

## 확장폭주각 모델을 이용한 음상거리정위의 모델화

金 海永\* 鈴木 陽一\* 高根 昭一\*\* 曾根 敏夫\*\*

\* 東北大学 電気通信研究所/大学院情報科学研究科

\*\* 秋田県立大学 시스템科学技術学部

### Modeling of distance localization using by an extended auditory parallax model

Hae-Young KIM, Yoiti SUZUKI, Shouichi TAKANE and Toshio SONE

\* Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

\*\* Faculty of Systems Science and Technology, Akita Prefectural University

E-mail : young@ais.riec.tohoku.ac.jp URL : http://www.ais.riec.tohoku.ac.jp

#### Abstract

This study aims at establishing an digital signal processing technique to control 3-D sound localization, especially focusing our eyes on the role of information provided by Head-Related Transfer Function(HRTF). In order to clarify the cues to control the auditory distance perception, two conventional models named Hirsch-Tahara model and auditory parallax model were examined. As a result, it was shown that both models have limitations to universally explain the auditory distance perception. Hence, the auditory parallax model was extended so as to apply in broader cases of auditory distance perception. The results of the experiment by simulating HRTFs based on the extended parallax model showed that the cues provided by the new model were almost sufficient to control the perception of auditory distance from an actual sound source located within about 2 m.

#### 1. 서론

고도의 청각 디스플레이 시스템을 구성함에 있어서, 3차원 음공간내의 음상정위의 제어는 가장 중요한 기반기술중의 하나이다. 이러한 음상의 제어에는, 자유공간에서의 음원으로부터 청취자의 귀까지의 전달특성으로 정의되는 머리전달함수를 합성하는 수법이 유효하다. 이와 같은 방법에 의한 수평면이나 정중면 정위와 같은 방향정위의 제어는 어느 정도 정확하게 제어가 가능한 것으로 알려져 있다[1,2].

한편, 거리정위의 제어에 있어서는 두 귀에 입력되는 신호의 크기나 반사음 성분의 에너지를 제어함으로써, 음상의 원근감의 제어가 어느 정도는 가능하지만, 귀입력신호의 크기나 반사음성분의 제어만으로는 음상을 임의의 위치에 제시하는 것이 어렵다[3,4]. 이론상으로는 머리전달함수를 모의함으로써 근거리 음상의 거리정위는 어느 정도까지 제어가능하다[5,6,7]. 그러나, 머리전달함수의 어떠한 요인이 음상의 거리감에 영향을 미치는가와 그 구조에 관해서는 그다지 명확하게 알려져 있지 않다.

그러므로, 본 논문에서는 머리전달함수의 어떠한

요인을 이용해서 거리지각이 행해지는가, 또한 어떠한 구조로 거리정위를 행하고 있는가를 알기 위해, 머리전달함수를 이용한 근거리에서의 음상거리지각을 모델화해서 그 유용성에 대해서 검토했다.

#### 2. 모든 방향에 적용 가능한 확장폭주각 모델의 제안

필자들은 지금까지 근거리에서의 음상의 거리지각의 모델로서, Tahara씨등에 의한 음원거리에 따른 양 귀사이의 시간차(ITD)와 레벨차(ILD)의 변화에 착안한 Hirsch-Tahara 모델[8]과 음원거리가 변화하면 양 귀에서 음원을 들여다 본 음향적 시차가 변화하는 것에 착안한 음향적 시차모델[9](이하, 폭주각 모델로 정의함)에 관해서 그 유효성과 한계에 관해서 고찰해왔다.

그 결과, Hirsch-Tahara 모델은 머리카락이나 귓바퀴에 의한 머리전달함수의 변화를 고려하지 않은 것과 두 귀에 입력되는 음의 시간차와 레벨차가 생기기 않는 정면 방향이나 정후면 방향에는 적용할 수 없는 문제점이 있다. 또한, 폭주각 모델에서는 음향적 시차가 생기지 않는 옆방향에는 적용할 수

없다는 문제점이 있다.

