

# 동공간 거리와 조절성 수렴이 양안 융합과 응시 깊이에 미치는 효과\*

The effect of inter-pupillary distance and accommodative convergence on binocular fusion and fixational depth

반 지 은\*\*    감 기 택\*\*\*    정 찬 섭\*\*    손 정 영\*\*\*\*  
(Jieun Bahn) (Keetaek Kham) (Chan Sup Chung) (Jung-Young Son)

**요 약** 입체 영상 시스템으로부터 정확하고 자연스러운 깊이를 지각할 수 있도록 하기 위해서는 가능한 한 실제 장면을 바라볼 때와 유사한 영상을 제공해 주어야 한다. 동일한 장면을 바라보는 경우에도 각 개인의 동공간 거리에 따라 주어지는 시차는 달라지게 된다. 본 연구에서는 입체 영상으로부터 삼차원 공간을 지각하는 과정에서 개인차 변인들이 어떠한 영향을 미치는 지를 알아보기 위해서 단 일상으로 지각되는 화면 시차와 양안 시차의 범위, 그리고 응시 대상의 지각된 깊이가 개인의 동공간 거리와 조절성 수렴 정도에 따라 어떻게 변화되는 지를 살펴보았다. 개인의 동공간 거리는 양의 화면 시차와 양안 시차 그리고 응시 대상의 지각된 깊이와 유의미한 상관성이 있는 것으로 나타났다. 보다 구체적으로 동공간 거리가 커질수록 이증상으로 지각되는 화면 시차와 양안 시차의 한계는 작아졌으며, 지각되는 응시대상의 깊이도 줄어드는 것으로 나타났다. 이에 반해 조절성 수렴의 정도와 양의 화면 시차와 양안 시차 그리고 응시 대상의 지각된 깊이들 간에는 유의한 상관관계가 발견되지 않았다. 이러한 결과는 정확한 깊이가 포함된 자연스런 입체 영상을 제공하기 위해서는 각 개인의 동공간 거리가 고려되어야 함을 시사한다.

**주제어** 양안 융합, 입체시 깊이, 동공간 거리, 삼차원영상 시스템, 인간 요인

**Abstract** In order to provide natural images with a specified depth through three-dimensional display system, the stereo images should be similar to those projected from real environment as much as possible. Even when two persons see an identical scene, the binocular parallax between two images of an object varies as a function of one's inter-pupillary distance (IPD). In this study, we investigated whether individual differences, such as IPD and accommodative vergence, would affect the perception of three dimensional scene provided by stereo-images. Results showed that a person's IPD is correlated with the limit of screen and binocular parallax for single vision, and affects the perceived depth of an object on fixation. More specifically, with longer IPD the limit of screen and binocular parallax for single vision is decreased, and the perceived depth is reduced. These results suggest that the screen and binocular parallax of an object should be calibrated with regard to users IPD to provide natural stereo-images with a specified depth and to prevent double vision.

**Keywords** binocular fusion, stereoscopic depth, inter-pupillary distance, three-dimensional display, human factor

\* 본 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의해서 연구되었음(KRF-2002-005-H20001). 본 논문의 세세한 부분까지 지적해 주신 두 분의 심사위원께 감사드립니다.

\*\* 연세대학교 심리학과  
(Department of Psychology, Yonsei University)

\*\*\* 연세대학교 인지과학 연구소  
(Center for Cognitive Science, Yonsei University)

\*\*\*\* 한국과학기술원 영상매체 연구소(Imaging media research

center, Korea Institute of Science and Technology)  
주소 : 120-749 서울시 서대문구 신촌동 연세대학교 인지과학 연구소 감기택

전화 : 02-2123-3893,

Fax : 02-364-2440

e-mail: kham@yonsei.ac.kr

연구 세부 분야: 실험 심리학, 공간 시각, 인간 요인

입체 영상 시스템은 게임 산업과 같은 오락 장면은 물론 원격 조정이나 원격 수술과 같은 전문적인 장면에 이르기까지 그 사용범위는 날로 증가하고 있다. 최근 들어서 편광판(polarized panel), 홀로그래픽 스크린(holographic screen) 등을 사용한 다양한 방식의 삼차원 영상을 제공하는 시스템들이 개발되고 있지만, 이러한 시스템들이 입체감을 제공하기 위해서 공통적으로 적용하는 깊이 단서는 양안 시차(binocular parallax), 즉 각 눈에 제공되는 영상의 위치차이다.

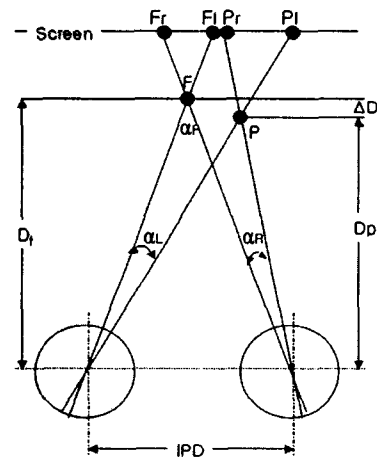
입체 영상 시스템을 통해서 장면을 지각하는 과정은 실제 장면을 지각하는 과정과는 여러 측면에서 다르다. 예를 들어, 실제 환경에서는 두 눈의 수렴(convergence)과 수정체의 두께를 변화시키는 조절(accommodation) 과정 모두는 응시대상과의 거리에 따라 체계적으로 변화된다. 이와 달리, 입체 영상 시스템을 보는 경우 수렴과정은 제시된 영상의 시차에 따라 달라지게 되지만, 눈의 조절은 항상 영상이 제시되는 표면에 맞추어져 있다.

실제 장면과 입체 영상을 지각하는 과정에서의 이러한 차이는 입체 영상을 장시간 본 후에 발생하는 눈의 피로감(Hiruma, 1990; Noro, 1993; Ohzu & Habara, 1996)이나 어지러움과 같은 문제들을 야기할 뿐만 아니라, 영상의 자연스러움이나 현장감이 떨어지게 하고(Sheridan, 1996), 영상의 크기, 위치, 그리고 깊이에서의 왜곡을 발생시키므로(Wickens & Baker, 1995) 정확한 3차원 공간을 지각하는 데 방해 요소가 된다. 이러한 문제점들은 제시되는 입체 영상의 매개변수들을 조정하여 실제 환경에서 입력되는 영상과 유사하게 함으로써 감소시킬 수 있다(Valyrus, 1966; Ware 등, 1988). 그러나 동일한 영상이 주어지는 경우에도 이로부터 지각되는 삼차원 공간은 각 개인 특성에 따라 달라질 수 있기 때문에, 보다 자연스럽게 특정 깊이를 가진 입체 영상을 제공하기 위해서는 개인 특성이 삼차원 공간지각에 어떤 영향을 미치는 지를 살펴볼 필요가 있다.

삼차원 공간지각에 미치는 개인 특성을 살펴보기 전에 입체 영상 시스템으로부터 깊이를 지각하는 일반적인 과정을 먼저 살펴보자. 그림 1은 화면에 각기 다른 화면 시차(screen parallax)를 가진 두 점이 제시된 상황을 도식적으로 보여주고 있다. 이 영상으로부터 다른 깊이에 있는 두 점을 지각하기 위해서는 먼저 두 점 중 하나를 응시하여야 한다. 이 과정은 두 눈의 폭주(vergence)각을 변화시킴으로써 이루어지는데, 왼쪽 눈과 오른쪽 눈이 각각  $F_L$ ,  $F_R$  점을 응시하게 되면 각 점은 각 눈의 중심와(fovea)로 투사되므로 망막에서의 양안

시차(binocular parallax)는 0이 된다. 화면 시차가 주어진 영상이지만 눈운동을 통해 응시하는 대상의 양안 시차를 0이 되게 하여 두 영상이 융합될 수 있도록 하므로 이 과정을 운동 융합(motor fusion)이라고 부른다. 그러나 너무 과도한 화면시차가 있는 경우에는 눈운동을 통한 운동 융합이 일어나기 어렵기 때문에 이중상이 지각된다. 따라서 운동 융합의 한계는 단일상으로 지각할 수 있는 화면시차의 크기를 나타내며, 입체 영상을 준비하는 과정에서 반드시 고려되어야 할 변인이다.

