

# 건축물 음환경 평가 프로그램

건축물의 실내 음향계획 및 평가를 위해 활용되고 있는 건축음향 프로그램에 대해서 소개를 하고자 한다.

**오 양 기, 정 대 업, 이 희 원**

## 서론

건축물의 음향계획에 있어서 초기설계단계에서부터 최종계획안의 성능 평가에 이르기까지 컴퓨터에 의한 시뮬레이션의 활용도는 점차 크게 증가하고 있다. 실의 음향계획은 그 속성상 초기계획단계에서부터 최종계획안의 수립에 이르기까지 철저한 검토와 피드백이 필요하며, 실패한 음향설계로 인해 치루는 대가는 막대한 것이다. 따라서 실의 음향설계에 있어서 그 설계의 전 단계에 걸쳐 적용되는 모든 음향적인 조치와 그에 따른 결과를 미리 예측하고 평가할 수 있는 적절한 도구의 필요성은 부연할 필요도 없다. 이와 같은 예측과 평가의 목적으로 축소모형(mock-up model)과 컴퓨터에 의한 시뮬레이션(computer simulation)의 두 가지 방법이 활용되어 왔다. 축소모형을 이용한 방법은 그 축척이 상당한 수준(1/10 정도)에 이를 경우, 실제공간에서 이루어지는 음의 거동을 정확하게 예측할 수 있는 장점이 있다. 특히 음의 파동성에 의해 비롯되는 회절이나 확산과 같은 현상에 의한 실내음향의 영향을 축소된 형태의 실제 모형내에서 측정할 수 있으며 이는 기하음향학적인 가정을 토대로 하는 컴퓨터 시뮬레이션모델에서는 아직까지 충분히 고려되지 못하는 것들이다. 통상적으로 축소모형은 1/10에서 1/50까지의 축척이 사용되나 모형의 크기가 작아질수록 측정장비의 한계로 인하여 정밀도와 더불어 측정가능한 주파수 범위가 제한되는 문제가 있으며, 모형의 크기가 커질수록 측정

가능한 주파수 범위와 정확도는 증가하나 그에 비례하여 많은 비용이 소요된다. 내부마감재의 선정에 있어서도 동일한 축척의 축소잔향실을 제작하고 측정해야 하며 실제음장의 내부공기조건과 유사한 조건을 만들기 위해서 기밀화한상태에서 질소가스를 충전해야 하는 등 세심한 고려가 뒷받침되어야 하는 단점이 있다. 따라서 초기계획단계에서부터 지속적으로 실의 형태 및 마감계획의 변경에 따른 예측 및 평가에 활용하기에는 시간과 비용 등의 측면에서 문제점을 안고 있다. 컴퓨터 시뮬레이션은 음의 파동성에 의한 영향을 제한적으로 밖에 고려하지 못한다는 단점이 있는 반면, 고려되는 디자인 변경이 음향에 미치는 영향을 비교적 짧은 시간 내에 예측가능하므로 건축물의 음향설계 과정상 활용도의 측면에서는 그 가치가 매우 높다고 할 수 있다.

## 건축음향 해석 프로그램의 종류와 특징

건축물의 음향 해석을 위해 Odeon을 비롯하여 Catt-Acoustics, Ray Noise, Ramsette 등 대단히 많은 수의 예측프로그램들이 개발되어 사용되고 있다. 그 활용도가 높아짐에 따라, 최근에는 우리나라에서도 저자를 비롯한 몇몇 연구자들의 공동연구에 의해, 확산성이 고려된 새로운 알고리즘을 적용한 최신의 컴퓨터 시뮬레이션 소프트웨어가 개발 완성 단계에 있다. 초기의 시뮬레이션 프로그램들은 단순히 음선추적법(ray tracing method)만을 적용하였으며, 제한된 기하학적 형태에 대한 시뮬레이션이 가능하였고 컴퓨터

**오 양 기** 목포대학교 건축공학과(oh@mokpo.ac.kr)

**정 대 업** 전북대학교 건축도시공학부(daeupj@moak.chonbuk.ac.kr)

**이 희 원** 서울산업대 기계설계·자동화공학부(fireroot@sunt.ac.kr)

하드웨어의 제한된 성능으로 인하여 많은 연산시간이 소요되었다. 반면, 시물레이션에 의한 예측결과와 신뢰도는 항상 의심의 대상이 되어 온 것이 사실이다. 그러나 예측방법과 관련하여 허상음원법(image source method)이 도입되어 활용되고 제한적이지만 확산이나 회절에 의한 음장의 변화를 고려하게 되면서 효용성이나 예측의 정확도측면에서 많은 진전을 이루고 있다.

