

항공 목표물 탐지과제 수행에서 머리전달함수(HRTF)를 이용한 이중감각적 공간 디스플레이의 주의효과

Attentional Effects of Crossmodal Spatial Display using HRTF in Target Detection Tasks

이주환*

Ju-Hwan Lee*

요 약

항공기를 조종하는 상황은 극도로 복잡하고 세밀한 정보처리과정으로 여겨진다. 조종사를 비롯한 모든 사람들은 자신에게 필요한 정보에 주의를 기울이므로 적절한 정보를 선택적으로 처리하는 정보처리과정을 통해 직무를 수행한다. 이러한 주의의 특성 가운데 공간적 정보의 처리는 단일한 감각양식으로 제시되는 정보의 처리보다 이중감각적 연결(crossmodal link)을 통해 동시에 제시되는 공간정보가 주의처리에 대한 용이성 효과를 나타낸다. 본 연구에서는 시각적 공간정보 제시와 함께 청각적으로도 정보를 제시하여 전투기 조종 상황에서의 적기 탐색과 같은 시스템에 적용할 수 있는 가능성을 실험적으로 검증하였다. 본 연구에서 수행된 두 가지 실험은 목표물에 대한 공간적 추적을 시각정보와 함께 음원으로부터 청취자의 두 귀에 입사하는 신호간의 차이를 반영한 입체음향 기술인 머리전달함수(Head-Related Transfer Function; HRTF)를 이용해 생성된 공간적 청각정보를 제시하는 방법으로 수행되었다. 실험의 결과는 청각적으로 제시되는 공간정보가 실제의 위치에서 발생하지 않는 머리전달함수를 통한 가상적 제시일 경우라도 그 주의처리에서 시각적 공간정보만 제시하는 경우보다 용이성 효과를 나타냈으며, 이는 기존 시스템에서 이미 구축되어 있는 간단한 스테레오 시스템만으로도 머리전달함수와 같은 입체음향 생성기술을 이용한 이중감각 연결을 통해 공간적 정보 제시의 적용이 가능하다는 것을 제안해주는 결과이다.

Abstract

Driving aircraft requires extremely complicated and detailed information processing. Pilots perform their tasks by selecting the information relevant to them. In this processing, spatial information presented simultaneously through crossmodal link is advantageous over the one provided in singular sensory mode. In this paper, probability to apply providing visual spatial information along with auditory information to enemy tracking system in aircraft navigation is empirically investigated. The result shows that auditory spatial information, which is virtually created through HRTF is advantageous to visual spatial information alone in attention processing. The findings suggest auditory spatial information along with visual one can be presented through crossmodal link by utilizing stereophonic sound such as HRTF, which is available in the existing simple stereo system.

Key words : Auditory Display, Head-Related Transfer Function, Crossmodal Attention, Radar System

I. 서 론

일상생활 속에서 우리는 자신에게 필요한 정보에 주의를 기울이므로 기본적인 정보처리과정을 진행하

* 한독미디어대학원대학교(Department of Newmedia, Korean German Institute of Technology)

· 제1저자 (First Author) : 이주환

· 투고일자 : 2010년 7월 20일

· 심사(수정)일자 : 2010년 7월 20일 (수정일자 : 2010년 8월 16일)

· 게재일자 : 2010년 8월 30일

며 살아갈 수 있게 된다. 이러한 주의는 적절한 정보를 선택적으로 처리하고, 다양한 감각들로부터의 정보 과부하를 피하기 위해 몇몇 다른 감각 양식들(sensory modalities)에 걸쳐 동시에 조정되어야 한다. 사람의 다양한 감각 양식들-시각, 청각, 촉각, 후각, 미각-에 따른 주의의 특성에 대한 연구들에 따르면, 각각의 개별적 감각 정보를 처리하는 것보다 이중감각적 연결(crossmodal link)에 의해 처리되는 것이 공간정보에 대한 주의처리를 용이하게 한다는 특성이 있다[1-3]. 또한 이러한 이중감각의 주의처리 용이성 효과는 서로 다른 감각양식으로 전해진 공간 정보가 서로 동일한 공간을 표상하는 경우, 우리 뇌의 신경생리학적 기제에서 이를 통합적으로 처리하기 때문이라는 증거들이 있다[3-5].



그림 1. F-15E 전투기 조종석 디스플레이 시스템
Fig. 1. Cockpit Display System of F-15E.

