

## 1. 서론

19세기 중엽, 입체감을 주는 요인으로 양안시차(binocular parallax)의 효과를 부여하는 방법이 입체 사진에 처음으로 시도된 이후로, 입체감을 줄 수 있는 디스플레이 장치를 개발하기 위한 노력은 계속되어 왔다. 1980년대 부터는 필름을 매체로 한 입체 영화에서 입체 TV로 연구·개발이 이행되었다. 최근에는 특수 안경을 사용하지 않고 입체 TV 디스플레이를 실현하는 방법, 현재의 방송 채널에서 수용할 수 있는 대역 압축법, 종래의 2차원 수상기와 양립할 수 있는 방법, 입체 TV에의 잡음 및 허용 기준에 관한 연구, 입체 TV화상을 재현하는 수상기의 개발을 목적으로 하고 있다<sup>1)</sup>. 입체 TV가 실용화되기 위해서는 시청자에게

향이 있다. 그 목적이란, 3차원 디스플레이와 인간의 입체시 기능과의 인터페이스라고 할 수 있다. 예를 들면, 복수의 정보 처리 장치를 회선 등에 접속하여, 어떤 기능을 실현하고자 할 때, 장치간의 인터페이스가 부적합하면, 그 기능이 전혀 작동되지 않는다. 그것과 마찬가지로, 3차원 디스플레이로 표시된 영상과 그것을 받아들이는 인간의 시각 기능(視覺機能)이 부적합하면 여러 가지 문제가 발생하게 된다

실제로, 종래의 2안식(stereo) 입체 디스플레이는 시각 기능과의 부적합한 인터페이스 때문에, 여러 종류의 문제가 발생되고 있다. 예를 들면, 2안식 입체 디스플레이에서는, 폭주(Vergence, 輻輳)를 유도하는 정보가 양안 융합상이 보여주는 위치에 있으나, 조절 자극은 디스플레이 면에 있기 때문에, 양안 안구의 폭주와 조절이 모순되어 자연스럽지 못한 상태가 된다(폭주-조절모순: Vergence-Accommodation In-

# 특집 「3차원 영상기술」

## 3차원 영상 디스플레이에 관한 Human factor의 연구

초다안 입체 영상에 대한 폭주·조절·동공 반응의 측정

須佐見憲史(Kenji Susami)\*, 김성규\*, 반지은\*\*

피로를 주지 않고 자연스러운 입체감을 제공하고, 다수가 시청할 수 있을 정도로 넓은 시역(Viewing zone) 조건을 갖추는 것이 중요하다. 그리고, 입체 수상기로 입체 TV신호를 입체 영상으로 표시하고, 현행의 TV신호에 대해서도 통상의 2차원 영상으로 표시할 수 있어야 하며, 현재의 수상기로 입체 TV신호를 2차원 영상으로 표시할 수 있도록 기존 시스템과 양립할 수 있어야 한다.

입체 TV의 실용화를 위해 최근, 여러 종류의 3차원 디스플레이가 개발되고 있다. 그러나, 디스플레이 개발의 기술적 측면이 너무 중요시 된 나머지, "사람이 보기위한 것"이라는 본래의 목적이 경시되고 있는 경

consistency Hypothesis). 이로 인해 2안식(stereo)의 단점인 시각 피로가 생겨나게 된다. 또, 관찰자가 옆으로 움직일 경우 운동시차가 제공되지 않는다는 단가, 카드보드 효과(Cardboard Effect)와 상정효과(Puppet Theater Effect)라고 불리는 입체 영상의 왜곡(일그러짐) 등의 문제로 인해 시청자가 자연스러운 입체 영상을 지각할 수 없게 된다.

본 글의 3,4,5장에서 눈의 피로를 절감시키기 위해 일본 TAO(Telecommunication Advancement Organization) 최근 개발된 초다안(Super multi-view) 입체 디스플레이 방식과 그 실험 연구 결과를 소개하고자 한다.