본고에서는 그 완성도가 높고, 미국이나 유럽 그리고 국내에서 비교적 사용빈도가 높은 Odeon과 Catt-Acoustics program을 대상으로 하여 간단히 비교 기술하고자 한다. 또한 원고의 말미에는 최근 국내 연구자들에 의해 개발중인 건축음향 시물레이션 프로그램(RASP ; room acoustic simulation program)에 대해 소개하고자 한다.

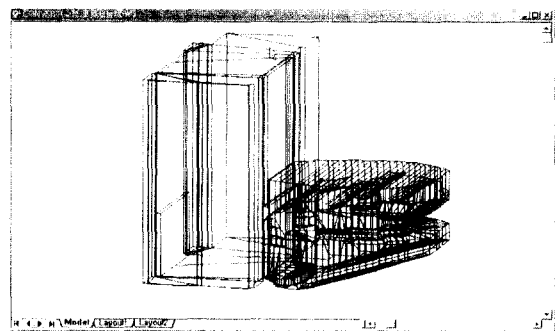
Odeon은 1984년 덴마크(Denmark)공대의 음향기술과(department of acoustic technology)와 6개 음향컨설팅업체가 합작하여 개발된 프로그램으로서 초기 음선추적모델(ray-tracing model)로 출발하였고, 1989년에는 음선추적(ray-tracing)과 영상법

(image-source method)을 같이 사용하는 혼합모델(hybrid model)을 적용하여 현재는 Odeon v.5.0까지 개발되어 사용되고 있다. Catt-Acoustics 프로그램은 본래 음선추적모델을 적용한 극장의 조명설계용 3D-CAD 프로그램인 Catt-Lighting으로 1987년 출발하였다. 영상법을 적용한 실내음향시물레이션프로그램이 개발된 것은 1988년이며 현재는 Catt-Acoustics v8.0이 개발되어 사용되고 있다. Odeon v.5.0은 음선추적법과 영상법을 같이 사용하는 혼합모델을 적용하고 있으며 선음원과 면음원에 대해서는 별도의 음선추적알고리즘(ray-tracing algorithm)을 적용하고 있는 것으로 알려져 있다. Catt-Acoustics v8.0은 초기반사음들에 대해서는 영상법을 그리고 후기반사음들에 대해서는 음선추적법을 적용하고 있으며 옥타브밴드별 음향변수의 정확한 계산(full detailed calculation)에는 randomized tail-corrected cone-tracing(RTC) 기법을 사용하고 있다. 이는 확산반사의 영향을 적용하기 위한 것으로서 주파수별 확산성이 다르다는 점을 고려한 것이다. 표 1은 Odeon과 Catt-Acoustics, 그리고 우리나라에서 개발중인 시물레이션 소프트웨어를 대상으로 하여 제공되고 있는 기능들을 비교한 것이다.

각 프로그램들은 공히 CAD에서 대상실을 3차원으로 모델링한 후 프로그램으로 불러들여 사용하는 방법을 공통적으로 채택하고 있으나 Catt-Acoustics의 경우 자체적인 room editor 모듈이 있어 직접 프로그램 내부에서 모델링이 가능하다. 그러나 Odeon이