(그림 1)에서 특정 대상 F에 눈을 고정시켰을 때 이 대상과 다른 깊이에 있는 대상 P의 영상은 각 망막의 서로 다른 위치에 투사되어 양안 시차가 발생하며, 그 크기는  $\alpha_L - \alpha_R$ 이다. 점 P의 양안 시차가 Panum의 융합 가능 영역(Panum's fusional area)내에 있으면 양안 시기계에 의해 두 영상이 융합되어 단일상으로 지각될 수 있지만, 점 P의 양안 시차가 너무 커지면 (두 대상의 깊이 차이가 많이 나면) 융합되지 않고 이중상이 지각된다. 양안 시차가 주어진 영상이 양안 시기계에 의해서 융합되기 때문에 이 과정을 눈운동에 의해 융합이 발생될 수 있도록 하는 운동 융합과 구별하여 감각 융합(sensory fusion)이라고 부른다. 감각 융합의 범위는 한 장면에 여러 깊이를 가진 대상들이 동시에 제시될 때 각 대상들이 모두 단일상으로 지각될 수 있는 양안 시차의 한계를 제공해 주므로, 이 변인 역시 입체 영상 시



(그림 1) 깊이가 다른 두 점을 입체 영상 시스템으로 화면에 제시한 상황. 화면의  $F_L$ 과  $P_L$ ,  $F_R$ 과  $P_R$ 은 각각 점 F와 P의 좌 우 영상을 나타낸다. 한 대상(F)을 응시할 때 두 눈은 폭주각  $\alpha$ 만큼의 수렴이 발생하게 된다. 그림에서 IPD는 동공간 거리,  $D_L$ 는 응시 거리이며,  $D_P$ 는 P까지의 거리이고  $\Delta D$ 는 두 대상의 상대적 거리를 나타낸다.

시스템에서 고려해야 한다.

운동 융합이나 감각 융합과정 모두는 각 개인의 동공간 거리에 의해 영향 받을 수 있다. 동일한 화면 시차를 가진 영상이 제시되어도 각 개인의 동공간 거리에 따라 폭주각(vergence angle)이 달라지게 된다. 즉, 점 F를 응시할 때 발생하는 폭주각  $\alpha F$ 는 동공간 거리가 작아짐에 따라 작아지게 되므로 동공간 거리에 따라 운동 융합에 의해 단일상으로 지각될 수 있는 한계가 달라질 수 있다. 점 P의 양안 시차  $\alpha L - \alpha R$ 의 근사치는 다음과 공식으로부터 표시할 수 있다(Cormack & Fox, 1985; Howard & Rogers, 2002).

$$\text{점 P의 양안 시차} \approx \text{IPD} \times \Delta D / D^2$$

이 공식에서 알 수 있듯이 양안 시차의 크기는 각 개인의 동공간 거리에 비례하므로, 각 개인의 동공간 거리에 따라 양안 시차의 크기가 달라지게 되어 감각 융합에 의해 단일상으로 지각될 수 있는 한계도 변화될 수 있다. 실험 1, 2에서는 동공간 거리에 따라 운동 융합과 감각 융합의 한계가 어떻게 변화되는 지를 살펴볼 것이다.

동공간 거리에 따라 응시하는 대상의 폭주각이 변화될 때 한가지 더 고려해야 될 점은 운동 융합에 의해 단일상으로 지각되는 응시하는 대상의 지각된 깊이이다. 입체 영상에 제시된 각 대상의 지각된 깊이는 응시하는 대상까지의 깊이(Df)와 양안 시차에 의해서 제공되는 응시 대상과의 상대적인 깊이( $\Delta D$ )에 의해서 결정된다. 특정 대상과 응시 점과의 상대적인 깊이는 특정 대상이 가진 양안 시차의 부호에 따라 부호를 가진 값으로 표시할 수 있으므로 대상의 지각된 깊이는 응시하는 대상까지의 깊이(Df)와 응시 대상과의 상대적인 깊이( $\Delta D$ )의 합으로 표시 가능하다. 특정 크기의 양안 시차가 주어지는 경우에도 응시하는 대상의 거리에 따라 주어진 양안 시차로부터 지각되는  $\Delta D$ 의 크기는 달라지게 되므로 응시 표면까지의 추정된 깊이가 변화되면 장면에 주어진 대상들의 지각된 깊이가 전체적으로 달라질 수 있으므로 응시점의 지각된 깊이는 입체 영상 시스템에서 고려해야 하는 중요한 변인이다. 실험 3에서는 동공간 거리에 따라 응시대상의 지각된 깊이가 어떻게 변화될 수 있는 지를 측정하였다.

각 개인의 동공간 거리 이외에 입체 지각에 영향을 미칠 수 있는 또 다른 개인 변인 중의 하나는 조절성 수렴(accommodative convergence: AC) 정도이다. 두 눈의 수렴(convergence) 과정과 조절은 서로 연동되어 있기 때문에(개관을 위해서, Semmlow & Hung, 1983), 한쪽

눈에 프리즘을 두어 그 눈의 조절을 변화시키면 수렴의 정도도 변화되게 되는 데 이 과정을 조절성 수렴이라 부른다 (Alpern 등, 1959). 그리고 그 정도는 조절에 의해서 발생한 수렴 변화량(AC)을 조절변화량(A)으로 나누어줌으로써 구할 수 있는 AC/A 비로 지수화할 수 있다(Schor & Kotulak, 1986). 이 지수는 안과에서 사시 판단의 기준이나 처방 등에 주로 사용되지만, 깊이가 다른 여러 대상을 포함하고 있는 입체 영상을 지각하는 과정에서 수렴각의 변화는 필요하므로 각 개인의 AC/A 비가 입체 영상을 지각하는 과정에 영향을 줄 가능성이 있을 수 있다. 따라서, 각 개인의 동공간 거리 이외에 AC/A 비가 입체영상을 지각하는 데 영향을 미치는 지를 부가적으로 살펴보았다.

본 연구의 목적은 각 개인의 동공간 거리와 조절성 수렴(accommodational convergence) 정도가 입체 영상 시스템이 제공하는 영상으로부터 삼차원 공간을 지각하는 과정에서 어떠한 영향을 미치는 지를 살펴보는 것이다. 구체적으로, 운동융합의 범위와 감각 융합의 범위, 그리고 응시하는 대상의 지각된 깊이를 살펴볼 것이다. 이러한 자료는 입체 영상을 생성하는 과정에서 적절한 화면 시차와 양안 시차에 대한 범위를 제공해 줄 수 있으며, 각 개인 특성을 교정(calibration)하여 관찰자의 개인적 특성에 관계없이 특정한 깊이를 제공할 수 있는 입체 영상 시스템을 개발하는 데 기초자료를 제공할 수 있다.

이를 위해 먼저 예비 조사를 통해 각 개인의 동공간 거리와 AC/A 비를 측정하고, 각 실험에서는 운동융합, 감각 융합, 그리고 응시 대상의 지각된 깊이를 측정 후, 실험에서 측정된 자료와 예비 조사에서 측정된 개인 차 변인들과 어떤 관계가 있는 지를 알아보았다.

**예비 조사: 동공간 거리와 AC/A 비 측정**

예비 조사에서는 한국과학기술연구원 시스템 연구부의 20~40대의 남녀 연구원 및 대학원생 40명을 대상으로 하여 본 연구의 독립변인인 동공간 거리와 AC/A 비를 측정하였다.

