

동공간 거리가 입체시 지각에 미치는 영향*

The effect of inter-pupillary distance on stereopsis

감기택** 이주환***
(Keetaek Kham) (Ju-Hwan Lee)

요약 대부분의 입체 영상 시스템은 양안 시차에 의존하여 대상의 깊이를 제공하고 있다. 동일한 장면을 바라보는 경우 응시대상의 수렴각이나 비응시 대상의 양안 시차는 개인의 동공간 거리에 따라 달라지게 되지만, 대부분의 입체 영상 시스템에서는 동공간 거리와 같은 개인 차이를 고려하지 않고 동일한 영상을 제공한다. 본 연구에서는 개인의 동공간 거리가 입체시 지각에 어떤 영향을 미치는지를 알아보기 위해서 실험 1에서 응시 대상의 지각된 깊이를, 실험 2에서 비응시 대상의 상대적인 깊이를 측정하고 각 조건에서 발생한 개인차가 동공간 거리에 의해서 얼마나 잘 설명될 수 있는지를 살펴보았다. 응시 대상의 지각된 깊이는 응시 대상의 화면시차를 네 단계로 변화시켜 응시 대상과 두 눈에 의해 만들어지는 수렴각을 조작한 후 측정되었고, 비응시 대상의 상대적인 깊이는 양안 시차의 크기를 여덟 단계로 조작한 후 측정되었다. 동공간 거리가 긴 사람은 짧은 사람에 비해 시차로부터 지각되는 깊이가 상대적으로 감소하는 것으로 나타났으며, 회귀 분석결과 지각된 깊이에서의 개인차는 개인의 동공간 거리에 의해서 잘 설명될 수 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 각 개인의 동공간 거리를 고려하여 입체 영상을 생성한다면 주어진 영상으로부터 발생될 수 있는 개인차의 문제를 줄일 수 있음을 시사하며, 본 연구에서 발견된 회귀 함수들은 동공간 거리가 고려된 입체 영상을 생성하는데 유용하게 사용될 수 있다.

주제어 입체시 깊이, 동공간 거리, 삼차원영상 시스템, 인간 요인

Abstracts Most 3D display systems heavily depend on binocular disparity to produce 3-dimensional depth of a scene. In principle, the vergence angle of the object on fixation and binocular disparity of non-fixated objects vary with the inter-pupillary distance(IPD) of the observer. However, most stereo systems provide the identical stereo image pairs regardless of the observers' IPD, which may result in variation in the perceived depth. In this study, we manipulated the vergence angle of the fixated object and binocular disparity of the non-fixated object. The range of the individual difference in the perceived depth was found to be increased with the increase of disparity for both the fixated and non-fixated objects, and the individual difference was well fitted by the regression line of the observers' IPD. These results suggest that individual difference in the perceived depth from the identical stereo images should be greatly reduced if the stereo system calibrates the disparity of the object by the observers' IPD in generating the stereo images and the regression line found in this study might be useful in the calibrating the disparity of the images.

Keywords stereoscopic depth, inter-pupillary distance, three-dimensional display system, human factor

* 이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원(KRF-2002-003-H00009)에 의하여 연구되었음.

** 연세대학교, 인지과학 연구소
Center for Cognitive Science, Yonsei University

*** 연세대학교, 심리학과
Department of Psychology, Yonsei University

연구 세부 분야: 실험 심리학, 공간 시각, 인간 요인

교신 저자: 120-749 감기택

주소: 서울시 서대문구 신촌동 연세대학교 인지과학 연구소

전화: 02-2123-3893, Fax: 02-364-2440

e-mail: kham@yonsei.ac.kr

두 눈이 특정 대상을 응시할 때 응시 대상과 다른 깊이
에 있는 대상들의 영상은 두 눈의 각기 다른 위치로 투
사되어 양안 시차(binocular disparity, binocular parallax)가
발생된다. 양안 시차는 대상의 깊이에 관한 양적인
(quantitative) 정보를 제공하는 강력한 깊이 단서들 중의
하나이므로, 대부분의 입체 영상 시스템에서 양안 시차를
이용하여 대상의 깊이를 제공한다. 게임이나 영화와 같은
오락 장면에서 적용되는 입체 영상 시스템은 대상들의
대략적이고 상대적인 깊이를 제공하면 충분하지만, 대상
들의 거리를 정확하게 재현해야 하는 장면들에도 입체
영상 시스템을 적용하려는 시도들이 있다. 예를 들어, 원
격 수술(Nakajima, Masamune, Sakuma & Dohi, 2001)이나
원격 조정(Halme, Suomela & Savela, 1999) 장면에서 시각
적 인터페이스로서 입체 영상 시스템이 제안되고 있다.

입체 영상 시스템의 적용 분야는 다양해질 것이며 이
에 따라 보다 정확한 깊이를 제공해야 하는 분야에도 확
대될 것으로 예상된다. 입체 영상 시스템으로부터 정확한
깊이를 제공하기 위해서는 주어진 깊이 단서로부터 지각
되는 대상의 공간상에서의 깊이 혹은 절대적인 깊이가
어떻게 변화되는 지가 파악되어야 한다. 이는 다양한 크
기의 깊이 단서를 제공한 후 관찰자들이 해당 크기의 단
서를 가진 대상이 어느 정도의 깊이에 있는 것을 지각하
는지를 파악하고 그 평균값을 이용하여 두 변인 사이의
관계를 수립할 수 있지만, 각 개인에게서 발생할 수 있는
개인차 변인을 발견하고 이를 교정할 수 있다면 두 변인
사이의 보다 정확한 깊이 관계를 수립할 수 있다.

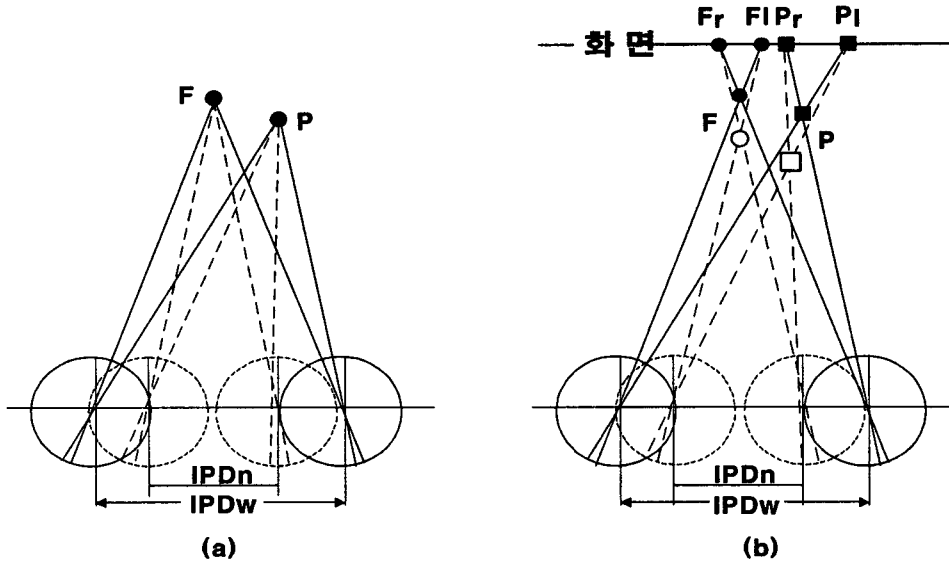
양안 시차의 크기는 개인의 동공간 거리에 비례하므로
(Cormack & Fox, 1985), 대상의 깊이를 제공하기 위해 양
안 시차를 주로 이용하는 입체 영상 시스템에서 우선적
으로 고려할 수 있는 개인차 변인은 각 개인의 동공간 거
리이다. 실제 환경 속에 주어진 대상을 바라보는 경우와
입체 영상 시스템에서 제공되는 영상을 바라볼 때 각 개
인의 동공간 거리에 의해서 어떤 차이가 있는 지를 살펴
보자. 그림 1의 (a)는 환경 속에 두 점 F와 P가 놓여져 있
을 때 동공간 거리가 넓은 사람과 좁은 사람에 따라 대상
과 두 눈이 이루는 각도가 달라지고 있음을 기하학적으
로 보여주고 있다. 즉, 동공간 거리가 넓은 사람의 경우
두 눈과 응시 대상이 이루는 수렴각(vergence angle)은 동
공간 거리가 좁은 사람보다 더 큰 것을 기하학적으로 보
여주고 있다. 점 F의 수렴각과 점 P의 수렴각의 차이로
표시할 수 있는 점 P의 양안 시차는 개인의 동공간 거리
에 비례하므로 동공간 거리가 커질수록 비응시 대상의
양안 시차도 커지게 된다. 응시 대상의 수렴각이나 비응
시 대상의 양안 시차는 개인의 동공간 거리에 따라 그 크

기가 변화되는 데 반해 입체 영상 시스템에서는 개인의
동공간 거리와 무관하게 동일한 영상이 주어진다. 그림 1
의 (b)는 입체 영상이 주어졌을 때 개인의 동공간 거리에
따라 동일한 양안 시차를 가진 대상의 깊이가 달라질 수
있음을 기하학적으로 보여주고 있다.

