

# 변형된 머리전달 함수 및 음향 시뮬레이션 기법을 이용한 음상 외재화 알고리즘

## Sound Source Externalization Algorithm Using Modified HRTFs and an Acoustic Simulation Method

이 용 주\*, 장 대 영\*, 장 인 선\*, 강 경 옥\*  
(Yong Ju Lee\*, Dae-young Jang\*, Inseon Jang\*, Kyeongok Kang\*)

\*한국전자통신연구원 방통융합미디어연구부  
(접수일자: 2009년 11월 2일; 채택일자: 2009년 11월 15일)

본 논문에서는 헤드폰 또는 이어폰을 이용하여 오디오 신호를 청취할 때 공간감 및 현실감을 높일 수 있는 음상 외재화 알고리즘을 제안한다. 제안한 방법은 음상 정위를 위해 변형된 머리전달 함수를 사용하였고, 음향 시뮬레이션 기법을 통해 생성한 임펄스 응답을 공간감을 위한 반사음으로 사용하였다. 변형된 머리전달 함수는 기존의 머리전달 함수와 음상 정위 효과는 유지하면서, 음색의 변화를 최소화하는 방법으로 개발이 되었으며, 음향 시뮬레이션 기법은 자연스러운 반사음을 획득하기 위해 사용되었다. 제안한 알고리즘의 검증은 청취평가를 수행하였다. 청취 평가를 통해 제안한 알고리즘이 음상 외재화 효과가 있음을 알 수 있었는데, 전방과 후방지역에 음상이 위치하는 경우보다는 좌측과 우측에 음상이 위치한 경우에 음상 외재화 효과가 잘 나타난다는 것을 알 수 있었다.

**핵심용어:** 음상 내재화, 음상 외재화, 머리 전달 함수, 음향 시뮬레이션

**투고분야:** 음향 신호처리 분야 (1,2)

This paper presents a new sound source externalization algorithm for increasing spaciousness and presence on earphone or headphone environments. To do this, we used modified head related transfer functions (M-HRTFs) and room impulse responses acquired by an acoustic simulation method. M-HRTFs developed by ETRI have less tone color distortion of original sound sources than traditional HRTFs. The acoustic simulation method is used to obtain more natural reflected sound. To verify the proposed externalization algorithm, we performed a listening test. From the test, the proposed algorithm is effective in externalizing the sound sources especially when they are on the left and right sides.

**Keywords:** IHL (In Head Localization), OHL (Out of the Head Localization), HRTF (Head Related Transfer Function), Acoustics simulation

**ASK subject classification:** Acoustic Signal Processing (1,2)

### I. 서론

최근 멀티미디어 기술의 발전으로 인해, mp3 player, PMP, DMB 등과 같은 휴대 단말을 통해 멀티미디어를 소비하는 경우가 많아지고 있다. 특히, 휴대 전화기에 mp3 player가 내장이 되고, DMB 수신 기능이 추가됨에 따라, 이러한 경향은 더욱 증가하고 있는 추세이다.

한편, 이러한 휴대 단말은 크기가 제한적일 수밖에 없기 때문에, 헤드폰 또는 이어폰을 이용하여 오디오를 청취하는 것이 일반적이라 할 수 있다. 헤드폰 또는 이어폰을 이용하여 오디오를 청취하는 경우, 그 음상이 머리 내부에 맺히게 되는 음상 내재화 현상 (IHL: In Head Localization)이 발생하는데, 이러한 현상은 청취자로 하여금 공간감이나 현실감을 저하시키는 요인이 된다 [1]. 이러한 이유로 SRS (Sound Retrieval System), BBE (Base Booster Effect), DNSe (Digital Natural Sound Engine) 등과 같이 오디오 신호에 3차원 효과를 주는 기능을 휴대 단말에 추가하여 청취자로 하여금 좀 더 현실감

책임저자: 이 용 주 (draball@etri.re.kr)  
305-700 대전시 유성구 가정동 한국전자통신연구원  
방통융합미디어연구부  
(전화: 042-860-1672; 팩스: 042-860-5479)

있는 오디오를 제공하기 위한 노력이 이루어지고 있다.

음상 내재화 문제를 해결하여 헤드폰/이어폰을 통한 청취 시에도 음상이 머리의 외부에 맺히도록 하는 기술을 음상 외재화 (OHT; Out of the Head Localization) 기술이라 하는데, 주로 음상 내재화의 원인이 되는 요소들을 보상에 주는 방법을 사용하고 있다. 음상을 완벽하게 외재화 시키기 위해서는 이러한 모든 음상 내재화 요인을 반영하여야 하지만, 여러 가지 현실적인 이유로 완벽한 음상 외재화는 여전히 어려운 문제로 인식되고 있다. 최근에는 공간의 반사 및 잔향에 의한 공간 음향 특성, 개인의 머리 및 귓바퀴 등 인체에 의한 음향 전달 특성, 머리 움직임에 의한 음향 전달 특성 변화 등과 같이 음상 내재화의 주요한 요인에 대한 보상을 통해 외재화를 실현하려는 접근들이 주로 연구되어 오고 있다[2-4].

이러한 음상 내재화 요인들 중 가장 많은 영향을 미치면서도 직관적으로 제어가 가능한 요소들로는 머리 및 귓바퀴에 의한 음의 전달 특성 변화와 벽, 천정, 바닥 등에 의한 반사음이라 할 수 있다. 본 논문에서는 건축 음향 설계를 위해 사용되는 음향 시뮬레이션 방법을 이용하여 반사음 및 잔향신호를 생성하고, 머리 및 귓바퀴 등에 의한 음의 전달 특성 변화를 보상하기 위해서는 음상 정위를 위해 사용되는 HRTF를 적용하는 방법을 통해 음상 외재화 알고리즘을 개발하였다. 본 연구에서는 기존의 HRTF를 그대로 사용하지 않고, 음색의 변화가 적은 IIRTF를 활용하여 음색 변화를 가급적 줄이도록 하였다.

