

# 도형을 그리는 소리: 소리를 이용한 형태정보의 전달 가능성 탐색

박영현<sup>1</sup>, 한광희<sup>2</sup>  
연세대학교 인지공학심리학 연구실<sup>1,2</sup>  
road2east@empal.com<sup>1</sup>, khan@yonsei.ac.kr<sup>2</sup>

## Auditory shaping -Conveying shape information using auditory images

Young-Hyun Park<sup>1</sup>, Kwang-Hee Han<sup>2</sup>  
Yonsei Univ. Cognitive Engineering Psychology Laboratory<sup>1,2</sup>

### 요약

시각적인 정보전달이 어려운 상황에서의 대상인식, 혹은 시각장애인의 대상 인식에 있어서 소리는 어느 정도의 역할을 할 수 있을까? 이 연구는 소리를 통해 대상의 형태정보를 전달하기 위해 진행되었다. 하나의 음(musical tone)을 음높이와 음색, 지속시간을 조정한 후, 머리전달함수(Head-Related Transfer Function: HRTF)를 이용하여 수평선, 수직선, 대각선, 곡선의 형태로 운동하는 3-D 사운드 형태소로 만들었다. 그리고 이들의 연속적인 조합을 통해 단순한 도형에서부터 복잡한 도형, 이들 2차원상의 도형을 단면으로 하는 3차원상의 도형들까지 그려내는 소리자극을 구성하였다. 성인 대학생을 대상으로 한 실험에서, 이렇게 만들어진 청각이미지(auditory image)를 듣고 표상된 형태를 여러 개의 시각적인 이미지들(visual images) 중에서 선택하는 과제를 실시하였는데, 실험 결과는 평균 78%의 정확율을 보였다. 이는 소리를 이용한 형태정보 전달의 가능성이 있음을 시사하는 것이며, 이러한 시도는 청각 인터페이스의 응용범위를 확장하는데 도움이 될 것이다.

Keyword: 청각 인터페이스, 대상인식, 머리전달함수, 3-D 사운드, 청각 이미지

### 1. 서론

소리는 시각을 통한 정보전달이 어려운 상황, 혹은 시각 장애인의 대상인식에 얼마나 도움이 될 것인가? 시각은 시간을 뛰어넘어 존재하지만 청각은 공간을 뛰어넘어 존재할 수 있다(Dan Gärdenfors, 2001). 이처럼 시각과 청각은 그 각각의 장단점이 있다. 그러면 이러한 두 감각양식의 장점만을 취할 수 있을까? 만약 그렇다면, 눈으로 보지 않아도 대상인식이 가능할 것이고, 좀더 현실적으로는 시각적인 부담 없이 형태정보를 전달할 수 있을 것이다. 바꾸어 말하면 시각적으로 정보를 제시하기 힘든 불안정한 상황이나 직접적으로 볼 수 없는 위치의 대상인식이 청각을 통해 가

능해질 것이다. 이전의 많은 연구들은 저마다의 목적을 가지고 이렇게 소리를 이용하여 시각정보를 전달하려는 시도를 해왔는데, 그래픽 인터페이스(GUI)의 사용성을 높이기 위해(Brewster, 1998; Brewster et al., 1997), 장애인을 위한 컴퓨터 인터페이스를 만들기 위해(Edwards, 1987, 1989, 1995; Rigas, 1996; Rigas & Alty, 1997; Alty & Rigas, 1998), 청각을 이용한 사용자 인터페이스를 만들기 위해서(Lumsden et al., 2002) 연구되었다.

본 연구는 소리를 통해 도형의 형태정보를 전달하기 위한 가능성을 탐색하기 위해 진행되었다. 이에 관한 이전의 연구는 시력이 좋지 않은 사람들이나 시각 장애인들을 위한 도구를 개발하는 것을 중심으로 진행되었는데, 음의 강도(Amplitude)