이러한 문제점을 고려해서 폭주각 모델을 옆 방향을 포함하는 모든 방향의 거리정위에 대하여 일반적으로 적용하기 위해, 음원으로부터 양 귀까지의 경로차에 의한 양귀간 시간차와 레벨차를 고려한 확장 음향적 시차 모델(이하, 확장폭주각 모델로 정의함)을 제안하고, 청취실험을 통해서 그 유효성에 관해서 고찰을 행했다.

### 2.1. 음원거리와 양 귀까지의 경로차의 관계

어떤 음원에서 부터 양 귀까지의 거리와 경로차의 관계는 그림 1 과 같이 나타내어진다.

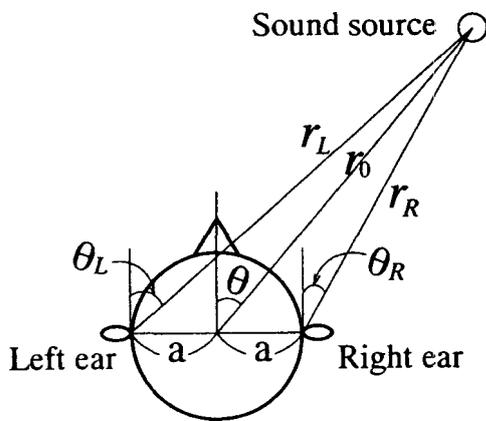


그림 1. 음원위치로 부터 양 귀까지의 머리전달 함수의 경로차

그림에서, 음원으로부터 머리의 중심까지의 거리가  $r_0$  일 때, 음원으로부터 좌우 각각의 귀를 들어다 본 방위각  $\theta_L$ ,  $\theta_R$ 과 음원으로부터 좌우의 귀까지의 거리  $r_L$ ,  $r_R$ 의 관계는 각각, 식(1)과 식(2)로 표현된다.

$$r_R = r_0 \cos\theta / \cos\theta_R \quad (1)$$

$$r_L = r_0 \cos\theta / \cos\theta_L \quad (2)$$

여기서,  $\theta \neq 90^\circ$  이다. 단,  $\theta = 90^\circ$  일 때는, 머리의 반경을  $a$  라고 할 때,  $r_L = r_0 + a$ ,  $r_R = r_0 - a$  이다. 따라서, 이 두 식으로부터, 음원으로부터 양 귀까지의 경로차  $\Delta d$  는 식(3)으로 주어진다.

$$\Delta d = |r_L - r_R| \quad (3)$$

그러므로, 경로차  $\Delta d$ 가 결정되면, 음속을  $c$  로 하였을 때의 양 귀간의 시간차  $\Delta t$  와 양귀간 레벨차  $\Delta L$  은 식(4) 및 식(5)로 나타내어진다.

$$\Delta t = \Delta d / c \quad (4)$$

$$\Delta L = 10 \log_{10}(r_L^2 / r_R^2) \quad (5)$$

### 2.2 확장폭주각 모델의 원리

그림 2 에 확장폭주각 모델에 기초한 음상거리 정위의 모의계를 나타낸다. 확장폭주각 모델에서는 그림 2와 같이, 폭주각 모델에 기초해서 정해진 가상적인 두 개의 음원으로부터 좌우의 귀까지의 전달함수에, 각 음원거리에 의한 양 귀간의 시간차와 레벨차를 더해주는 것에 의해, 임의의 방향에 대한 임의의 거리에, 음상의 위치가 정위되어진다고 가정한다.