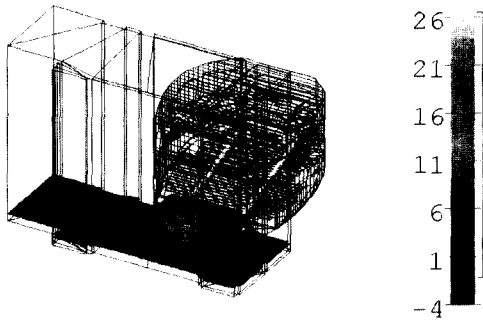
〈표 1〉 건축음향 해석 프로그램의 종류와 특징

항목별	Odeon v.5.0	Catt-Acoustics v.8	RASP v1.0
사용알고리즘	Hybrid (ray tracing & Image-source method)	Hybrid (ray tracing & Image-source method)	Hybrid (image-source method & radiosity)
확산성고려	Lambert method 에 의한 부분적 확산고려(정도의 조절은 불가능)	주파수별 확산계수 부여에 의한 1st order까지의 확산고려	벽면의 sub-patch 간의 확산음 전달계수 (form factor)를 10차 이내에서 고려
예측가능 실내 음향변수	RT(T <sub>30</sub> ), SPL, EDT, LF, Ts, STI, D <sub>50</sub> , C <sub>80</sub> , G <sub>0</sub>	RT(T <sub>30</sub> ), SPL, EDT, LF, RASTI, Ts, STI, D <sub>50</sub> , C <sub>80</sub> , C <sub>50</sub> , G <sub>0</sub> , IACC	RT(T <sub>30</sub> ), SPL, EDT, LF, D <sub>50</sub> , C <sub>80</sub> , C <sub>50</sub> , G <sub>0</sub>
음원모델링	점, 선, 면음원 모델링 가능, 음원의 지향성 조절가능	점, 선음원 모델링 가능, 음원의 지향성 조절가능	점음원 모델링 가능, 음원의 지향성 조절가능
예측대상 주파수범위	63-8000Hz	63-8000Hz	63-8000Hz
가청화 (auralization) 기능	2channel postprocessing 지원	5channel postprocessing 까지 지원	none
대상공간 모델링	CAD 작업후 DXF 파일교환	CAD 작업후 AutoLisp interface 에 의한 파일교환 또는 자체 에디터모듈의 활용	AutoCAD에서 모델링후 계산모듈로 연결

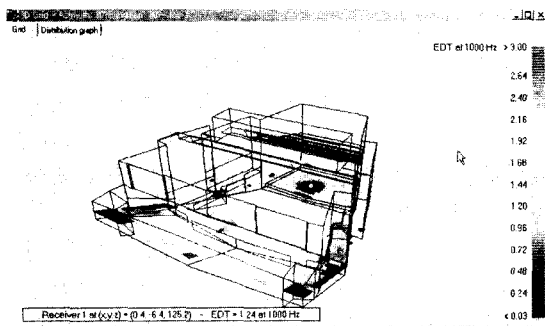


〈그림 1〉 CAD프로그램을 이용한 3차원 모델링

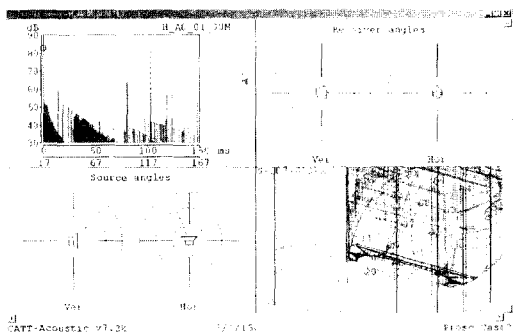
DXF 포맷을 활용하여 일반 CAD프로그램과의 호환성이 높은 반면 Catt-Acoustics는 AutoCad와 AutoLisp interface에 의한 파일 교환을 하는 방법을