를 대상의 밝기에, 주파수(Frequency)를 대상의 높이에 맞추어 소리를 변형시킨 다음 이를 동시에 결합하여 파장의 형태로 들려주는 시스템인 “vOICe”(Peter Meijer, 1992)는 현재까지도 계속 연구 중에 있다. 16 개의 스피커를 숫자 ‘8’의 형태로 배열하고 이를 통해 ‘3’, ‘6’, ‘9’, ‘C’, ‘G’, ‘O’, ‘P’, ‘R’, ‘S’, ‘U’ 등의 숫자 및 알파벳을 인식하는 연구도 있었고(S. Lakatos, 1993), Zhiqian Wang 과 Jezekiel Ben-Arie(1996)는 단순한 도형 및 알파벳 형태를 이진수의 형태(0 과 1)로 변형시키고 이를 음(tone)의 강도(amplitude)와 음높이(frequency)에 맵핑(mapping)시켜, Raster-scanning 방식으로 제시하는 연구를 하였다(Zhiqian Wang & Jezekiel Ben-Arie, 1996). 터치패널(touch panel)을 이용하여 시각장애인에게 그래프를 보여주기 위한 시스템인 “Audiograf”가 있는가하면(Andrea R. Kennel, 1996), “SoundVis”는 키보드 숫자판을 이용하여 그래프를 청각화하는 시스템이다(Lorna Brown et. Al., 2002). Kees van den Doel(2003)은 “SoundView”라는 시스템을 앞서 Peter Meijer 에 의해 연구되었던 “vOICe”와 비교하여 수행에 있어서 더 나은 결과를 도출하였고, Zhao 와 Smith, Norman, Plaisant, Shneiderman(2005)은 비언어적 소리신호(non-speech sound signals)와 구두언어를 이용하여 미국 지도상의 특정한 지점의 정보를 전달하는 시도를 하기도 하였다. Rigas 와 Alty(2005)는 40 × 40 으로 만들어진 격자 상에서 가로는 피아노 음색으로 음높이가 증가하도록, 세로는 키보드 음색으로 음높이가 증가하도록 만들어진 시스템을 통해 간단한 몇 가지의 도형을 표현하였다(Rigas & Alty, 2005).

하지만 이러한 여러 이전연구들을 살펴보면 공통적으로는 실험 전에 많은 훈련기간과 연습시행이 필요했고, 구현하는 도형의 모양도 단순했으며, 정확율도 낮았다. 이에 본 연구에서는 머리전달함수(HRTF: Head-Related Transfer Function)를 이용하여 변형된 소리를 이용하여 도형의 형태정보를 전달하는 실험을 통해, 훈련기간을 없애 직관성을 높이고, 형태의 다양성과 정확도를 높이는 동시에 좀 더 많은 종류의 정보를 전달하는 가능성을 탐색하였다.

## 2. 방법

### 2.1 자극

#### 2.1.1 소리자극

이 실험에서는 현악기음색의 미(E<sub>4</sub>) 음을 기본음으로 사용하였다. 음악 편집툴을 이용하여 1 초, 2 초의 지속시간(duration)을 가진 기본음으로 편집하였고, 이들 각각 음높이(frequency)를 조절하여 기본음(E<sub>4</sub>)에서 반음을 올린 파(F<sup>#</sup><sub>4</sub>)음 까지 올라가는 소리, 반음 올린 파(F<sup>#</sup><sub>4</sub>)음에서 기본음까지 내려오는 소리, 올라갔다 내려오는 소리, 내려갔다 올라오는 소리를 만들었다.

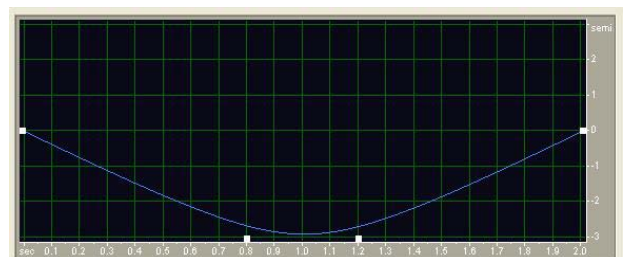
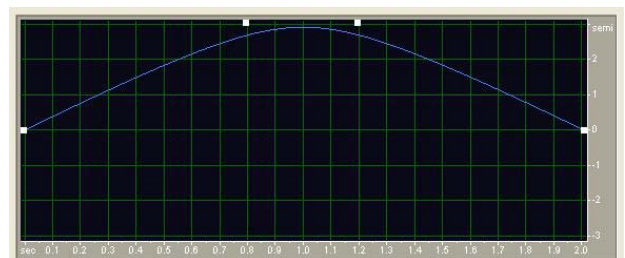
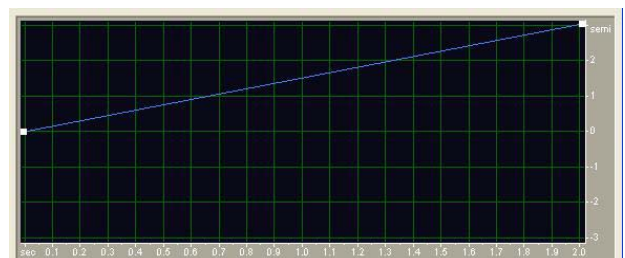
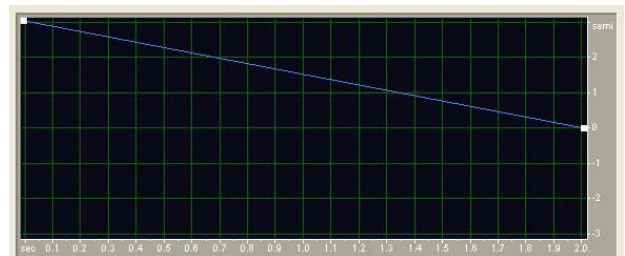