왼쪽과 오른쪽 영상의 화면 시차(screen disparity)를 이용하여 깊이를
제공하는 입체 영상 시스템에서 중요한 깊이단서는 응시
대상의 화면 시차와 비응시 대상의 양안 시차이다. 응시
하는 대상은 두 눈의 중심좌로 투사되므로 응시 대상의
시차와 무관하게 망막상에서의 시차는 없어지게 되지만
응시 대상의 영상을 중심좌로 투사되도록 하기 위한 두
눈의 수렴 정도는 수렴각을 변화시킨다. 망막외적
(extraretinal) 깊이 단서인 시선 수렴은 응시대상의 깊이에
대한 정보를 제공할 뿐만 아니라(van Damme & Brenner,
1997; Mon-Williams & Tresilian, 1999, 2000), 양안 시차로
부터 비응시 대상의 상대적인 깊이를 계산하는 과정(깊
이 축척화: depth scaling)에도 이용되므로(Johnston, 1991;
Rogers & Bradshaw, 1993; Foley, 1980; van Damme &
Brenner, 1997), 응시 대상의 화면 시차는 우선적으로 고
려되어야 한다. 두 번째로 고려되어야 할 깊이 정보는 응
시 대상과의 상대적인 깊이를 제공하는 양안 시차이다.
비응시 대상의 양안 시차는 화면에 포함된 대상들이 응
시 대상과 상대적으로 어느 정도 떨어져 있는 지에 대한
정보를 제공한다. 따라서 입체 영상의 한 장면에 주어진
각 대상의 다양한 깊이는 응시점의 화면 시차에 의한 깊
이와 비응시 대상의 양안 시차에 의한 깊이의 합으로 계
산될 수 있다.

응시점까지의 깊이는 응시 대상의 수렴각(van Damme
& Brenner, 1997; Mon-Williams & Tresilian, 1999)뿐만 아
니라, 수직시차(vertical disparity)나 조망(Rogers &
Bradshaw, 1993; Bradshaw, Glennerster, & Rogers, 1996),
조절(accommodation) (Mon-Williams, Tresilian & Roberts,
2000), 표면결(texture)(Johnston, cumming, & Parker, 1993;
Frisby 등, 1995)등 여러 단서들로부터 구해질 수 있다. 그
러나, 일반적인 입체 영상 시스템에서는 위에 기술한 복
합적인 깊이 정보에 의해서 대상의 깊이를 제공하지 않
으므로 응시 대상의 시차와 비응시 대상의 양안시차에

2) 화면 시차(screen disparity)는 화면에 제시된 입체 영상에서
왼쪽 상과 오른쪽 상의 위치차이를 나타낸다. 화면 시차가
주어지더라도 그 대상을 응시하게 되면 망막 상에서는 시차
가 발생하지 않지만 두 눈의 수렴각에는 변화를 주어 지각
된 깊이를 변화시킨다. 응시 대상과의 상대적인 위치 차이
인 양안 시차는 응시 대상의 화면 시차와 비응시 대상의 화
면 시차의 차이로 표시할 수 있다. 본 연구에서 응시 시차
는 응시 대상의 화면 시차를, 양안 시차는 응시대상과 비응
시 대상의 화면 시차의 차이를 말한다.



(그림 1) 환경에 놓여져 있는 두 점을 바라볼 때와 입체 영상으로 주어진 두 점을 바라볼 때 동공간 거리에 따른 차이. (a) 실선으로 표시된 두 눈을 가진 동공간 거리가 넓은 사람(IPDw)과 점선으로 표시된 두 눈을 가진 동공간 거리가 좁은 사람(IPDn)이 두 대상을 바라보고 있는 상황을 도식적으로 표시한 것으로 두 눈과 대상에 의해 만들어지는 수렴각이 개인의 동공간 거리에 따라 각기 다르다는 것을 보여준다. (b) 동일한 시차가 주어진 입체 영상을 바라보는 경우에도 동공간 거리에 따라 지각되는 대상의 깊이가 달라질 수 있음을 기하학적으로 보여주고 있다.

의해 지각되는 깊이에 초점을 맞출 것이다.

위에서 기술한 바와 같이 영상의 시차에 의해 깊이가 제공될 때 지각되는 대상의 깊이는 각 개인의 동공간 거리에 따라 변화될 가능성이 있다. 본 연구에서는 응시 대상과 비응시 대상의 지각된 깊이에서 발생하는 개인차가 개인의 동공간 거리에 의해서 어느 정도를 설명할 수 있는지를 확인해 보았다. 만약, 동공간 거리가 개인차 변산의 많은 부분을 신뢰롭게 설명할 수 있다면 개인의 동공간 거리를 고려한 입체 영상을 제공함할 수 있고, 이로써 동일한 영상을 제공했을 때 발생할 수 있는 개인차의 상당 부분을 제거할 수 있을 것으로 기대할 수 있다. 이를 위해서 실험 1에서는 두 대상의 상대적인 양안 시차를 고정시킨 채 응시 대상의 화면 시차를 변화시키면서 이 대상의 지각된 깊이가 개인의 동공간 거리에 따라 어느 정도 변화되는 지를 살펴보고, 실험 2에서는 특정 화면 시차 조건에서 비응시 대상의 양안 시차를 변화시키면서 비응시 대상의 깊이가 개인의 동공간 거리에 따라 변화되는 양상을 살펴보았다.

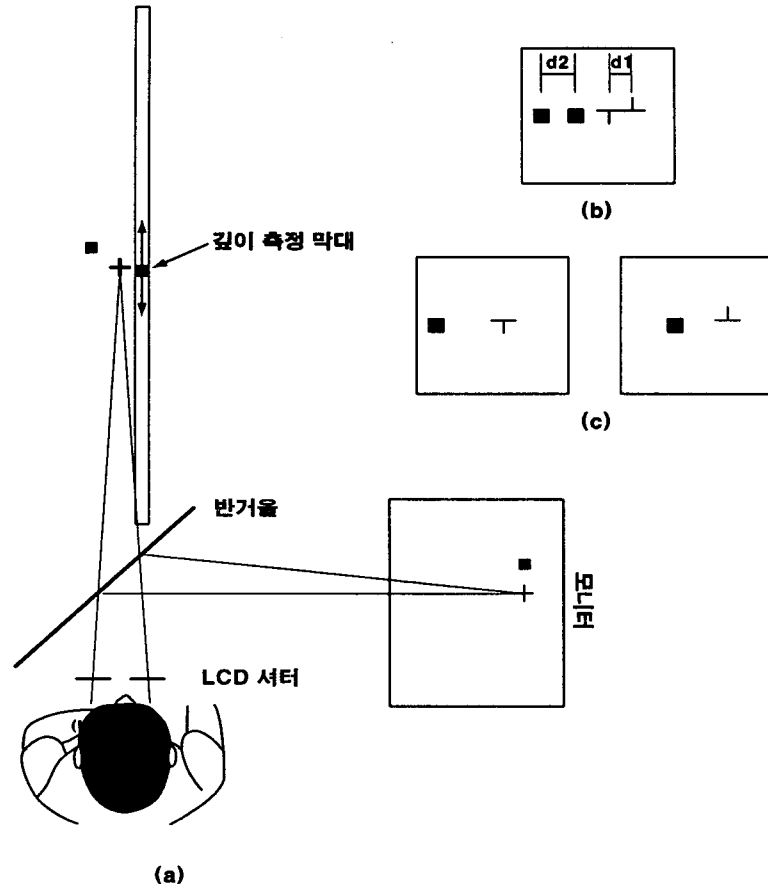
1. 예비 실험: 동공간 거리 측정

본 연구에서는 각 개인의 동공간 거리를 정확하게 측정하는 것이 매우 중요하다. 따라서, 참가자의 눈 아래에

자(scale)를 두고 단순히 그 눈금을 읽는 Victorin 방법(Sasiemi, 1975를 볼 것)은 참가자의 눈 운동에 의한 편파나 측정하는 사람의 부정확성 때문에 오차가 발생할 수 있다. 이러한 오차들을 최소화하기 위해 디지털 카메라를 이용하여 참가자의 얼굴 영상을 얻고 이 영상을 이용하여 동공간 거리를 측정하는 방법을 사용하였다. 먼저, 실험 참가자들의 턱과 이마를 고정시킨 채 5m 거리의 한 점을 응시하도록 한 다음 고 해상도 디지털 카메라를 이용하여 참가자들의 얼굴 영상(해상도 1280 x 960)을 얻었다. 이 영상을 컴퓨터 프로그램을 통해 화면에 불러들인 다음, 각 영상에서 각 눈의 동공에 해당되는 곳에 마우스로 점을 찍은 후 두 점사이의 거리를 화소 단위로 측정하고 이 측정값을 mm 단위로 변환시켰다. 주어진 영상의 해상도에서 한 화소는 약 0.3 mm에 해당되었다. 26명의 참가자들의 동공간 거리를 측정한 결과 평균이 63.8mm 이었고 표준편차는 3.8mm 였다.