[그림 2] Catt-Acoustics를 이용한 특정평가지표의 객석내 분포패턴 평가 예



[그림 3] Odeon을 이용한 특정평가지표의 객석내 분포패턴 평가 예

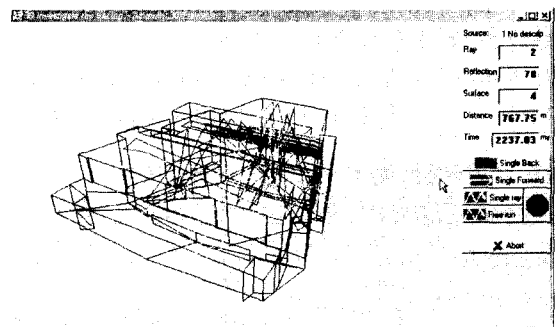


[그림 4] Catt-Acoustics를 이용한 반사음 분석의 예

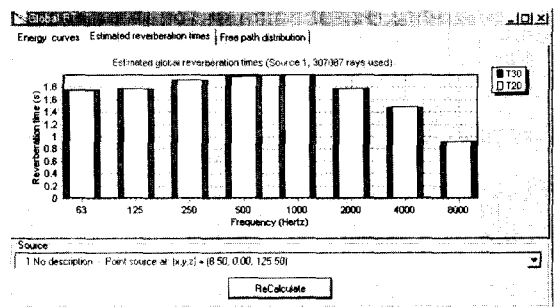
쓰고 있어 제한적이라 할 수 있다.

확산성 측면에서 Catt-Acoustics는 각 마감재료별로 주파수별 흡음율과 더불어 확산계수를 부여하고 1st-order까지의 확산에 의한 영향을 고려한 음향변수를 산출하고 있으나, Odeon은 확산과 관련한 별도의 모듈은 제공하고 있지 않으며 음의 반사과정에 Lambert method를 적용하여 부분적으로 확산의 영향을 고려하고 있다. 이 두 프로그램은 ISO 3382에서 규정하고 있는 주요 실내음향변수들을 산출하고 이를 2차원 및 3차원으로 mapping하여 보여줄 수 있는 그래픽 기능을 제공하고 있다(그림 1~3).

각 프로그램들은 공히 실내 경계면에서의 반사음의 거동을 시각적으로 분석할 수 있어 실내에서 발생하는 음향적 결함(음의 집중, 긴 지연시간차에 의한 결함 발생 등)의 원인을 추적할 수 있는 도구로 활용 가능하다(그림 4~7). 그림 8, 9는 각각 Odeon과

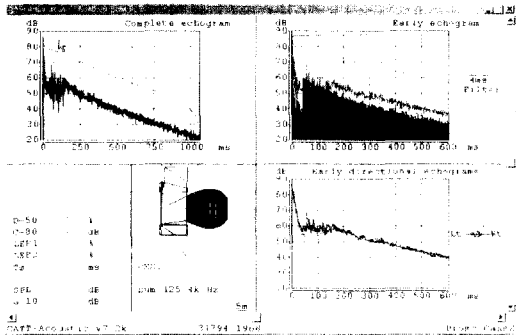


[그림 5] Odeon을 이용한 반사음 분석의 예

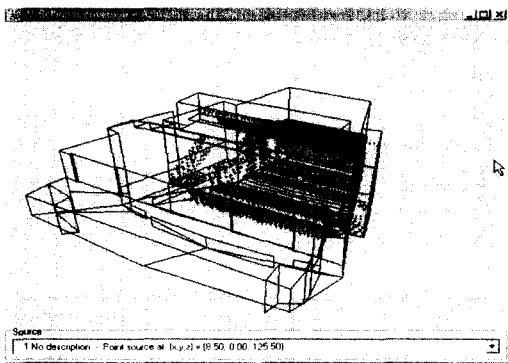


[그림 6] Odeon을 이용한 객석내 특정 위치에서의 음향 성능 평가결과 예

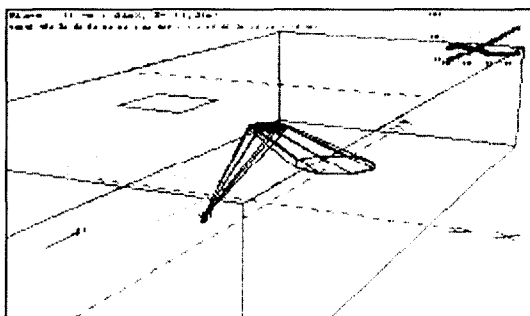
Catt-Acoustics를 이용하여 반사면에 의해 영향을 받는 부위를 분석하여 나타낸 것이다. 이 또한 실의 음향설계과정에서 반사면의 위치 및 그 영향범위를 검