그림 1 기본음을 이용한 주파수 조절

이렇게 만들어진 여러 가지의 음(musical tone)

들을 Maven3D 라는 소프트웨어를 이용하여 다시 편집하였는데, 이 소프트웨어는 머리전달함수를 이용하여 3-D 사운드를 만드는 프로그램이다. 이를 통해 상하, 좌우, 곡선, 대각선, 원으로 운동하는 소리들을 만들었는데, 그 방식은 아래와 같다.

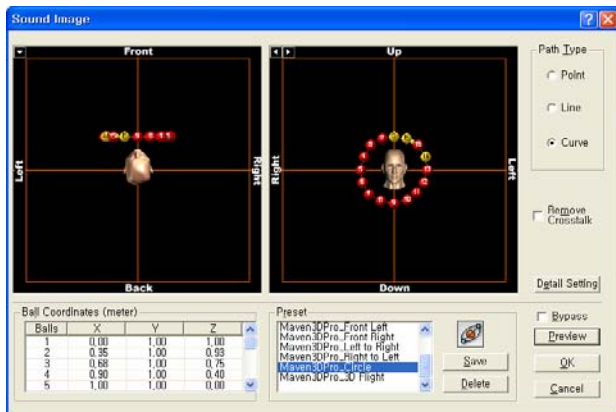
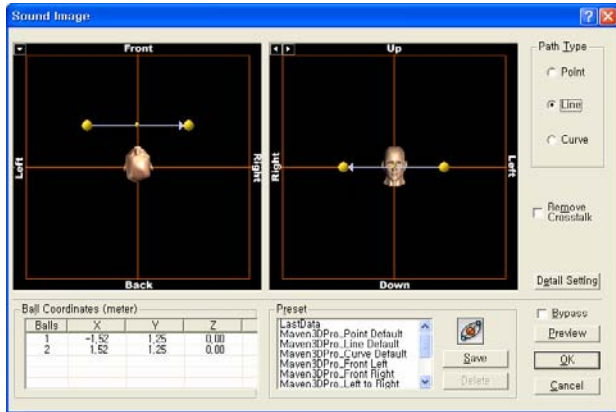


그림 2 3-D 사운드를 만드는 과정

운동하는 소리를 만드는 데에는 음높이 조절이 필수사항은 아니지만, 개인화되지 않은 머리전달함수를 이용하면, 머리 뒤쪽과 위쪽의 소리에 대해 민감도가 떨어지기 때문에(E. M. Wenzel, M. Arruda, D. J. Kistler, and F. L. Wightman, 1993), 아래에서 위로 상승운동을 할 때에는 음높이 변화를 추가한 것이다. 이러한 것을 청각이미지의 형태소라고 하고, 이러한 형태소들을 조합하면 삼각형, 사각형, 원, 반원 등의 2-D 상의 청각이미지를 만들어낼 수 있다.