2. 실험 1: 응시대상의 시차에 따른 깊이 지각에서 동공간 거리의 영향

응시 대상의 깊이에 영향을 주는 수렴각이 개인의 동공간 거리에 의해 변화될 수 있음은 잘 알려져 있다. 정선 물리학적 실험에서 동공간 거리에 따른 개인차의 문



(그림 2) 실험에 사용된 장치의 도식적 그림과 입체 그림. (a)는 실험 장치의 도식적인 그림으로 모니터에 제시된 입체 영상이 반거울에 반사되어 두 눈으로 입력되고 있음을 보여주고 있으며, 이 상황에서 관찰자들은 입체 영상이 자신의 정면에 제시된 것으로 지각하게 된다. 관찰자들은 응시 대상과 비응시 대상으로 제시된 십자가와 사각형 각각의 깊이에 측정 막대의 깊이를 일치시킴으로써 두 대상의 깊이를 추정하도록 지시받았다. 실제 화면상에는 왼쪽 상과 오른쪽 상이 매 화면주사 때마다 반복되어 (b)에서와 같이 제시되었지만 LCD 셔터에 의해서 각 영상이 각 눈으로만 투사되도록 하였기 때문에 실제 각 눈에 제시되는 왼쪽 상과 오른쪽 상은 그림 (c)와 같았다. 그림 (b)에서 d1과 d2는 응시 대상과 비응시 대상의 화면상에서의 시차를 나타낸다.

제를 감소시키기 위해서 동공간 거리가 유사한 관찰자를 실험에 참가시키거나(e.g. Rogers 등, 1995), 동공간 거리에 따라 교정된 수렴각을 이용하여 자료를 분석하거나 (Brenner & van Damme, 1998), 모형을 만드는 과정에서 평균적인 동공간 거리를 가정한다(Viguer, Clement & Trotter 2001). 입체 영상에서 동공간 거리에 의해 발생할 수 있는 개인차를 감소시키기 위해서는 동공간 거리에 의한 개인차가 어느 정도인지, 그리고 동공간 거리가 개인차를 얼마나 잘 설명할 수 있는지를 발견해야 한다.

실험 1에서는 수렴각이 변화됨에 따라 지각되는 응시

대상의 깊이를 살펴보고 주어진 수렴조건에서 응시 대상의 지각된 깊이에서의 개인차가 개인의 동공간 거리에 의해 설명될 수 있는 지를 살펴볼 것이다.

방법

관찰자 예비 실험에 참가한 관찰자들 중 무선점 입체 그림(random dot stereogram)이 주어졌을 때 입체 지각에서 이상이 발견된 두 사람을 제외하고 모두 24명의 관찰자가 실험에 참가하였다.

장치 입체 영상은 컴퓨터 모니터에 제시되었으며, 원

쪽 상과 오른쪽 상이 120Hz의 화면 주사 속도로 번갈아 제시되었다. 왼쪽 상이 제시되는 장면에서는 왼쪽 눈의 LCD 셔터만, 오른쪽 상이 제시되는 장면에서는 오른쪽 셔터만 열려서 왼쪽 눈에는 왼쪽 상만이 오른쪽 눈에는 오른쪽 상만이 투사되도록 하였기 때문에 각 눈에 투사되는 영상은 60Hz의 주사 속도로 제시되었다. 입체 그림으로 제시된 자극의 주관적인 깊이는 관찰자들이 중앙 시상면(mid-sagittal plane)에 놓여있는 움직일 수 있는 수직 막대(0.5cm x 32.5cm)의 깊이를 조절함으로써 측정할 수 있도록 하였다. 수직 막대는 반투명의 플라스틱 통 속에 흰색 LED를 두어 입체 그림으로 제시된 자극의 색과 밝기가 유사하도록 만들어졌다. 입체 영상으로 제시된 대상의 깊이를 보다 정확히 측정할 수 있도록 관찰자들은 반거울을 통해 입체 영상을 보았다. 그림 2의 (a)에 제시되어 있는 것과 같이 입체 영상은 관찰자의 우측에 놓여져 있는 모니터에 제시되었지만 관찰자의 정면에 45도 각도로 놓여있는 반 거울을 통해 바라보면 관찰자의 정면에 있는 것으로 지각된다. 깊이 조절 막대는 물리적으로 정면에 놓여있었기 때문에 입체 영상과 깊이 조절 막대를 동일 공간에서 비교할 수 있었다. 모니터에서 반거울을 거쳐 두 눈에 이르는 광학적 거리는 175cm이었기 때문에 관찰자의 175cm 정면에 입체 영상 화면이 있는 것과 유사한 상황이었다. 수직 막대는 탁자 위의 레일에 올려져 있었는데, 이 레일에는 센티미터 줄자가 붙여져 있어 관찰자가 추정한 자극의 깊이를 실험자가 읽을 수 있도록 만들어져 있었다.

자극 눈 운동에 의한 영향을 최소화하기 위하여 (그림 2)의 (c)에 제시되어 있는 것과 같이 왼쪽 상에서는 수평선 (시각으로 0.75분 x 7.5분) 아래쪽으로, 오른쪽 상에서는 수평선 위쪽으로 수직 막대 (3.75분 x 0.75분)를 제시하고 이를 응시 대상으로 사용하였다. 두 눈이 응시점을 정확히 바라보면 십자형태로 보이지만, 응시점을 정확히 바라보지 못하면 두 눈에 제시된 수직 막대의 정렬(alignment)이 깨어지게 되므로 각 눈이 응시점을 정확히 응시하고 있는 지를 파악할 수 있도록 하였다. 응시점을 정확히 응시했을 때 (그림 2)의 (b)에 나타나 있는 d1은 수렴각에 영향을 미친다. 수렴각에 의한 응시점의 깊이 변화를 조작하기 위해서 응시점의 화면 시차인 d1의 간격을 시각으로 -7.5, 7.5, 22.5, 37.5분의 네 단계로 변화시켰다. 부가적으로 비응시 대상의 지각된 깊이와 지각된 깊이에서 동공간 거리의 영향을 살펴보기위해 밝기가 54 cd/m² 인 사각형(7.5분 x 7.5분)이 응시점의 왼쪽에 제시되었다. 사각형의 밝기는 반거울과 LCD 셔터를 통하면서 감소해서 각 눈으로 투사될 때는 2.8 cd/m² 이었다. 응시

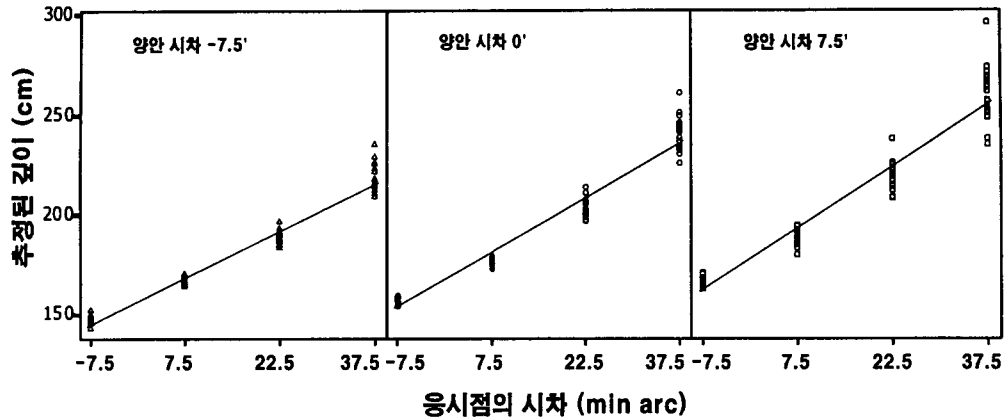
점의 화면시차(d1)와 비응시 대상의 화면 시차의 차이(d2)로 표시할 수 있는 비응시 대상의 양안 시차는 시각으로 -7.5, 7.5분의 두 수준으로 제시되었다. 음수로 표시된 시차는 왼쪽 눈에 제시된 영상이 오른쪽 눈에 제시된 영상보다 오른쪽에 제시된 교차 시차를, 양수로 표시된 시차는 이와 반대로 제시되는 비교차 시차를 각각 나타낸다.