본 논문의 순서는 아래와 같다. 먼저 2장에서 음상 내재화 및 이에 영향을 주는 요소들에 대해 간략하게 살펴보고, 3장에서 본 연구에 사용된 변형된 IIRTF 생성 방법에 대해 기술한다. 그리고, 4장에서 음향 시뮬레이션 방법을 이용하여 룸의 임펄스 응답을 획득하는 방법에 대해 기술하고, 5장에서 변형된 HRTF와 룸의 임펄스를 이용한 음상 외재화 알고리즘에 대해 설명한다. 6장에서, 제안한 방법에 따른 음상 외재화 알고리즘에 대한 성능측정 실험 및 그 결과에 대해 기술하고, 7장에서 결론을 맺는다.

## II. 음상 외재화 기술 개요

앞서 간략하게 기술한 것과 같이 음상 내재화 현상은 이어폰 또는 헤드폰으로 오디오신호를 청취할 때에 음상이 머리 내부에 맺히는 현상을 의미한다. 이러한 음상 내재화 현상은 이미 오래 전에 발견이 되었으며, 오랜 기간

동안 그 원인에 대해서도 많은 연구가 이루어졌고, 많은 원인을 밝혀내었다. 그러나, 여전히 음상 내재화 현상의 모든 원인을 밝히지는 못한 상태라 할 수 있다. 여러 연구로부터 밝혀진 음상 내재화 현상의 주요한 원인은 아래와 같은 것들이 있다 [5].

- 개인의 머리 및 귓바퀴 등 인체에 의한 음향 특성의 변화 부재
- 공간의 반사 및 잔향에 의한 공간 음향 특성 미반영
- 머리의 움직임에 의한 음향 전달특성의 일관적인 변화 미반영
- 시각 및 기억에 의한 음원의 위치 정보 부재
- 친밀한 음원 및 공간의 전달특성 예측 능력 미적용

이러한 주요한 요인 외에도 음상 내재화 현상을 유발할 수 있는 다른 요인들이 있는 것으로 알려져 있는데, 아래와 같은 요인들을 들 수 있다.

- 이어폰 착용에 의해 귀에 주어지는 음압이 지나치게 안정됨.
- 두 귀에 전달되는 경로가 독립적이며, 미세하게 다름.
- 전달 시스템 및 전기음향 변환기의 비선형 왜곡
- 중이 (middle ear)에 비정상적인 음향 공급
- 골도 (뼈의 진동에 의한 음향 전달)

앞서 기술한 것과 같이 아직까지도 음상 내재화 현상의 원인에 대해 모든 것을 밝힌 것은 아니라고 할 수 있으나, 이미 발견된 여러 요인들을 해소하는 방법으로 음상 외재화를 어느 정도는 달성할 수 있을 것이다. 그러나, 이러한 요인들의 대부분은 여러 가지 요인에 의해 항상 변화하는 요소이기 때문에 쉽게 이러한 요인들을 해소하는 것은 쉬운 일을 아니다. 예를 들어 개인의 머리 및 귓바퀴 등 인체에 의한 음향 특성의 변화는 개인마다 알맞크기, 얼굴모양, 귓바퀴의 모양 등이 다르므로 해서 개인마다 다르게 설정되어야 하는 값이다. 각 개인별로 이러한 특성 변화를 획득하는데에 어려움이 있어, 사람의 평균적인 알맞크기, 알맞 모양 등을 이용하여 측정을 하여 사용하고 있는데, 이러한 방법을 통해 획득한 값들은 실제 청취자와 정확하게 일치하지 않기 때문에, 음상 외재화의 성능을 감소시키는 원인으로 작용된다. 공간에 의한 반사음 및 잔향의 경우도 사람이 위치한 공간의 크기, 벽면의 재질, 사람의 방향 등에 따라 다르게 생성되므로, 모든 상황에 적용될 수 있는 반사음을 획득하는 것은 불가능하게 되며, 특정 공간을 가정하고 이러한 반사음 및 잔향을 획득할 수 밖에 없다. 따라서, 음상 외재화 알고리즘은

개발할 때에는 이러한 값들에 대한 간소화를 할 수 밖에 없으며, 이로 인한 외재화 효과의 감소는 어느 정도는 수용할 수 밖에 없다.

본 연구에서는 위에서 알려진 여러 가지 내재화 요소들 중 인체의 특성에 의한 음향 특성 변화 요인과 공간의 반사 및 잔향에 의한 공간 음향 특성 미반영 요소를 해소하는 방법을 통해 음상 외재화 알고리즘을 개발하였다. 인체의 특성에 의한 음향 특성 변화 요인 제거를 위해서는 인체 특성에 의한 음향 특성 변화를 반영하도록 만들어진 머리전달 함수(HRTF)를 사용하였고, 음향 시뮬레이션 등을 이용하여 공간 음향을 반영하는 방법을 사용하였다. 본 음상 외재화 알고리즘에 사용된 HRTF 및 공간 음향 생성 방법은 이후의 장에서 상세히 설명하도록 한다.

### III. 변형된 머리전달 함수(HRTF) 생성

HRTF는 음원과 사람의 귀 사이에 발생하는 전달함수를 나타내는 것으로, 사람의 어깨, 머리, 귀 모양 등에 의해 오디오 신호의 시간 및 주파수 특성이 변하는 것을 나타내며, 음상 정위를 위한 방법으로 많이 사용된다. 오디오 신호를 3차원 공간의 임의의 위치에 정위 시키는 음상 정위 기술은 일반적으로 패닝 기법을 이용하거나, HRTF를 이용한다. 패닝 기법의 경우 간단하다는 장점을 가지고 있는 반면, 스피커 사이에서만 음상이 정위 된다는 제한사항이 있어, 최근에는 주로 HRTF를 이용하는 방법이 많이 사용되고 있다.