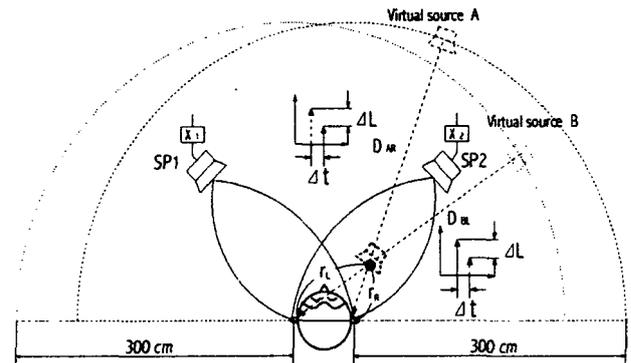


그림 2. 확장폭주각 모델에 기초한 음상거리의 모의계

그러므로, 확장폭주각 모델에서 모의해야 할 머리전달함수는 스피커 A 로부터는 우측 귀까지의 머리전달함수와 스피커 B 로부터는 좌측 귀까지의 머리전달함수에, 어느 음원위치로 부터 양 귀까지의 경로차에 의한 시간차  $\Delta t$  와 레벨차  $\Delta L$  을 부여한 것이다. 음원이 옆 방향에 있는 경우에는, 양 귀간의 시간차는 음원거리에 관계없이 일정한 값을 가지기 때문에, 식(5)에 의한 양 귀간 레벨차만이 변화한다. 여기서, 양귀간에 부여된 시간차와 레벨차는 식(4) 및 식(5)를 이용하여 계산할 수 있다.

그리고, 식(4) 및 식(5)에 의해 구해진 양귀간차를, 폭주각 모델에 의해서 측정된 머리전달함수에 부가할 때에는, 음원측의 우측귀를 기준으로, 음원과 반대측에 있는 좌측 귀의 전달함수에 양 귀간의 시간차와 레벨차를 더한 것으로 한다. 즉, 우측 귀의 경우에는, 확장폭주각 모델은 폭주각 모델에 의해 측정된 전달함수를 그대로 사용한다. 음원과 반대측에 있는 좌측귀의 경우에는 폭주각 모델에 의해 측정된 머리전달함수에, 양 귀간의 시간차와 레벨차를 더해줌으로써 실현 가능하다. 여기서 정면방향 및 정후면 방향의 경우에는 음원으로부터 양 귀까지의 경로차가 생기지 않기 때문에 확장폭주각 모델로부터 양귀에서 실현되는 전달함수는, 폭주각 모델에 기초해서 측정된 머리전달함수와 동일하게 된다. 이런 전달함수를 2개의 스피커를 이용한 머리전달함수의 모의수법[5,6,7]에 의해서 실현한다.

### 3. 청취실험에 의한 주관평가

실험은 무향실(세로 : 7.0 m, 가로: 4.6 m, 높이 : 2.5 m)에서 행해졌다. 피험자는 정상적인 청력을 가진 20대의 성인 남자 4명으로 본 연구에서 진행된 모든 실험에 참가했다. 실험에 사용된 신호원은 20 kHz 이하에 대역 제한된 핑크노이즈(pink noise)이다. 그리고, 귀입력신호의 세기가 거리판정의 실마리가 되는 것을 막기 위해, 어떠한 거리에 있어서도 피실험자의 머리 중심위치에서의 음압레벨이 일정하게 되도록 제시했다. 피험자에게는 무작위로 제시되는 자극음의 음상거리를 판단하고, 0~5 m 까지의 범위에서 10 cm 간격으로 눈금을 그은 최담용지에 음상의 위치를 표시하도록 지시했다.

#### 3.1. 실음원에 의한 음상의 거리정위실험

여기서는, 실음원의 거리를 어느 정도 정확하게 지각하는지에 대해서 조사했다. 그림 3 은 실험원을 이용한 음상거리의 정의의 실험계의 구성을 나타낸다.

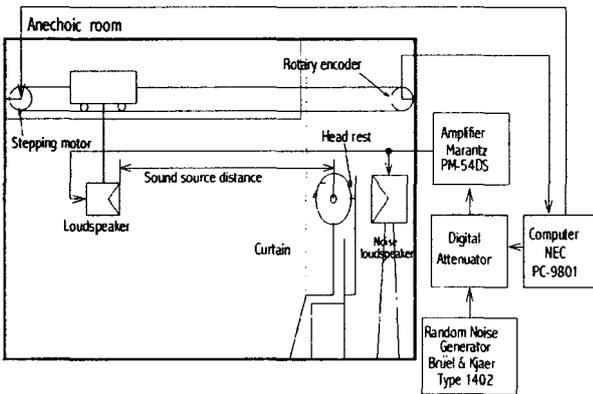


그림 3. 실음원을 이용한 청취실험계의 구성

음원은, 피실험자의 귀높이에 설치한 가동음원(플래인지 스피커, Fostex SP-100)을 사용했다. 그리고, 음원과 피실험자와의 사이에는 커튼을 쳐서, 음원에 관한 시각적 정보를 주지 않도록 했다. 가동음원이 이동할 때, 발생하는 음을 마스크 하기 위해, 음원의 이동중에는 별도의 스피커로 부터 잡음(white noise)을 방사했다. 자극음은 무작위하게 각각의 거리에 대해서 20 회씩 제시했다. 실음원의 방향과 거리는 수평면내의 정면방향, 우측 45° 방향, 우측 90° 방향, 우측 135° 방향, 정후면방향에 대해서, 각각, 음원거리를 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200 cm 로 했다.