절차 실험에 앞서 양안 시차에 의한 깊이 지각에 이상이 있는 지를 알아보기 위해 무선점 입체 그림쌍을 제시하였다. 입체 안경을 통해 보았을 때, 작은 점들로 구성된 큰 사각형 안쪽에 놓여진 작은 사각형이 튀어나와 있거나 들어가 있는 두 종류의 무선점 입체 그림을 제시하고, 이를 정확히 볼 수 있는 지를 확인하기 위해 안쪽에 있는 도형의 모양과 깊이를 물어보았다. 입체 지각 이상을 확인한 후 본 연구의 실험 환경에 익숙해지도록 하기 위해서 네 번의 연습 시행을 실시하였다. 각 연습 시행의 절차는 본 시행의 절차와 동일하였다. 각 시행에서는 먼저 각 눈에 ‘┌’와 ‘└’로 분리되어 제시된 십자 형태의 응시점이 먼저 나타나면 관찰자들은 수직 막대의 깊이를 조절하여 응시점의 깊이에 일치시키도록 지시를 받았다. 응시점의 깊이 추정이 끝나면, 실험자에 의해서 응시점과 -7.5나 7.5분의 양안 시차를 가진 사각형이 제시되었고 관찰자들은 수직 막대의 깊이를 조절하여 이후 제시된 사각형 막대의 깊이와 일치시켰다. 이때 관찰자들이 사각형을 응시하면 양안 시차에 의한 사각형의 상대 깊이가 아니라 그 대상의 응시깊이를 측정하는 것이 되므로, 응시점은 십자가에 고정시킨 채 사각형의 깊이를 추정하도록 하였다. 관찰자들이 사각형으로 응시점을 옮기게 되면, 응시점의 정렬이 깨어지게 되므로 관찰자들은 항상 응시점으로 제시된 십자가의 정렬이 일치된 상태에서 깊이를 평가하도록 지시를 받았다. 참가자들은 한 시행에서 응시 대상의 깊이와 비응시 대상의 깊이 각각에 대해 깊이를 추정하였다. 응시 시차는 네 수준으로 변화되었고 비응시 대상의 상대적인 양안 시차는 두 수준으로 변화되었으며, 두 조건의 조합에 의해 만들어진 여덟 조건은 무선적으로 제시되었고 각 조건에서 응시 대상과 비응시 대상의 깊이는 각각 세 번 반복 측정되었다.

결과 및 논의

2.1. 응시 시차에 따라 지각된 대상의 깊이

네 수준의 응시 시차와 두 수준의 양안 시차의 조합에 의해서 만들어진 여덟 개 조건에서 각각 세 번의 반복 측정으로 얻어진 응시 대상과 비응시 대상의 깊이 추정값들의 평균을 해당 조건의 응시 대상과 비응시 대상의 지각



(그림 3) 응시 시차가 변화함에 따라 응시점의 지각된 깊이가 세 수준의 양안 시차 별로 제시되어 있다. 응시 시차와 양안 시차에서 음수로 표시된 것은 교차시차를 양수로 표시된 것은 비교차 시차를 각각 나타낸다.

된 깊이로 삼았다. 주어진 응시 시차 조건에서 응시 대상의 영상은 항상 두 눈의 중심위로 투사되므로 응시 대상의 양안 시차는 항상 영이 된다. 따라서, 응시 대상의 지각된 깊이는 해당 응시 시차 조건에서 양안 시차가 영(zero)인 대상의 깊이로 고려될 수 있다. 이에 따라 응시 대상과 비응시 대상 각각의 추정된 깊이는 모두 네 조건의 응시 시차조건과 세 수준의 양안 시차조건(교차, 비교차, 영시차)에서 지각된 대상의 깊이로 고려되었다. 다시 말해, 교차와 비교차 시차 조건에서 얻어진 대상의 깊이는 비응시 대상의 추정된 깊이이며, 영 시차 조건에서 얻어진 대상의 깊이는 응시 대상의 추정된 깊이를 나타낸다.

응시점의 화면 시차가 커짐에 따라 응시점의 지각되는 깊이 변화를 전반적으로 알아보기 위해 세 수준의 양안 시차 각각에 대해 응시 시차의 변화에 따라 지각된 대상의 깊이를 회귀분석하였다. (그림 3)의 세 패널은 왼쪽부터 각각 교차 시차, 영 시차(응시 대상), 비교차 시차조건에서 대상의 지각된 깊이를 응시 대상의 시차의 함수로 표시해 놓았다. 예상할 수 있는 바와 같이 응시점의 화면 시차가 커짐에 따라 세 양안 시차 조건 모두에서 지각된 대상의 깊이는 증가하였으며, 각 조건에서 얻어진 회귀함수의 설명력은 각각 .97, .96, .94로 매우 높았다. 이는 응시 대상의 수렴각이 그 대상의 절대 깊이를 신뢰롭게 제공할 수 있다는 연구 결과들(van Damme & Brenner, 1997; Mon-Williams & Tresilian, 1999, 2000)과 일치한다.

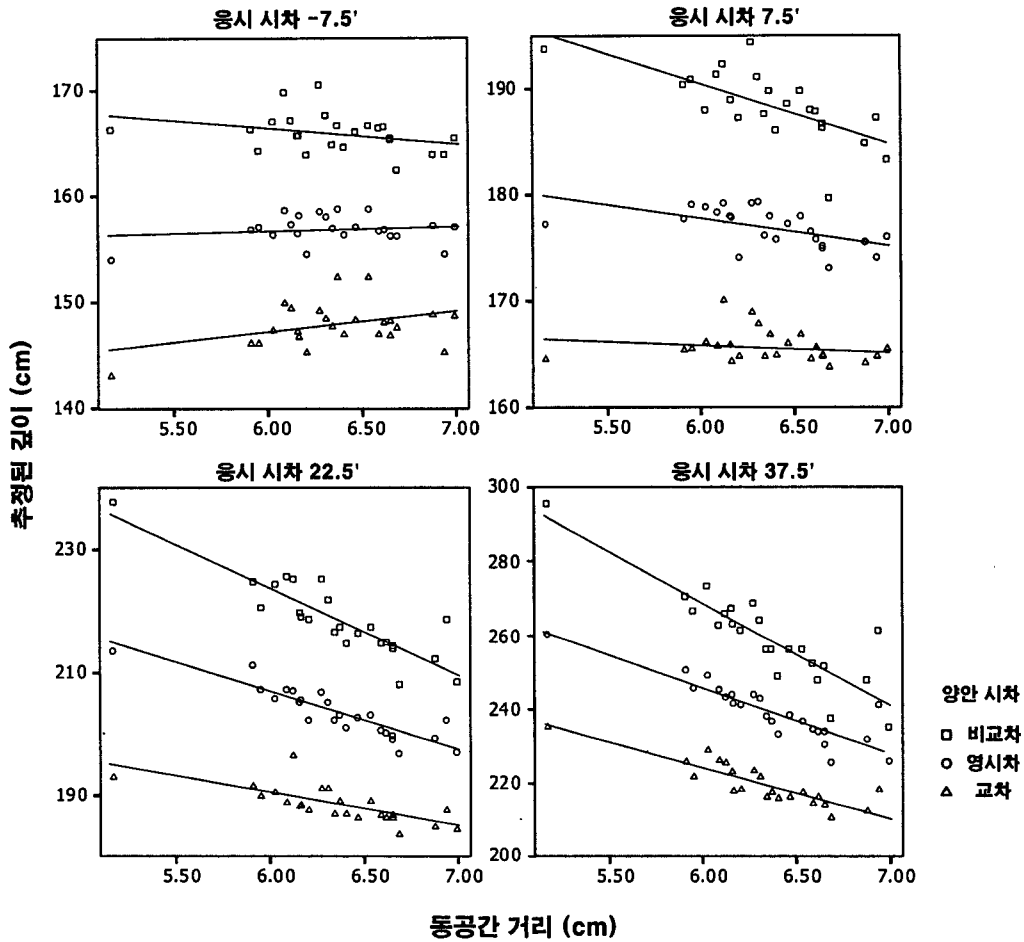
특히, 비응시 대상의 상대 시차는 교차 시차, 비교차 시차 각각 -7.5, 7.5분으로 고정되어 있었지만 응시 시차의 크기가 증가할수록 응시 대상과 비응시 대상의 지각된 깊이 차이는 더 커지는 것으로 나타났다. 즉, 응시 시차가 -7.5분일 때 각 양안 시차조건에서 지각된 깊이차이

는 작지만 응시 시차가 37.5분일 때 각 양안 시차조건에서 지각된 깊이 차이는 큰 것으로 나타났다. 이러한 결과는 동일한 양안 시차가 주어져도 응시 깊이에 따라 지각되는 깊이가 달라짐을 보여주는 것으로 양안 시차의 축척화(Johnston, 1991; Rogers & Bradshaw, 1993; Foley, 1980; van Damme & Brenner, 1997)가 발생하고 있음을 보여준다. 양안 시차에 따른 차이는 실험 2에서 보다 자세히 다루어졌다.