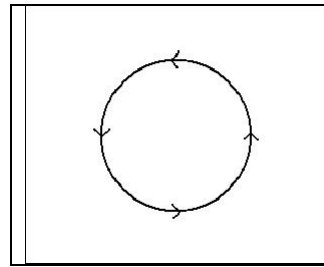
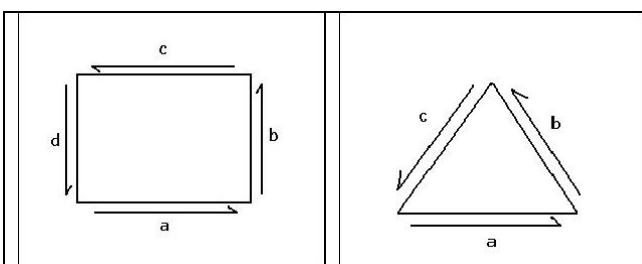


그림 3 도형이 그려지는 순서

3-D 상의 도형은 이렇게 만들어진 2-D 도형이 뒤로 물러나는 방식으로 생성된다. 이렇게 뒤로 물러날 때 들리는 소리는 일종의 메타포를 사용하였는데, 스캐너로 스캔을 할 때 들리는 소리를 연상할 수 있도록 하나의 음을 단속적으로 2초 동안 제시하였다. 이러한 소리를 여러 음색으로 만들어 심리학과 학부생 20 명에게 평정을 실시하였는데, 이를 통해 '나무', '금속', '유리'와 비슷한 소리를 결정하였다. 이렇게 만들어진 소리를 종합적으로 시각화하여 보여주면 다음 그림과 같다.

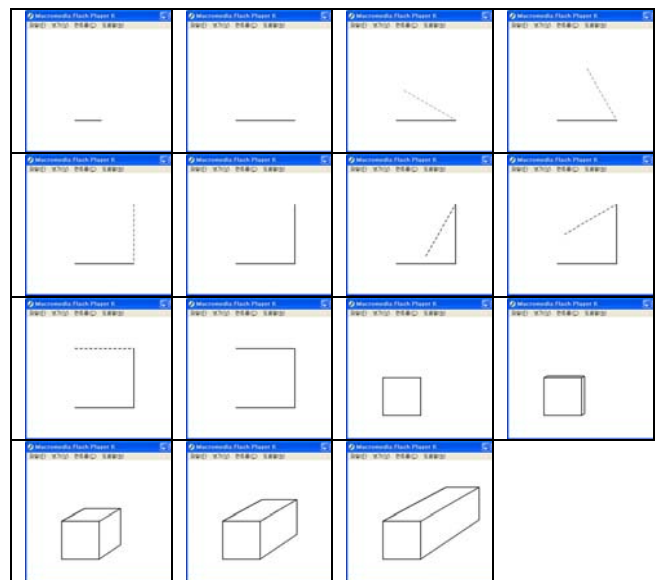


그림 4 도형이 그려지는 원리, 플래시 애니메이션

왼쪽 위부터 오른쪽으로 연속적인 진행을 구분하여 보여준 것이다. 이 그림은 플래시(Flash MX)로 제작한 것인데, 실험을 시작하기 전에 각 소리들을 설명해주면서 이 플래시 애니메이션을 보여주었다. 이러한 도형 외에도 도형을 구성하는 선의 개수를 알려주는 신호음과 각도가 증가하는 것을 상징하는 소리가 있는데, 전자의 신호음이란 도형의 청각이미지를 들려주기 전에 청각이미지를

구성하는 직선개수를 암시하는 것이고, 후자의 각도가 증가하는 소리란 선과 선 사이에 포함되어 그 둘 사이의 각도를 표현하는 것인데, 그 소리는 미사일의 각도가 올라갈 때 들리는 소리를 메타포로 사용하였다.

### 2.1.2 그림자극

Windows XP 에 있는 그림판(mspaint) 프로그램을 이용하여 가로 150 pixel, 세로 100 pixel 크기의 2 차원, 3 차원 상의 도형을 51 가지 만들었다. 이 중에는 청각이미지와 대응되는 도형들(점선 안쪽)은 물론, 대응되지 않고 선택을 방해하는 도형들(굵은 선 안쪽)도 포함되어있다.