[그림 7] Catt-Acoustics를 이용한 객석내 특정위치에서의 음향성능 평가결과 예



[그림 8] Odeon을 이용한 반사판의 영향 분석 예



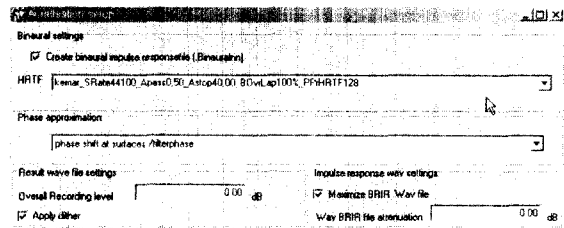
[그림 9] Catt-Acoustics를 이용한 반사판의 영향 분석 예

토하는데 효과적으로 활용될 수 있다.

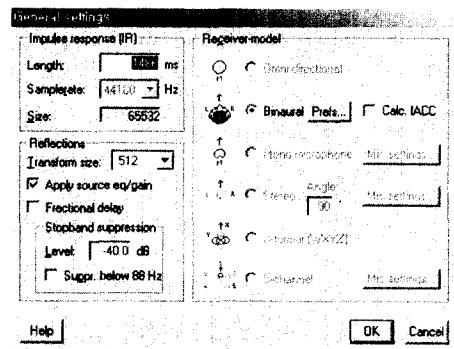
실의 음향성능에 관한 최종평가는 사용자에 의해서 이루어지게 되므로 최근에는 신호처리(signal processing)기법을 활용한 가청화(auralization) 실험이 많이 시행되고 있다. Odeon과 Catt-Acoustics는 모델링 된 실에서 충격응답(impulse response)을 획득하여 무향음원과의 컨벌루션(convolution)을 통하여 대상공간의 음향특성을 반영한 음원을 제작하도록 모듈을 제공하고 있다(그림 10, 11).

또한 Odeon과 Catt-Acoustics 프로그램은 최근 많이 사용되고 있는 OpenGL 기능을 활용하여 모델링된 내부공간을 3차원으로 시각화하여 보여줄 수 있는 기능이 있다. 이는 내부공간에 대한 시각적 경험 뿐만 아니라 가청화 실험과 병행하여 각 위치에서의 시각적 음향적 경험을 검토할 수 있는 도구로서도 활용이 가능하며 VRML format을 활용하는 경우, 인터넷 브라우저에서도 유사한 경험을 할 수 있다(그림 12, 13).

현재 우리나라에서 개발중인 건축음향 시뮬레이션



[그림 10] Odeon의 가청화 모듈



[그림 11] Catt-Acoustics의 가청화 모듈

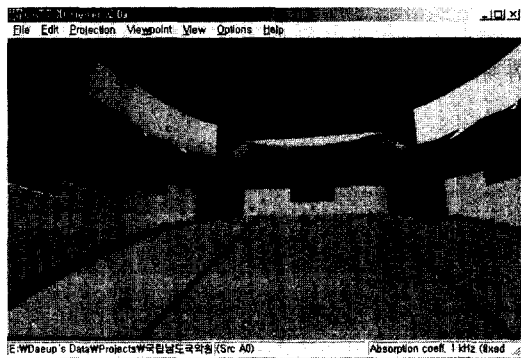
소프트웨어인 RASP(room acoustic simulation program)는 기존의 알고리즘인 영상법을 근간으로 라디오시티법을 통한 부분적 확산반사를 고려하여 개발된 소프트웨어이다. 몇몇의 실내음향 시뮬레이션 소프트웨어들은 범용 CAD 소프트웨어에서 실의 형상 모델 정보를 변환기를 통하여 입력받도록 하여 변환기를 거치는 과정에서 실의 형상 정보가 손실되는 일이 자주 있어왔다. 그러나 RASP는 범용 CAD 소프트웨어인 AutoCAD를 기반으로 개발된 소프트웨어로써, room geometry model을 생성함에 있어 CAD 상의 실 형상 모델을 변형 없이 사용할 수 있다는 장점을 가지고 있다(그림 14, 15).