(그림 3)의 세 그래프에서 공통적으로 볼 수 있는 흥미로운 사실은 응시 시차가 증가함에 따라 측정된 대상의 지각된 깊이에서 개인차가 점점 커진다는 것이다. 예를 들어, 응시 시차가 가장 작은 -7.5분일 때 교차, 영시차, 비교차의 양안 시차를 가지는 대상의 지각된 깊이에서 최대값과 최소값의 차이는 각각 9.1cm, 4.8cm, 8.2cm로 개인차가 크지 않았지만, 실험에 포함된 가장 큰 응시 시차인 37.5분 조건에서는 각각 26.1cm, 34.6cm, 60.4cm로 개인차가 점점 확대되는 것을 볼 수 있다. 본 연구에서 주된 관심사인 각 조건에서의 개인차가 개인의 동공간 거리에 의해서 설명될 수 있는 지를 살펴보았다.

2.2. 동공간 거리에 의해 설명될 수 있는 지각된 깊이에서의 개인차

각 조건에서 발견된 개인차들이 개인의 동공간 거리에 의해서 설명될 수 있는 지를 알아보기 위해 동공간 거리를 독립변인으로 하여 각 조건에서 얻어진 대상의 지각된 깊이를 회귀분석하였다. 그림 4에는 네 수준의 응시 시차 조건별로 교차, 영, 그리고 비교차 자극의 지각된 깊이가 각 개인의 동공간 거리의 함수로 나타나 있다. 개인차가 크게 나지 않은 응시 시차 -7.5인 조건에서는 세

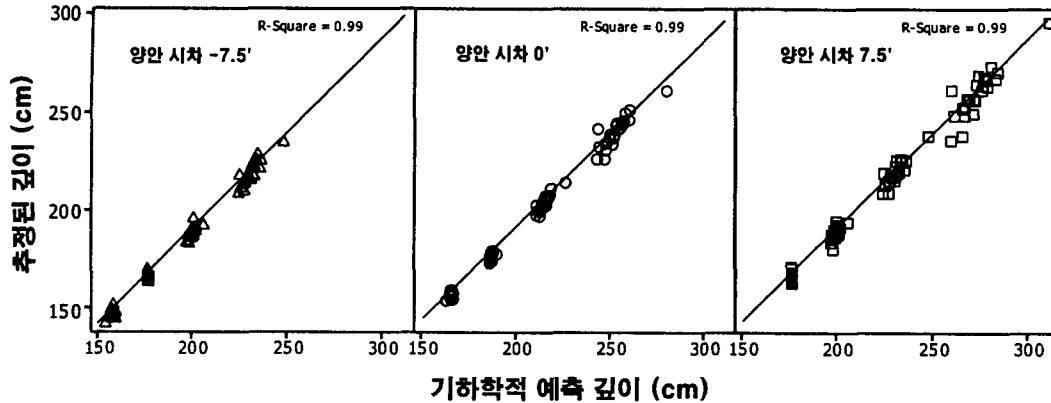


(그림 4) 네 수준의 응시조건 각각에서 얻어진 교차 시차, 영시차, 비교차 시차 자극의 지각된 깊이가 개인의 동공간 거리의 함수로 나타나 있다.

양안 시차 조건 모두에서 동공간 거리의 회귀 계수는 통계적으로 유의하지 않아 동공간 거리가 지각된 깊이에서의 개인차를 적절하게 설명하지 못했다. 그러나, 응시 시차 7.5분인 조건에서는 교차 시차, 영시차, 비교차 시차를 가진 대상의 깊이를 예측하는 회귀함수에서 개인의 동공간 거리의 회귀 계수는 각각 -0.66 , -2.47 , -5.75 로 나타났으며, 교차 시차 조건을 제외하고 나머지 두 시차 조건에서 회귀 계수는 통계적으로 유의한 것으로 나타나 각 개인의 동공간 거리는 지각된 깊이에서의 개인차를 유의하게 설명할 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 그 비교차와 영시차 조건에서 동공간 거리의 설명력은 각각 48%, 29%로 크게 높지는 않았다.

응시 시차가 22.5분과 37.5분인 두 조건 모두에서 교차 시차, 영시차, 비교차 시차를 가진 대상의 깊이에 대한

동공간 거리의 회귀 계수는 통계적으로 매우 유의한 것으로 나타났으며, 각 시차 조건에서 지각된 깊이의 개인차는 동공간 거리에 의해 최소 52%, 최대 81%까지 설명될 수 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 입체시 영상 시스템에서 각 개인의 동공간 거리를 고려함으로써 보다 정확한 영상을 제공할 수 있음을 보여준다. 동공간 거리를 고려함으로써 개인차가 얼마나 감소될 수 있는지를 개인차가 가장 크게 나타난 응시 시차 32.5분의 비교차 시차조건에서 대상의 깊이를 예를 들어 살펴보면 다음과 같다. 동공간 거리를 고려하기 전에 지각된 깊이에서 최대값과 최소값의 차이와 표준 편차는 각각 60.2cm, 12.5cm로 나타났지만, 회귀 방정식으로 예측된 값과 측정된 값의 차이값에서 최대값과 최소값의 차이는 30.7cm, 5.9cm로 평균적으로 약 절반정도 줄어든 것을 볼



(그림 5) 개인의 동공간 거리를 포함하여 실험에 사용된 매개변수들로부터 기하학적으로 예측할 수 있는 깊이와 관찰자들에 의해서 실제 추정된 깊이가 세 수준의 양안 시차 조건별로 제시되어 있다.

수 있다.

화면까지의 거리 (D_{screen}), 화면에서의 시차($dfix$), 그리고 개인의 동공간 거리(IPD)를 알고 있으면 이로부터 그 대상의 깊이를 기하학에 의해 예측할 수 있다. 예를 들어, 특정 시차를 갖고 있는 응시 대상의 깊이를 기하학에 의해서 예측하면

$D_{predicted} = D_{screen} + ((dfix \times D_{screen}) / (IPD - dfix))$ 로 표시할 수 있다.

개인의 동공간 거리를 포함하여 주어진 매개변수들로부터 기하학적으로 예측할 수 있는 깊이와 실험에서 얻어진 지각된 깊이가 어떤 관계에 있는지를 살펴보기 위해서 각 개인의 동공간 거리와 화면까지의 거리(본 연구에서는 175cm) 그리고 각 조건의 시차 값으로부터 기하학적으로 예측할 수 있는 예측 깊이를 구하고 이를 실험에서 얻어진 대상의 추정된 깊이와 회귀분석을 하였다. 그림 5는 그림 3에 제시된 자료를 예측깊이와 관찰자들이 추정한 깊이로 다시 그래프를 그린 것이다. 세 양안 시차 조건에서 모두 예측 깊이에 의한 회귀선의 기울기는 .95이상으로 나타나 관찰자들의 추정치는 입체 영상으로 예상할 수 있는 대상의 공간적 위치와 거의 일치하는 것으로 나타났다. 동공간 거리를 고려한 기하학적 예측 깊이는 실제 지각된 깊이를 잘 반영하는 것으로 나타났다.