#### 3.2 머리전달함수 모의에 의한 음상거리의 제어실험

모의한 음원은 실음원에서 설정한 것과 같은 방향, 같은 거리에서 머리전달함수를 측정했다. 측정된 각각의 거리에서의 머리전달함수를 2개의 스피커를 이용한 전달함수 모의 수법[4,5,6]으로 제어용 필터를 설계했다. 제어용 스피커는 청취자의 머리의 중심에서부터 120 cm 의 거리의 전방좌우 45° 에 배치했다. 자극음은 설계한 제어용 필터에 20 kHz 이하의 핑크노이즈를 가해서 무작위하게 각각의 거리에 대해 6회씩 제시했다.

#### 3.3. Hirsch-Tahara 모델에 의한 음상거리의 제어실험

Hirsch-Tahara 모델에 기초해서 양귀 사이의 시간차와 레벨차를 이용해, 가상음상의 거리를 제어하기 위한 실험을 행했다. 모의한 음원의 거리는, 우측 30° 방향, 우측 45° 방향, 우측 60° 방향의, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 75, 100, 150, 200cm 로 했다. 각 방향의 각각의 거리에 대한 양귀사이의 시간차와 레벨차를 계산하여, 2개의 스피커를 이용한 전달함수의 모의수법을 이용해서, 전 주파수 대역에서 평탄하고, 양귀사이의 시간차와 레벨차를 가진 자극음을 합성했다. 자극음의 제시는 무작위하게 각각의 거리에 대해 6회씩 제시했다.

#### 3.4. 폭주각 모델에 기초한 거리정위의 제어실험

폭주각 모델에 기초한 거리정위 제어실험을, 그림 2 와같은 방법으로 머리전달함수를 측정해, 2개의 스피커를 이용한 전달함수의 모의수법에 의해 합성했다. 폭주각 모델에 기초해서 모의한 음원의 방향, 거리는 정면방향, 우측 45° 방향, 우측 135° 방향, 정후면방향의 각 방향에 대해 10, 20, 30, 40, 50, 60, 75, 100, 125, 150, 175, 200 cm 이다.

#### 3.5 확장폭주각 모델에 기초한 음상거리의 제어 실험

폭주각 모델을 옆 방향을 포함하는 모든 방향의 거리정위에 대해서 일반적으로 적용하기 위해서, 음원으로 부터 양 귀까지의 경로차에 의한 양 귀간의 시간차 및 레벨차를 고려하고, 청취실험을 통해서 그 유효성에 관해서 고찰했다. 확장폭주각 모델에서 모의하는 소망의 머리전달함수는, 폭주각 모델에 기초해서 측정된 머리전달함수에 식(4) 및 식(5) 에서 계산한 각 음원으로부터 양 귀까지의 시간차와 레벨차를 가해줌으로써 얻을 수 있다. 모의에 이용한 가상음원은 정면방향, 우측 45° 방향, 우측 90° 방향, 우측 135° 방향, 정후면 방향에 대해서 각각의 음원거리는 10, 20, 30, 40, 50, 60, 75, 100, 125, 150, 175, 200 cm 로 정했다. 자극음은 그림 2 의 실험계에 의해 설계된 제어용 필터에 20 kHz 이하의 대역제한한 핑크노이즈를 가해서 각각의 거리에 대해서 무작위하게 6회씩 제시했다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

그림 4에 실음원에 의한 음상의 거리정위실험 결과를, 그림 5에 2개의 스피커를 이용한 전달함수의 모의에 의한 음상거리의 제어실험결과를, 그림 6에 Hirsch-Tahara 모델에 기초한 음상거리의 제어실험결과를, 그림 7에 폭주각 모델에 기초한 음상거리의 제어실험결과를, 그림 8에 확장폭주각 모델에 기초한 음상거리의 제어실험결과를 나타냈다. 그림의 횡축은 제시한 거리를, 종축은 지각된 음상의 거리를 피험자 4명의 평균치로 나타내고 있다. 오차봉은  $\pm 1$  표준편차의 범위를 나타내고 있다.