HRTF는 음원의 방위와 고도 및 거리 등에 따라 그 값이 달라질 뿐만 아니라 사람의 머리 모양/크기, 귀의 모양 등과 같은 신체 특징에도 의존하는 특징이 있다. 따라서,

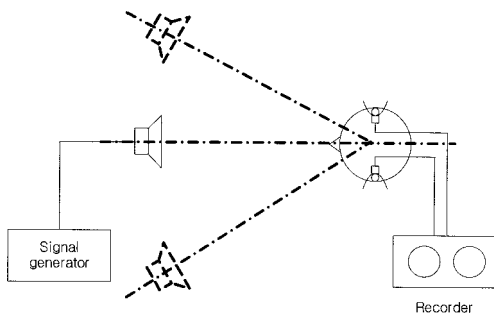


그림 1. HRTF 획득 방법  
Fig. 1. HRTF acquisition method.

HRTF의 경우 각 개인별로 그 값을 획득하여 적용하는 것이 가장 좋은 음상 정위 성능을 나타내며, 음상 외재화 효과도 나타내는 것으로 알려져 있다. 그러나, 앞서 기술한 것과 같이, 개인별로 HRTF를 획득하는 것에 대한 번거로움 및 상업적인 어려움으로 인해, 인간의 평균 얼굴 크기, 모양 등을 고려하여 HRTF를 획득하고, 이를 사용하는 것이 일반적이다.

그림 1은 HRTF를 측정하는 방법을 간단하게 나타낸 것인데, 실제 사람의 귀 속 또는 사람의 모양을 한 모형(예를 들면, Torso)의 귀 속에 마이크를 넣고, 특정 각도에 대해 오디오 신호의 임펄스 응답을 측정한다. HRTF는 양쪽 귀에 해당하는 전달함수를 각각 획득하게 되며, 모노 음원에 대해 설정된 각도에 대한 왼쪽 귀와 오른쪽 귀의 HRTF를 각각 적용해 3차원 공간상의 위치를 느낄 수 있도록 한다. 본 연구에서는 현재 많이 사용되고 있는 KEMAR HRTF를 기본적으로 활용하였다 [6].

정해진 각도에 대한 HRTF는 좌측 귀의 HRTF와 우측 귀의 HRTF 함수로 나누어서 획득할 수가 있다. 이를 적용하는 방법은 그림 2와 같이, 모노의 오디오 신호에 좌측 귀의 HRTF를 컨볼루션하여 좌측 오디오 신호를 생성하고, 동일한 모노 오디오 신호에 우측 귀의 HRTF를 컨볼루션하여 우측 오디오 신호를 생성한 후, 이를 각각 좌측과 우측 귀에 들려주면, 정해진 각도에 대한 음상 정위가 된다.

일반적으로 인간은 좌측 귀를 통해 입력되는 신호와 우측 귀를 통해 입력되는 신호간의 시간 차이(ITD : Interaural Time Difference)와 크기 차이(ILD : Interaural Level Difference)를 통해 소리의 방향을 인지하게 된다 [7]. 현재 사용되고 있는 HRTF는 이러한 ITD와 ILD를 모두 반영되어 있는 상태라 할 수 있다. 그러나, HRTF를 이용하여 음상을 정위하게 되면, 원음에 필터링을 하게 됨으로써, 음색이 변하는 현상이 발생하게 된다. 이러한 음색변화가 오디오 신호의 청취에 큰 영향을 미치

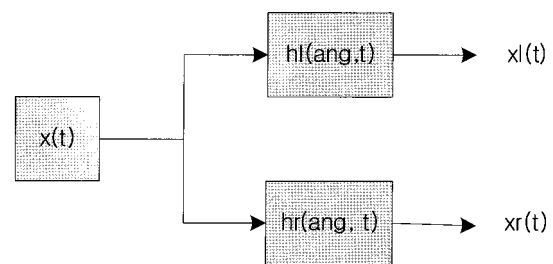


그림 2. HRTF를 이용한 음상 정위 방법  
Fig. 2. Sound source localization by using HRTF.

지 않을 수도 있지만, 음악 등과 같이 음질이 하나의 중요한 요인이 되는 소리의 경우 HRTF의 적용으로 인해 음질이 나빠지는 듯한 느낌을 가지게 된다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 최소화하기 위해 양 귀로 입력되는 신호 간의 ITD와 ILD는 그대로 유지하면서도, 음질의 변화는 줄일 수 있는 변형된 머리전달 함수(M-HRTF: Modified head related transfer function)를 이용하였다. M-HRTF를 계산하는 방법은 아래와 같다.

그림 3에서와 같이 우측 귀에 해당하는 HRTF에 대한 역수를 구하고, 이를 좌우측 귀에 해당하는 HRTF에 곱하면, 우측 귀에 해당하는 HRTF는 그 주파수 응답이 1이 되어서 원음에 주파수 응답을 곱하더라도 원음과 동일한 신호가 된다. 반면 좌측귀의 HRTF는 원래의 HRTF에 우측 귀의 HRTF의 역수가 곱하여져, 원래의 HRTF와는 다른 형태가 된다.

$$\begin{array}{c}
 \boxed{HL(F)} \times \boxed{\frac{1}{HR(F)}} = \boxed{\frac{HL(F)}{HR(F)}} \\
 \boxed{HR(F)} \times \boxed{\frac{1}{HR(F)}} = \boxed{1}
 \end{array}$$

그림 3. M-HRTF 계산 방법  
 Fig. 3. Calculation method of modified HRTF (M-HRTF).

