

## 휴대용 정보화기기(情報化器機)의 음향설계: 모델링 방법과 청음화(Auralization) 응용

김 준 태

(삼성종합기술원 CSE센터)

**빠** 르게 발전하고 있는 휴대용 정보화기기의 음향성능을 높이기 위하여 활용되고 있는 음향설계 모델링 방법에 대하여 살펴보고 실제의 청취환경을 모사한 가상조건에서의 청음화(auralization) 응용을 통한 가상 음향성능 체험 과정을 소개한다.

### 1. 음향설계 개요

최근에 MP3P, 게임, VOD 기능이 탑재된 휴대용 정보화기기가 급증함에 따라 음향의 중요성이 크게 높아지고 있다. 즉, 휴대폰과 같은 휴대용 정보화 기기들은 열악한 기기 음향특성과 마이크로스피커와의 부정합 등으로 인하여, 음향 품질에서 소비자들의 많은 불만을 야기시키고 있으며, 소비자들은 기존의 음질과 기능에 만족하지 못하고 더욱 더 고품질의 음향성능을 요구하고 있다. 글로벌 회사들도 이러한 고객요구와 시장환경을 만족하는 신제품의 출시를 크게 확대하고 있는 상황이다.

소리의 전달 체인은 그림 2와 같이 크게 4개의 링크들로 연결되어 있고, 그 중에서 가장 약한 링크가 전체 음향시스템의 음향품질 수준을 결정한다. 따라서 휴대폰, PMP 등의 휴대용 정보화기기에서는 매우 열악한 소리 재생 특성을 높이고 최적화하는 음향 설계기술이 필요하며, 최종적으로는 소비자가 원하는 음질을 달성하여야 한다. 보다 상세한 각 단계별 관련기술은 그림 3과 같다. 음향기기의 음향특성을 좋게 하기 위해서는 그림 4에 보인 바와 같은 마이크로스피커 설계와 기구물스피커 정합 최적화 기술이 중요한 기술로 대두되고 있다.

일반적으로 음의 3대 요소는 음질(음색), 음정(박자), 음량(출력)이며 그 정의는 다음과 같다.

- 음질 : 주파수 응답곡선의 왜곡(찌그러짐)이 작아야 한다. 주파수 왜곡은 주파수 응답곡선의 평탄성 (spectral deviation) 정도로 나타내며, 망소특성 (smaller the better characteristics) 지수이다. 주파수 평탄도가 향상될수록 원음 재생에 더욱 충실해진다.
- 음정 : 음의 재생주파수 범위(low & high freq. cut-off)이며 그 대역이 넓어야 한다.

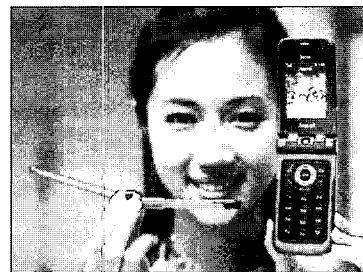


그림 1 정보화기기의 음향기기 예 (휴대폰)