RASP에서는 path 계산 module과 post processor에서 필요로 하는 실의 형상 모델 정보를 텍스트 데이터 파일로 출력하며, 음원의 위치와 출력 크기, 수음점

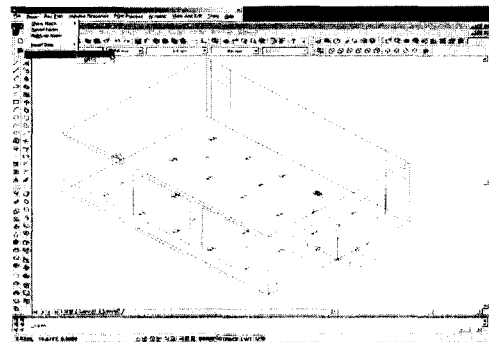
의 위치, 그리고 최대반사횟수, 최대지연시간 등을 사용자로부터 입력받아 출력할 수 있다.

음선경로 산출부(Ray Path Calculator)는 영상법에 의하여 음선경로를 산출하고, 산출된 음선 경로를 Room Acoustic Modeler에서 3차원으로 구축된 실의 형상 모델에 디스플레이 하게되며, AutoCad의 명령어들을 이용하여 사용자가 원하는 방향과 위치에서 음선 경로를 확인할 수 있다.(그림 16) 또한 Impulse Response Module에서는 확산반사의 고려와 형태계수의 계산에 필요한 단위 패치(subpatch)를 나누고, 그 패치의 기하학적 정보를 데이터 파일로 출력할 수 있다.

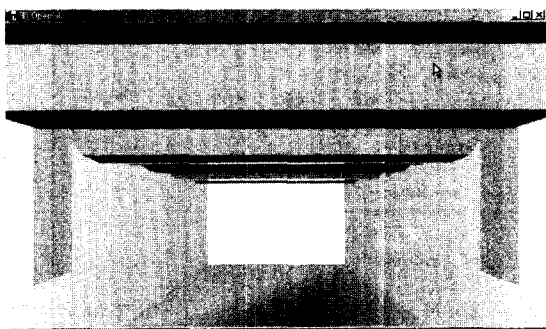
RASP에서는 영상법의 장점을 살려 3차원 공간상에 분포된 영상음원들을 디스플레이 함으로써, 사용자가 영상음원의 크기와 분포를 눈으로 확인할 수 있도록



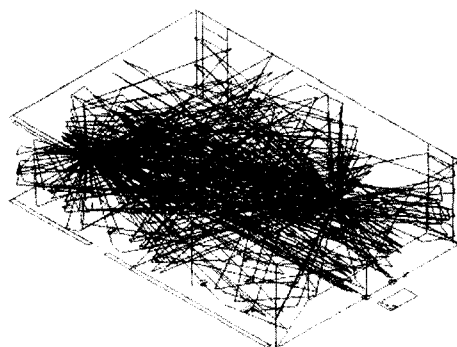
[그림 12] Catt-Acoustics의 open GL 모듈을 이용한 내부전경



[그림 14] RASP를 이용한 room geometry modeling



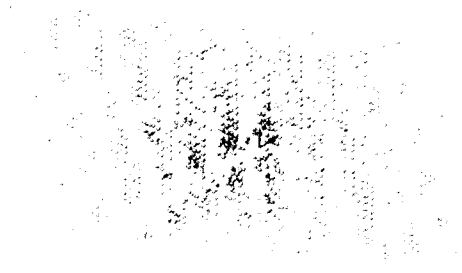
[그림 13] Odeon의 open GL 모듈을 이용한 내부전경



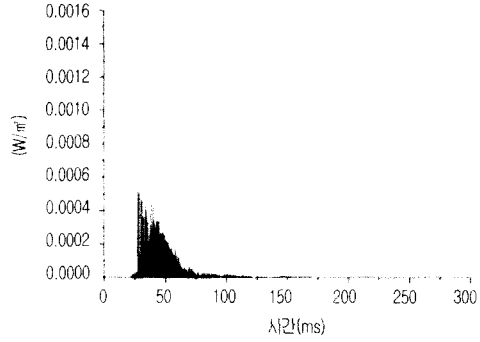
[그림 15] RASP를 이용한 ray path simulation 예

하였다. 또한 AutoCAD 의 도면층(layer) 기능을 이용하여 단순히 원하는 도면층을 on/off 시킴으로써 원하는 impulse response의 산출결과를 선택적으로 확