이와 동일하게 좌측 귀에 해당하는 HRTF에 대한 역수를 구하여, 이를 좌우측 귀에 해당하는 HRTF에 곱하면, 좌측 귀에 해당하는 HRTF는 그 주파수 응답이 1이 되고, 우측 귀의 HRTF가 변경된 형태가 된다. 그림 4는 KEMAR HRTF와 이를 이용하여 제안한 방법에 따라 생성한 M-HRTF의 파형을 나타내었다.

이러한 형태로 변형된 HRTF를 적용하면, 양 귀간에 입력되는 신호의 ITD, ILD는 기존의 HRTF와 동일한 값을 가지게 되고, 양 귀 중 한쪽에 입력되는 신호는 원음과 동일한 신호를 가지게 된다.

인간의 청각 특성은 양쪽 귀 중에 먼저 입력되는 소리에 더 많은 영향을 받는다. 따라서, 양 쪽 귀에 입력되는 신호 중 먼저 입력되는 소리에는 필터링을 가해주지 않고, 반대 쪽 귀에 입력되는 신호는 그림 3의 방법으로 획득한 M-HRTF 값을 적용하면, 기존의 HRTF에 의해 발생하는 음색의 변화를 줄일 수가 있다.

그림 5는 제안한 M-HRTF를 이용한 음상정위 방법을 나타낸 것이다.

그러나, 이와 같은 방식으로 M-HRTF를 생성하는 경우 그림 6과 같이 일부 주파수대역에서 발산하는 경우가 있다. HRTF의 주파수 특성에서 성분이 매우 작은 부분에 해당하는 주파수가 있고, 이것이 분모가 되는 경우에 이러한 현상이 발생하는데 이러한 현상이 발생하지 않도록 수학적으로 보정을 하는 방법이 필요하다. 본 연구에서

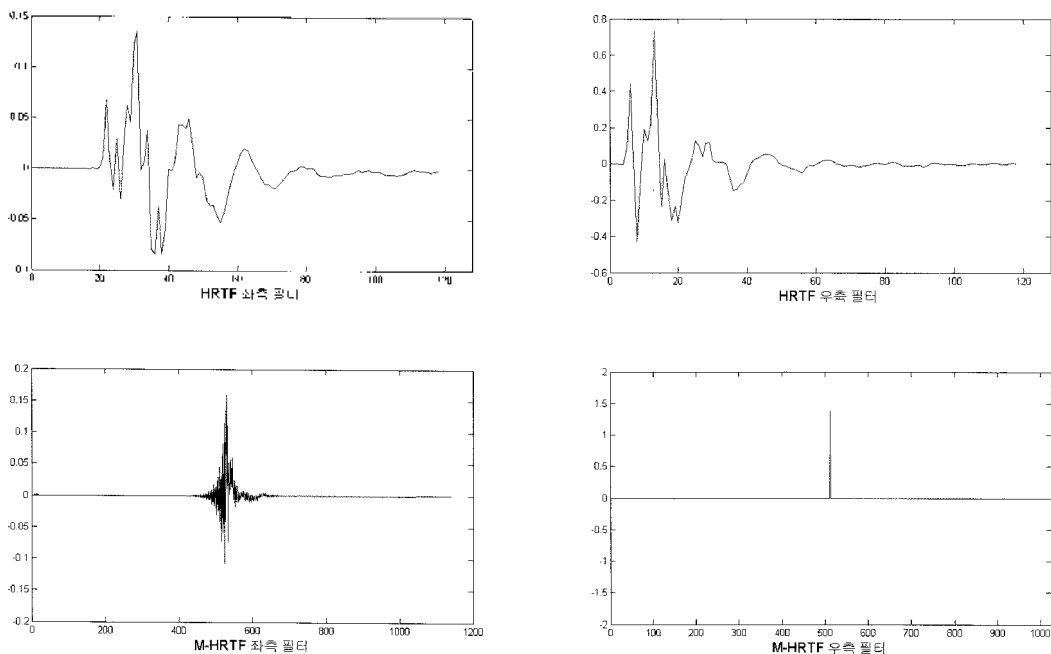


그림 4. HRTF와 M-HRTF의 파형  
 Fig. 4. Wave of HRTF and M-HRTF.

는 수학적 방법으로 보정을 하는 대신 실험적으로 그 값을 완화시키는 방법을 통해 보정을 해 주었으며, 추후 좀더 수학적 방법을 통해 이를 보정하는 연구를 수행할 예정이다.

#### IV. 음향 시뮬레이션 방법을 이용한 림의 임펄스 응답 획득

일상적인 대화 등을 통해 우리가 오디오 신호를 들을 때, 오디오 신호는 음원으로부터 나와 청취자에게 직접 전달되는 직접음, 벽, 천정, 기타 장애물 등에 의해 반사

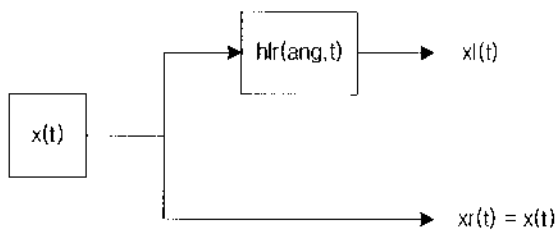
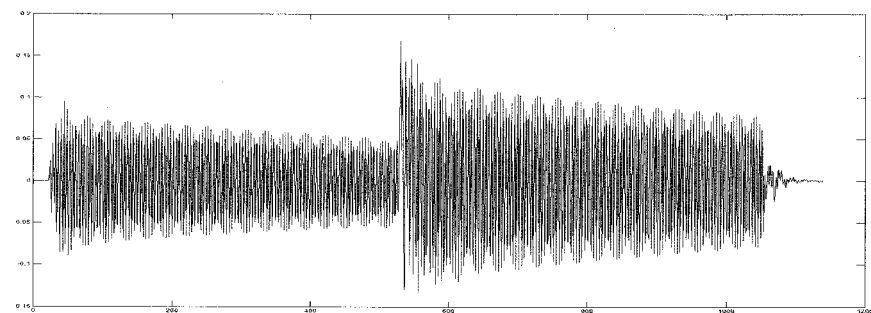


그림 5. M-HRTF를 이용한 음상정위 방법  
Fig. 5. Sound source localization by using M-HRTF.