그렇다면 이러한 공간적 주의처리의 효과는 다양한 시스템에 적용될 수 있는 가치가 있을 것이다. 특히 짧은 시간 내에 매우 중요한 공간적 판단을 요구하는 상황에서 이런 미세한 효과가 그 빛을 발할 수 있는데, 이것은 주로 고속으로 비행중인 전투기 조종 상황에서의 적기 탐색이나 자동차 운전 중의 장애물 신호에 대한 공간정보 제시와 관련될 수 있을 것이다. 즉 목표물에 대한 공간적 정보를 시각적으로 제시할 뿐 아니라 청각적으로도 제시하는 것의 효과를 예상할 수 있다. 그림1은 F-15E 전투기의 조종석으로, 이런 전투기를 조종하는 상황에서 통제해야 하는

정보들은 셀 수 없을 정도로 많고 복잡하다. 즉 전투기 조종사는 자신의 전투기의 고도유지나 연료상황 등 기본적인 자신의 상태와 외부 환경의 변화에 대한 주의가 요구되는 고도의 정보처리과정을 거치게 된다. 이에 추가적으로 자신의 주변으로 적기가 출현한다면 그 정보에 대한 빠른 처리가 가장 긴급한 임무가 되는데, 시각적으로 처리하기에는 이미 많은 주의가 다른 시각적 디스플레이들에 할당된 상태이기 때문에 빠른 주의자원의 집중이 어려울 수 있다. 이런 한계를 극복하기 위해 다기능 디스플레이 장치(Multi-Function Display: MFD)와 같이 조종사가 주의하여 처리해야 하는 다양한 정보들을 하나의 시각적 디스플레이로 통합 제공하려는 노력이 적용되고 있다. 그러나 이런 시스템의 도움에도 시각적 주의만으로 정보를 처리하는 데는 여전히 한계가 있으며, 이런 한계를 조금이라도 줄일 수 있는 것이 위에서 언급한 공간정보에 대한 청각적 제시를 동시에 제공하는 방법이다[6,7].

본 연구에서는 공간정보의 청각적 제시가 함께 제공되는 시각적 제시의 효과를 검증하기 위해 머리전달함수(Head Related Transfer Function)를 이용해 공간적 정보를 지닌 가상적 소리를 생성하는 방법을 통해 실험에 청각자극으로 사용하였다[8,9]. 이것은 음원(sound source)의 위치에 따라 청취자의 양쪽 귀에 도달하는 소리의 시간차(Interaural Time Difference: ITD)와 소리의 세기차(Interaural Intensity Difference: IID), 그리고 각 개인의 머리전달계의 고유 특성에 의해서 두 귀에 입사한 두 신호 간에 발생하는 차이를 이용하여 입체화되지 않은 단순한 음에 공간적 정보를 부가한 입체음을 생성할 수 있는 방법이다. 머리전달함수는 각 개인마다 차이가 있지만 개인차를 반영하는 어려움을 줄이기 위해 본 연구에서는 일반화된 머리전달함수(generalized HRTF)를 사용하였다. 이러한 방법을 이용한 입체음 생성은 실제 시스템에서 공간 정보를 청각적으로 제공하기 위해 음원의 모든 가능한 위치에 스피커를 구축해야 하는 비용과 설치의 한계를 극복하면서 이미 사용하고 있는 헤드폰 같은 2채널 장비를 그대로 이용 가능한 이점이 있다.

실험1에서는 목표자극의 출현에 대한 빠른 공간적 반응을 요구하는 과제로, 실험2에서는 목표자극을

방해자극과 구별하여 반응하는 과제제로 수행되었으며, 두 가지 실험 모두에서 목표물의 공간적 정보를 시각적으로만 제시하는 조건, 청각적으로만 제시하는 조건, 이중감각 연결을 통해 동시에 제시하는 조건, 그리고 이중감각 연결이 불일치하게 제시되는 조건으로 구성되어 그 공간적 반응시간을 비교 분석하였다.

II. 실험 1: 목표물 공간탐지과제

실험1은 시각과 청각의 두 가지 감각양식과 그 조합으로 제시되는 목표의 공간적 위치를 판단하는 과제를 수행하여, 이들 감각양식에 따른 공간정보의 제시방식 가운데 어떤 것이 더 빠른 주의처리에 용이한지를 검증하기 위해 수행되었다.