\* Advanced 3-D Tele-Vision Project, Telecommunications Advancement Organization (TAO) of Japan, susami@3dpro.tao.go.jp

\*\* 3D Imaging Media Lab., Korea Inst. of Science & Technology (KIST)

### 1.1. 3차원 영상에서의 Human factor 연구의 필요성

앞에서 간단히 기술한 바와 같이, 3차원 영상 디스플레이는 시청자의 움직임에 따라 입체상이 왜곡되거나 입체로 지각되지 않는 등, 보는 위치, 시역(viewing zone)의 제약으로 시청자의 머리카 몸의 움직임에 제약이 가해진다. 또한, 시청자는 스크린을 주시하고 있지만, 입체상은 스크린 앞으로 튀어나온 것처럼 느껴지거나 스크린 안쪽으로 들어가 보임으로 인해, 눈의 초점 조절 작용과 폭주 작용이 부자연스럽게 일어나게 되고, 이로 인해 눈의 피로, 어지러움, 그리고 두통 등의 증상을 보이기도 한다. 또한 기존의 head mount형이나 안경을 쓰고 보는 3차원 디스플레이는 기구를 사용해야 한다는 불편함이 있어 현재는 무안경식 디스플레이 시스템 개발을 지향하고 있다.

3차원 영상 디스플레이의 궁극적인 목적은 시청자에게 자연세계와 거의 동일한 영상을 인공적으로 제공해서 현실감을 극대화하는데 있다. 따라서 3차원 영상 디스플레이 시스템을 설계하고 제작하는 단계에서 가장 중요시해야 할 부분은 시스템이 표시하는 영상이 시청자에게 자연세계를 보는 것과 같은 자연스러운 장면으로 보여질 수 있도록, 그리고 시청자가 느낄 수 있는 불편함의 요소들을 최소화할 수 있도록 제반 파라미터들을 최적화하는 것이다.

우리가 어떤 것을 본다, 인식한다는 것은 단순히 발생하는 사건은 아니며, 빛 에너지에서 시작한 환경 자극이 신호화 되어 신경 세포에 의해 뇌에 전달되고, 뇌에서는 경험적 지식에 의거 하여 수많은 분석, 처리 과정을 수행하게 된다. 이 복잡한 우리 뇌의 시각 정보 처리 과정은 약 0.2~0.3초가 걸리는 지각·인지 작용이다. 3차원 영상을 볼 때에 우리가 느끼는 '입체감'이라는 것도 단순한 시각 정보처리의 의미를 넘어 어떠한 심리 요인이 작용하고 있는 것이다. 그러므로 인간의 지각, 인지에 관련된 심리 작용, 특히 시각 작용에 관한 연구가 3차원 영상 디스플레이 시스템의 연구와 병행되어야 한다.

과학 기술은 인간에게 편리와 이익을 제공하는 수단으로서 발전해 왔으며, 지금도 수많은 프로젝트들이 진행중이다. 최근 경향은 단순한 수단으로서의 기계를

발명하는 차원을 넘어 어떻게 하면 좀 더 인간에 가까운, 인간 친화적인, 즉 인간과의 인터페이스가 조화롭게 일어날 수 있는 것을 만들 수 있을 것인가를 연구하고 있다. 앞으로 차세대 영상을 주도하리라 예상되는 3차원 영상 기술에 Human factor가 중요시 되어야 함은 더 이상의 강조가 필요 없을 것이다.

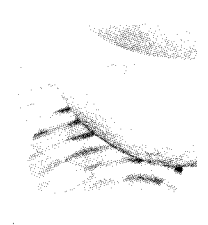
### 1.2. Human factor 연구 과제

이와 관련한 연구를 하는 분야가 3차원 영상에서의 Human Factor 연구 분야로 여기에서 다루어지는 문제들을 간단히 소개하면 다음과 같다.