**1) 동공간 거리 측정**

참가자들은 턱받이에 턱을 고정한 채 반투과 유리를 통해 5m 전방을 바라보았으며, 반투과 유리에 비친 참가자의 얼굴을 디지털 카메라로 촬영하였다. 디지털 영상으로부터 동공간 거리를 mm 단위로 환산하기 위해서 얼굴의 눈썹위치에 mm 단위의 눈금자를 둔 채로 촬영

하였으며, Photoshop (Adobe systems Inc.) 프로그램을 사용하여 각 참가자의 동공간 거리를 구하였다. 참가자의 동공간 거리의 측정 결과는 전체 평균이  $6.29(\pm 0.33)$  cm이었으며, 최저값은 5.62 cm, 최고값은 6.90 cm이었다. 남자는  $6.38\pm 0.34$  cm, 여자는  $6.15\pm 0.3$  cm였다.

## 2) 사위(Phoria) 측정에 의한 AC/A 비의 계산

조절을 유도하지 않은 상태에서 수렴 정도를 측정할 후에, 렌즈를 눈 앞에 두어 조절을 유도한 후에 수렴 정도를 측정하였다. 두 조건에서의 수렴의 차이는 조절성 수렴의 양을 나타내며, 렌즈의 디옵터는 조절의 양에 해당된다. 따라서, 두 조건에서 얻어진 수렴의 차이를 렌즈 디옵터로 나누어 AC/A 비를 계산하였다(Fry, 1959; Noorden, 1990). (그림 2)에 제시되어 있는 자극을 이용하여 눈의 시축이 편위된 정도를 나타내는 사위(phoria)를 측정함으로써 수렴의 정도를 측정하였다. 융합할 수 있는 자극이 제시되면 사위는 나타나지 않으므로, 그림 2와 같이 각 눈에 각기 다른 영상을 제시한 상태에서 측정할 수 있다. 모니터로 출력되는 신호를 이용하여 셔터 안경의 좌우 셔터와 좌우 영상을 동기화 시켰다.

먼저, 렌즈가 주어지지 않은 상황에서 사위를 측정할 다음 조절의 변화를 유도하기 위해서 +3.0D의 렌즈를 추가한 후의 사위를 측정하였다. 각 조건에서 사위값은 다섯 번 측정되었으며, 이 값 중 최대값과 최소값을 제외한 세 측정치의 평균을 해당 조건의 사위값으로 삼았다. 두 조건에서 얻어진 사위의 차이를 렌즈 디옵터(본 연구에서는 +3.0D)로 나누어주어 조절의 변화에 따른 수렴 정도의 변화인 AC/A 비를 구하였다.

계산 결과 전체 참가자들의 AC/A 비는  $3.91\pm 1.62\Delta/D$

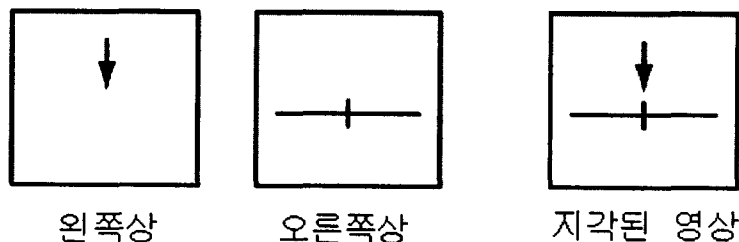
로 나타났다. 남자의 AC/A 비는  $3.84\pm 1.44\Delta/D$ , 여자는  $4.02\pm 1.93\Delta/D$  이었다. 예비 조사 1에서 구해진 동공간 거리와 예비 조사 2에서 계산된 AC/A 비의 상관계수는 -.135으로 나타났지만, 통계적으로는 유의하지 않았다.

## 실험 1. 동공간 거리 및 AC/A 비와 운동 융합의 범위

운동 융합은 수렴을 변화시킴으로써 화면 시차가 있는 영상들을 각 눈의 중심와(fovea)에 맺히도록 하는 과정이다. 특정 화면 시차가 주어지는 경우 동공간 거리가 긴 사람의 수렴 정도는 동공간 거리가 짧은 사람의 수렴 정도와 비교할 때 더 크다. 이러한 차이에 의해 동공간 거리가 긴 사람은 짧은 사람에 비해 수렴할 수 있는 화면시차는 적고, 개선할 수 있는 화면 시차는 더 커질 가능성이 있다. AC/A 비는 수정체의 조절 변화에 대해 수렴의 변화 정도를 나타내는 지수이므로 AC/A 비가 큰 사람의 경우 융합할 수 있는 대상의 공간적 범위가 상대적으로 넓어질 것을 예상할 수 있다. 실험 1에서는 운동융합(motor fusion)의 범위를 측정할 후, 이 자료가 각 개인의 동공간 거리나 AC/A 비와 어떤 관계를 보이는 지를 알아보았다.

### 방법

**참가자 및 장치** 예비 실험에 참여한 40명의 참가자 중에서 교정 시력이 0.8이하이거나 사위의 정도가 정상 범위(내사위 0-3 Δ, 외사위 0-10 Δ)를 초과한 참가자를 제외한 37명의 자료만 분석에 사용되었다. 운동 융합은 사위 테스트에서 사용한 장비와 동일한 것이 사



(그림 2) 사위 측정을 위해 각 눈에 제시된 영상과 이들 영상들로부터 지각하게 되는 장면. 왼쪽 눈에는 화살표가 오른쪽 눈에는 수평선이 주어지면 각 눈에 제시된 자극이 서로 달라 융합이 발생되지 않는다. 이때 화살표의 상대적인 위치는 두 눈의 폭주각 즉 수렴 정도에 따라 달라지게 되는데, 주어진 폭주 상태에서 화살표의 제시위치를 변화시켜 수평선의 가운데 위치와 일치시키도록 함으로써 각 개인의 사위정도를 측정할 수 있다.

용되었다.

자극 운동 융합 한계를 측정하기 위해서 시각으로 0.1도의 너비, 4.5도의 길이를 가진 수직 막대가 각 눈에 하나씩 제시되었다. 응시하는 대상이 다가올 때 운동 융합에 의해 단일상으로 지각하는 범위(양의 운동 융합 범위)를 측정하기 위해서 각 눈에 제시되는 막대의 위치를 교차되는 방향 즉, 왼쪽 눈과 오른쪽 눈으로 투사되는 각 막대의 위치를 각각 오른쪽과 왼쪽으로 이동시킴으로써 화면 시차의 크기를 증가시켰다. 이 경우 두 막대의 간격이 점점 커질수록 이 막대는 스크린의 실제 깊이에서부터 점점 관찰자에게 다가오는 것으로 지각되게 된다. 이와 반대로 음의 운동 융합 범위를 측정하기 위해서 왼쪽 눈과 오른쪽 눈에 제시되는 막대들을 각각 왼쪽과 오른쪽 방향으로 이동시켜 화면 시차의 크기를 증가시켰다. 이 경우 두 막대의 간격이 점점 벌어질수록 이 막대는 스크린의 실제 위치보다 더 멀리 있는 것으로 지각된다.

절차 참가자들은 자극이 제시되는 화면으로부터 33 cm 거리에 있는 턱받이에 턱을 고정시킨 채 셔츠 안경을 쓰고 입체 영상을 바라보았다. 두개의 수직 막대가 하나의 이미지로 보이게 되는 순간에서 시작하여 마우스를 조금씩 왼쪽 또는 오른쪽으로 이동하면서 막대가 두 개로 분리되어 지각되는 시점에서 키보드의 'Enter' 키를 치도록 하였다. 양의 융합한계를 측정하는 조건에서는 마우스를 왼쪽 방향으로 움직이도록 하였으며, 이와 반대로 음의 융합한계를 측정하는 조건에서는 마우스를 오른쪽 방향으로 움직이도록 하였다.