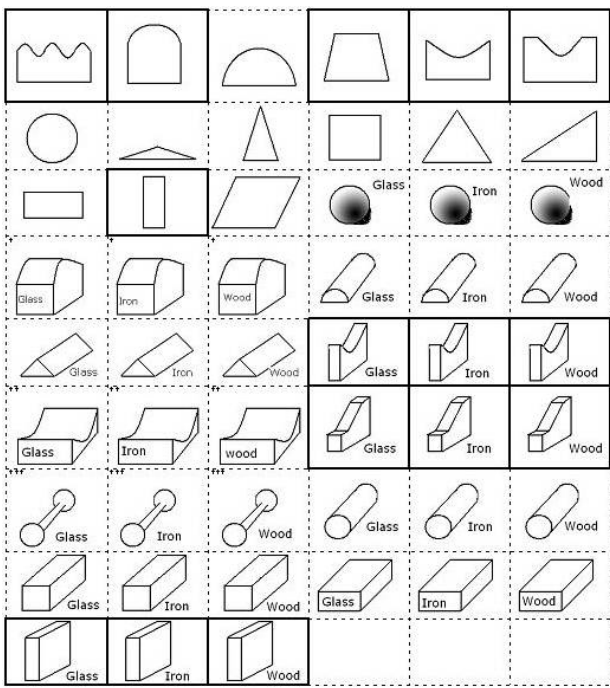


그림 5 그림 자극의 예

### 2.2 실험절차

실험참여자는 우선 헤드폰을 착용한 후, 간단히 실험에 관한 설명을 듣게 된다. 이후 몇 가지 소리표본을 듣고 나서, 플래시 애니메이션을 통해 청각이미지와 동시에 시각적으로 선이 그어지고, 각도가 증가하는 모습을 볼 수 있다. 그 종류는 정사각형, 직사각형, 정삼각형, 직각삼각형, 정육면체(나무), 원기둥(유리), 슬로프(금속)로 한정하였다. 실험 참여자는 플래시를 보고 나서 곧바로 원, 정사각형, 정삼각형으로 구성된 연습시행을 세 번

실시하게 되고, 이후 2 차원 도형만으로 구성된 블록(블록 1), 3 차원 도형만으로 구성된 블록(블록 2), 2·3 차원 도형으로 구성된 블록(블록 3)의 세 세트를 실시한다. 소리를 듣고 이해가 될 때까지 “반복” 버튼을 눌러 다시 들을 수 있었고, 지각이 되었다고 판단되면 “확인” 버튼을 누르게 되는데, 이와 동시에 앞서 보여준 51 가지의 도형들--블록 1에서는 15 개(2 차원 도형만), 블록 2에서는 36 개(3 차원 도형만), 블록 3에서 51 개(2·3 차원 도형 모두)--이 제시된다. 일치한다고 생각하는 도형을 마우스로 클릭하면 바로 다음 시행으로 넘어가게 된다. 정상시력, 청력을 가진 32(남 12, 여 20)명의 성인 실험참여자는 이렇게 블록 1에서 9 회, 블록 2에서 10 회, 블록 3에서 10 회 총 29 회를 실시하게 되고, 실험자극은 무선화하여 제시하였다.

### 3. 결과

실험결과 블록 1의 평균 정답율은 83%, 블록 2는 66%, 블록 3은 78%를 보였다.

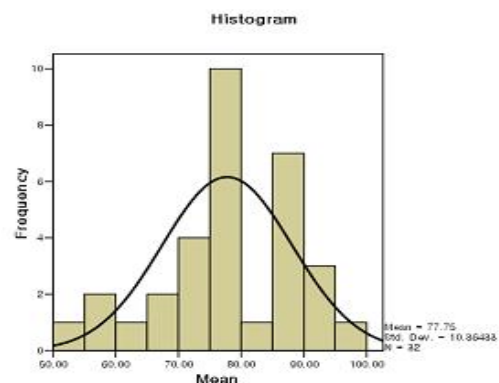
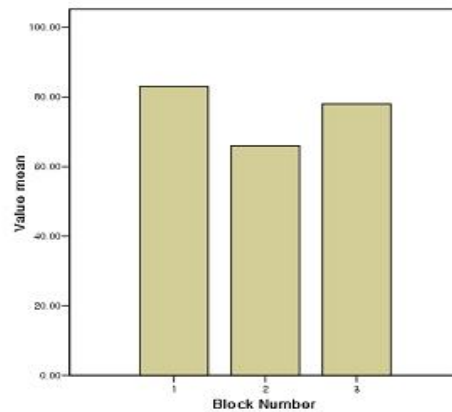


그림 6 블록별 평균과 점수 분포

또한 블록 3 에서 2-D 도형과 3-D 도형이 함께 있는 과제를 실시하였으므로, 블록 3 의 정답율인 78%를 평균 정답율이라고 할 수 있다. 개인별 전체 블록의 정답율의 평균은 위의 분포로 나타나며, 이들의 평균은 75%로 나타났다.