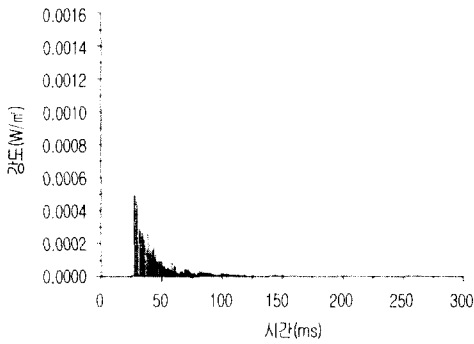
인 및 검토할 수 있다. 그림 17~ 21은 산출된 impulse response에서 정반사에 의한 계산 결과와 난반사에 의한 결과들을 분리하여 그린 그림이다.



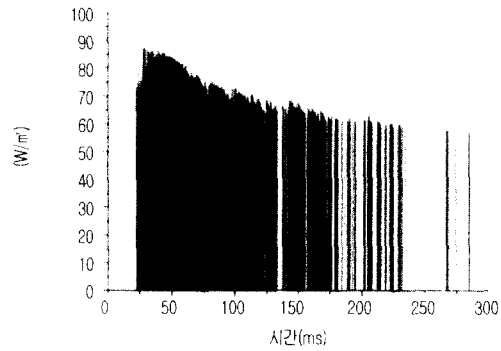
[그림 16] RASP의 Spread of image sources(dB)



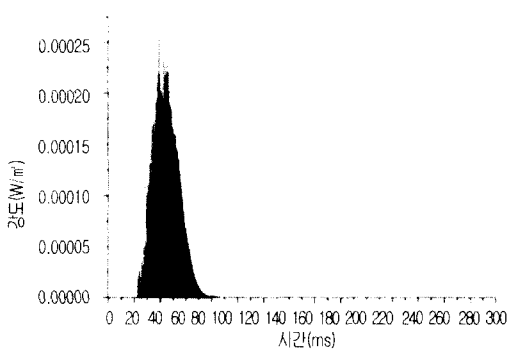
[그림 19] Total impulse response



[그림 17] Specular impulse response



[그림 20] Total impulse response (dB scale)



[그림 18] Diffuse impulse response

Material List	Ab=5	Ab=125	Ab=250	Ab=500	Ab=1000	Ab=2000	Ab=4000	Ab=8000	1000	10000
01	0.15	0.15	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0	0
02	0.7	0.7	0.65	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0	0
03	0.95	0.95	0.9	0.85	0.8	0.75	0.7	0.65	0	0
04	0.15	0.15	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0	0
05	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0	0
06	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0	0
07	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0	0

[그림 21] RASP의 Material property database

RASP는 음향 특성치 데이터베이스(material property database)를 이용하여 실의 각 면에 부여할 재질과 흡음계수 및 확산계수를 통합 관리할 수 있도록 하고 있다. material database manager는 room geometry modeler에서 음향 특성치에 따라 구분된 도면층(layer)에서 각 벽면의 정보를 추출하여 하나의 project에 필요한 material list를 material database control system으로부터 가져오고, 가져온

material에서 impulse response의 계산에 필요한 음향 특성치를 출력하게 된다.

이와 같이 우리나라에서 개발중인 RASP는 가장 최근의 개념인 확장 라디오시티법을 적용하여 개발된 소프트웨어이나, 사용자 편의성(user interface)이나 후처리(post processing)의 측면에서 아직 보완해야 할 점이 남아있는 상태이다. ❶