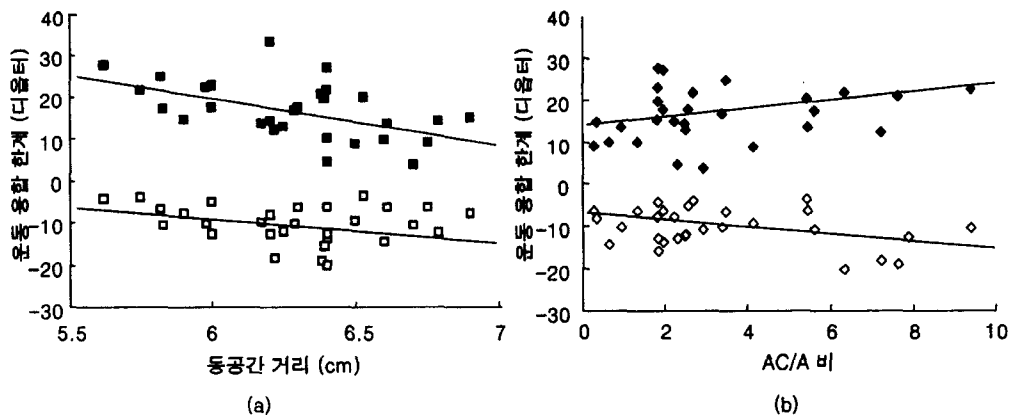
마우스를 너무 빠르게 움직이면 갑자기 시차가 증가

하여 융합이 깨어지게 되므로, 천천히 마우스를 움직여 최대한 융합을 유지하도록 하면서 융합 한계까지 다다를 수 있도록 주의를 주었다. 양의 융합한계와 음의 융합한계는 각각 세 번씩 측정되었다.

**결과 및 논의**

세 번 측정한 값들간의 편차가 크게 나타나 극단값에 의한 영향을 최소화하기 위해서 세 측정치의 중앙치를 해당조건의 운동 융합한계로 삼았다. (그림 3)의 (a)에는 각 개인의 동공간 거리에 따라 양, 음의 운동 융합 한계 값들과 이들 값들로부터 예측된 회귀선이 나타나 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 동공간 거리가 커질수록 양의 운동 융합 한계는 점점 작아지는 것으로 나타났다 ( $r = -.512, p < .01$ ). 즉, 동공간 거리가 짧은 사람은 긴 사람에 비해 상대적으로 양의 화면 시차가 큰 영상이 제시된 경우에도 운동 융합에 의해 단일상으로 지각할 수 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 동공간 거리가 작은 사람은 큰 사람에 비해 수렴(convergence)이 더 많이 발생할 수 있음을 시사해 준다.

음의 운동 융합 한계는 동공간 거리가 길어질수록 작아지는 것으로 나타났지만 두 변인간의 상관관계는 유의하지 않았다. 음의 융합 한계의 절대값은 동공간 거리가 길어짐에 따라 더 커지는 것으로 나타났다. 즉, 동공간 거리가 짧은 사람은 긴 사람에 비해 상대적으로 음의 화면 시차가 큰 영상이 제시된 경우에는 운동 융합에 의해 단일상으로 지각할 수 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 동공간 거리가 긴 사람은 작은 사람에 비해 개산(divergence)이 더 많이 발생할 수 있음을 시



(그림 3) 동공간 거리와 AC/A 비에 따른 양과 음의 운동 융합 한계. 검은색과 하얀색 점은 각각 각 개인의 양과 음의 운동 융합 한계를 나타낸다. 각 그림에 제시되어 있는 수직선은 각 개인 자료로부터 얻어진 회귀선을 나타낸다.

사해 준다.

단일상이 지각되는 한계를 양안 자극의 공간적 위치의 관점에서 살펴보면 각 개인의 동공간 거리에 따라 단일상이 지각되는 범위가 어떻게 변화되는지를 쉽게 살펴볼 수 있다. 융합 한계의 값이 커질수록 그 자극의 공간적 위치는 관찰자로부터 가까운 것이며, 양과 음의 융합 한계 사이는 운동융합에 의해 단일상으로 지각될 수 있는 공간적 범위를 나타낸다. 그림 3의 (a)에 제시된 동공간 거리에 따른 양, 음의 운동 융합한계의 회귀선을 보면 양의 운동 융합 한계나 음의 운동 융합 한계 모두 동공간 거리가 커질수록 관찰자로부터 점점 멀어지는 것을 알 수 있다. 비록 양의 융합 한계를 나타내는 회귀선의 기울기(-.51)가 음의 융합 한계를 나타내는 회귀선의 기울기(-.21)보다 크게 나타나 동공간 거리가 커질수록 단일상으로 지각되는 공간적 범위는 조금씩 좁아지는 것으로 나타났지만, 전반적으로 단일상으로 지각되는 범위는 동공간 거리가 커짐에 따라 관찰자로부터 멀어지는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 각 개인의 수렴이나 개산의 범위는 일정하게 유지되지만 동공간 거리가 긴 사람은 수렴보다는 개산쪽으로, 동공간 거리가 짧은 사람은 개산보다는 수렴이 더 잘 발생할 수 있음을 보여주는 것이다.

(그림 3)의 (b)는 각 개인의 AC/A 비에 따라 운동 융합의 한계값들과 이들로부터 얻어진 회귀선들이 직선으로 나타나 있다. AC/A 비가 커질수록 양과 음의 운동 융합의 한계(절대값)가 모두 큰 것으로 나타났지만, AC/A 비와 양( $r=.363$ )과 음의 융합한계( $r=-.353$ )간의 상관관계는 모두 통계적으로 유의하지 않았다. AC/A 비와 운동 융합간의 이러한 경향성은 AC/A 비가 동공의 조절의 변화에 따라 수렴 정보가 변화되는 정도를 나타내는 것이기 때문에 나타난 것으로 해석할 수 있다. 즉, AC/A 비가 큰 사람의 경우 수렴 변화가 크게 나타나기 때문에, 수렴과정이 필요한 운동 융합의 범위가 크게 나타난 것으로 해석할 수 있다.

동공간 거리와 AC/A 비가 양과 음의 운동 융합한계를 얼마나 설명해 줄 수 있는지를 알아보기 위해서 두 변인을 독립변인으로 하고 양, 음의 운동 융합 한계를 각각 종속변인으로 하여 중다 회귀분석을 실시하였다. 먼저, 양의 운동 융합 한계를 설명하는 데 있어서 동공간 거리만이 통계적으로 유의한 설명 변수인 것으로 나타났으며, 동공간 거리는 양의 운동 융합 한계 변량의 약 26%를 설명해 주는 것으로 나타났다. 이에 반해 음의 운동 융합 한계를 설명하는 데 있어서 동공간 거리와 AC/A 비 모두는 통계적으로 유의하지 않았다.

## 실험 2. 동공간 거리 및 AC/A 비와 감각 융합의 범위

감각 융합은 양안 시차가 있는 영상이 양안시각계(binocular mechanism)에 의해서 융합되어 단일상으로 지각되는 과정이다. 운동 융합과 유사하게 대상의 양안 시차가 과도하게 커지면 감각 융합이 발생할 수 없어 이중상이 지각된다. 따라서, 감각 융합의 한계는 한 장면에 제시된 대상이 이중상으로 지각되지 않을 양안 시차의 범위에 해당된다. 이 실험에서는 개인의 동공간 거리와 AC/A 비가 감각 융합 한계와 어떤 관계에 있는지를 살펴보았다.

### 방법

**참가자** 실험 1과 2에서와 동일한 피험자들이 참가하였다.

**장치** 한국과학기술연구원(KIST) 3차원 영상 매체 연구팀에서 제작한 입체 영상 디스플레이 장치와 800 x 600의 해상도를 가진 프로젝터(Acer 7763P/7765PE)를 사용하여 80 cm×60 cm 크기의 홀로그래픽 스크린에 입체 영상을 투사하였다.

**자극** 게임용으로 개발된 컴퓨터 그래픽 장면을 자극으로 사용하였으며, 이 그래픽 장면은 배경과 캐릭터로 구성되어 있었다. 배경의 양안 시차를 고정시킨 채 캐릭터의 양안 시차를 모두 10 단계로 변화시켰다. 화면 시차는 1단계의 0.5 cm에서 10단계의 8 cm로 나뉘어져 있었으며, 이를 250 cm 거리에서 볼 때 시각으로는 0.1도에서 1.8도에 해당되었다. 양안 시차가 커질수록 캐릭터는 배경으로부터 점차 앞으로 나오는 것으로 지각되도록 만들어져 있었다.