3. 실험 2: 응시 시차가 고정된 조건에서 양안 시차에 따라 지각된 깊이의 변화

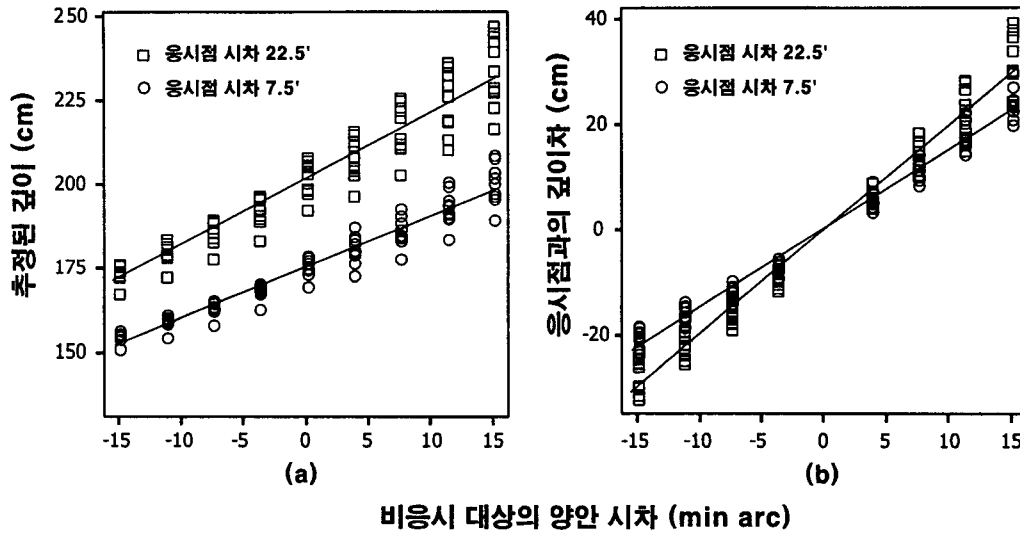
실험 1에서는 응시 시차에 의한 응시점의 깊이 지각에서 나타난 개인차가 각 개인의 동공간 거리에 의해서 잘 설명될 수 있음을 보였다. 또한 양안 시차가 주어진 비응시 대상의 깊이에서도 응시 대상의 지각된 깊이에서 발견

된 개인차와 유사하게 동공간 거리에 따라 달라짐을 보았다. 이는 비응시 대상의 양안 시차에 의한 상대적인 깊이 지각과정에서도 개인의 동공간 거리에 의한 영향이 있을 것임을 예측한다. 실험 2에서는 비응시 대상의 양안 시차에 의한 응시 대상과의 상대적인 깊이 지각에서 개인의 동공간 거리의 영향을 살펴보았다. 실험 1에서는 응시 대상 이외에 -7.5분과 7.5분의 시차를 가진 비응시 대상의 지각된 깊이도 부가적으로 살펴보았지만, 비응시 대상의 양안 시차에 의한 깊이 지각에서 동공간 거리의 영향력을 체계적으로 살펴보기위해 비응시 대상의 양안 시차를 실험 1에서보다 더 세분화하고 더 넓은 범위로 확장시켰다.

방법

관찰자 실험의 목적을 알지 못하는 11명의 학부생과 대학원생이 실험에 참가하였다. 관찰자들의 동공간 거리의 평균은 6.73cm로 실험 1에 참가한 관찰자들의 동공간 거리의 평균과 유사했으며(6.74cm), 5.73cm에서 6.93cm에 이르기까지 고른 분포를 보였다. 실험 1에서와 같이 실험에 앞서 무선점 입체 그림쌍(random dot stereogram)을 이용하여 입체 지각에 이상이 없는지를 확인하였으나 이 과정에서 이상이 발견된 사람은 없었다.

장치와 자극 본 실험에 사용된 실험 장치는 실험 1에 사용된 것과 동일하였으며, 실험 자극도 비응시 대상의 양안 시차를 세분화하고 그 범위를 확대시킨 것을 제외하고는 실험 1과 동일하였다. 비응시 대상의 양안 시차는 3.75분 간격으로 비교차 시차 네 단계, 교차 시차 네 단계로 변화시켜 -15분에서 15분까지의 여덟 수준의 양안 시차가 적용되었다. 응시 대상의 화면 시차는 실험 1에서 사용된 네 수준 중 중간의 두 단계에 해당되는 7.5분과 22.5분의 두 수준으로 고정시켰다.



비응시 대상의 양안 시차 (min arc)

(그림 6) 비응시 대상의 양안 시차에 따라 추정된 깊이. (a)에는 두 응시 시차 조건에서 비응시 대상의 추정된 깊이가 양안 시차의 함수로 제시되어 있고, (b)는 양안 시차에 의한 깊이 변화만을 살펴보기 위해 각 양안 시차 조건에서 추정된 깊이와 응시점과의 깊이차이가 양안 시차의 함수로 표시되어 있다.

절차 실험 1에서의 같이 실험 환경에 익숙해지도록 하기 위해서 네 번의 연습 시행을 실시한 후 본 시행을 실시하였으며 본 실험의 전반적인 절차도 실험 1과 동일하였다. 실험은 모두 세 세션으로 나누어져 있었으며, 각 세션에서는 응시 시차가 두 수준으로 응시점과의 상대적인 양안 시차는 교차 시차와 비교차 시차 각각 네 수준씩 모두 여덟 수준으로 변화되었고 각 조건에서 모두 두 번의 반복 측정이 이루어졌다. 따라서, 세 번의 세션이 끝나면 각 피험자별로 각 조건 당 총 여섯 번의 반복 측정된 값을 얻을 수 있었다.

결과 및 논의

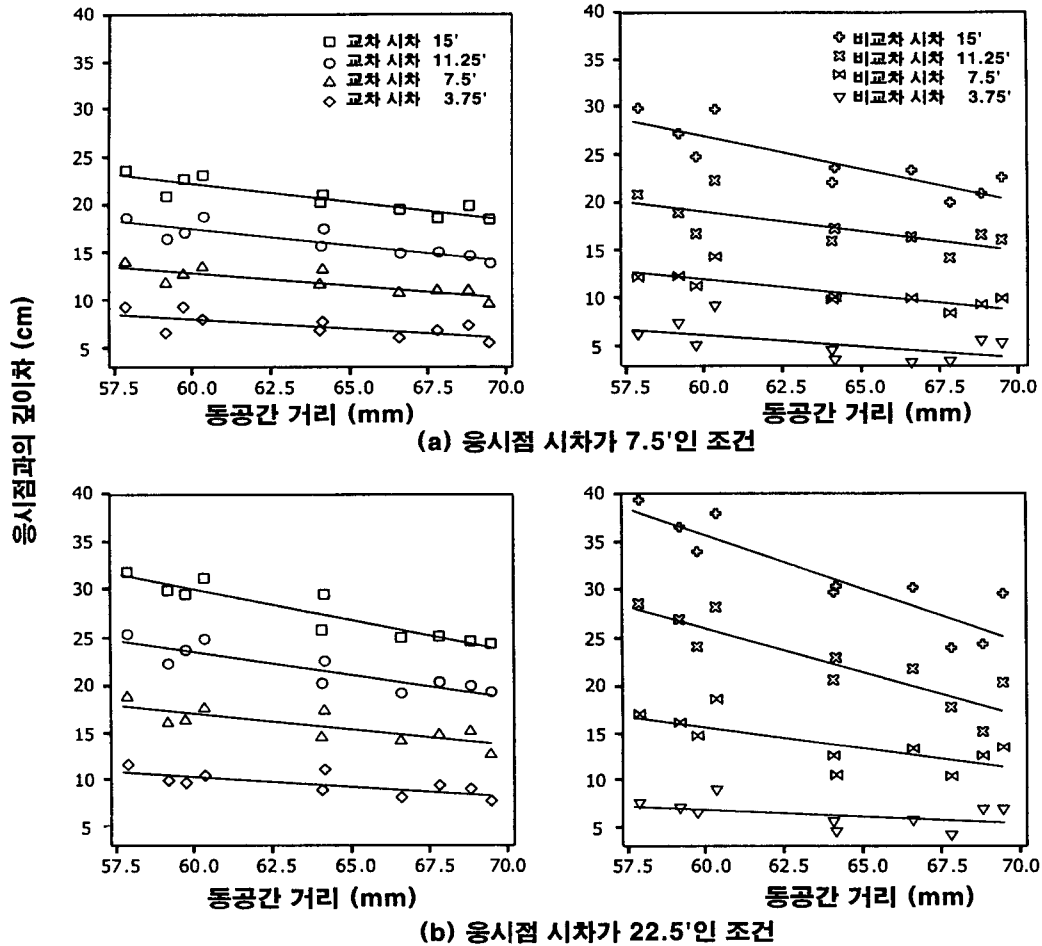
3.1. 상대 시차의 변화에 따라 대상의 지각된 깊이 변화

두 수준의 응시 시차와 여덟 수준의 상대시차의 16개 조건에서 응시대상과 비응시 대상의 주관적 깊이는 각각 여섯 번씩 측정되었다. 응시 대상의 양안 시차는 항상 영이었기 때문에 실험 1에서의 동일하게 응시 대상의 지각된 깊이는 양안 시차가 영인 대상의 깊이로 고려되었다. 따라서, 두 개의 응시시차 조건 각각에서 모두 아홉 개의 양안 시차 조건(교차: 4, 비교차: 4, 영시차)을 가진 대상의 깊이로 분석되었다.