2-1 연구 방법

2-1-1 참가자

연세대학교에서 개설된 교양 과목을 수강하는 남녀 13명(남성 8명, 여성 5명; 연령범위 19 - 26세, 평균연령 21세)이 강좌에서 요구하는 이수조건으로 실험에 참가하였다. 참가자들 모두 정상 시력과 청력임을 확인한 후, 실험의 목적을 모르는 상태에서 실험에 참가하였다.

2-1-2 자극 및 장치

모든 실험 과정은 실험에 오염될 수 있는 시각적, 청각적 자극들을 차단하기 위해 어두운 소음실(soundproof booth)에서 수행되었다. 실험참가자는 가능한 편안한 자세로 의자에 앉아 정면 약60cm 거리에 설치된 17인치 평면 모니터를 통해 시각적 자극을 제시 받았으며, 높이 조절이 가능한 턱 받침대에 턱을 고정하여 시선을 정면으로 유지하도록 지시 받았다. 청각적 자극은 머리에 착용하는 밀폐형 모니터링 헤드폰 Sennheiser® HD 25 SP1을 통해 제시되었다.

실험에 사용된 자극은 앞, 뒤, 좌, 우를 신호하는 공간적 시각 목표자극과 청각 목표자극으로 구성되었다. 화면 가운데 응시점(+)을 중심으로 네 방향에 나타날 시각 목표자극(visual target)은 별표(★)이고, 청각적 목표자극(auditory target)은 Csound에 의해 만들어진 정현파 단음(sine wave tone; 80dB, 500ms)을 HRTF 필터를 통해 변환하는 소프트웨어에서 네 방향(앞, 뒤, 좌, 우)의 소리(file type: 44,100Hz, 16-bit, Stereo, wave file)로 생성하였다.

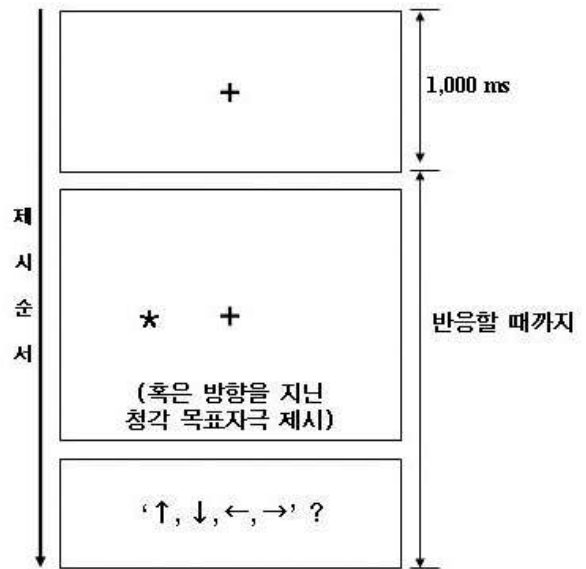


그림 2. 실험 1에 사용된 단일시행의 도식적 절차
Fig. 2. A Schematic Procedure of a Single Trial in Experiment 1.

2-1-3 설계 및 절차

실험1은 목표자극의 감각양식의 조합에 따른 요인(시각 목표자극 단일 제시 조건, 청각 목표자극 단일 제시 조건, 시각과 청각 목표자극 동시 제시 일치 조건, 시각과 청각 목표자극 동시 제시 불일치 조건) 네 수준의 단일 요인 반복측정을 네 블록 실행하는 것으로 설계되었고, 총 48회 시행을 네 번 반복하여 192회 시행으로 구성되었다. 이것은 독립변인의 각각의 수준에서 목표 자극의 공간적 위치4가지와 시각 및 청각 목표자극의 조합을 통해 계산된 전체 시행이다.

실험1에 사용된 단일 시행의 절차는 먼저 컴퓨터 화면 중앙에 응시점(fixation point)이 1,000ms동안 제

시된 후 사라지고, 응시점을 중심으로 앞, 뒤, 좌, 우 가운데 한 곳에 무선적(randomly)으로 시각 목표자극만 제시되거나, 시각 목표자극 없이 청각 목표자극만 제시되거나, 시각 목표자극과 함께 청각 목표자극이 동시에 제시되었다. 목표가 두 가지 감각양식으로 동시에 제시되는 경우는 공간적 위치가 일치되게 제시되거나 불일치하게 제시되었다. 각 조건의 제시순서는 무선적으로 통제되었으며, 실험 참가자는 목표자극이 나타나면 가능한 빠르고 정확하게 그 위치를 판단하여 각 위치에 해당하는 키를 누르도록 지시받았다. 실험의 결과를 분석하기 위해 참가자가 각 위치에 해당하는 키를 누르는데 걸린 반응시간을 종속측정치로 기록하였다(그림 2).

