

무향실에 있어서의 음압레벨과 거리정위와의 관계

김해영^{1*}

¹동명대학교 멀티미디어공학과

Relation between sound pressure level and auditory distance perception in anechoic room

Hae-Young Kim^{1*}

¹Department of Multimedia Engineering, TongMyong University

요약 음상의 거리정위에 있어서 중요한 물리적 요인으로는 알려진 음압레벨, 반사음, 양 귀간 차, 음원의 종류, 머리전달함수(HRTF) 등의 여러 요인들이 중요한 판단 자료로 이용되어진다고 알려져 있다. 본 논문에서는 거리판단에 사용되어지는 물리적 요인 중 음압레벨의 크기가 거리정위에 미치는 영향을 알아보기 위해 반사음이 존재하지 않은 무향실에서 음원의 출력 음압레벨을 일정한 경우와 귀 입력 음압레벨을 일정하게 한 경우에 대하여 청취실험을 통해 거리판단에 있어서 음압레벨의 영향에 대하여 고찰했다. 그 결과, 음원출력 음압레벨을 일정하게 한 경우와 귀 입력 음압레벨을 일정하게 한 청취실험에 있어서 제시한 음원거리보다 지각한 음상거리를 가깝게 정위하는 경향이 있다는 것이 관찰되었다. 또, 귀 입력 음압레벨이 일정한 경우에는 약 2m 정도까지의 거리에서는 실제 제시한 음원거리의 증가에 따라 지각한 음상의 거리가 음원거리에 대응하여 증가하지만, 그 이상의 거리에서는 음원거리의 증가에 따라 지각한 음상거리가 증가가 거의 없음을 알 수 있었다. 반면 음원출력 음압레벨이 일정한 경우에는 지각한 음상거리가 귀 입력 음압레벨이 일정한 경우보다 보다 더 먼 3m 정도의 거리까지 증가하고 있음을 알 수 있었다. 이와 같은 청취실험 결과로부터 반사음이 존재하지 않은 조건에서의 음상의 거리정위에는 음압레벨이 거리판단의 중요한 요소로 작용하고 있음이 확인되었다.

Abstract According to a lot of investigations, distance perception is influenced by many important cues such as sound pressure level, reflections from the room surface, binaural difference (ITD and ILD), a kind of sound source, and head related transfer functions (HRTF). Two psychoacoustical experiments on auditory distance perception were conducted to examine the effectiveness of the sound pressure level loudness as one of the physical cues in the auditory distance perception under a constant loudspeaker's output level and a constant sound level at the subject's position in the absence of reflections in an anechoic room. Our experimental results showed that the perceived distance of sound image is closer than actual sound source distance with the constant loudspeaker's output level and the constant sound level. Furthermore, the perceived distance of a sound image with constant sound level increased when the actual distance increases up to approximately 2 m while the perceived distance saturated when the sound source distance exceed 2 m. On the other hand, when the condition of loudspeaker's output level was kept constantly, the perceived distance of sound image increased up to around 3m, longer than the conditions of constant sound level at the subject's position. We found that the change in the loudness as a function of distance plays an important role in the auditory distance perception in the absence of reflections..

Key Words : Sound localization, Cue of distance perception, Anechoic room, sound pressure level

1. 서론

우리는 어떤 소리를 들었을 때, 그 소리가 어디에서 들

러오는지 판단하는 능력을 가지고 있다. 이와 같이 소리를 들었을 때 그 소리가 들려오는 방향과 음원까지의 거리를 지각하는 능력을 정위 능력이라고 한다. 인간은 어

*교신저자 : 김해영(hykim@tu.ac.kr)

접수일 09년 04월 09일

수정일 (1차 09년 05월 18일, 2차 09년 06월 04일)