**절차** 실험 참가자는 스크린으로부터 250 cm 떨어진 곳에 앉은 채, 먼저 입체 영상이 가장 또렷하게 보이는 시역에 두 눈을 맞추도록 지시를 받았다. 시역 조정이 끝나면 시차 1단계에서 10단계 자극이 차례로 제시되었으며, 매 단계마다 캐릭터가 단일상으로 지각되는 지 이중상이 지각되는 지를 구두로 보고하도록 하였다. 실험 참가자가 이중상이 지각됨을 보고하면 그 시행은 중단되었으며, 해당 단계를 실험자가 기록하였다. 이 절차를 이용하여 이중상이 지각되는 단계를 2 번에 걸쳐 측정하였다.

### 결과 및 논의

각 참가자로부터 2회에 걸쳐 얻어진 자료들을 평균하여 그 값을 해당 참가자의 이중상이 지각되는 양안 시

차의 한계로 삼았다. 그림 4의 (a)에는 각 개인의 동공간 거리에 따라 이중상으로 지각되는 양안 시차의 크기와 이들로부터 예측할 수 있는 두 변인간의 회귀선이 나타나있다. 실험 1에서 발견된 양의 운동 융합한계와 유사하게, 감각 융합의 한계도 동공간 거리와 부적 상관이 유의한 것으로 나타나( $r=-.404, p < .05$ ), 동공간 거리가 길어질수록 감각 융합의 한계가 낮아지는 것으로 나타났다.

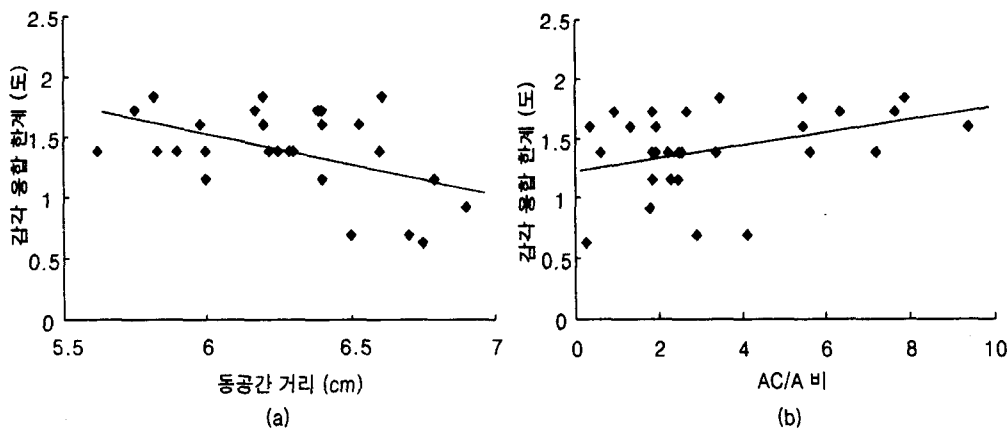
각 개인의 동공간 거리를 무시하고 감각 융합의 한계를 평균해 본 결과 약  $1.41 \pm .34$ 도에 이르는 것으로 나타나, 기존의 연구들 (Ogle, 1950; 1964)에서 발견된 약 0.5도 보다도 훨씬 크게 나타났다. 이러한 차이는 첫째, 측정 방법의 차이에 의해 발생했을 가능성이 있다. 본 연구에서는 게임에 사용되는 특정 캐릭터를 이용한 반면, Ogle 등의 연구에서는 가는 수직선을 이용하여 하여 융합의 한계를 측정하였다. 일반적으로 자극의 크기가 커지면 융합할 수 있는 한계가 증가하기 때문에 (Schor, Wood & Ogawa, 1984) 본 연구에서 발견된 융합한계가 더 크게 나타났을 가능성이 있다. 둘째, 연구 방법의 차이이다. 본 연구에서는 이중상이 지각되는 양안 시차의 한계를 발견하기 위해서 양안 시차의 크기를 점진적으로 증가시켜 나갔다. 한번 융합된 대상은 계속 융합을 유지하려고 하는 이력현상(hysteresis)이 발생하므로 (Fender & Julesz, 1967), 여러 양안 시차를 가진 자극을 무선적으로 제시하는 방법보다 더 큰 융합한계를 얻을 수 있다(Erkens, 1988; Piantanida, 1986).

마지막으로, 감각 융합을 정확히 측정하기 위해서는 양안 시차가 0인 대상 (본 연구에서는 배경 자극)에 눈

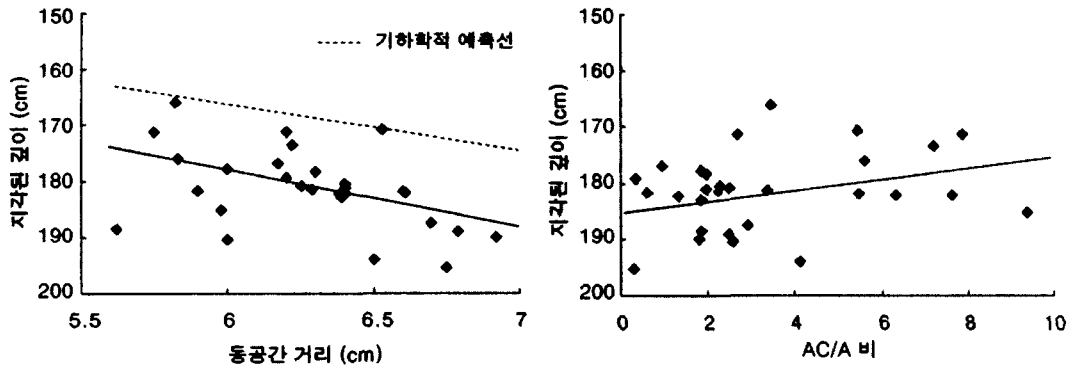
을 고정시킨 채 양안 시차의 크기가 변화되는 대상 (본 연구에서는 캐릭터)이 이중상으로 지각되는지의 여부를 측정해야 한다. 실험 참가자에게 눈을 움직이지 말도록 주의를 주었지만, 눈운동이 발생했는지의 여부 즉, 캐릭터로 응시점을 옮겼는지의 여부를 확인할 수 없다. 만약 눈운동이 발생했다면 이는 감각 융합이 아니라 실험 1과 같이 운동 융합의 한계를 측정하는 것이 된다. 실험 1과 2에서 얻어진 운동 융합과 감각 융합의 결과들 간에 높은 상관을 보여 ( $r=.598, p < .05$ ) 실험 2의 결과가 눈운동에 의해서 오염되었을 가능성이 있다. 이를 확증적으로 알아보기 위해서는 눈운동을 측정하든지, 혹은 자극을 눈운동이 발생할 수 없을 정도의 짧은 시간(150ms 이내)로 제시한 후 감각 융합의 한계를 측정할 필요가 있다.

운동 융합 한계에서 밝혀진 결과와 유사하게 각 개인의 AC/A 비도 감각 융합 한계와 .336의 정적 상관을 보여 AC/A 비가 큰 사람은 보다 큰 양안 시차가 주어지는 경우에도 단일상으로 지각하는 경향을 보여주었지만, 두 변인간의 상관계수는 통계적으로 유의하지 않았다.

동공간 거리와 AC/A 비가 감각 융합한계를 얼마나 설명해 줄 수 있는지를 알아보기 위해서 두 변인을 독립변인으로 하고 감각 융합 한계를 종속변인으로 하여 중다 회귀분석을 실시하였다. 동공간 거리는 감각 융합의 한계를 설명하는 데 유의한 변인이었지만 ( $t(28)=2.46, p < .05$ ) AC/A 비는 유의하지 않았으며, 동공간 거리는 감각 융합 한계의 약 18%만을 설명해 주는 것으로 나타났다.