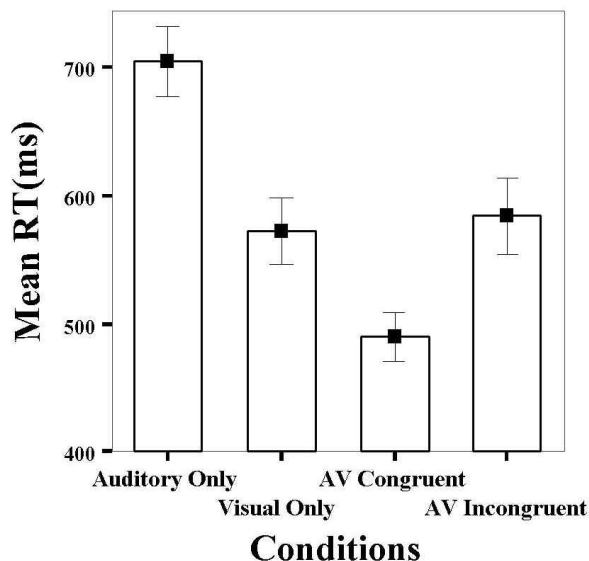


그림 3. 실험 1에서 제시된 네 가지 공간정보 제시 조건에 따른 목표추적 반응시간(ms)

Fig. 3. Mean Response Time of Target Detection according to Four Conditions of Spatial Information Display in Experiment 1.

2-2. 결과 및 논의

분석 절차는 목표자극의 감각양식의 조합에 따른 요인(시각 목표자극 단일제시조건, 청각 목표자극 단일제시조건, 시각과 청각 목표자극 동시제시 일치조건, 시각과 청각 목표자극 동시제시 불일치조건) 네 수준으로 하는 단일요인 반복 측정 설계 방법에 의해 변량 분석(ANOVA)되었다. 그림 3에서 볼 수

있듯이, 전체적인 수행에서는 이중감각 동시제시 일치조건(Auditory & Visual Congruent; Mean = 490.04, SD = 67.90)에서 다른 공간정보 제시조건들에 비해 가장 빠른 반응시간을 보였고, 그 다음은 시각 목표자극 단일제시조건(Visual Only; Mean = 571.96, SD = 93.30)과 이중감각 동시제시 불일치조건(Auditory & Visual Incongruent; Mean = 583.61, SD = 105.75), 마지막 청각 목표자극 단일제시조건(Auditory Only; Mean = 703.67, SD = 98.02) 순으로, 네 가지 공간정보 제시조건들 사이에 전반적인 차이가 통계적으로 유의미하게 나타났다($F(3, 36) = 52.94$, $MSe = 1,903.31$, $p < .001$). 이 가운데 각 조건간의 통계적인 차이는 시각 목표자극 단일제시조건 (visual Only)과 이중감각 동시제시 불일치조건 (Auditory & Visual Incongruent)에서만 나타나지 않고($F(1, 12) = .87$, $MSe = 3,707.28$, $p = .370$), 모든 조건 쌍에서 나타났다.

이러한 결과는 네 가지 공간정보 제시조건 가운데 청각자극과 시각자극이 일치하는 공간을 동시에 제시하는 경우가 가장 빠른 반응을 이끌어 낼 수 있음을 의미하는 것으로, 고속의 전투기 조종이나 차량 운전의 준각을 다루는 상황에서 주의를 효율적으로 사용할 수 있는 공간정보 제시방식으로 적합하다는 것을 지지하는 결과이다. 이것은 이중감각의 통합적 처리를 담당하는 우리 뇌의 신경생리학적 기제가 이중감각 정보의 주의처리를 용이하게 하는 효과와 일치하는 것이다. 시각적 정보만 제시하는 것보다 청각적으로 함께 제시하는 것이 중복되는 정보로 인한 부담이 될 수 있다는 우려에 대해서는 시각 목표자극 단일제시조건과 이중감각 동시제시 불일치조건에서의 차이가 통계적으로 유의미하지 않음을 통해 나타나듯이, 공간정보가 서로 불일치하는 경우에도 시각적 정보를 손상시키지 않는 것으로 나타났다. 이것은 주의의 분산보다는 필요한 단일 감각양식에 해당되는 정보만을 선택적으로 처리하기 때문에 큰 충돌이 없고, 이중감각 연결(crossmodal link)의 공간정보제시가 다양한 분야의 레이더(RADAR)같은 목표추적시스템에 적용되는데 적합할 수 있음을 제안하는 근거가 된다.