게재확정일 09년 06월 17일

떻게 하여 음원까지의 방향이나 거리를 지각할 수 있는가 하는 음상정위에 관한 연구는 오래전부터 이루어져와 수평면정위, 정중면정위, 거리정위 등 여러 가지 측면에서 연구되어져 왔다[1-10]. 수평면 정위와 정중면 정위와 같은 방향정위에 있어서 방향 판단의 물리적 요인(cue)에 대한 많은 연구가 이루어져 왔다. 수평면 정위에 있어서는 음원으로부터 고막까지의 경로차에 의한 양 귀간 시간차(ITD)와 양 귀간 레벨차(ILD)가 주요한 판단 요인으로 작용하며, 정중면 정위에 있어서는 음원의 방향에 의해 변화하는 음원으로부터 고막까지의 머리전달함수에 포함되어 있는 주파수 스펙트럼이 주요한 판단 요인이라는 것이 밝혀졌다[1-6]. 그러나, 거리정위에 있어서는 거리감을 결정하는 물리적 요인으로는 음압레벨, 주파수 스펙트럼, 직접음과 반사음의 비, 양 귀간 차, 머리전달함수(Head Related Transfer Function) 등의 여러 가지 요인이 복잡하게 얽혀 있으며, 각각의 물리적 요인들의 영향에 대해서 명확하게 밝혀지지 않은 상태이다[7-13].

von Békésy 는 무향실에서 음성에 대한 거리지각 실험에서 음상거리는 음원거리보다 가깝게 지각하고, 지각한 음상거리는 1.5 m 정도에서 더 이상 증가하지 않는다고 보고하고 있다[7]. Stevens and Guirao 는 귀 입력레벨과 음상거리의 관계에 대해 귀 입력 신호레벨이 증가하더라도 음상거리는 예상외로 적게 감소하고 있으며, 음상거리가 1/2로 감소하는데 필요한 음압레벨의 변화량은 2 배가 아니라 10배 정도의 음압레벨의 변화가 필요하다고 보고하고 있다[8]. Haustein 은 순음과 클릭음의 2종류의 음원에 대한 청취실험에서 음원출력레벨이 일정한 경우와 귀 입력신호의 레벨이 일정한 경우의 청취실험에서 음상거리는 음압레벨에 많은 영향을 받는다고 보고하고 있다[9].

음상거리와 음압레벨과의 관계를 조사한 대부분의 선행연구에서는 음원으로 음성이나 순음, 클릭음 등 주파수 대역이 제한된 음원을 사용하고 있으며, 스피커를 일렬로 정렬한 상태에서 실험을 하여 뒤에 있는 스피커의 소리가 앞에 있는 스피커의 방해를 받아 소리에 변화가 생기는 문제점이 있었다.

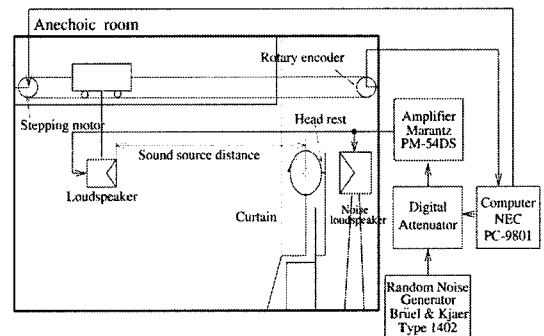
본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 가청주파수 대역전체를 포함하는 Pink noise를 음원으로 사용하였으며, 스피커 이동장치를 제작하여 청취실험시에 앞에 있는 스피커에 의해 소리의 변화가 생기는 것을 방지하였다. 이러한 새로운 방법을 이용해 사람이 실제로 음상의 거리를 어느 정도 정확하게 지각하는지를 조사하기 위한 일환으로 거리정위에 있어서 가장 기본적인 요인으로 생각되는 귀 입력 신호의 크기에 따라 어느 정도 정확한 거리 판단을 하는지를 반사음이 존재하지 않은 무향

실에서의 청취 실험을 통해 그 영향을 고찰했다.