표 1 도형별 정답율

2 차원 도형	
	정답율(%)
정사각형	92
직사각형	100
평행사변형	83
정삼각형	100
직각삼각형	100
이등변삼각형(넓은)	100
이등변삼각형(높은)	80
원	100
반원	100
3 차원 도형	
직육면체(단면정사각형)	86
직육면체(넓은)	97
삼각기둥	100
머핀모양	49
슬로프모양	63
원기둥	96
아령모양	96
구	29
반원기둥	100

도형별로 보면 표 2 와 같이 우선 2 차원 도형 중에 이등변삼각형(넓은), 정삼각형, 직각삼각형, 직사각형, 반원, 원이 100%로 아주 높은 수준을 보였고, 정사각형, 평행사변형, 이등변삼각형(높은)의 순서로 정답율을 보였다. 3 차원 도형 중에서는 반원기둥과 삼각기둥이 각각 100%로 높은 순위를 차지했고, 직육면체, 원기둥, 아령이 그 뒤를 이었다.

반복 청취횟수는 블록 3 을 기준으로 했을 때, 참여자가 소리를 반복해서 들었던 횟수는 총 320 회 중에서 9%(28 회)였고, 그 중 3-D 도형이 20 회, 그리고 이 중에서 반복 청취 후 정답을 맞춘 비율은 15 회다.

재질에 관한 선택과제는 3-D 상의 도형에서만 제시되었는데, 총 220 회의 3 차원 도형 재질 선택과제에서 정답율은, 93%를 기록하였다. 그 중 금속을 나무로 선택한 경우가 다수를 차지하였으며, 유리를 나무로 착각한 사례는 발견되지 않았

다.

## 4. 논의

본 실험의 결과는 소리를 통해 대상의 형태정보를 전달하는 가능성을 보여주었다. 이것으로 본 연구는 그 목적을 달성하였으나, 차후 연구를 위해 도형의 특징에 따른 정답여부를 분석하고, 자극의 문제점을 지적한 후 그 개선방향을 제시하고, 차후 연구의 방향을 탐색하도록 하겠다.

### 4.1 형태 정답율 분석

우선 정답율에 영향을 주는 요인은 무엇일까? 첫번째로 기억의 부담이라고 생각할 수 있다. 3-D 도형은 2-D 도형에 비해 그 자극의 제시시간(duration)이 전반적으로 길다. 자극이 모두 제시될 때까지 이미 그려진 형태를 머리 속에 담아두어야 하기 때문에 3-D 도형은 2-D 도형보다 많은 부담이 있었을 것이다. 이는 반복 청취횟수가 2-D 도형에 비해 3-D 도형이 월등하게 많은 것(8 회 : 20 회)에서 확인할 수 있다. 두번째는 바로 사전 제시여부이다. 정답율이 가장 낮은 두 개 머핀모양(46%), 구(29%)는 모두 이전에 제시한 적이 없는 도형들이다. James L. Alty 와 Dimitrios I. Rigas(1998; 2005)는 소리로 제시되는 형태정보를 평가하는 데에 있어서 맥락의 중요성을 이야기했다(James L. Alty & Dimitrios I. Rigas, 1998; James L. Alty & Dimitrios I. Rigas, 2005). 실제로 구는 총 28 회 제시되었고, 그 중 20 회의 오답이 있었는데, 그 중에 16 회는 원기둥으로, 3 회는 아령으로, 1 회를 머핀으로 선택하였다. 머핀모양 역시 총 26 회 제시된 중에서 15 회의 오답이 있었는데, 직육면체(단면이 정사각형인)가 7 회, 슬로프가 4 회, 나머지는 다른 형태의 슬로프 모양을 선택하였다. 이는 사전제시된 직육면체의 방해로 받은 것으로 해석할 수 있다. 실험 참여자가 이미 알고있는 모양에서 더 높은 선택율을 보인 것에서 이를 알 수 있다. 하지만, 이는 아령모양(정답율 96%)를 감안하면 일관적이지 않다고 생각할 수 있는데, 아령에 대한 높은 정답율은, 소리자극의 제시시간이 다른 자극에 비

해 월등하게 길어서 쉽게 구분되었기 때문인 것으로 판단된다. 이는 반복청취가 3-D 도형 총 20 회 중, 아령모양이 7 회를 기록한 것에서 기억부담이 월등하게 높았음을 알 수 있고, 이는 역으로, 다른 도형과 구분하기 쉬운 단서가 되었을 것이다. 본 실험은 이러한 기억의 부담에 있어서 가장 보수적인(conservative) 방법을 택했다. 자극 제시시간과 형태소간의 간격(pause)이 상당히 길었기 때문이다. 이후 연구에서는 이러한 자극 제시시간과 형태소간의 간격을 조절하여 가장 적절한 정도를 찾아낼 수 있을 것이다.