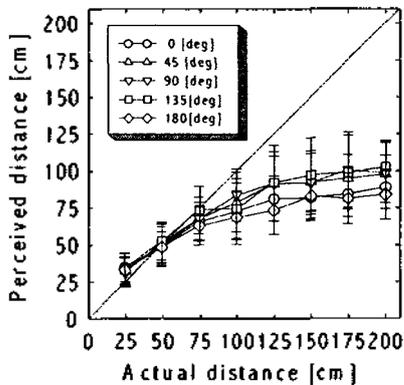


그림 4. 실음원에 의한 음상거리정위의 실험결과

먼저, 그림 4의 실음원에 의한 음상거리정위의 실험결과를 보면, 1~1.5 m 정도까지의 근거리에서 있어서는 음원거리가 증가함에 따라 지각한 음상거리가 증가하지만, 음원거리가 멀어짐에 따라 음상거리의 증가의 비율이 작아진다. 이러한 결과로부터, 반사음이 존재하지 않고, 피험자 위치에서의 음압레벨이 일정한 조건하에서는 실음원의 거리정위가 가능한 범위는 1~1.5 m 이내의 근거리라는 것을 알 수 있다.

그림 5의 각 거리에서 측정된 머리전달함수를 모의한 경우의 결과를 보면, 모의한 거리가 1 m 이내에서는 모의한 거리의 증가에 따라 지각한 거리가 증가하고 있으나, 거리가 멀어짐에 따라 지각한 거리의 증가가 점점 작아지는 경향이 있다. 이 결과는 실음원을 이용한 실험결과와 같은 경향을 나타내고 있다.

그림 6의 Hirsch-Tahara 모델에 의한 음상거리의 제어실험의 경우에는 모든 방향에 대해서 약 40 cm 정도까지의 근거리에서는 모의한 음상거리에 대해서 지각된 음상거리가 증가하지만, 음원거리가 멀어짐에 따라서, 음상거리의 증가는 거의 변하지 않았다.

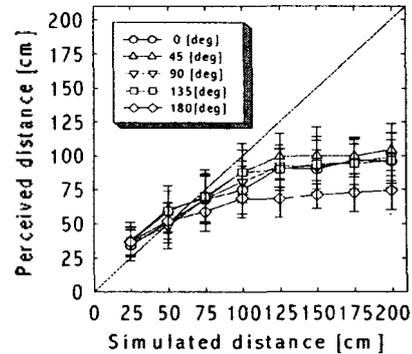


그림 5. 머리전달함수의 모의에 의한 음상거리의 제어실험 결과

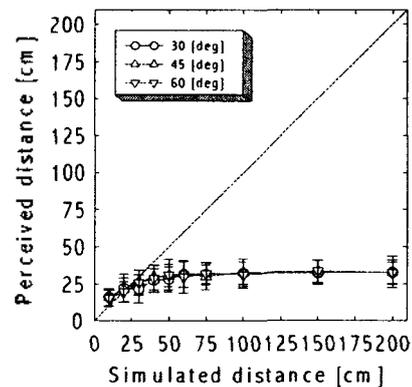


그림 6. Hirsch-Tahara 모델에 의한 음상거리의 제어실험결과

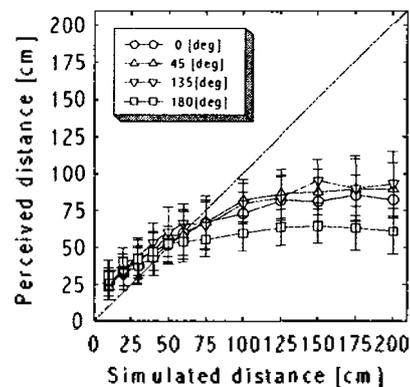


그림 7. 폭주각 모델에 기초한 음상거리의 제어 실험결과

그림 7의 폭주각 모델에 기초한 음상거리의 제어 실험결과로부터, 전 방향에 있어서 근거리의 경우는 모의한 거리의 증가에 따라 지각한 거리가 약 1 m 이내에서는 증가하고 있으나, 거리가 멀어짐에 따라서 지각한 거리의 증가가 원만해졌다.