2. 청취실험계의 구성 및 실험 조건

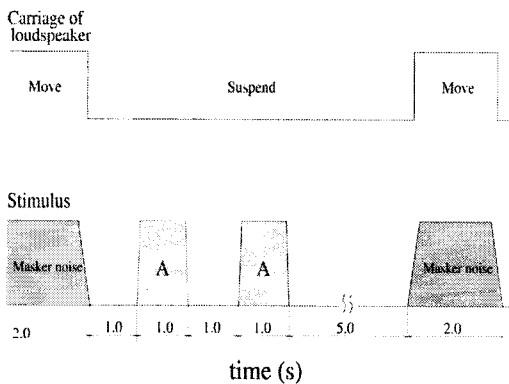
무향실 내의 실험계의 구성을 그림 1에 나타내었다. 음원 이동장치는 무향실 내의 천정에 설치된 알루미늄제의 앵글을 이용하여 세로 방향으로 레일을 설치하고, 그 위를 이동하도록 만든 수레에 스피커(직경 8cm 의 폴 레인지 스피커(Fostex SP-100))를 매달아 레일을 따라 일정한 높이를 직선적으로 이동하도록 설치하였다.

음원의 이동장치는 대부분 금속으로 제작했으므로 이러한 부분으로부터 발생하는 반사음이 거리 판단의 단서가 되는 것을 막기 위해 실험장치 주위를 글라스 울(glass wool)을 이용해 덮었다. 음원은 피 실험자의 귀 높이에 설치된 위의 가동음원을 이용했으며, 실험 시 음원의 위치는 무향실 밖에 설치된 컴퓨터에 의해 무작위로 이동하고, 음원의 이동위치는 이동하고자 하는 위치로부터 $\pm 1\text{cm}$ 이내의 오차를 가지도록 비례적분미분 제어법으로 제어 하였으며 예비실험을 통해 그 정밀도를 확인 했다. 음원을 이동시킬 때 발생하는 소리에 의해 음원의 위치를 지각하는 것을 방지하기 위해 음원이 이동할 때에는 피 실험자의 머리 뒤에 설치한 다른 스피커를 통해 80 dB SPL 의 잡음(white noise)를 방사하여 가동음원이 이동할 때 발생하는 음을 마스크 했다. 또, 실험에서는 음원의 위치에 대한 시각정보가 피실험자의 판단에 영향을 미치는 것을 방지하기 위하여 음원과 피 실험자 사이에 커튼을 설치하여 실험계에 대한 시각적 정보를 얻지 못하도록 하였다. 피 실험자는 정상적인 청력을 가진 성인 남녀 4명이 참여하였다. 피 실험자는 무향실(가로: 4.6 m 세로: 7.5 m 높이 : 2.5 m)에 설치된 의자에 머리를 고정 한 채로 앉아서 실험에 참여했다.



[그림 1] 가동음원을 이용한 실험계의 구성

자극음의 제시시간 및 정지시간은 그림 2 와 같이 대차가 각 거리를 이동하는데 걸리는 시간은 다르지만, 대차가 이동을 시작하여 정해진 위치에 정지할 때까지 소요되는 시간에 관계없이 4초간의 마스크 음을 방사했다. 마스크 음의 방사가 끝나면 2초간 휴식 후 가동음원으로부터 동일한 자극음(그림에서 A)을 1초씩 2번 반복해서 제시하여 음상거리를 판단하게 하고 5초간의 기록시간을 주었다. 또한, 실험은 1색선의 실험에서 동일한 방향의 12가지의 거리를 무작위로 제시하여 학습효과를 막고, 각각의 거리에서 10번의 판단을 시켰다.



[그림 2] 자극음의 제시의 타임 패턴

피 실험자는 1개의 방향에 대하여 2색선씩 각 거리에 대하여 20회씩의 판단을 했다. 실험은 자극음의 제시 방향별로 독립적으로 진행했으며, 피 실험자는 제시된 음을 듣고 음원(sound source)의 거리가 아닌 음상(sound image)이 발생한 거리를 판단하여, 0~6m 범위에 눈금이 표시된 해답용지에 표시를 하도록 했다. 실험조건은 다음과 같다.