양안 시차가 변화됨에 따라 대상의 지각된 깊이 변화를 전반적으로 알아보기 위해 각 응시 시차 조건별로 양

안 시차의 변화에 따라 대상의 지각된 깊이를 회귀분석 하였고 그 결과가 그림 6의 (a)에 제시되어 있다. 예상할 수 있는 바와 같이 양안 시차가 커짐에 따라 대상의 추정된 깊이가 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다. 이와 더불어 응시 시차가 증가할수록 개인차의 범위가 점점 커지는 것으로 나타난 실험 1의 결과와 유사하게 양안 시차가 커질수록 개인차의 범위도 점점 커지는 것을 (그림 6)의 (a)는 보여주고 있다.

양안 시차가 응시 대상과의 상대적인 시차임을 고려한다면 양안 시차에 의한 깊이에서의 개인차는 응시점을 기준으로 대칭적으로 발생할 것을 예상할 수 있다. 즉 시차의 부호(교차시차 또는 비교차 시차)와 무관하게 시차의 절대값이 커질수록 개인차의 범위가 커질 것을 예상할 수 있다. 이러한 예상과는 달리 그림 6의 (a)는 교차 시차가 커지면 개인차의 범위가 축소되는 것을 보여주고 있는데, 이 결과는 비응시 대상의 절대 깊이로 분석되어 양안 시차에 의한 깊이뿐만 아니라 응시 대상의 응시 시차에 의한 깊이까지가 포함되어 있었기 때문에 발생했을 가능성이 있다. 주어진 시차 정보로부터 깊이를 계산하는 과정에서 동공간 거리가 짧은 사람은 과대 추정을 하게 되고 동공간 거리가 긴 사람은 과소 추정을 하게 된다. 다시 말해 동공간 거리가 짧은 사람은 긴 사람보다 비응시 대상의 깊이를 응시점으로부터 더 멀리 있는 것으로 지각하게 된다. 따라서 교차 시차를 가진 대상의 깊이에서 동공간 거리에 따른 응시 시차와 양안 시차의 효과는



(그림 7) 동공간 거리에 따라 지각된 대상의 상대적인 깊이가 각 양안 시차별로 나타나 있다. (a)와 (b)는 각기 다른 응시 시차조건에서 얻어진 결과를 나타내며, 각 그림에서 왼쪽과 오른쪽 패널은 각각 네 수준의 교차시차와 네 수준의 비교차 시차조건을 나타낸다. 교차 시차 조건에서는 응시점보다 가깝게, 비교차 시점에서는 응시점보다 멀리 지각되지만 각 그래프는 두 조건에서의 깊이 방향과 무관하게 상대적인 깊이의 절대값을 표시하고 있다.

서로 반대 방향으로 나타나 서로 상쇄되므로 추정된 깊이에서의 개인차는 작아질 수 있다. 반면 비교차 시차를 가진 대상의 깊이에서는 동공간 거리에 따른 응시 시차에 의한 효과와 양안 시차의 효과는 동일한 방향으로 나타나므로 추정된 깊이에서의 개인차는 더 커질 수 있다.

양안 시차에 의한 깊이에서 동공간 거리에 따른 개인차의 효과를 살펴보기 위해서는 비응시 대상의 추정된 깊이(절대 깊이)가 아니라 응시 대상과의 상대적인 깊이 즉, 응시 대상과의 깊이차를 이용하여야 한다. 그림 6의 (b)는 양안 시차가 변화함에 따라 추정된 비응시 대상의 깊이와 응시 대상의 깊이차 즉, 상대 깊이에서 동공간 거리에 따른 개인차가 응시점의 깊이를 기준으로 대칭적

로 증가함을 보여주고 있다. 특히, 동일한 양안 시차 조건에서도 응시 시차가 큰 조건에서 깊이차가 더 크게 나타나 응시 시차가 22.5분인 조건에서의 회귀선의 기울기는 응시 시차가 7.5분인 조건에서의 회귀선 기울기보다 더 급한 것을 보여주고 있다. 이러한 결과는 실험 1에서도 볼 수 있었듯이 양안 시차에 의한 깊이 계산과정에서 깊이 축척화 과정이 발생하고 있음을 보여주고 있다.

3.2. 양안 시차에 의한 상대 깊이 지각에서 개인의 동공간거리의 영향

입체 영상에 의해 지각되는 대상의 깊이는 응시 시차에 의한 응시점의 깊이와 양안 시차에 의한 응시점과의

상대적인 깊이의 함으로 나타낼 수 있다. 양안 시차에 의한 상대적인 깊이 효과만을 살펴보기 위해서는 비응시 대상의 추정된 깊이보다 응시 대상과 비응시 대상의 깊이 차이를 이용하여 분석하는 것이 더 타당함을 보였다. 따라서 양안 시차에 의한 상대적인 깊이 지각에서 동공간 거리의 효과를 살펴보기 위해서 응시 대상과 비응시 대상의 깊이 차이를 분석의 대상으로 삼았다.

특정 양안 시차를 가진 대상의 상대적인 깊이에서 발견된 개인차들이 각 개인의 동공간 거리에 의해 어느 정도 설명될 수 있는지를 살펴보기 위해서 각 양안 시차 조건별로 개인의 동공간 거리를 예측 변인으로 삼아 회귀 분석을 하였다. 그림 7의 (a)와 (b)는 각각 응시 시차가 7.5분, 22.5분인 조건에서 얻어진 결과를, 왼쪽 패널과 오른쪽 패널은 각각 교차 시차와 비교차 시차조건에서 얻어진 결과를 보여주고 있다.

그림 6의 (b)에서 본 것과 같이 교차 시차 조건과 비교차 시차 조건 모두에서 양안 시차의 절대값이 증가함에 따라 개인차의 범위는 점점 증가함을 보여주고 있는데, 각 개인의 동공간 거리를 예측변인으로 하여 회귀 분석한 결과, 양안 시차가 증가함에 따라 동공간 거리에 의한 설명력은 증가하는 것으로 나타났다. 예를 들어 응시 시차가 22.5분인 경우 교차 시차가 3.25분에서 15분으로 증가함에 따라 동공간 거리의 설명력은 53%, 63%, 78%, 86%로 증가하였고, 비교차 시차가 3.25분에서 15분으로 증가함에 따라 49%, 52%, 79%, 80%로 증가하는 것으로 나타나 대체적으로 동공간 거리는 양안 시차에 의한 깊이를 잘 설명하는 것으로 나타났다. 또한, 그림 7의 (a)와 (b)를 비교해보면 응시 시차가 커질수록 주어진 양안 시차로부터 지각되는 깊이도 증가하며 개인차의 범위도 점점 커지는 것으로 나타났지만, 동일 양안 시차 조건들을 비교해 보면 동공간 거리에 의한 설명력의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

종합 논의

개인의 동공간 거리가 입체시 지각과정에 어떠한 영향을 주는 지를 살펴보기 위해 실험 1과 실험 2 각각에서 응시 시차에 의해 지각된 깊이와 양안 시차에 의해 지각된 상대적인 깊이를 개인의 동공간 거리에 따라 분석하였다. 두 실험의 결과들은 응시 대상의 깊이와 비응시 대상의 상대적 깊이 모두 개인의 동공간 거리에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다. 즉, 동공간 거리가 긴 사람의 경우 동공간 거리가 짧은 사람에 비해서 주어진 응시 시차나 양안 시차로부터 지각되는 대상의 깊이는 감소하는

것으로 나타났다.

작은 시차가 주어지는 경우 개인차의 범위는 작았고 동공간 거리에 의한 설명력도 작았지만, 시차의 크기가 커질수록 개인차의 범위는 더 커졌으며 동공간 거리에 의한 설명력은 더 커지는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 실용적인 측면에서 매우 중요한 의미를 지닌다. 작은 시차에서 개인차에 대한 동공간 설명력은 낮기 때문에 입체 영상의 시차를 동공간 거리에 의해 교정하는 경우에도 그 효과가 작을 것이지만 개인차가 매우 작기 때문에 크게 문제가 되지 않을 것이다. 이에 반해 시차가 커지면 동공간 거리의 설명력은 매우 높아지기 때문에 동공간 거리에 의해 교정된 입체 영상은 개인차를 효과적으로 감소시킬 수 있음을 시사한다.

본 연구의 결과는 입체 영상으로부터 깊이를 지각하는 과정에서 동공간 거리에 의해 지각된 깊이에서 개인차가 발생할 수 있으며, 이러한 개인차는 입체 영상을 생성하는 과정에서 개인의 동공간 거리에 따라 시차들을 보정해 줌으로써 줄어들 수 있음을 보여주었다. 그러나 본 연구에서는 아주 단순한 두 개의 도형만을 사용하였으며 화면 제시 영역도 작았기 때문에 각기 표면을 가진 여러 대상들이 주어지는 일반적인 입체 영상 시스템에 본 연구결과가 직접 적용되는 데는 제한점이 있을 수 있다. 예를 들어, 화면의 크기에 따라 깊이단서들의 상대적인 효율성은 차이가 난다(Rogers & Bradshaw, 1995). 응시 깊이에 의한 깊이 축척화 과정에서 디스플레이 영역이 10도로 주어지면 수렴각은 거의 100%의 축척화 효과를 보여주지만 디스플레이 영역이 80도로 커지면 수렴각의 영향력은 줄어들고 오히려 수직 시차에 의한 축척화의 효과가 더 커진다. 이러한 결과는 큰 화면에 입체 영상이 제시되면 본 연구에서 얻어진 수렴각에 의한 깊이의 효과는 줄어들 가능성이 있으며 이에 따라 개인차를 교정할 수 있는 동공간 거리의 효과도 줄어들 가능성이 있기 때문이다.