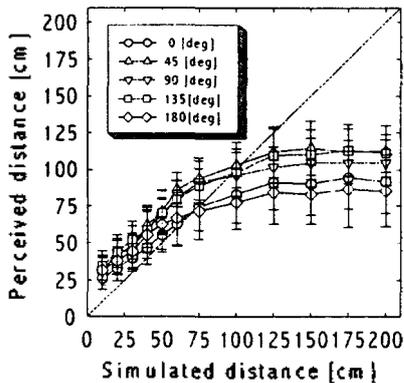


그림 8. 확장폭주각 모델에 기초한 음상거리의 제어 실험결과

그림 8의 확장폭주각 모델에 기초한 음상거리의 제어 실험결과는 실음원에 의한 음상거리의 정위 실험결과와 비슷하게, 약 1.25 m 까지의 거리에서는 모의한 거리의 증가에 따라 지각한 거리가 증가하는 경향을 나타내었다. 그 이상의 거리에서는 모의한 음원의 거리가 멀어짐에 따라 지각한 거리에 포화하는 경향을 나타내었다. 이것은 음원거리가 멀어질수록 음원에서 양 귀를 본 음향적 시차의 변화가 작아지는 것과 음원거리가 어느 정도 멀어지면 음원에서부터의 양 귀까지의 경로차에 의한 시간차 및 레벨차가 작아져서 음상거리의 변화를 지각하기가 어려워진다고 생각되어진다. 이러한 결과로부터, 확장폭주각 모델에 의해서 음상의 거리의 제어가 정위가 모든 방향에서 어느 정도 가능한 것으로 생각되어진다.

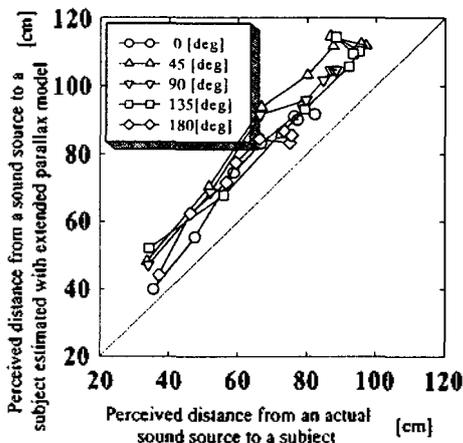


그림 9. 실음원과 확장폭주각 모델에 의해 지각된 음상거리의 비교

그림 9는 확장폭주각 모델에 기초한 수법에 의해 지각된 음상거리를 같은 조건하에서 실음원에 의해 지각된 음상거리와 비교해서, 피험자 4 명의 평균치로 나타냈다. 그림의 횡축은 실음원에 의해 지각된 음상거리를, 종축은 확장폭주각 모델에 의해 지각된 음상거리를 나타내고 있다. 그림 9로부터 실음원을 이용해서 각 거리에서의 자극을 제시한 경우와 확장폭주각 모델에 기초해서 음상거리를 모의한 경우 모두 약 1.25 m 까지의 거리에서는 모의한 거리의 증가에 따라 지각한 거리가 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 그 이상의 거리에서는 모의한 음원의 거리가 멀어짐에 따라 지각한 거리가 포화하는 경향이 보여진다. 그리고, 확장폭주각 모델에 기초한 수법에 의해 지각된 음상거리는 실음원에 의해 지각된 음상거리보다 멀리 지각되어졌다. 그러나, 그 비율은 각 거리나 방향에 의하지 않고 거의 일정하며, 지각되어진 음상거리가 대각선을 따라서 거의 평행하게 대응하고 있다.