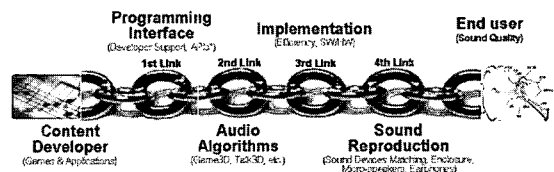


그림 2 소리 전달 체인

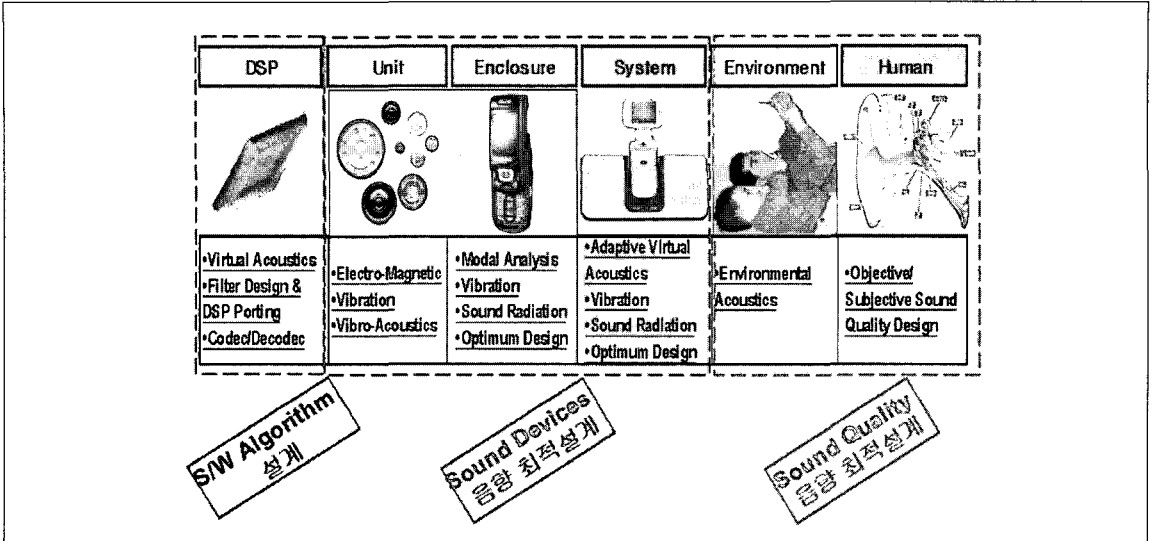


그림 3 음향설계 기술 스펙트럼

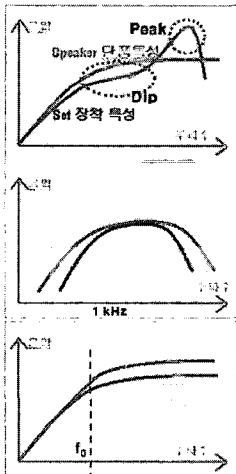


그림 4 음향설계 목표 특성도

• 음량 : 출력 음압(sound pressure level)이 높아야 한다. 음량은 소리의 크기(loudness)에 비례하며 재생되는 소리가 어느 정도 충분 한가를 나타내는 지표이다.

따라서, 고객이 듣기 좋은 음을 재생하려면, 음질이 좋고(왜곡이 적으며), 음의 재생주파수 범위가 넓고 음량(출력 음압)이 크게 되도록 휴대용 sound devices의 음향 최적설계를 해야 한다.

음향최적설계를 하기 위해서는 CAE(computer aided engineering) 방법과 실험계획법/RSM (response surface model)을 활용한 DFSS(design for six sigma)방법이 많이 사용되고 있다. 그림 5는 global company의 휴대폰 음향 실험 사례이다.

## 2. 음향 모델링

일반적인 음향 모델링 방법의 분류는 그림 6과 같다.

### 2.1 물리적 모델

Mock-up등과 같은 실체가 있는 모델을 사용하여 음향특성을 측정하고 분석을 수행한다. 필요 시에는 변환 모델(scaled model)을 만들어서 사용하며, 이때에는 관련된 음향 변수들도 함께 적절히 scaled변환되어야 한다. 또한, 음파가 전파되면서 물체에 도달할 때에는, 파



그림 5 Nokia연구소에서의 휴대폰 음향실험 장면

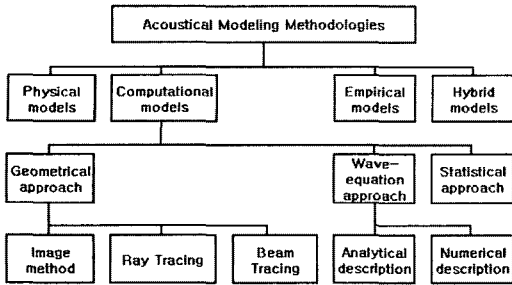


그림 6 음향 모델링 방법의 분류도

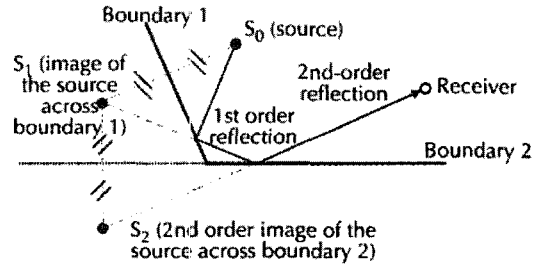


그림 7 Image models 생성 개요도

표 1 음파전달에서의 파수(wave number)와 물체크기(object dimension)의 효과

Value of $Ka$	Primary phenomenon taking place when the sound waves reach the object (not including absorption)
$Ka \leq 1$	<i>Diffraction</i> : the sound waves travel around the object without being affected by its presence. The object can be considered invisible to the waves.
$1 < Ka < 5$	<i>Scattering</i> : the sound waves are partially reflected by the object in many directions and in a complicated fashion. This scattering phenomenon is associated with the notion of acoustical diffusion.
$Ka \geq 5$	<i>Reflection</i> : the sound waves are deflected by the object in one or more specific directions that can be predicted from application of basic geometry laws.