III. 실험 2: 목표물 공간탐지 및 식별과제

실험2는 실험1에서처럼 목표의 공간적 위치만 판단하여 반응하는 것이 아니라 제시되는 정보가 목표 자극인지, 방해자극인지 여부를 확인하는 과제가 포함되어 실제 전투기 목표추적시스템에서 목표물과 비목표물 간의 식별상황에서의 이중감각 정보제시의 주의처리 용이성 효과를 검증하기 위해 수행되었다.

3-1 연구 방법

3-1-1 참가자

연세대학교에서 개설된 교양 과목을 수강하는 남녀 8명(남성 3명, 여성 5명; 연령범위 19 - 25세, 평균연령 20세)이 강좌에서 요구하는 이수조건으로 실험에 참가하였다. 참가자들 모두 정상 시력과 청력임을 확인한 후, 실험의 목적을 모르는 상태에서 실험에 참가하였다. 실험2의 참가자는 실험1에는 참가한 적이 없는 참가자들로 구성되었다.

3-1-2 자극 및 장치

실험에 사용된 모든 장치는 실험1과 동일한 조건에서 실시되었으며, 자극 또한 실험1과 동일한 시각 목표자극과 청각 목표자극을 사용하였다. 실험2에서 실험1과 달리, 방해자극을 추가함으로써 제시되는 정보가 무엇인지를 식별하는 과제(identification task)가 추가되었는데, 시각 방해자극(visual distractor)으로는 원형 표시(O)가, 청각 방해자극(auditory distractor)으로는 음색(timbre)에서 차이가 있는 종소리(bell tone)가 각각 사용되었다.

3-1-3 설계 및 절차

실험2는 실험1과 기본적으로 동일한 설계와 절차로 진행되었다. 실험2에서는 추가적으로 방해자극을 제시하여 실험 참가자들로부터 제시된 자극이 목표 자극인지 방해자극인지를 판단하여 목표자극일 경우는 해당되는 방향키를 빠르게 누르고, 방해자극일

경우는 방향에 관계없이 네 방향의 가운데 위치한 숫자 5키를 가능한 빠르게 누르도록 지시하여, 그 반응시간을 종속측정치로 기록하였다(그림 4).

그림 4. 실험 2에 사용된 단일시행의 도식적 절차

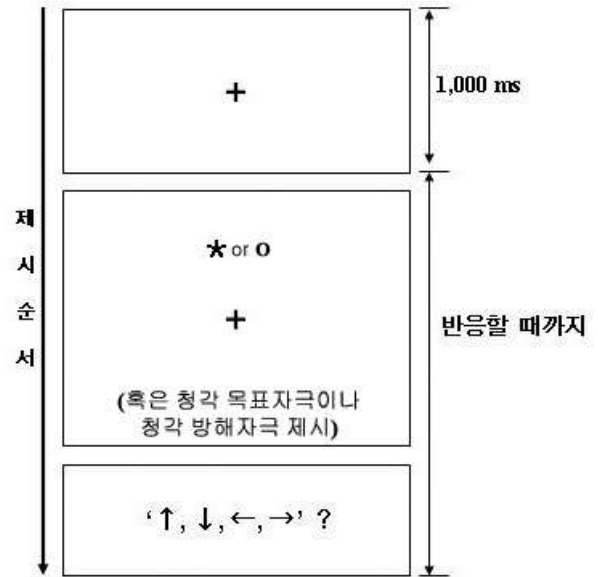


Fig. 4. A Schematic Procedure of a Single Trial in Experiment 2.