개인차를 교정한 입체 영상을 사용함으로써 얻을 수 있는 부가적인 장점은 실제 환경에서 주어진 장면과 보다 유사한 장면들이 제공될 수 있다는 점이다. 부자연스런 장면이 제공됨으로써 발생하는 눈의 피로감(Hiruma, 1990; Noro, 1993; Ohzu & Habara, 1996)이나 불편감은 실제 환경에서 입력되는 영상과 유사하게 만들어 줌으로써 감소시킬 수 있다(Valyrus, 1966; Ware, Gobrecht, & Paton, 1988).

양안 시차 이외에 운동 시차(motion parallax)와 같은 깊이 단서를 입체 영상에 포함시키려는 시도(Runde, 2000)는 있지만, 거의 모든 입체 영상 시스템은 깊이를 산출하

기 위해 양안 시차에 크게 의존하고 있다. 여러 깊이 단서를 이용하여 입체 영상을 제공하는 시스템이 개발되기 전까지는 동공간 거리가 입체 영상에서 발생하는 개인차를 감소시키는데 매우 유용한 정보를 제공할 것이다. 또한 복합적인 깊이 단서를 이용하는 입체 영상 시스템이 개발되는 경우에도 동공간 거리만큼 개인차를 효과적으로 감소시킬 수 있는 변인을 발견하기는 어려울 수 있다. 왜냐하면 깊이 단서들 간의 상대적인 효율성은 각 개인마다 다르므로(Allison & Howard, 2000; Sato & Howard, 2000) 개인차의 효과를 일괄적으로 교정하기 힘들며, 각 단서의 상대적인 효율성도 수많은 시행을 포함하는 정신물리학적 검사를 통해서 발견될 수 있다. 따라서 개인차를 설명할 수 있는 다른 변인들이 존재하는 경우에도 이를 이용하여 영상을 교정하는 것은 실용적인 측면에서 어려울 것이다. 이에 반해 동공간 거리는 간단히 측정될 수 있으며 특히 동공간 거리는 얼굴 인식과 시스템이 개발되면 보다 간단히 계산될 수 있으므로 그 적용도 용이할 것이다.

동공간 거리에 의해 교정된 입체 영상을 적용하는데 고려해야 할 한 가지 현실적인 요인은 디스플레이 장치의 해상도이다. 본 연구 결과는 동공간 거리에 따라 깊이가 선형적으로 변화됨을 보여주었지만, 동공간의 변화를 얼마나 정밀하게 반영하느냐에 따라 고해상도의 디스플레이가 필요할 수 있다. 실험 2에서 22.5분의 응시 시차 조건에서 실험에 사용된 가장 큰 교차 시차와 가장 큰 비교차 시차를 가진 대상의 깊이에서 개인차는 약 24cm와 29cm로 나타났다. 22.5분의 응시 시차를 가진 대상의 깊이가 평균이 177cm인 것을 고려하면 약 15%정도의 개인차가 발생된 것이다. 15%의 개인차가 교정해야 할 만큼 중요한지는 입체 영상이 사용되는 장면에 달려있다. 실험 2에 포함된 양안 시차의 범위보다 작기 때문에 입체 영상 시스템은 보다 더 큰 양안시차를 제공할 수 있으며 이에 따른 개인차의 범위는 더 커질 것이다. 본 연구의 주된 목적은 입체 영상으로부터 지각되는 깊이에서의 개인차가 동공간 거리에 의해서 설명될 수 있는지를 확인하는 것이다. 따라서 고해상도 디스플레이의 비용을 지불하거나 해당 입체 시스템이 예상되는 개인차를 교정해야 할 만큼의 정밀도를 필요로 하는지에 대한 판단은 시스템 개발자의 몫으로 남겨둔다.

참고 문헌

- Allison, R. S., & Howard, I. P. (2000). Temporal dependencies in resolving monocular and binocular cue conflict in slant perception. *Vision Research*, 40, 1869-1886.
- Bradshaw, M. F., Glennerster, A., & Rogers, B. J. (1996). The effect of display size on disparity scaling from differential perspective and vergence cues. *Vision Research*, 36, 1255-1264.
- Brenner, E., & van Damme, W. (1998). Judging distance from ocular convergence. *Vision Research*, 38, 493-498.
- Cumming, B. G., Johnston, E. B., & Parker, A. J. (1991). Vertical disparities and perception of three-dimensional shape. *Nature*, 349, 411-413.
- Foley, J. M. (1980). Binocular distance perception. *Psychological Review*, 87(5), 411-434.
- Frisby, J. P., Buckley, D., Wishart, K. A., Porrill, J., Garding, J., & Mayhew, J. E. W. (1995). Interaction of stereo and texture cues in the perception of three-dimensional steps. *Vision Research*, 35, 1463-1472.
- Gillam, B., & Lawergren, B. (1983). The induced effect, vertical disparity and stereoscopic theory. *Perception & Psychophysics*, 34, 121-130.
- Halme, A., Suomela, J., & Savela, M. (1999). Applying telepresence and augmented reality to teleoperate field robots. *Robotics and Autonomous System*, 2(6), 117-125.
- Hiruma, N. (1990). Accommodation response to binocular stereoscopic TV images, in *Human Factors in Organizational Design and Management III*, K. Noro and O. Brown, Eds., 233-236.
- Johnston, E. B. (1991). Systematic distortions of shape from stereopsis. *Vision Research*, 31, 1351-1360.
- Johnston, E. B., Cumming, B.G., & Landy, M. S. (1994). Integration of stereopsis and motion shape cues. *Vision Research*, 34, 2259-2275.
- Johnston, E. B., Cumming, B.G., & Parker, A.J. (1993). Integration of depth modules: stereopsis and texture. *Vision Research*, 33, 813-826.
- Mayhew, J. E. W., & Longuet-Higgins, H. C. (1982). A computational model of binocular depth perception. *Nature*, 197, 376-379.
- Mon-Williams, M. & Tresilian, J. R. (1999). Some recent studies on the extraretinal contribution to distance perception. *Perception*, 28, 167-181.
- Mon-Williams, M., Tresilian, J. R., & Roberts, A. (2000).

- Vergence provides veridical depth perception from horizontal retinal image disparities. *Experimental Brain Research*, 133, 407-413.
- Nakajima, S., Masamune, K., Sakuma, I., & Dohi, T. (2001). Development of a 3D display system for surgical navigation, *Electronics and Communications in Japan*, 84(10), 15-24.
- Noro, K. (1993). Industrial application of virtual reality and possible health problems, *Japanese ergonomica*, 29, 126-129.
- Ohzu, H. & Habara, K. (1996). Behind the scenes of virtual reality: Vision and motion, *Proc. IEEE*, 84, 782-798.
- Rogers, B. J., & Bradshaw, M. F. (1993). Vertical disparities, differential perspective and binocular stereopsis. *Nature*, 361, 253-255.
- Runde, D. (2000). How to realize a natural image reproduction using stereoscopic displays with motion parallax, *IEEE Transactions and Systems for Video Technology*, 10(3), 376-386.
- Sasieni, L. S. (1975). *The Principles and Practice of Optical Dispensing and Fitting*, 3rd ed, Butterworths, London.
- Sato, M., & Howard, I. P. (2001). Effects of disparity-perspective cue conflict on depth contrast, *Vision Research*, 41, 415-426.
- Valyrus, N. A. (1966). *Stereoscopy*. London, U. K.: Focal Press.
- van Damme, W. & Brenner, E. (1997). The distance used for scaling disparities is the same as the one used for scaling retinal size. *Vision Research*, 37, 757-764.
- Viguiet, A., Clement, G., & Trotter, Y. (2001). Distance perception within near visual space, *Perception*, 30, 115-124.
- Ware, C., Gobrecht, C., & Paton, M. A. (1998). Dynamic Adjustment of stereo display parameters, *IEEE transactions on systems, Man and cybernetics - Part A: systems and humans*, 28(1), 56-65.

접 수	2003년 6월 30일
게재승인	2003년 9월 20일