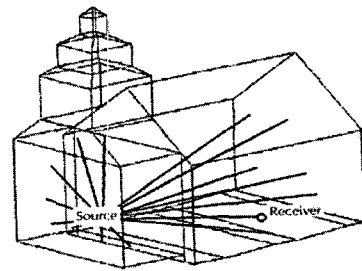


그림 8 Ray-tracing models 생성 개요도

수(wave number =  $2\pi / \lambda$ )와 물체 크기의 곱( $Ka$ )의 값 범위에 따라 Table 1과 같은 기본현상이 발생한다.

물리적 모델을 이용하여 음향측정 분석 시에는, 주파수와 파장, 시간과 거리, 매질, 음원과 수음자, 표면 재질과 흡음특성 등을 고려해야 한다.

### 2.2 계산 모델

Adequacy, accuracy, efficiency 등을 고려하여 다음과 같이 분류한다.

#### (1) 기하학적 모델

**Image models**: 그림 7과 같이 반사면의 연장선상에 가상 음원이 존재한다고 가정하며, 가상 음원수와 반사면, 반사 차수와의 관계식은 식 (1)과 같다.

$$N_{IS} = \frac{N_w}{N_w - 2} [(N_w - 1)^i - 1] \quad (1)$$

$N_{IS}$  = 음이미지 개수,  $N_w$  = 표면 개수,  
 $i$  = 반사차수.

- **Ray-tracing models**: 점 음원과 같은 omnidirectional 패턴, 또는 지향성(directivity)을 갖는 특정 패턴의 음원을 나타낼 수 있도록, 음원이 유한개의 음선(ray)을 방사하는 것으로 모델링 한다. 음원과 수음자 사이의 모든 반사경로를 찾으려고 하지 않기 때문에 이미지 방법에 비해 계산시간을 크게 줄일 수 있다. 계산시간은 음선 개수와 반사차수에 비례하며, 여러 수음 지점에서 동시에 분석을 할 수 있다.
- **Beam-tracing models**: 음원이 2차원 삼각형이나 3차원 pyramidal/conical 형태의 에너지 빔을 방사하는 것으로 모델링하며, 전체의 구간에서 에너지를 잘 수신할 수 있다. 반사가 음선 추적 방법처럼 단일 점에서 이루어지는 것이 아니기 때문에 표면으로부터의 반사 패턴을 결정하기 위해서 매우 복잡한 계산을 요구하지만 음향 확산효과를 모델링 할 수 있는 등, image/ray-tracing 방법에 비하여 많은 장점이 있다. 표면에서 반사되는 에너지는 식 (2)와 같다.

$$E_R = E_R(1 - \alpha)(1 - \delta) \quad (2)$$

$E_R$  = 입사 빔에 포함된 에너지,  
 $\alpha$  = 표면의 흡음계수,  
 $\delta$  = 표면의 확산계수.