(a) 음원의 거리

피 실험자의 머리의 중심으로부터의 거리 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 250, 300, 350, 400, 500cm 의 총 12 거리

(b) 음원의 방향

음원을 눈높이에 배치하고, 정면방향, 우측 45도 방향, 90도 방향, 135도 방향, 180도 방향의 총 5방향

(c) 자극음 제시

- 자극음 : 20 kHz 이하로 대역제한 된 핑크 노이즈 (pink noise)

- 음압레벨

(실험 1) 음원 출력 음압레벨 일정의 경우 스피커로부터 1m 의 거리에서 음압레벨이 60 dB SPL 의 출력으로 방사

(실험 2) 귀 입력 음압레벨 일정의 경우

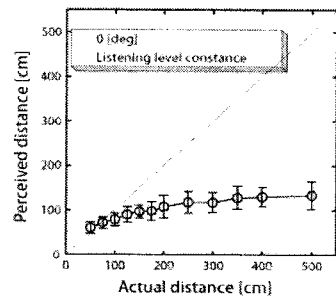
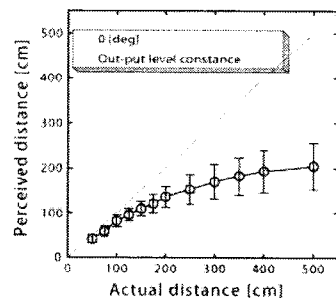
피 실험자의 위치에서의 음압레벨이 60 dB SPL 이 되도록 방사

3. 청취 실험결과 분석 및 고찰

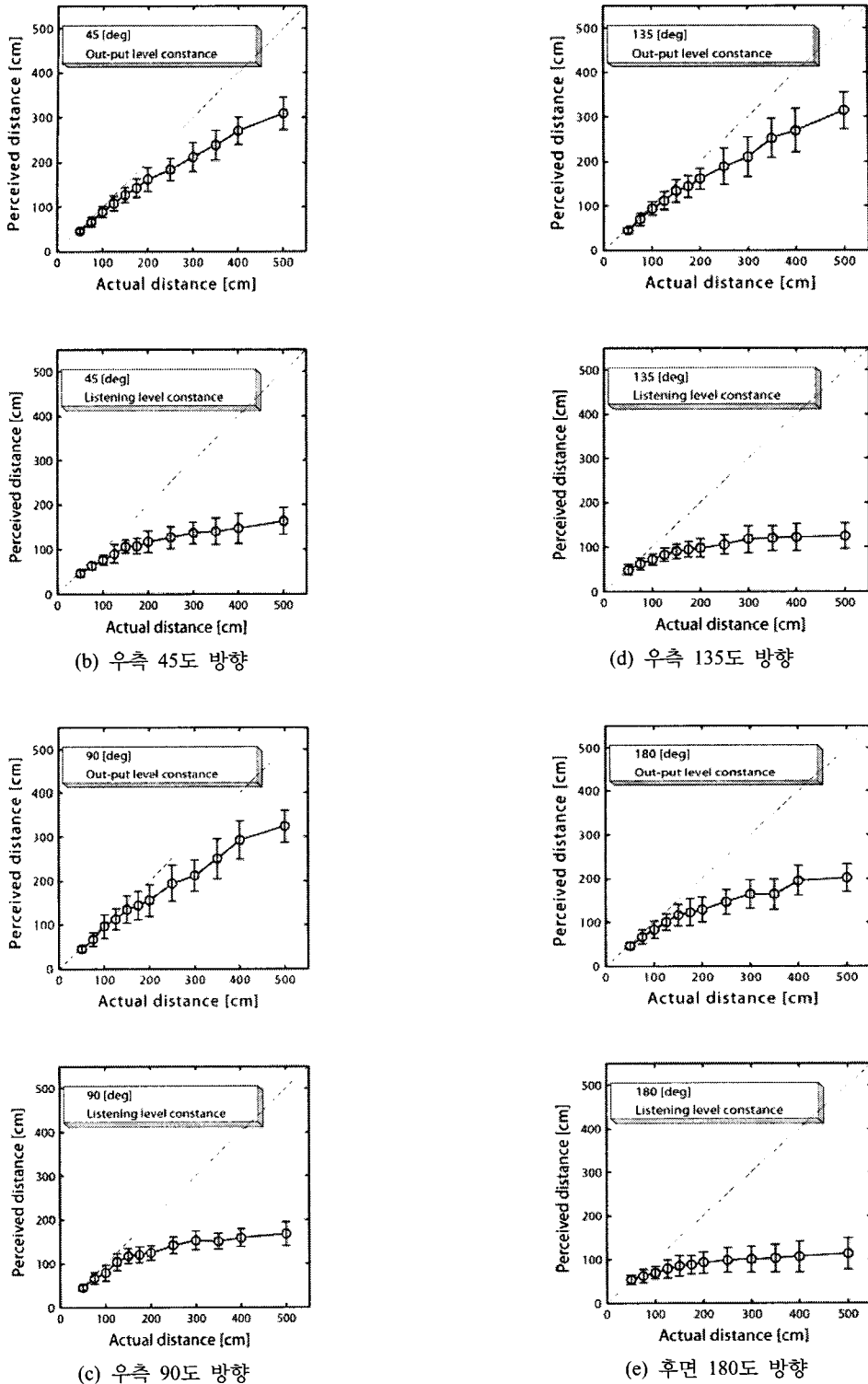
청취실험 결과를 그림 3 에 나타내었다. 그림3(a)~(e)의 상단 판넬은 음원출력 음압레벨이 같은 경우(실험 1)의 결과를 나타내며, 하단 판넬은 귀 입력 음압레벨이 같은 경우(실험 2)의 결과를 각 방향별로 전 피 실험자의 평균값으로 나타내었다.