#### 4.2 재질 정답율 분석

재질의 정답율이 높은 것은 어떻게 해석해야 하는가? 이러한 방식의 재질정보 전달이 적절했다고 볼 수 있다. 하지만 확신할 수 없는 이유는 그 자극의 종류가 세 종류밖에 되지 않았기 때문에, 높은 정답율이 자극의 적절성 때문인지 기억 능력 때문인지는 확실하게 평가할 수 없다. 이후 연구에서 소리를 좀 더 다양화한다면 결과를 확인할 수 있을 것이다.

#### 4.3 연구의 한계

자극 자체에서 몇 가지 문제점을 발견할 수 있다. 우선 하나의 음색을 선택하여 여러 번의 변환과정을 거치면서 최종적으로 생성된 소리는 듣기에 좋지 않은 음으로 바뀌었다. 또한 2 초와 1 초 단위로 모든 도형을 표현하다 보니 실제적으로는 맞지 않는 도형들이 생겼는데, 직각삼각형의 경우 바닥을 2 초, 세로를 1 초, 대각선을 2 초로 하여, 2 : 1 : 2 라는 실제로는 존재할 수 없는 비율이 되었다. 이러한 임의적인 조합은 응용가능성을 축소시키는 원인으로 작용할 것이다. 이 외에 앞서 말한바와 같이 자극의 길이, 자극 내부에서 각각의 소리들 간의 간격들을 현재 1000 ms 로 해 놓았지만, 앞으로는 이러한 부분을 조절하여 좀 더 효율적인 결론을 도출할 수도 있을 것이다. 그림자극 또한 더 높은 질의 보기를 사용할 수 있을 것이다.

#### 4.4 적용범위

본 연구는 시각적인 정보전달이 어려운 상황을 가정하였다. 시각적인 정보전달이 어려운 상황이란 첫째, 시각적인 주의용량을 분할할 수 없는 상황으로 자동차 운전을 예로 들 수 있다. 전방주시에 대한 과제 때문에 자동차 내부, 뒷좌석, 특히 자동차의 상층에 대한 정보를 탐지하지 못하는 경우가 많다. 이럴 때 이러한 청각이미지(auditory image)는 도움이 될 것이다. 두 번째는 실제로 보이지 않는 곳에 대한 정보를 전달해야 하는 경우로서, 벽 뒤의 물체를 감지해야 하는 경우이거나, 열어볼 수 없는 공간의 물체를 인식해야 하는 경우이다. 이는 실제 생활에서뿐만 아니라, 게임의 상황에서도 적용이 가능한데, 일반적으로 맵(map)을 이용하는 게임은 보통, 적외선 추적기 혹은 평면도를 사용하는 경우가 많이 있다. 이러한 경우, 청각적으로 벽 뒤의 혹은 서로 다른 층에 있는 물체의 형태에 관한 정보를 전달하는 곳에 청각이미지가 도움이 될 것이다. 세 번째는 시각적인 장애를 가지고 있거나, 일시적으로 시각을 사용할 수 없는 사람의 경우가 있다. 이 경우, 일상생활은 물론 웹상에서도 청각이미지는, 웨어러블 컴퓨팅 기술의 발전과 더불어 큰 도움이 될 수 있다. 청각을 통한 교통정보나 보행도로의 안내를 도와주는 시스템이 있는데(Loomis, Klatzky & Golledge, 1999), 이 상황에서 3-D 사운드를 사용하면 그 반응속도에 있어서도 도움이 되었다(Loomis et al., 1999). 결국 청각이미지는 이러한 안내시스템을 좀 더 세밀한 정보를 전달할 수 있도록 개발하는 데에 도움이 될 것이다. 또한 청각장애인을 위한 웹사이트 제작에 있어서 기존의 단순한 스피치 중심의 형식이 아닌, 사용자가 원하는 곳으로 마우스를 가져가면, 화면상의 대상을 지각할 수 있는 시스템을 개발할 수 있기 때문에, 그 사용성을 더욱 높일 수 있다.