(그림 4) 동공간 거리와 AC/A 비에 따른 감각 융합 한계. 각 점들은 개인의 감각 융합 한계를 나타내며, 각 그림에 제시되어 있는 수직선은 각 개인 자료로부터 얻어진 회귀선을 나타낸다.



(그림 5) 동공간 거리와 AC/A 비에 따른 응시 대상의 지각된 깊이. 각 점은 개인이 반응한 응시 대상의 지각된 깊이를 나타내며, 각 그림에 제시되어 있는 수직선은 각 개인 자료로부터 얻어진 회귀선을 나타낸다. 그리고 (a)에 제시되어 있는 점선은 동공간 거리에 따라 기하학적으로 예측할 수 있는 응시대상의 깊이를 나타내고 있다.

### 실험 3. 응시 표면의 깊이 측정

(그림 1)은 특정한 화면 시차를 가진 영상 Fr 과 Fi이 주어졌을 때 운동 융합에 필요한 폭주각과 이 폭주각에 의해서 예상할 수 있는 융합된 영상 F의 깊이를 기하학적으로 보여주고 있다. 이 그림에서 동공간 거리가 더 길어지게 되면 F에 의한 폭주각은 더 커지게 되고 F의 융합된 영상의 깊이는 관찰자로부터 더 멀어짐을 기하학적으로 예측할 수 있다. 응시하는 대상의 깊이는 주어진 장면의 깊이의 기준이 되며 양안 시차에 의한 깊이의 정도는 응시 점에 따라 변화될 수 있으므로, 응시점까지의 지각된 깊이는 입체 영상 시스템에서 고려해야 되는 중요한 변인들 중의 하나이다. 실험 3에서는 응시 대상의 지각된 깊이를 측정할 후 동공간 거리와 AC/A 비의 개인차 변인들과의 관계를 살펴보았다.

#### 방법

**참가자 및 자극·장치** 실험 2에 참가한 사람들이 본 실험에도 참가하였으며, 실험 2에서 사용된 동일한 자극과 입체 영상 디스플레이 장치가 본 실험에서도 사용되었다. 참가자가 입체 영상을 볼 때 지각되는 깊이의 정도를 측정하기 위해서 스크린 우측에 눈금자가 붙어 있는 막대를 설치하였다. 배경과 캐릭터의 화면시차는 3 cm(0.7도)로 고정되었다.

**절차** 실험 2와 동일하게 실험 참가자는 스크린으로부터 250 cm 떨어진 곳에 앉은 채, 입체 영상이 가장 또렷하게 보이는 시역에 두 눈이 위치할 수 있도록 하였다. 시역 조정이 끝나면 입체 영상 캐릭터의 손가락 끝 부분을 집중하여 응시하도록 하였다. 피험자는 스크

린으로부터 튀어나온 것으로 지각되는 캐릭터 손끝의 깊이와 스크린 우측에 설치된 막대기의 깊이를 일치시키도록 하였으며, 모두 세 번의 측정이 이루어졌다.

#### 결과 및 논의

세 번에 걸쳐 측정된 자료를 평균하여 해당 참가자의 지각된 깊이로 삼았다. 그림 5의 (a)에는 3cm의 화면 시차를 가진 영상이 주어졌을 때 각 개인의 동공간 거리에 따라 그 영상의 지각된 깊이와 이 자료로부터 예측할 수 있는 두 변인간의 회귀선이 직선으로 나타나있다. 응시 대상의 지각된 깊이는 동공간 거리가 길어질수록 덜 돌출된 것으로 지각되었으며, 두 변인간의 상관관계는 통계적으로 유의하였다( $r = -0.442, p < .05$ ). 이러한 결과는 각 개인의 동공간 거리가 길어짐에 따라 지각된 깊이가 줄어들 것을 예상하고 있는 기하학적 분석과 일치하는 결과이다. 그러나 그 절대값에 있어서 자료로부터 구해진 회귀선은 기하학적 예측선보다 낮게 나타났는데, 이는 실제 지각된 깊이는 기하학적 예측치보다 다소 평가된 것을 나타낸다. 이러한 차이는 입체 영상 시스템과 실제 환경에서의 깊이 지각과정이 다르기 때문에 발생되었을 가능성이 있다. 즉, 실제 환경에서는 동공의 조절, 영상의 크기(Rock & Ebenholtz, 1959), 혹은 텍스처(Gibson, 1950) 등 여러 깊이 단서들의 합에 의해서 깊이가 지각될 수 있지만, 실험에 사용된 입체 영상 시스템에서는 화면 시차에 의한 수렴정도만 깊이 단서로 제공되었다.

(그림 5)의 (b)에는 각 개인의 AC/A 비에 따라 응시 대상의 지각된 깊이와 이 자료로부터 예측할 수 있는 두 변인간의 회귀선이 직선으로 나타나있다. 응시 대상



의 지각된 깊이는 AC/A비가 커질수록 더 돌출된 것으로 지각되었지만, 두 변인간의 상관 관계는 통계적으로 유의하지 않았다( $r=.265, p > .05$ ).

동공간 거리와 AC/A 비 중 어떤 변인이 응시 대상의 지각된 깊이를 잘 설명해 줄 수 있는지를 알아보기 위해서 두 변인을 독립변인으로 하고 응시 대상의 깊이를 종속변인으로 하여 중다 회귀분석을 실시하였다. 동공간 거리는 응시 대상의 깊이를 유의하게 설명할 수 있는 변인이었지만( $t(28)=2.56, p < .05$ ), AC/A 비는 유일한 변인이 아니었다. 동공간 거리는 응시 대상의 깊이의 변량에 대해 약 20%만을 설명해 주는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 정확한 깊이를 제공하기 위해서는 입체 영상을 생성하는 과정에서 각 개인의 동공간 거리를 보정해 주는 것이 필요한 것임을 보여준다. 그러나, 회귀 분석의 결과 동공간 거리는 지각된 깊이 변량의 약 20%만 설명할 수 있는 것으로 나타나 본 연구에서 얻어진 자료를 직접 이용하는 데는 한계가 있다. 그럼에서 보듯이 각 개인의 지각된 깊이는 회귀선에서 많이 벗어나 있기 때문에, 실제 회귀선을 기준으로 깊이를 보정하는 경우에도 동공간 거리 이외의 개인차가 많이 있음을 보여준다.

### 종합논의

본 연구에서는 개인의 동공간 거리와 AC/A 비가 입체 지각과정에 어떠한 영향을 주는지를 살펴보기 위해서, 이들 두 개인 변인들에 따라 단일상으로 지각되는 화면 시차와 양안 시차의 범위, 그리고 응시 대상의 지각된 깊이 변인들이 어떻게 변화되는지를 살펴보았다. 전반적인 결과를 요약하면 개인의 동공간 거리는 양의 화면 시차와 양안 시차 그리고 응시 대상의 지각된 깊이와 상관성이 있는 것으로 나타나, 입체 영상을 생성하는 과정에서 중요하게 고려해야 할 변인임을 확인할 수 있었다. 이에 반해 AC/A 비는 양의 화면 시차와 양안 시차 그리고 응시 대상의 지각된 깊이와 연관성이 있는 것으로 나타났지만, 통계적으로 유의하지 않았다.