그림은 순서대로,

- 정면 0도 방향 (그림 3 (a))
- 정면에서 우측으로 45도 방향 (그림 3(b))
- 귀의 바로 옆 90도 방향 (그림 3(c))
- 우측 뒤로 135도 방향 (그림 3(d))
- 정후면 180도 방향 (그림 3(e))



(a) 정면방향



[그림 3] 음상의 거리정위 실험결과

각 그림에서 가로축은 각 거리에서 제시한 자극음의 음원거리를 나타내며, 세로축은 피 실험자가 자극음을 듣고 지각한 음상의 거리를 나타내고 있다. 그림에서의 오차봉은 음상거리의 \pm 표준편차를 나타내고 있다. 그림속의 대각선은 음원거리와 음상거리가 일치하는 위치를 나타내고 있다. 피 실험자에 의해 음상거리의 평균값은 다소 차이가 있으나, 청취실험 결과로부터 다음과 같은 공통적인 경향이 관찰되었다.

- 1) 음원출력 음압레벨이 일정한 경우와 귀 입력 음압레벨이 일정한 경우 모두 지각한 음상의 거리가 실제의 음원거리보다 가깝게 정위되는 경향을 보이고 있다.
- 2) 정면방향과 후면 180도 방향에서도 약 2m 정도까지의 거리에 있어서 자극음을 제시한 음원거리가 증가함에 따라 지각한 음상거리가 증가하고 있으나 그 이상의 거리에서는 지각한 음상의 거리의 증가는 완만한 경향을 보이고 있다.
- 3) 귀 입력 음압레벨이 일정한 경우보다 음원출력 음압레벨이 일정한 경우에 있어서 지각한 음상거리가 더 먼 거리까지 늘어나고 있다. 이것은 음압레벨이 거리감에 큰 영향을 미치고 있음을 증명하는 실험 결과라고 할 수 있다.
- 4) 자극음의 제시방향에 대해서는 양 귀간 차이가 없는 정면방향과 후면 180도 방향보다도 양 귀간 차이가 발생하는 우측 45도 방향과 귀 바로 옆 방향(우측 90도), 우측 135도 방향에 있어서의 거리의 변화를 보다 쉽게 지각이 쉽게 지각함을 알 수 있다. 이것은 우측 45도 방향과 귀 바로 옆 방향, 우측 135도 방향에서는 양 귀간 시간차가 거리정위의 판단 재료로 이용되어 나타내는 실험 결과라고 생각되어진다.
- 5) 귀 입력 음압레벨이 일정한 경우에는 제시한 음원거리의 증가에 대해 지각한 음상의 거리가 증가하는 것은 음원거리가 약 1.5~2m까지 이다. 이것은 약 2m의 거리 범위 내에서는 자극음의 음압레벨과 반사음 이외의 물리적 요인, 즉, 머리전달함수로 대표되는 물리적 특성의 음원거리에 의한 변화가 판단 자료로 사용되어지지만, 2m 이상의 거리에서는 머리전달함수의 변화가 거의 생기지 않는 것과 관련이 있는 것으로 생각되어진다.