3-2. 결과 및 논의

실험2의 결과 분석절차는 실험1과 마찬가지로 목표자극의 감각양식의 조합에 따른 요인(시각 목표자극 단일제시조건, 청각 목표자극 단일제시조건, 시각과 청각 목표자극 동시제시 일치조건, 시각과 청각 목표자극 동시제시 불일치조건) 네 수준으로 하는 단일요인 반복 측정 설계 방법과 공간정보 제시조건 네 수준에서의 방해자극에 대한 판단을 결과를 각각 분리해서 변량 분석(ANOVA)하였다. 우선 방해자극으로부터 목표자극을 성공적으로 식별하여 적절한 공간적 반응을 보인 사례들에 대한 분석은 그림5에서 그 결과를 볼 수 있다. 전체적인 수행에서 실험1의 결과와 일치하는 것으로, 이중감각

동시제시 일치조건(Auditory & Visual Congruent; Mean = 715.88, SD = 128.40)에서 다른 공간정보 제시조건들에 비해 가장 빠른 반응시간을 보였고, 그 다음은 시각 목표자극 단일제시조건(Visual Only; Mean = 771.76, SD = 109.04)과 이중감각 동시제시 불일치조건(Auditory & Visual Incongruent; Mean =

828.62, SD = 179.92), 마지막 청각 목표자극 단일제시조건(Auditory Only; Mean = 1,039.05, SD = 239.22) 순으로, 네 가지 공간정보 제시조건들 사이에 전반적인 차이가 통계적으로 유의미하게 나타났다($F(3, 21) = 15.33$, $MSe = 10,401.31$, $p < .001$). 이 가운데 각 조건간의 통계적인 차이는 시각 목표자극 단일제시조건 (visual Only)과 이중감각 동시제시 불일치조건 (Auditory & Visual Incongruent)에서는 나타나지 않고($F(1, 7) = 1.05$, $MSe = 24,639.31$, $p = .340$), 시각적 목표자극 단일제시조건과 이중감각 동시제시 일치조건 사이에는 통계적 차이가 나타나지 않았으나 차이를 예상할 수 있는 경향성이 여전히 나타났다 ($F(1, 7) = 4.21$, $MSe = 5,927.77$, $p = .079$).

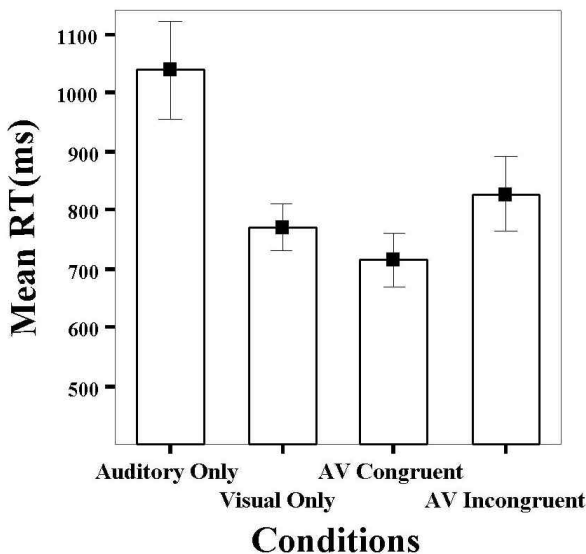


그림 5. 실험 2에서 제시된 네 가지 공간정보 제시 조건에 따른 목표추적 반응시간(ms)

Fig. 5. Mean Response Time of Target Detection according to Four Conditions of Spatial Information Display in Experiment 2.

이러한 결과는 실험2가 실험1과는 달리 목표물의 공간적 정보뿐 아니라 그것이 목표물인지를 식별하는 보다 발생 가능한 현실적 이중과제(dual task)인 경우에도 네 가지 공간정보 제시조건 가운데 청각자극과 시각자극이 일치하는 공간을 동시에 제시하는 경우가 가장 빠른 반응을 이끌어 낼 수 있음을 의미한다. 결과적으로 실험1의 논의에서도 언급한 것처럼, 특수한 상황에서 주의를 효율적으로 사용할 수 있는 공간정보 제시방식으로 이중감각 연결의 주의처리 용이성을 적용하는 것이 적합하다는 것을 뒷받

침하는 결과이다. 또한 그림6의 방해자극에 대한 반응시간 결과에서처럼 대상의 식별에서도 청각적 공간정보 제시가 시각적 공간정보 제시에서의 대상 식별보다 효율적임을 알 수 있다($F(1, 7) = 5.79$, $MSe = 57,349.35$, $p < .05$). 이것은 이중감각의 통합적 처리를 빠른 주의처리뿐 아니라 청각적 제시의 목표식별 용이성 효과까지 적용할 수 있는 측면에서 이중감각 연결(crossmodal link)의 공간정보제시가 목표추적시스템에 적용되는데 적합하다는 것을 제안한다.