1. 보는 위치의 제약, 운동시차(motion parallax)의 부족으로 인한 문제
2. 눈의 피로감
  - 시각적 피로에 관련된 요소의 연구
  - 조절-폭주의 부조화로 인한 눈의 피로를 줄이기 위한 연구
3. 3차원 이미지가 왜곡되어 지각되는 현상
  - 카드보드 효과(cardboard effect)나 상정효과(puppet theater effect)에 대한 연구
4. 시환경 및 관시 조건을 최적화하기 위한 연구
5. 양안시차(binocular parallax) 및 좌우 양안 화상의 변형, 왜곡에 관한 연구
6. 디스플레이의 질을 평가하고, 잡음(noise)을 줄이기 위한 연구

보기 좋은 고화질의 3차원 디스플레이를 실현하기 위해서는 적절한 관시 조건을 충족해야만 한다. 3차원 TV에서는 시청자에게 주는 심리적인 영향이 종래의 2차원 TV보다 훨씬 크기 때문에 Human factor 연구에 기초하여 최적의 관시 조건을 설정하고, 이를 만족시킬 수 있는 시스템을 제작하도록 해야 한다. 관시 조건에는 화상의 광도(luminance)나 대비(contrast) 등 화상의 물리적인 조건도 포함되며, 특히 중요한 것은 시거리(viewing distance)로 이것은 스크린의 크기를 결정하는 중요한 파라미터가 된다.

3차원 영상 시스템을 설계하는데 있어서 인간의 시각 특성과 관련하여 고려해야 할 시스템의 각종 파라미터들은 3차원 영상을 보는 환경 조건에 관한 시각(viewing angle), 디스플레이 화면 크기, 시거리



(viewing distance), 눈의 조절, 폭주 작용, 양안시차(binocular parallax) 요인에 영향을 주는 공간 주파수, 시간 주파수 영역의 융합(fusion) 특성, 그리고 시야 주변의 융합 특성, 다시점 입체 디스플레이를 위한 운동시차, 양안 깊이 지각에 미치는 양쪽 이미지의 오차, 좌우 양안 이미지가 다르게 지각되도록 하는 기하학적인 차이, 시간, 공간 주파수, 색상, 명암, 제시 시간의 차이, 양안 입체시에서의 잠음 평가과 관련된 파라미터 등이 있다<sup>[1]</sup>.

## 2.3차원 영상과 입체시

### 2.1. 입체시(stereopsis)의 요인

인간에게 입체감을 느끼도록 시각 작용을 일으키는 요인들은 상의 크기, 수정체의 조절작용(accommodation), 운동시차(motion parallax) 등의 단안시 요인, 그리고 폭주(vergence), 양안시차(binocular parallax) 등의 양안시 요인으로 나누어 볼 수 있다<sup>[2]</sup>. 우리가 어떤 물체를 바라보게 되면 두 눈은 내향하여 그 물체에 착시(fixation)하게 되는데(그림 1), 이와 같은 눈의 움직임을 폭주(vergence)라고 하고, A와 시선(視線)이 이루는 각( $\alpha$ )을 폭주각이라 한다. 폭주에 의한 입체감의 지각은 근거리에서 큰 효과가 있으며, 거리가 멀어짐에 따라 폭주각이 작아져서 효과가 떨어지게 되어 약 20m가 넘으면, 거의 작용을 하지 못한다.

