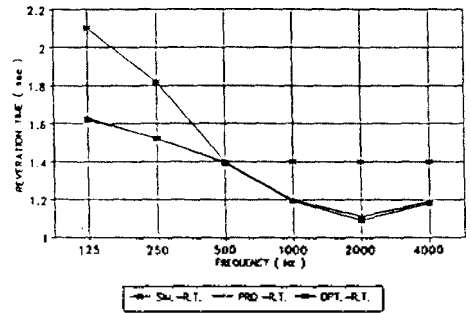
## 5.2.2 전망시간 결과

선정모델의 전망시간을 계산한 결과 만석시 500Hz 기준의 목표전망시간인 1.4초보다 약간 짧은 1.39초로 나타나 흡음력이 과다하게 사용된 것임을 알 수 있다.

전망시간 확보를 위하여 적정 흡음면적을 산출한 결과는 표 5-2와 같고, 주차수별 전망시간은 그림 5-6과 같다.

<표 5-2> 목표전망시간 확보를 위한 적정 흡음면적

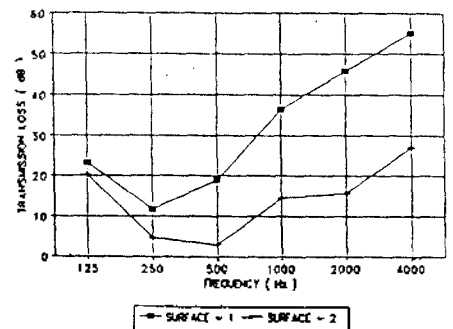
대상 재료	면적(m <sup>2</sup> )	주차 수 (輛)					
		125	250	500	1000	2000	4000
측면 흡음면	186.89	0.48	0.86	0.80	0.86	0.82	0.70
후벽 흡음면	278.01	0.60	0.74	0.88	0.96	0.93	0.85



(그림 5-6) 주차수별 전망시간

## 5.2.3 차음성능 결과

다목적홀의 배치조건상 외부소음의 영향을 많이 받고 있는 것으로 시료되어 오디오라움의 실내 허용소음기준치(NC 20)를 선정하고, 측벽부벽 및 후벽과 상부벽의 차음성능을 평가한 결과 그림 5-7과 같이 나타났으며, 전반적으로 실내허용소음기준은 만족스러운 상태이나 상부벽의 경우 250Hz와 500Hz에서 여유있는 차음성능을 가지지 못하는 것으로 나타나 소음원의 확대를 대비한 구조체의 차음성능 보강이 요구된다.



(그림 5-7) 차음성능

## 6. 맺음말

본 연구에서는 오디오리움에서 일어나는 음향특성을 설계 단계에서 미리 예측함으로써 그 설계가 음향학적 요구에 적합한지를 효과적으로 검토할 수 있는 컴퓨터 시뮬레이션모형을 개발하여 음향성능 평가를 하였다.

본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 선행연구에서 심리적인 효과에 영향을 미치는 요소로 제안된 물리량을 그 결과와 함께 분석한 결과 크게 흡선거리, 잔향시간, 처음에 관한 물리량으로 분류되는 것으로 나타나 음향성능분석척도로 선정하였다.
- 2) 선정모델의 음향성능을 분석한 결과 음향적으로 결함이 없는 것으로 평가되었으며, 문헌의 음향평가와 일치한다. 따라서 오디오리움의 음향설계시 본 연구에서 제안된 프로그램을 효율적으로 사용할 수 있을 것으로 사료된다.
- 3) 컴퓨터의 활용에 의하여 음향설계과정에서 방대하고 반복적인 계산작업을 효율적으로 처리할 수 있게 되었으며, 음향평가에 소요되는 시간과 오차를 줄일 수 있게 되었다.
- 4) 관련정보를 적절하게 조절함에 의해 효율적으로 프로그램을 사용할 수 있다.
- 5) 완공된 건물의 경우에도 음향적 결함이 발견될 때에는 이론적 음향성능 평가를 실시할 수 있다.

본 연구의 진행과정에서 나타난 앞으로의 연구과제는 다음과 같다.

- 1) 실내음장을 평가하는 분석척도가 광범위하고 체계적으로 연구되어 우리나라의 현실에 맞는 음향성능분석척도가 확립되어야 한다.
- 2) 다양한 물리량과 심리량 사이의 상관관계를 파악하기 위한 효율적이고, 전문적인 시스템이 개발되어야 한다.
- 3) 우리나라에서 사용되고 있는 제도의 흡음율값을 규격화 하는 작업이 시행되어야 한다.

## 7. 참고문헌

1. 윤장섭, 건축음향계획, 동명사, 1987.
2. 최병호, 건축음향설계, 세진사, 1987.
3. 이정희, 이상우, I 칙령시 종합문화회관 대강당 건축음향설계 보고서, 1990.
4. L.L. Beranek, *Music, Acoustics & Architecture*, John Wiley & Sons Inc., 1962.
5. V.O. Knudsen, C.M. Harris, *Acoustical Designing in Architecture*, John Wiley & Sons Inc., 1955.
6. D.E. Hall, *Basic Acoustics*, John Wiley & Sons Inc., 1987.