입체 영상 시스템에서 이중상은 불편감을 증가시키거나 현장감을 떨어뜨릴 수 있으므로, 이중상이 지각되는 범위와 관련있는 운동 융합과 감각 융합의 한계는 입체 영상을 생성하는 과정에서 중요하게 고려되어야 할 변인이다. 실제 장면을 지각하는 과정에서 수렴과 조절 작용은 서로 연동되어 일어나므로 조절과 수렴 모두 응시하는 대상에 맞추어지게 된다. 이와 달리 입체 영상 시스템으로부터 장면을 지각하는 과정에서 수렴은 대상의

깊이에 따라 변화되지만 조절은 항상 화면이 제시되는 표면에 맞추어지게 된다. 이러한 차이에 의해서 실제 장면을 바라보는 경우 응시 대상과 다른 깊이에 있는 대상들의 영상들은 흐려져 높은 공간 주파수(high spatial frequency) 정보가 제거되지만, 입체 영상 시스템에서는 대상의 깊이와 무관하게 항상 또렷한 영상이 주어지며 높은 공간주파수 정보도 유지된다. 낮은 공간 주파수가 제공되면 융합될 수 있는 양안 시차의 한계가 증가하므로 (Roumes 등, 1997; Schor 등 1984) 이중상으로 지각될 가능성이 줄어들며, 이중상으로 지각되는 경우에도 흐린(blurred) 상에는 주의가 덜 주어지기 때문에 무시될 수 있다. 따라서, 이중상은 실제 장면을 지각하는 경우보다 높은 공간주파수 정보가 유지되는 입체 영상 시스템으로부터 장면을 지각하는 과정에서 더 문제가 될 수 있다.

단일상으로 지각될 수 있는 화면 시차와 양안 시차의 범위가 동공간 거리에 따라 달라진다는 실험 1, 2의 결과는 입체 영상에 화면시차나 양안 시차를 부여하는 과정에서 개인의 동공간 거리가 고려되어야 이중상이 지각되는 것을 적절히 방지할 수 있음을 시사한다. 혹은, 동공간 거리와 무관하게 이중상을 방지하기 위해서는 입체 영상에 포함되는 시차의 최대값을 실험 1, 2에서 밝혀진 시차의 최소값으로 한정하여야 할 것이다.

이중상으로 지각되는 양안 시차의 범위가 약 1.4도도 나타난 실험 2의 결과는 기존의 연구(Ogle, 1950)에서 얻어진 양안시차의 범위(약 20분)보다는 훨씬 큰 것이다. 융합 한계는 대상의 공간 주파수가 낮아질수록 (Schor 등, 1984), 대상의 크기가 커질수록 커지게 되며, 연구 방법에 따라서도 달라지게 되는 등 여러 변인에 의해 영향 받을 수 있다. Ogle 등의 연구와는 달리 실험 2에서는 양안 시차를 점진적으로 변화시켜가면서 단일상이 깨어지는 양안 시차의 한계를 측정하였다. 이러한 방법을 사용하여 융합의 한계를 측정하면 다양한 시차를 가진 정지된 자극을 무선적으로 반복 제시하는 방법을 사용하는 경우보다 그 한계는 커진다(Erkens, 1988; Piantanida, 1986). 따라서, 두 연구 결과에서 발견된 융합의 한계의 차이는 놀라운 것은 아니다. 오히려, 자극의 특성에 따라 융합될 수 있는 시차의 크기가 변화될 수 있다는 사실은 이중상이 지각되는 양안 시차의 한계를 적용하는 데 있어서 중요한 시사점을 제공한다. 제공하려고 하는 입체 영상이 깊이 방향으로 움직이는 역동적인 장면을 포함하고 있는 경우에는 정지된 영상을 제시하는 경우보다 훨씬 큰 양안 시차를 가진 영상도 단일상으로 지각될 수 있으므로, 이중상으로 지각

되는 시차의 한계를 적용하는 데 있어서 개인의 동공간 거리뿐만이 아니라 제공되는 영상의 특징까지도 고려되어야 할 것이다.

입체 영상 시스템이 적용되는 분야가 다양화되어감에 따라 정확한 깊이를 제공해야 할 장면도 증가하고 있다. 동일한 화면 시차가 주어지는 경우에도 동공간 거리가 길어질수록 지각된 깊이가 감소한다는 실험 3의 결과는 특정 깊이를 지각할 수 있는 영상을 제공하기 위해서는 개인의 동공간 거리를 고려한 시차를 제공해야 함을 시사한다. 원격 조정에서와 같이 두 개의 카메라로부터 얻어진 영상을 입체 영상으로 사용하는 경우에는 두 카메라의 간격을 사용자의 동공간 거리와 일치시킴으로써 이 문제를 쉽게 해결할 수 있다. 이와 달리, 시뮬레이트와 같이 합성된 영상을 입체 영상으로 사용하는 경우가 이 문제를 해결하기 위해서는 사용자의 동공간 거리에 따라 주어지는 양안시차의 크기가 조정되어야 한다. 이 과정에서 각 동공간 거리에 따라 양안 시차의 크기와 지각된 깊이 사이의 관계를 나타내 주는 함수가 반드시 필요하다. 실험 3에서는 비록 0.7도인 하나의 양안 시차만을 사용하였지만, 각기 다른 여러 양안 시차를 가진 자극을 사용하면 여러 개의 회귀선을 얻을 수 있다. 이 회귀선들은 여러 화면 시차에 대해 동공간 거리에 따라 지각되는 깊이가 변화되는 양상을 보여주므로 동공간 거리에 따른 시차 조정을 위한 함수로 사용될 수 있다.

실험 3에서 얻어진 회귀선을 시차 조정을 위한 함수로 직접 사용하는 데 있어서 한가지 제약은 설명력이 낮다는 데 있다. 개인의 동공간 거리는 지각된 깊이 변인의 변량 중 약 20%만 설명하는 것으로 나타났는데, 이는 나머지 80%의 변량은 동공간 거리 이외의 다른 요인들에 의해서 영향을 받는다는 것을 의미한다. 회귀선의 설명력이 낮은 한가지 가능한 요인은 여러 깊이 단서들의 상대적인 효율성이 개인마다 다르기 때문일 수 있으며, 또 다른 요인은 관찰자들의 반응이 안정된 상태에서 깊이를 측정하지 않았기 때문에 발생한 오차일 수 있다. 두 가지 원인 중 어느 것이 낮은 설명력의 원인인지에 따라 동공간 거리를 고려한 영상을 적용할 수 있는 지가 결정될 수 있기 때문에 지각된 깊이에 영향을 미치는 다른 변인들이 무엇인지를 확인하는 절차가 필요하다.

실험 3에서는 동공간 거리에 따라 응시 대상의 지각된 깊이가 어떻게 변화되는 지를 측정했다. 입체 영상 시스템에서 제공될 수 있는 영상에는 여러 깊이를 가진 다양한 대상들이 제공될 것이며 상대적인 깊이 역시 동공간 거리에 따라 변화될 수 있다. 따라서 응시 표면 깊

이 이외에 응시 표면과의 상대적인 깊이가 동공간 거리에 따라 어떻게 변화되는 지에 대한 연구는 입체 영상에서 양안 시차에 의해 제공되는 영상의 지각된 깊이를 예측하는 데 아주 유용한 정보를 제공할 것이다. 특히 양안 시차의 크기는 응시 대상과의 상대적인 깊이 이외에 응시 거리의 제곱에 반비례하게 된다. 따라서 주어지는 양안 시차의 크기는 응시 거리에 의해 척도화되어야 응시 표면과의 상대적인 깊이나 혹은 한 대상이 가지고 있는 볼륨감들이 응시 거리와 무관하게 항상성을 유지할 수 있다(Landy, & Brenner, 2001). 응시 거리 역시 여러 깊이 단서에 의해서 추정될 수 있지만, 본 연구의 실험 3에서 측정된 응시 표면까지의 거리 역시 응시 거리를 추정하는 데 주요한 단서가 될 수 있다.

실제 장면을 바라보는 경우에는 대상의 깊이를 계산하는 과정에서 수렴이 외에 망막상의 크기(Rock 등, 1959), 조절(Johnston, 1991) 등과 같이 여러 깊이 단서들이 사용되는데, 실험 3에서는 수렴 정도를 제외하고 다른 깊이 단서들은 기하학적으로 예측할 수 있는 깊이와 일치하지 않았다. 대상의 깊이를 계산하는 과정에서 각 단서들의 효율성이 각기 다르다면 동일한 동공간 거리를 가진 사람들이 동일한 장면을 바라보는 경우에도 지각되는 깊이가 각기 달라질 수 있다. 본 연구에서 회귀선의 설명력이 낮은 이유가 이 때문에 발생한 것이라면 동공간 거리만을 고려하여 시차를 조정된 영상을 만드는 경우에도 지각되는 깊이는 달라질 수 있으므로 그 효율성은 떨어지게 된다.