그 이유로서는, 확장폭주각 모델에서 머리전달함수의 음향적 시차정보에 더하여진 양 귀간의 시간차와 레벨차가 머리의 존재를 무시한 조건에서의 값이기 때문에 실음원으로 부터 양 귀까지의 양 귀간차와는 다르다는 점이 대두되지만, 그 경향은 각 거리에서 거의 같은 값을 가지고 있다. 이러한 점들로부터 확장폭주각 모델에 의해 음상의 거리정위가 모든 방향에서 어느 정도 제어가능하다고 할 수 있다.

전술한 바와같이 실음원에 의한 실험결과와 확장폭주각 모델에 기초한 거리정위의 제어 실험의 결과가 거의 같은 경향을 나타내고 있으므로, 머리전달함수의 어떠한 요인을 이용해서 거리의 지각이 행해지고 있는가를 생각할 때, 머리전달함수 및 양 귀간차의 유사성을 들 수 있다. 그래서, 이들의 주파수 스펙트럼의 상대적 유사성에 대해서 조사했다.

우선, 상대적인 스펙트럼의 유사성을 조사하기 위해, 임계대역과 가장 가까운 1/3 옥타브밴드 레벨에 기초한 해석을 행했다. 그림 10에서는 각 거리에서 측정된 머리전달함수와 각 방법에 의해 실

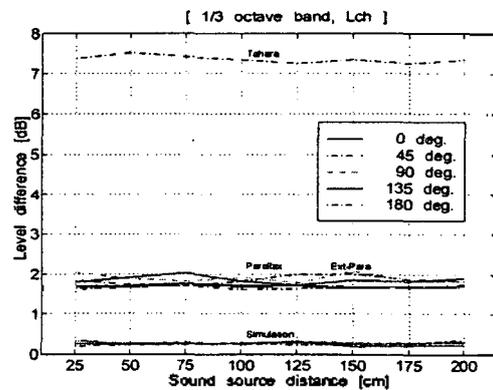


그림 10. 각 음원거리로 부터 측정된 머리전달함수와 각 방법에 의해 실현되어진 머리전달함수와의 1/3옥타브밴드 레벨의 상대레벨차 (좌측귀, 전피험자의 평균치)

현되어진 머리전달함수의 1/3 옥타브밴드별의 레벨차의 평균치가 최소가 되도록 상대레벨을 정해 두신호의 각 대역별 평균 레벨차를 도시했다. 그림 10의 횡축은 각 음원거리를, 종축은 측정된 머리전달함수와 각 방법에 의해 실현된 머리전달함수와의 레벨차를 나타내고 있다. 이 결과로부터, 각 거리에서의 측정된 머리전달함수와 2개의 스피커를 이용한 모의방법에 의해 실현되어진 머리전달함수간의 평균오차는 0.35 dB 이하로, 충분한 모의가 되어졌다.

폭주각 모델 및 확장폭주각 모델에 기초해서 실현되어진 머리전달함수 실제의 머리전달함수와는 전체적인 포락의 형상이 닮은 점으로부터 각 대역에서의 평균레벨차는 1.5~2.0 dB 정도로 비교적 작은 값이었다. 여기서, 확장폭주각 모델은 폭주각 모델에 기초해서 측정된 전달함수에 양 귀간 시간차와 레벨차를 더한 것이기 때문에 두 모델에 의해 실현된 전달함수와 실제의 머리전달함수와의 상대적인 평균 레벨차는 동일한 값을 가진다.

한편, Hirsch-Tahara 모델에 의해 실현된 머리전달함수의 경우에는 각 대역별로 레벨의 변화가 거의 없으므로, 많은 피크(peak)와 딥(dip)을 갖는 실제의 머리전달함수와의 평균 레벨차는 7~8 dB 의 큰 값을 나타내고 있다. 이와같은 머리전달함수의 전체적인 포락의 형상의 유사성이 청취실험결과에도 영향을 미친다고 생각된다.

다음에, 머리전달함수의 양 귀간 레벨차를 1/3 옥타브밴드별로 계산하였다. 그림 11에 우측 45° 방향의 50 cm 거리에 있어서의 예를 나타내었다.