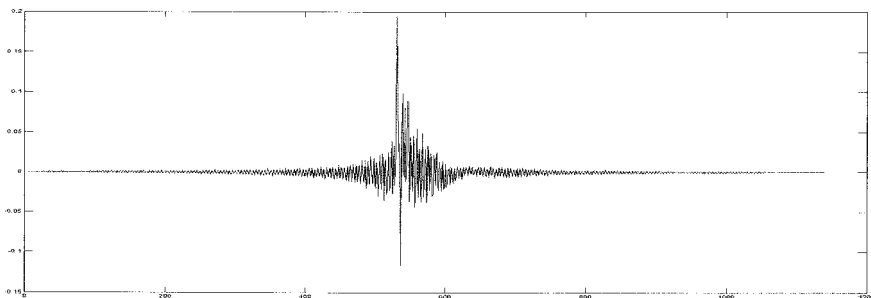
된 후 청취자에서 전달되는 반사음을 함께 듣게 된다. 그러나, 이어폰이나 헤드폰으로 오디오를 청취할 때에는 이러한 반사음이 존재하지 않게 되는데, 이러한 것이 음상 내재화의 원인이 된다. 따라서, 적절한 반사음을 생성하여 원음에 가해주면, 반사음의 부재에 의한 음상의 내재화 요인을 다소 해소할 수 있는데, 이때, 자연스러운 반사음을 생성하는 것이 중요한 요소가 된다.

음향 연구의 한 분야인 건축 음향에서는 강당이나 콘서트 홀 등과 같은 건축물에서 좀 더 많은 청취자에게 좀 더 자연스러운 음향을 제공하기 위한 연구가 이루어지고 있으며, 이를 위해 건축물에서의 음향을 시뮬레이션하는 프로그램을 구현하고 활용하고 있다. 대표적인 음향 시뮬레이션 프로그램으로는 CAIT-Acoustic (Computer Aided Theatre Technique Acoustic), Odeon, CADP2 (Complex Array Design Program Generation 2) 등이 있다 [8-10].

건축 음향의 시뮬레이션을 위해 많이 사용되는 프로그램에서는 다양한 기능을 제공하는데, 가상의 공간에서의 임펄스 응답을 획득하는 기능을 포함하고 있다. 본 연구에서는 이러한 프로그램을 이용하면 가상의 공간에 대해



(a) M-HRTF 좌측 필터 보정 전  
(a) M-HRTF left filter before compensation



(b) M-HRTF 좌측 필터 보정 후  
(b) M-HRTF left filter after compensation

그림 6. M-HRTF에서 발산하는 주파수 성분과 이를 보정한 결과  
(a) M-HRTF 좌측 필터 보정 전 (b) M-HRTF 좌측 필터 보정 후

Fig. 6. Diversed frequency band and compensated result of M-HRTF.  
(a) M-HRTF left filter before compensation (b) M-HRTF left filter after compensation

자연스러운 룸 임펄스 응답을 구할 수 있을 것으로 생각하고, 이를 음상 외재화 알고리즘의 반사음으로 적용하는 방법을 사용하였다. 본 연구에서는 여러 가지 음상 시뮬레이션 프로그램 중 CATT-Acoustic을 사용하였다.

한편, 반사음 획득을 위해서는 가상의 공간을 정의하여야 한다. 자연적인 환경에서는 공간의 크기, 벽면의 재질, 청취자의 위치, 방향 등에 따라 반사음이 다르게 생기게 된다. 따라서, 반사음을 획득할 수 있는 가장 좋은 공간이라는 것은 객관적으로 정의하기가 매우 힘들다고 할 수 있다. 이러한 이유로 본 연구에서는 가로세로 6m에 해당하는 가상의 공간을 가장하여, 그 곳에서의 룸 임펄스 응답을 획득하였다.

아래의 그림은 CATT 시뮬레이션을 위해 사용한 공간 및 음원의 위치와 청취자의 위치를 나타낸 것이다.

본 연구에서는 다양한 방향에 대한 룸 임펄스 응답을 얻기 위하여, 청취자를 기준으로 반경 2m에 해당하는 곳에 5도 단위로 음원을 위치시키고 그에 해당하는 룸 임펄

스 응답을 획득하였다. 그림 8은 그림 7의 가상의 룸에서 획득한 응답 신호의 예를 나타낸 것이다.

이때, 일반적인 룸 임펄스 응답의 경우 청취자에게 반사음이 도착할 때의 세기만을 고려하고 있으나, 본 연구에서는 반사음이 청취자에게 도착할 때의 세기와 함께 입력 각도도 획득하여, 이를 음상 외재화 알고리즘 적용 시에 활용하였다.