전술한 바와 같이 음원출력 음압레벨이 일정한 경우와 귀 입력 음압레벨이 일정한 경우 모두 지각한 음상거리는 제시한 음원거리보다도 가깝게 판단되어지는 경향이

있다. 음원출력 음압레벨 일정한 경우에는 귀 입력 음압레벨이 음상의 거리를 지각하는데 사용되어진 유일한 판단 자료라고 하면 음원의 거리가 가까운 거리가 가까워지는 것보다도 음상거리의 경우가 천천히 가까워지는 경향이 있다는 것을 의미하는 것이 된다. 이러한 경향은 von Bekesy[7]가 반사음이 없는 공간에서 실험한 회화 소리에 대한 거리지각의 실험결과나 Cochran et al.[3]이 대역잡음을 이용해 실시한 실험결과와 Haustein [9]이 150Hz의 순음과 임펄스를 이용한 실험 결과에서 음상거리는 음원거리보다도 가깝게 지각한다고 한 실험결과와 같은 경향을 보이고 있다.

한편, 귀 입력 음압레벨이 일정하게 하여 라우드니스를 거의 일정하게 한 실험(실험 1)의 경우에도 정면방향, 옆 방향 모두 1.25m 정도의 거리까지는 제시한 음원의 거리가 증가함에 따라 지각한 음상거리 증가하는 것이 실험결과에 나타나고 있다. 이것은 이 범위에서는 자극음의 음압레벨이나 반사음 이외의 물리적 요인, 즉, 음원으로부터 고막까지의 음향적 전달특성인 머리전달함수의 음원거리에 따른 변화가 거리 정위의 판단 요인(cue)로 사용 되어지는 것을 의미하는 것이라고 생각할 수 있다.

피 실험자 위치에서의 귀 입력 음압레벨이 일정한 경우의 실험결과는 Nielsen[12]에 의해 무향실에서의 청취 실험에서 회화소리를 1~5m의 거리에서 제시한 경우의 실험결과에서 지각한 음상거리가 1~2m에서 포화하는 경향을 보이는 실험결과와 일치한다. 또한, von Bekesy[7], Haustein[11], Sone et al.[13]의 청취실험에서도 포화하는 거리는 다소의 차(각각 1.5m, 2~3m, 1.2~1.5m 정도)는 있지만 같은 경향을 보이고 있다. 이러한 결과의 이유로는 음원거리가 1m를 넘으면 거리의 증가에 의한 머리전달함수의 변화가 줄어들어서 생기는 것이라 생각되어진다[14,15].

본 논문에서 실시한 청취실험의 결과에서 양 귀간차가 발생하는 우측 45도와 귀 바로 옆 방향과 우측 135도 방향의 경우에는 정면방향이나 정후면 방향보다도 음상의 거리를 정위하기 쉽다는 실험결과[2,15]를 뒷받침하는 결과라 할 수 있다. 이러한 결과로부터 음상의 거리정위에는 음원으로부터 양 귀까지의 경로차에 의한 머리전달함수의 양 귀간 차도 깊이 관계하고 있다는 것을 나타내는 것이라 생각되어진다.

4. 결론

본 논문에서는 반사음이 존재하지 않는 무향실에 있어서 음압레벨이 음상의 거리판단에 미치는 영향에 대하여

청취실험을 통해 고찰했다. 그 결과, 음상의 거리정위에는 음압레벨이 거리판단의 중요한 요소로 작용한다는 것을 확인했다. 또한, 반사음이 존재하지 않고, 귀 입력 음압레벨이 일정한 경우에도 약 1~1.25m 범위의 거리에서 거리판단이 가능하다는 것을 청취실험을 통해 확인하였으며, 그 이유로는 각 거리에 따른 머리전달함수의 변화가 거리판단의 재료로 사용된다는 것을 나타내는 것으로 생각되어진다. 또한, 정면방향이나 정후면 방향에서의 거리판단 보다도 양 귀간 차가 발생하는 옆 방향에서의 거리판단이 더 정확한 점에서 양 귀간 차가 거리정위에서 큰 역할을 한다는 것을 알 수 있었다.