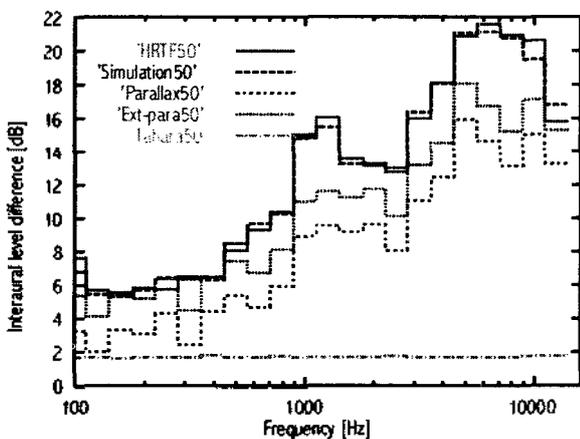


그림 11. 각 방법에 의해 실현된 1/3 옥타브밴드 별의 양 귀간 레벨차(ILD)

그림의 횡축은 주파수를, 종축은 각각의 1/3 옥타브밴드별 양 귀간 레벨차의 피험자 전원의 평균치를 나타내고 있다. 그림에서 양귀간 레벨차의 포락의 변화가 측정된 머리전달함수 및 머리전달함수를 가능한 정확히 모의한 경우에 비해서, 폭주각 모델이나 확장폭주각 모델에 기초해서 머리전달함수를 합성한 경우에는 절대레벨은 차이가 있지만, 양 귀간의 스펙트럼 차의 상대적 형상은 전체적으로 유사함을 알 수 있다. 이러한 점으로부터, 근거리에서는 양귀간에 도달하는 신호의 레벨차의 전체적 포락의 변화의 유사성이 청취실험결

과에도 영향을 미치고 있다고 생각되어진다. 한편, Hirsch-Tahara 모델을 이용한 경우에는 전 대역에서의 스펙트럼의 변화가 거의 없으므로 음상 거리의 지각이 어렵다고 생각되어진다.

## 5. 결론

본 논문에서는 폭주각 모델을 옆 방향을 포함하는 모든 방향의 거리정위에 관해서 일반적으로 적용하기 위해서, 폭주각 모델에 양 귀간의 시간차와 레벨차를 고려한 확장폭주각 모델을 제안하고, 그 유효성을 청취실험을 통해서 고찰했다. 그 결과, 확장폭주각 모델에 의해, 음상의 거리정위를 모든 방향에서 어느 정도 제어가능하다는 것을 나타내었다.

## 참고문헌

- [1] M. Morimoto and Y. Ando : On the simulation of sound localization, J. Acoust. Soc. Jpn(E), Vol. 29, pp.167-174, 1980.
- [2] F. Asano, Y. Suzuki and T. Sone : Role of spectral cues in median plane localization, J. Acoust. Soc. Amer., Vol.88, No.1, pp.159-168, 1990.
- [3] D. R. Begault : 3-D Sound for virtual reality and multimedia, Cambridge, MA, A P Professional, 1994.
- [4] Jens Blauert : Spatial Hearing - The psychophysics of human sound localization, Revised Edition, Cambridge, MA, The MIT Press, 1995.
- [5] M. R. Schroeder and B. S. Atal : Computer simulation of sound transmission in rooms, IEEE Inter. Conv. Rec. Part 7, pp. 150-155, 1963.
- [6] 山越賢乘, 渡辺一功, 吉川昭吉郎 : FIR 필터를 이용한音像制御의一方法, 電子情報通信学会, 応用音響研究会資料, E A81-34, 1981.
- [7] 金海永, 高根昭一, 鈴木陽一, 曾根敏夫 : 頭部音響伝達関数模擬による近距離音像の制御に関する一考察, 日本バーチャルリアリティ学会論文集, Vol. 1, pp.55-58, 1996.
- [8] 田原靖彦, 桜井仁 : 両耳間における時間差とレベル差の相乗効果に着目した音像定位モデルの一試案, 日本音響学会講演論文集, pp.161-162, 1974.
- [9] Hae-Young KIM, Yoiti SUZUKI, Shouichi TAKANE and Toshio SONE : A modeling of distance perception based on a auditory parallax model, Proc. of 16th intl. Cong. on acoust., Seattle. U.S.A. pp. 2903-2904, 1998.