### V. 제안하는 음상 외재화 알고리즘

본 연구에서 제안하는 음상 외재화 알고리즘은 음상 정위를 위해 M-HRTF를 사용하고, 반사음을 위해 음향 시뮬레이션 프로그램을 통해 획득한 룸 임펄스 응답을 사용하였다. 룸 임펄스 응답을 적용할 때 일반적으로 HRTF와 룸 임펄스 응답을 컨볼루션 하는 방법을 사용하지 않고, 각 반사음에 대해 청취자로 향하는 입력 각도를

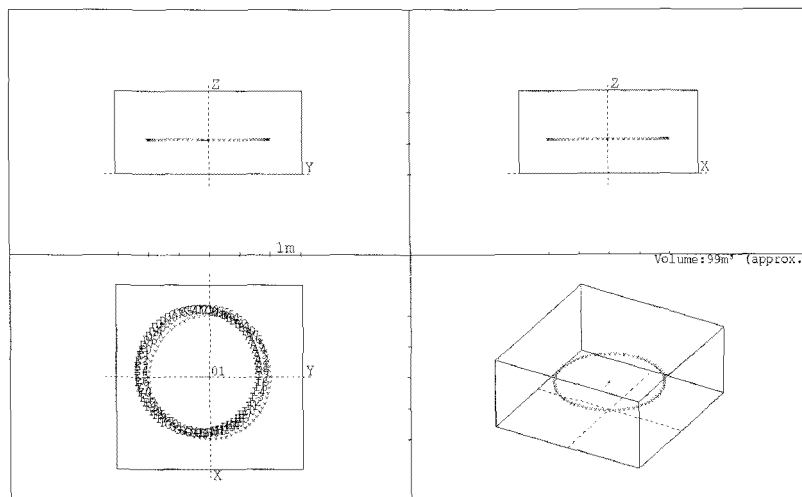


그림 7. 룸 임펄스 응답 획득을 위한 가상 공간의 모양  
Fig. 7. Virtual room shape for acquiring the acoustic room impulse response.

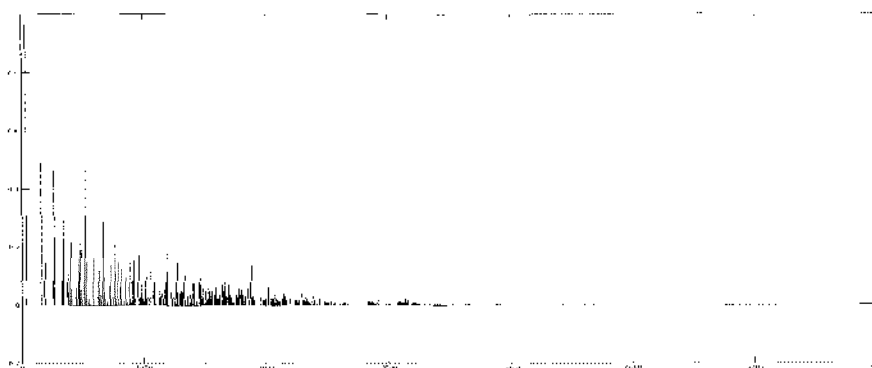


그림 8. 가상 공간에서의 룸 임펄스 응답  
Fig. 8. Acoustic room impulse response of virtual room.

고려하여, 각 반사음에 대해 HRITF를 적용하였다. 제안하는 알고리즘에 따른 음상 외재화 필터 생성 순서는 아래와 같다.

먼저, 음향 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 가상의 룸에서의 룸 임펄스 응답을 획득한다. 이때, 반사음의 크기와 함께 청취자에게 입력되는 각도 정보를 함께 획득한다. 다음으로 각 반사음의 각도에 따라 이에 해당하는 HRITF를 적용한다. 반사음의 크기 정보를 이용하여 HRITF의 크기를 조절한다. 이를 그림으로 나타내면 아래의 그림 9와 같다.

제안한 방법으로 생성한 임펄스 응답의 예를 아래의 그림 10에 나타내었다.

본 연구에서는 이와 같은 방법으로 5도 단위로 72개의 음상 외재화 필터를 생성하였다.

## V. 실험 및 결과고찰

음상 외재화 기술의 성능 측정 방법에 대한 것은 아직 정형화 되어있지 않는 상태이다. 음상 외재화 성능의 경우 동일한 알고리즘을 적용하더라도 오디오 신호의 종류, 특성에 따라 다양한 결과를 나타내며, 동일한 오디오 신호라고 하더라도, 그 크기에 따라 다른 성능을 나타낸다. 음상 외재화 기술에 대한 다른 연구 결과에서도 객관적인 실험 방법에 대해서는 제시를 하지 못하고 있는 상태이며, 각 연구에 따라 다른 방법으로 그 성능을 측정하고 검증하고 있다.

본 연구에서도 이와 같은 부분에 대해 많은 고민을 하였으나, 역시 객관적인 방법을 제시하지는 못하였다. 그러나, 가능한 실험 조건 등을 일반화하여 그 성능을 평가

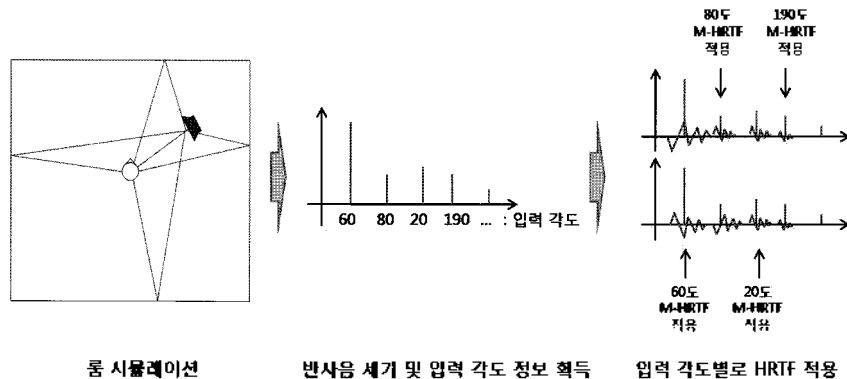


그림 9. 음상 외재화 필터 생성 방법  
Fig. 9. Proposed sound source externalization method.