논의에서 제기된 추가적인 연구를 통해 소리를 통한 형태정보의 전달이 가능해진다면, 이는 청각 인터페이스의 응용범위를 크게 넓힐 것이다.

### 5. 참고문헌



- [1] Kennel, A. R. (1996). Audiograf: A diagram-reader for the blind. *Assets'96*, pp. 51-56.
- [2] Brewster, S. A. (1998). Using non-speech sounds to provide navigation cues. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction, Vol. 5*, No. 3, pp 224–259.
- [3] Brewster, S. A. (1997). Using non-speech sound to overcome information overload. *Displays 17*, 179-189.
- [4] Rigas, D. I. & Alty, J. L. (2005). The rising pitch metaphor: an empirical study. *Int. J. Human-Computer Studies 62*, 1–20.
- [5] Rigas, D. I. (1996). *Guidelines for auditory interface design: an empirical investigation*. Ph.D. Thesis, Loughborough University, Leicestershire, UK.
- [6] Rigas, D. I. & Alty, J. L. (1997). The use of music in a graphical interface for the visually impaired. *INTERACT-97, International Conference on Human-Computer Interaction*. pp. 228–235.
- [7] Wenzel, E. M., Arruda, M., Kistler D. J. & Wightman, F. L. (1993). Localization using non-individualized head-related transfer functions. *J. the Acoustical Society of America, 94*, 111-123.
- [8] Edwards, A. D. N. (1987). *Adapting user interfaces for visually disabled users*. Ph.D. Thesis, Open University, Milton Keynes, UK.
- [9] Edwards, A. D. N. (1989). Soundtrack: An auditory interface for visually impaired users. *Human-Computer Interaction 4 (1)*, 45–66.
- [10] Edwards, A. D. N. (1995). *Extra-Ordinary Human-Computer Interaction*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [11] Alty, J. L. & Rigas, D. I. (1998). Communicating graphical information to visually impaired users using music: The role of context. CHI-98, Human Factors in Computing Systems, Los Angeles, USA, ACM Press, New York, April 1998, pp. 574–581.
- [12] Alty, J. L. & Rigas, D. I. (2005). Exploring the use of structured musical stimuli to communicate simple diagrams: The role of context. *Int. J. Human-Computer Studies 62*, 21–40
- [13] Kees van den Doel (2003). SOUNDVIEW: Sensing color images by kinesthetic audio. Proceedings of the 2003 International Conference on Auditory Display, Boston, MA, USA, July 6-9, 2003
- [14] Loomis, J.M., Klatzky, R.L. & Golledge, R.G. (1999). Auditory distance perception in real, virtual, and mixed environments.
- [15] Loomis, J. M., Klatzky, R. L. & Golledge, R. G. (1999). Auditory distance perception in real, virtual and mixed environments.
- [16] Brown, L., Brewster, S. A., Ramloll, R & Wai Yu. (2002). Browsing modes for exploring sonified ling graphs. *Proceedings Volume 2 of the 16th British HCI Conference London. September 2002*.
- [17] Lumsden, J., Brewster, S. A., Crease, M. & Gray, P. (2002). Guidelines for audio-enhancement of graphical user interface widgets. Proceedings Volume 2 of the 16th British HCI Conference London, September 2002.
- [18] Meijer, P. A. (1992). An experimental system for auditory image representations. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering 39(2)*, 112–121.
- [19] Lakatos, S. (1993). Recognition of complex auditory-spatial patterns. *Perception. 22(3)*, 363-74.
- [20] Zhao, H., Norman, K., Plaisant, C. & Shneiderman, B. (2005). Interactive sonification of choropleth maps. *IEEE MultiMedia, Vol.12*, No.2, pp. 26-35.
- [21] Wang, Z. & Ben-Arie, J. (1996). Conveying visual information with spatial auditory patterns. *IEEE TRANSACTIONS ON SPEECH AND AUDIO PROCESSING, VOL. 4, NO. 6*.

#### Acknowledgement

본 논문은 산업자원부 중기거점과제 2005-8-1177에 의해 지원되었음.