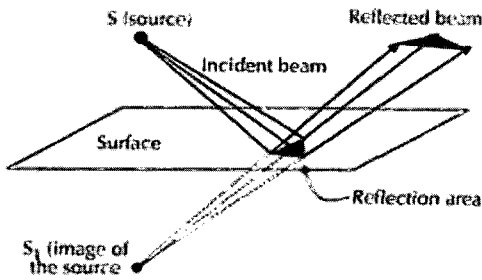


그림 9 Beam-tracing models 생성 개요도

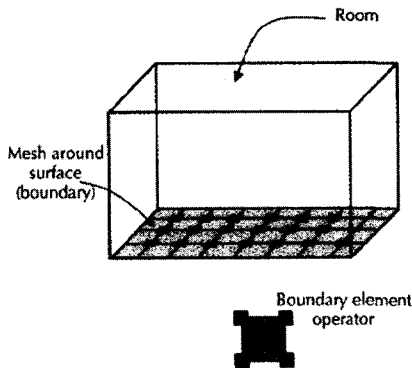


그림 10 경계요소법(BEM) 모델 개요도

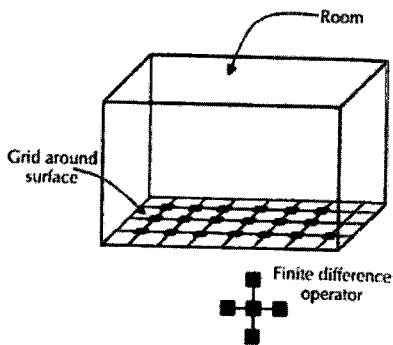


그림 11 유한차 시간영역(FDTD) 모델 개요도

(2) 파동방정식 모델

해석적 모델 : full-wave methodology : 식 (3)의 음향지배방정식이 적용되는 해석적 모델이며, 물리현상의 이해에 근거하여 정확한 특정 음향현상을 나타낼 수 있는 수학적 표현을 제공할 수 있다. Non-idealized surfaces에 작용하는 음파의 특성을 모델링 하는데 이용될 수 있고, 실제의 공간에서 산란, 반사, 흡수 되는 에너지를 산출할 수 있다. 음원과 수음자 사이의 음향 가역성이 성

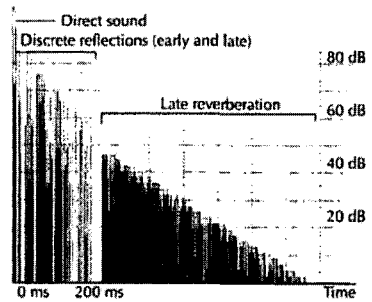
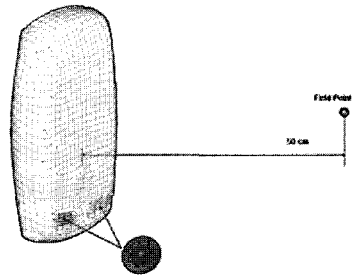


그림 12 Reflectogram (1kHz)의 예

립되어야 하며, 표면들이 해석적 형태로 정의되어야 한다는 어려움이 있다.

$$\nabla p + k^2 p = 0 \tag{3}$$

- 수치적 모델 : Boundary element methodology : 문제 영역의 표면을 여러개의 작은 요소들로 분할하여 음향 지배방정식을 적용한 행렬 요소를 구하고, 전체 요소들의 총합 행렬요소를 산출한 다음, 수치적 행렬 연산과정을 통하여 음향 변수들을 얻는다. 복잡한 표면들에 적용이 용이하고, 산출결과와 정확도를 위하여 관심주파수영역의 최소파장의 1/7배 이상의 작은 요소로 분할하여야 한다. 주로 재료물성의 time-invariant 조건하에서의 주파수 영역 해석에 적절하며, 필요시 시간영역 해석에도 적용될 수 있다.
- 수치적 모델 : finite difference time domain methodology : 시간영역 해석에서의 계산시간과 메모리측면에서 큰 효율성이 있으며, room acoustics의 저주파영역 모델링과 reflectograms 산출등에 적합하다. BEA방법의 mesh와 달리, 문제의 영역을 높은 수준의 해상도를 갖는 grid로 분할하며, 대수방정식을 사용하여 grid지점에서의 음향변수를 산출한다.