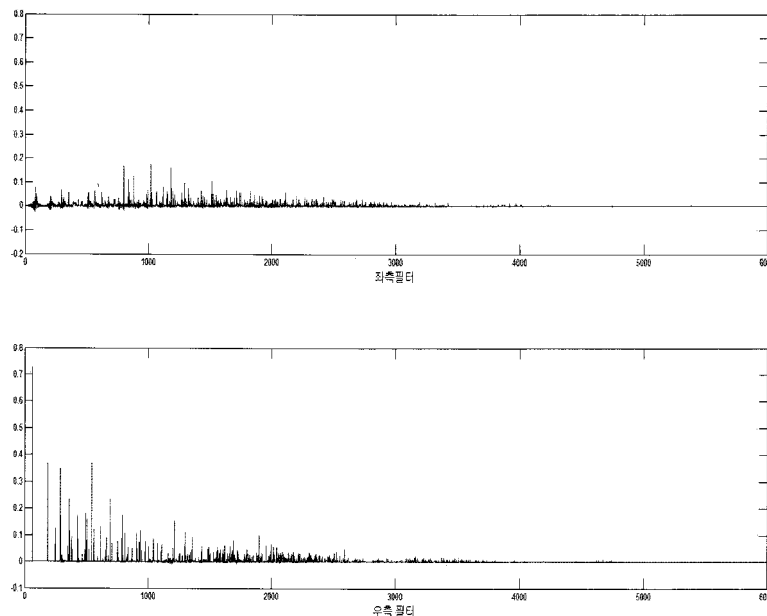


그림 10. 제안하는 방법에 따른 음상 외재화 필터의 예  
Fig. 10. Example of sound source externalization filter.

할 수 있는 방법을 사용하고자 하였다.

본 실험에서는 모노 신호와 제한된 방법에 따라 음상 외재화 처리를 수행한 오디오 신호를 비교하였는데, 앞서 기술한 것과 같이 오디오 신호의 세기는 외재화 성능에 많은 영향을 미치므로, 외재화 알고리즘이 적용된 오디오 신호의 레벨을 모노 신호와 동일하게 맞추었다.

총 3개의 모노 오디오 신호를 실험에 사용하였는데, 이 중 하나는 백색잡음이고, 다른 두 가지는 음악이었다. 백색 잡음의 경우 0.5sec 의 길이를 사용하였고, 음악의 경우 8초의 길이를 가지도록 하였다.

일반적으로 전방 또는 후방에 음상이 정위되는 신호가 측면에 음상이 정위되는 신호에 비해 음상 외재화가 잘 되지 않는 것으로 알려져 있다. 본 실험에서는 0도, 30도, 90도에 대해 실험을 수행하여 전방과 측방에서의 음상 외재화 성능에 대해 비교할 수 있도록 하였다.

청취 평가 시 헤드폰을 착용한 상태에서 모노 신호를 먼저 들려주어, 음상이 내재화 된 소리를 느끼도록 하였다. 이후 음상 외재화 알고리즘이 적용된 오디오 신호와 모노 신호를 번갈아 들려주고, 피험자가 그 음상 외재화 된 신호의 음원 위치를 그림 11과 같은 음상 정위표에 기재하도록 하였다. 실험자는 음상정위표에 기록된 위치를 측정하여 그 거리를 기록하였다.

본 실험에서는 총 10명에 대해 청취평가를 수행하였으

며, 그 결과는 아래와 같다.

표 1에 나타난 거리는 머리 중심으로부터의 거리를 나타내는데, 평균 사람 머리의 크기가 20 cm라고 하였을 때, 음상 외재화 거리가 10 cm 미만인 것은 음상이 여전히 머리 내에 존재한다는 것을 의미한다.

음상이 전방에 위치한 경우 백색 잡음을 제외한 나머지 음악 2개는 모두 음상이 머리 내부에 존재하는 것으로 나타났으며, 음상이 전방 30도 및 측방에 위치한 경우에는 음상이 모두 머리 밖에 존재하는 것으로 나타났다. 표 1에서 볼 수 있듯이, 오디오 신호의 종류에 따라 음상 외재화 거리가 다르게 나타나는 것을 알 수 있으며, 전체적으로는 전방 보다는 측면으로 갈수록 음상 외재화 성능이 좋게 나타나는 것을 볼 수 있다. 전방의 경우 대부분 음상이 외재화 되지 않고 머릿 속에 맺히는 것을 알 수 있었으며 측면의 경우 머리밖 약 6~10 cm 정도에 음상이 위치한다는 것을 알 수 있었다.

## VI. 결 론

최근 휴대형 멀티미디어 장치를 이용하여 음악, 영화 등을 감상하는 경우가 많이 증가하였다. 휴대형 멀티미디어 장치를 이용하여 영화, 음악 등을 감상할 때에는 대부분 이어폰 또는 헤드폰을 이용하게 되는데, 이어폰을 사용하여 오디오를 청취할 때 음상이 머릿속에 맺히는 음상 내재화 현상이 발생하게 된다. 음상 내재화 현상은 청취자로 하이픈 공간감이나 현실감을 저하시키는 요인이 된다.

본 연구에서는 이러한 현상을 해소하여 이어폰 또는 헤드폰 환경에서의 오디오 신호 청취 시에 공간감을 증대할 수 있는 음상 외재화 기술을 제안하였다. 기존의 음상 외재화 기술의 경우 반사음의 생성을 위한 린 임펄스 응답을 획득하고 이를 FIR과 컨벌루션 하는 방법을 사용하고 있는데, 본 연구에서는 실제 환경에서와 같이 각 반사음이 청취자에게 도착하는 각도를 고려하여, 반사음바

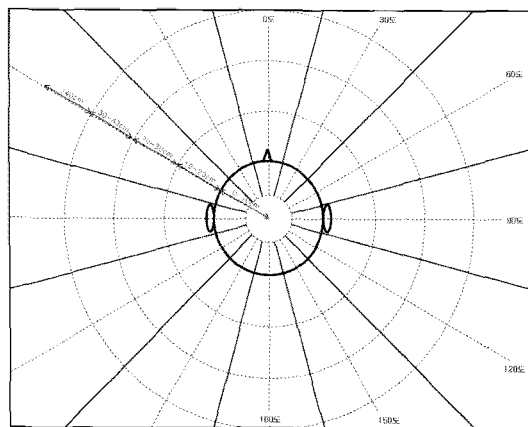


그림 11. 음상 외재화 거리 측정을 위한 음상 정위표  
Fig. 11. Sound source localization table.