최근의 디지털신호처리 기술의 발전과 더불어 거리정위와 방향정위의 물리적 요인을 이용하여 음상정위의 제어에 관한 연구가 활발히 진행되어 입체음향 분야에 많이 응용되고 있다. 본 논문의 실험결과에서 서술한 바와 같이 거리정위에서는 실제의 음원거리 보다도 음상거리가 가깝게 지각되는 경향이 있으므로 거리감을 느끼게 하기 위해서는 양 귀간 시간차와 반사음 같은 다른 물리적 요인들을 필요로 하게 된다. 향후, 이러한 물리적 요인들을 이용하여 거리정위와 방향정위에 있어서 중요한 역할을 하는 요인들을 정량적으로 평가하여 음상의 방향감 및 거리감을 증대시킬 수 있는 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

[1] J. Blauert, Spatial Hearing, Revised Edition (Cambridge, MA, The MIT Press, 1995).
 [2] D. C. Teas, "Lateralization of acoustic transients," J. Acoust. Soc. Amer., Vol. 34, pp. 1460-65, 1962.
 [3] Cochran P, Throop J, Simpson WE. "Estimation of distance of a source of sound," Am. J. Psychol, Vol. 81. pp. 198-206, 1968.
 [4] R. A. Butler and K. Belendiuk, "Spectral cues utilized in the localization of sound in the median sagittal plane," J. Acoust. Soc. Amer., Vol. 61, pp. 1264-69, 1977.
 [5] J. Hebrank and D. Wright, "Spectral cues used in the localization of sound sources on the median plane," J. Acoust. Soc. Amer., Vol. 56, pp. 1829-34, 1974.
 [6] F. Asano, Y. Suzuki, and T. Sone, "Role of spectral cues in median plane localization," J. Acoust. Soc. Amer., Vol. 88, pp. 159-68, 1990.
 [7] G. von Békésy, "The moon illusion and similar auditory phenomena," Amer. J. Psychol., Vol. 62, pp.

540-52, 1949.

[8] S. S. Stevens and M. Guirao, "Loudness, reciprocity and partition application scales," J. Acoust. Soc. Amer., Vol. 34, pp. 1466-71, 1962.
 [9] B. G. Haustein, "Hypothesen über die einohrige Entfernungswahrnehmung des menschlichen Gehörs," Hochfrequenztech. u. Elektroakustik.,
 [10] H-Y Kim, "A study on auditory distance perception in hearing," Doctoral dissertation, Tohoku University, 1999 (in Japanese).
 [11] M. B. Gardner, "Proximity image effect in sound localization," J. Acoust. Soc. Amer., Vol. 43, p.163, 1968.
 [12] S. H. Nielsen, "Distance Perception in Hearing," Doctoral dissertation, Aalborg University, 1991.
 [13] T. Sone, S. Takane, Y. Suzuki and K. Suzuki, "Distance Perception in Sound localization and Its control by simulation of Head Related Transfer Functions," Proc. 14th Inter. Cong. on Acoust., Beijing, L7-4, 1992.
 [14] D. R. Begault, 3-D Sound for virtual reality and multimedia (Cambridge, MA, AP Professional, 1994).
 [15] H-Y. Kim, S. Takane, Y. Suzuki and T. Sone, "Control of auditory distance perception based on auditory parallax model," Applied Acoustics, Vol. 62(3), pp. 245-270, 2001.

김해영(Hae-Young Kim)

[정회원]



- 1995년 3월 : 東北大學(日) 대학원 정보과학연구과 (정보과학석사)
- 1999년 3월 : 東北大學(日) 대학원 정보과학연구과(정보과학박사)
- 1999년 4월 ~ 2000년 3월 : 東北大學(日) 전기통신연구소
- 2000년 4월 ~ 2003년 2월 : 秋田縣立大學 연구원
- 2003년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 조교수

<관심분야>

입체음향, 멀티미디어정보처리, 음향시스템, 신호처리