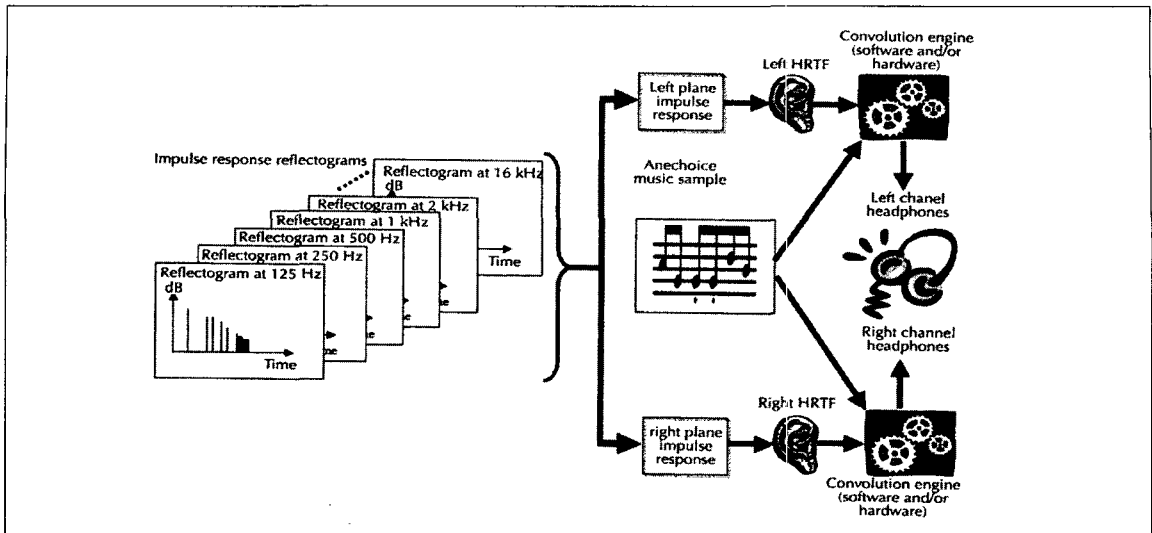


그림 13 청음화 과정 개요도 (HRTF binaural impulse response & headphone presentation)

### (3) 통계적 모델 및 기타 모델

Modal frequencies, modal density, mode distributions 등의 산출을 통한 room 해석과 고주파대역에서 발생하는 공진효과 분석등에 사용된다. 즉 SEA(statistical energy analysis) 방법은 kinetic & strain energy를 분석하여 partitions & walls등의 modal 공진 효과 등을 정확히 계산할 수 있고 주파수영역 해석에 최적화 되어 있다.

실험적 모델은 실험 데이터의 커브피팅 과정 등을 통하여 구성되며, 해석적/형상적/통계적 표현이 필요하지 않고, "gypsum cavity wall absorption"과 "absorption from trees and shrubs" 산출등에 활용된다.

Hybrid models은 계산시간, 정확도, 응용범위등에 따라 적합한 여러 방법들을 조합하여 사용한다. 즉, 높은 정확도와 diffusion이 필요 할 때에는 이미지 방법과 adaptive beam tracing 방법을 결합 할 수 있으며, "confidence factor"를 제공하기 위하여 실험적 방법을 포함 할 수 있다.

## 3. 청음화(Auralization) 응용

청음화는 특정 위치에서의 binaural 청각 체험을 모사하는 방법으로서, 물리적 또는 수학적 모델링과 공간 내 음장해석을 통하여 소리에 색깔을 입히는 (rendering audible) 과정이다. 그 첫번째 과정은 여러 주파수에서

특정 응답지점의 충격응답(IR)을 나타내는 그림 12와 같은 reflectograms을 계산한다.

Reflectograms은 직접음과 초기반사음, 잔향음의 총합이며, intensity, 반사경로, 시간 등의 모든 정보를 포함한다. 두번째 과정으로는 그림 13에서와 같이 reflectograms을 인간의 머리전달함수(head related transfer functions)와 결합시키고, dry(anechoic)한 음성 또는 음악 음원과 convolve하면 binaural가청음이 산출된다. 마지막으로, 이 산출된 가청음을 헤드폰이나 스피커를 이용하여 주관적인 음향 청취설계를 수행 할 수 있다.

## 4. 맺음말

빠르게 발전하고 있는 휴대용 정보화기기의 음향성능을 높이기 위하여, 활용되고 있는 음향설계 모델링 방법과 실제의 청취환경을 모사한 가상조건에서의 청음화 응용을 통한 가상음향성능 체험 과정을 살펴보았다. 설계방법으로는 CAE와 DFSS를 통한 음향최적설계를 하여 음질 측면의 고객만족을 달성할 수 있다. 🏠

### ✉ 필자

- 현재 삼성종합기술원 CSE센터 전문연구원
- 영국 ISVR(음향진동연구소) 연구원
- KAIST 기계공학과 공학박사(Applied Acoustics)
- 소음진동기술사
- 연락처 : 016-377-1935, jtkim77@samsung.com