표 1. 음상 외재화 거리 측정 결과  
Table 1. Result of distance measure of sound source.

구분	0도	30도	90도	평균
백색 잡음	12.3	15.4	18.7	15.47
음악 1	8.6	11.7	19.9	13.37
음악 2	8.3	14.5	16.2	13.00
평균	9.73	13.85	18.25	13.94



다 HRTF를 적용하는 방법을 사용하여 음상 외재화 효과를 더욱 높이는 방법을 사용하였다. 이때, 자연스러운 반사음을 획득하기 위해 음향 시뮬레이션에 사용되는 시뮬레이션 소프트웨어를 사용하여 룸 임펄스 응답을 획득하였으며, HRTF 적용으로 인한 음색의 변화를 줄이기 위해 음색 변화가 적은 M-HRTF를 개발하고 이를 적용하였다.

제한한 알고리즘의 성능 측정을 위해 청취평가를 통해 외재화 거리를 측정하였으며, 제한한 알고리즘이 음상 외재화에 효과가 있음을 검증하였다. 특히, 전방에 대한 외재화 성능 보다는 측방에서 우수한 외재화 성능을 나타낼 수 있었다.

본 연구에서는 음상 내재화 요인 중 인체에 의한 음향 특성의 변화 부재와 반사음의 부재 요소를 해소하는 방안으로 음상 외재화 알고리즘을 개발하였으나, 추후 본 연구에 적용된 기술을 보완하고, 다른 음상 내재화 요인을 해소하는 방안에 대한 요소를 추가적으로 적용하면 음상 외재화 효과를 더욱 개선할 수 있을 것으로 예상된다.

### 감사의 글

본 연구는 방송통신위원회, 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 IT 원천기술개발사업의 일환으로 수행한 연구로부터 도출된 것이다 [과제관리번호: 2008-F-011, 과제명: 차세대 DTV 핵심기술 개발].

### 참고 문헌

1. Iwanaga, N., Kobayashi, W., Furuya, K., Onoye, T., and Shirakawa, I., "Embedded implementation of acoustic field enhancement for stereo sound sources," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 49, no. 3, pp. 737-741, 2003.
2. Yukio Iwaya, "Individualization of head-related transfer functions with tournament-style listening test: Listening with other's ears," *The 2<sup>nd</sup> 3D Virtual Sound Workshop*, pp. 340-343, Feb, 2007.

3. Minnaar, Pauli, Pedersen, and Jan Abildgaard, "Evaluation of a 3D-Audio System with Head Tracking," *AES 120<sup>th</sup> Convention*, paper no, 6654, May 2006.
4. Y. Iwaya, Y. Suzuki and S. Takane, "Effect of listener's head movement on the accuracy of sound localization in virtual environment," *Proc. ICA 2004*, pp. 997-1004, April 4-9, 2004.
5. Jens Blauert, *Spatial Hearing*, MIT, Massachusetts, 1997.
6. *The MIT media Lab*, <http://sound.media.mit.edu/resources/KEMAR.html>, 2009.
7. 강성훈, 강경옥, *입체 음향*, 기전연구사, 서울, 1997.
8. *CATT company's homepage*, <http://www.catt.se>, 2009.
9. *Odeon company's homepage*, <http://www.odeon.dk>, 2009.
10. *JBL professional technical library*, [http://www.jblpro.com/pub/technote/an\\_v1n02.pdf](http://www.jblpro.com/pub/technote/an_v1n02.pdf), 2009.

### 저자 약력

#### •이 용 주 (Yong ju Lee)

1999년: 경북대학교 전자공학과 (학사)  
 2001년: 경북대학교 전자공학과 (석사)  
 2001년~현재: 한국전자통신연구원 방통융합미디어연구부 선임연구원  
 ※ 주관심 분야: 오디오 신호처리, 3차원 오디오, 객체기반 오디오

#### •장 대 영 (Dae-young Jang)

1991년: 부경대학교 전자공학과 (학사)  
 2000년: 배재대학교 컴퓨터공학과 (석사)  
 2008년: 배재대학교 컴퓨터공학과 (박사)  
 1991년~현재: 한국전자통신연구원 방통융합미디어연구부 책임연구원  
 2004년: 일본 동경전기대학/DiMagic Co. Ltd. 방문연구원  
 ※ 주관심 분야: 객체기반/3차원 음향 신호처리, 방송 음향, 오디오 부호화

#### •장 인 선 (Inseon Jang)

2001년: 충북대학교 전기전자공학부 (학사)  
 2004년: 포항공과대학교 컴퓨터공학과 (석사)  
 2004년~현재: 한국전자통신연구원 연구원  
 ※ 주관심 분야: 객체기반 오디오 시스템, 음원분리, 오디오 부호화, 3차원 오디오 및 음향 신호처리

#### •강 경 옥 (Kyeongok Kang)

1985년: 부산대학교 물리학과 (학사)  
 1988년: 부산대학교 물리학과 (석사)  
 2004년: 한국항공대학교 전자공학과 (박사)  
 2006년: 영국 University of Southampton (방문 연구원)  
 1991년~현재: 한국전자통신연구원 (책임연구원, 미디어융합연구팀장)  
 ※ 주관심 분야: 오디오 신호처리, 객체 기반 오디오, 3D 오디오, 음성 및 오디오 코덱