입체 영상시스템으로부터 입체감을 느끼는 과정은 개인의 경험에 아주 민감하다. 입체 영상을 경험하지 못했던 사람들은 깊이를 지각하는 데 일정 시간이 걸리지만 학습 속도는 아주 빠르다(Dodwell, 1970). 본 연구에 참여한 사람들의 대부분은 입체 영상 시스템에 익숙하지 않았지만, 이 시스템에 익숙해질 수 있는 충분한 연습 시행이 주어지지 않았다. 따라서, 시행에 따른 학습의 효과에 의해 각 개인 측정치의 변인이 커질 수 있으며, 이것이 오차로 작용할 수 있기 때문에 회귀선의 설명력이 낮게 나타날 수 있다. 참가자들의 반응이 안정될 때까지 입체 영상 시스템에 충분히 노출을 시킨 후에 자료를 수집하면 이러한 문제를 제거할 수 있으므로 동공간 거리와 지각된 깊이사이의 관계가 보다 정확히 반영된 회귀선을 구할 수 있을 것이다.

본 연구의 또 다른 개인 특성 변인인 AC/A 비는 이중상으로 지각되는 화면 시차와 양안 시차의 범위, 그리고 지각된 대상의 깊이 세 변인들과 유의한 상관관계를 보이지 않아 공간지각과는 큰 관련이 없는 것으로 나타났

다. 그러나, Lipton (1982)은 입체 영상 시스템에 일정 시간 노출되는 경우 조절과 수렴의 연동 작용의 불일치로 인해 눈의 피로가 발생할 수 있으며, 이것의 직접적인 원인이 개인의 AC/A 비의 변화와 관련 있음을 제안했다. 본 연구에서는 입체 영상 시스템에 노출되기 전의 개인의 AC/A 비만 측정했으며, 입체 영상 시스템에 노출된 직후의 AC/A 비를 측정하지 않았기 때문에 이 질문에 대한 직접적인 해답을 줄 수는 없다. 그러나, 개인의 AC/A 비는 기본적으로 거의 변화되지 않지만 (Rosenfeld 등, 1995), 망원경과 같이 입력되는 두 영상의 순간 거리를 광학적으로 과도하게 만든 기구를 오랫동안 보게되면 개인의 AC/A 비는 증가된다(Bobier & McRae, 1996). 이러한 결과는 개인의 동공간 거리와 일치하지 않은 입체 영상에 오랫동안 노출되는 경우에도 AC/A 비가 변화될 수 있음을 시사한다. 따라서, 입체 영상 시스템과 AC/A 비와의 관련성은 먼저, 입체 영상에 노출되면 실제 개인의 AC/A 비가 변화되는 지를 확인하고, 개인의 동공간 거리와 일치하는 영상과 불일치하는 영상에 따라 AC/A 비의 변화 정도가 달라지는 지를 살펴보아야 한다. 둘째, AC/A를 변화시키는 직접적인 원인이 무엇이며, 이 결과로 불편감이 증가하는 지에 대한 연구가 필요하다.

### 참고 문헌

- Alpern, M., Kinkaid, W. M. & Lubeck, M. J. (1959). Vergence and accommodation: three proposed definitions of the AC/A ratio. *American Journal of Ophthalmology*, 48, 141-148.
- Bobier, W. R., & McRae, M. Gain changes in the accommodative convergence cross-link, *Ophthalmic and Physiological Optics*, 16(4), 318-325. 1996.
- Cormack, R. & Fox, R. The computation of retinal disparity, *Perception and Psychophysics*, 35, 423-428, 1985.
- Dodwell, P. C. (1970). *Binocular vision and pattern coding in Visual Pattern Recognition*. New York: Holt, Rinehart, and Winston, 120-136.
- Erkelens, C. J. (1988). Fusional limits for a large random-dot stereogram, *Vision Research*, 28, 345-353.
- Fender & Julesz (1967). Extension of Panum's fusional area in binocularly stabilized vision. *Journal of Optical Society of America*, 57, 819-830.
- Flom, M. C. (1960). On the relationship between accommodation and accommodative convergence., Part 3: Stability. *American Journal of Optometry and Archives of American Academy of Optometry*, 37, 517-523.
- Fry, G. A. (1959). The effect of age on the AC/A ratio. *American Journal of Optometry Archieve American Academy of Optometry*, 36, 200-204.
- Gibson, J. J. (1950). *The perception of the visual world*. Boston: Houghton Mifflin.
- Hendrix, C. & Barfield, W. (1996). Presence within virtual environments as a function of visual display parameters, *Presence: Teleoperators and Virtual Environment*, vol. 5, 274-289.
- 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.
- Howard, I. & Rogers, B. J. (2002). *Seeing in Depth*, I. Porteous: Ontario, Canada.
- Ijsselstein, W. A., de Ridder, H., Hamberg, R., Bouwhuis, D., & Freeman, J. (1998). Perceived depth and the feeling of presence in 3DTV, *Displays*, vol. 18, 207-214.
- Johnston, E. B. (1991). systematic distortions of shape from stereopsis, *Vision Research*, 31, 1351-1360.
- Landy, M. S. & Brenner, E. (2001). Motion-disparity interaction and the scaling of stereoscopic disparity. In Harris, L. R. & Jenkin, M. R. M. (Eds.), *Vision and Attention* (pp. 129-151). New York: Springer Verlag.
- Lipton, L. (1982), *Foundations of the stereoscopic cinema\_A study in depth*, New York: Van Nostrand Reinhold Company Inc.
- Noorden G. K. von. (1990). *Binocular Vision and Ocular Motility*. 6th ed., St. Louis: Mosby, 89-95.
- Noro, K. (1993). Industrial application of virtual reality and possible health problems, *Japanese ergonomica*, 29, 126-129.
- Ogle, K. N. (1950). *Researches in binocular vision*. New York: Hafner.
- Ohzu, H. & Habara, K. (1996). Behind the scenes of virtual reality: Vision and motion, *Proc. IEEE*, 84, pp. 782-798, 1996.

- Piantanida, T. P.(1986). Stereo hysteresis revisited. *Vision Research*, 26, 431-437.
- Rock, I. & Ebenholtz, S. (1959). The relational determination of perceived size. *Psychological Review*, 66, 387-401.
- Rosenfield, M., Ciuffreda, K. J., Chen, H. (1995). Effect of age on the interaction between the AC/A and CA/C ratios. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 15(5), 451-455.
- Roumes, C. Planter, J., Menu J. P., & Thorpe, S. (1997). The effects fo spatial frequency on binocular fusion: from elementary to complex images, *Human Factors*, 39, 359-373.
- Schor, C. M. & Kotulak, J. C. Dynamic interactions between accommodation and convergence are velocity sensitive, *Vision Research*, 26, 927-42. 1986
- Schor, C. M., Wood, I. C., & Ogawa, J. (1984). Binocular sensory fusion is limited by spatial resolution. *Vision Research*, 24, 661-665.
- Semmlow J. L. & Hung G. K. (1983). The near response theories of control. In *Vergence eye movements: Basic and clinical aspects* (Eds. Schor, C & Ciuffreda, K). 175-195. Butterworth, Boston.
- Sheridan, T. B. (1996) Further Musings on the Psychophysics of Presence, *Presence:Teleoperators and Virtual Environments*, MIT Press, 5(2), 241-246.
- Valyrus, N. A. *Stereoscopy*. London, U. K.: Focal Press, 1966.
- 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.
- Wickens, C. D., and M. P. Baker, Cognitive Issues for Virtual Reality in *Virtual Environments and Advanced Interface Design*, W. Barfield and T. Furness (eds.), Oxford University Press, June 1995.