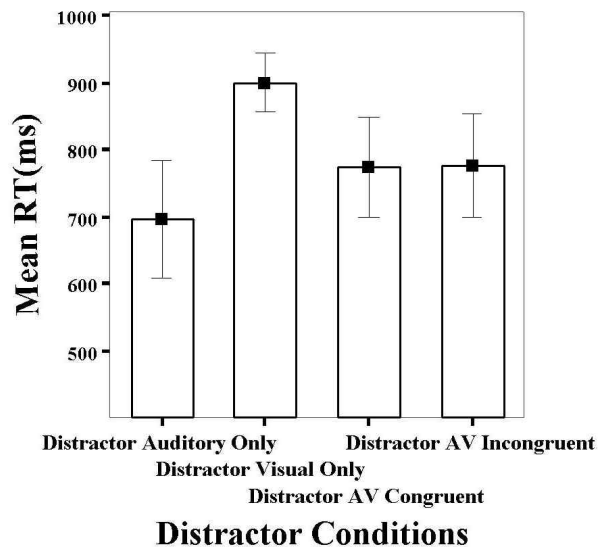


그림 6. 실험 2에서 제시된 네 가지 공간정보 제시 조건에 따른 방해자극 식별 반응시간(ms)

Fig. 6. Mean Response Time of Distractor Discrimination according to Four Conditions of Spatial Information Display in Exp. 2.

IV. 종합 논의

본 연구에서 수행된 두 가지 실험들의 결과를 종합하여 고려해보면, 선택적인 주의처리 상황에서 이중감각의 상호작용이 공간적 정보를 빠르게 처리하는 과제들에서 효과를 보였으며, 이것은 이전의 연구들과 일치하는 결과이다. 또한 대상을 식별하면서 그 공간적 정보를 처리하는 이중과제에서도 그 효과는 존재한다는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 이중감각 연결의 주의효과를 적절한 시스템에 적용한다면 시스템 사용자의 지각과 직무수행에 도움을 줄 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] C. Spence and J. Driver, "Covert spatial orienting in audition: exogenous and endogenous mechanisms," *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, vol. 20, pp. 555-574, 1994.

[2] C. Spence and J. Driver, "Audiovisual links in endogenous covert spatial attention," *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, vol. 22, pp. 1005-1030, 1996.

[3] C. Spence, "Crossmodal attention and multisensory integration," *Proceedings of the 18th International Congress on Acoustics*, April 2004.

[4] E. Macaluso, C. D. Frith, and J. Driver, "Modulation of human visual cortex by crossmodal spatial attention," *Science*, vol. 289, pp. 1206-1208, 2000.

[5] J. J. McDonald, W. A. Teder-Sälejärvi, and L. M. Ward, "Multisensory integration and crossmodal attention effects in the human brain," *Science*, vol. 292, pp. 1791, 2001.

[6] C. Spence and J. Driver, "Audiovisual links in exogenous covert spatial orienting," *Perception and Psychophysics*, vol. 59, pp. 1-22, 1997.

[7] B. U. Seeber and H. Fastl, "On auditory-visual interaction in real and virtual environments," *Proceedings of the 18th International Congress on Acoustics*, April 2004.

[8] E. M. Wenzel, "Three-dimensional virtual acoustics displays," *In M. M. Blattner and R. B. Dannenberg (Eds.), Multimedia interface design*, pp. 257-288, 1992.

[9] D. R. Begault, 3-D sound for virtual reality and multimedia. Chestnut Hill, MA: Academic Press, 1994.

이 주 환 (李周桓)



1997년 02월 : 경상대학교
심리학과(문학사)

2003년 02월 : 연세대학교
심리학과 (인지공학석사)

2007년 08월 : 연세대학교
심리학과 (인지공학박사)

2007년 9월 ~ 2009년 5월 : 영국

University of Oxford, Crossmodal Research Laboratory,
Post-Doc Researcher

2009년 6월 ~ 2010년 2월 : 성균관대학교 인터랙션사이
언스학과 선임연구원

2010년 3월 ~ 현재 : 한독미디어대학원대학교(KGIT)
뉴미디어학부 조교수

관심분야: Human Factors, 인지공학, 다중감각 상호작용,
Augmented Cognition 등