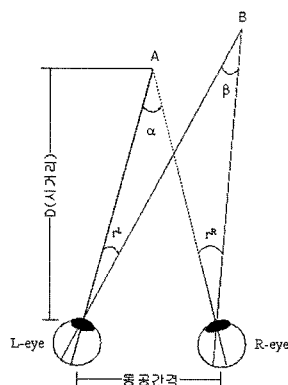


그림 1. 폭주(vergence)와 양안시차

인간의 눈이 65mm 정도의 간격을 두고 떨어져 있기 때문에, 어떤 물체를 바라보았을 때, 양안의 망막에 맺히는 상은 동일하지 않게 되며, 응시점(fixation point)으로 떨어진 위치에서는 그만큼의 간격이 생기게 된다. 이것이 망막에서의 양안 이미지의 부등(disparity)에 해당하며, A를 주시하고 있을 때, 다른 방향에서 다른 깊이면에 위치하는 B와의 사이의 양안시차는 좌우안에서의 간격량의 차이,  $r_l - r_r$ , 또는  $\beta - \alpha$ 로 표현할 수 있다(그림 1). 양안시차가 존재하면 일반적으로는 2중상이 지각되지만, 양안 융합(fusion)이 가능한 정도의 시차일 경우에는 상이 하나로 융합되어 응시점 앞, 또는 뒤쪽의 깊이감을 갖는 물체로 느끼도록 해준다. 이 원리는 현재 3차원 영상 디스플레이 장치에서 가장 많이 활용되고 있는 방법이다.

대상까지의 거리를 D, 이 대상이 뒤쪽으로 다소 움직였을 때, 오행의 변화를 지각할 수 있는 최소한의 거리 변화를  $\Delta D$ 라고 했을 때, 깊이감을 느끼는 민감도(sensitivity)는  $D/\Delta D$ 로 나타낼 수 있다. 즉, 어떤 시거리(D)에서 깊이감을 느끼게 하는 거리의 변화( $\Delta D$ )가 작으면 작을수록 깊이감이 크게 느껴진다는 의미가 된다. 그림 2는 조절, 폭주, 양안시차, 운동시차, 망막상의 크기, 공기 조망 및 광도에 대하여 각각의 유효범위를 그래프로 나타낸 것이다<sup>[1]</sup>. 양안시차는 약 10m 이내의 거리에서 매우 중요하며, 운동시차는 운동속도가 최적이면 유효하고, 특히 원거리에서는 양안시차보다도 중요하다는 것, 그리고 아주 멀리 있는 대상일 경우에는 거리감을 주는데 있어서 망막상의 크기나 공기조망이 중요하다는 것을 알 수 있다.

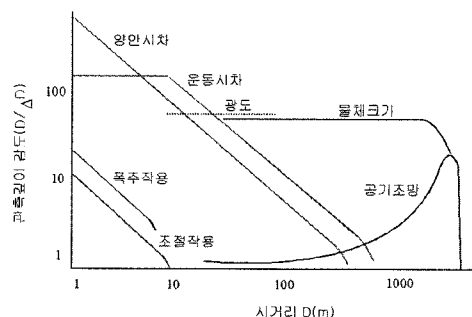


그림 2. 거리에 따른 각 요소의 깊이 지각 민감도의 변화

### 3. 초다안(超多眼, Super Multi-View) 입체 디스플레이와 폭주·조절 반응

눈의 피로를 줄여 주기 위한 최근의 연구 방법으로 초다안 입체 디스플레이를 소개하고자 한다.

종래의 2안식 입체 디스플레이에서는, 폭주를 유도하는 정보가 양안 융합상이 보여주는 위치에 있었으나, 조절 자극은 디스플레이 면에 있었다(그림 3). 따라서, 양안 망막에 맺힌 영상의 부등 (binocular retinal disparity)에 의해 크게 두드러지듯이 보이는 융합상에서는, 폭주 반응과 조절 반응의 모순이 발생하는 경우가 있다<sup>[4]</sup>. 그것과 관련하여, 눈의 조절(폭주(동공의 시차 측정을 실시 검증한 연구 보고서가 있다<sup>[5,6]</sup>). 그러나 조건과 정밀도, 장치상의 제약 등으로 인해, 상세한 검토가 이루어지지 않았다. 또 조절과 폭주의 위치, 거리 뿐만 아니라, 그 데이터 양도 부족하였고, 게다가 입체 영상에 대한 조절 응답에는 Over-shoot가 보이는 정상 상태의 불안정성을 제시하는 보고도 있다<sup>[6]</sup>.

이것에 대하여 초다안(Super Multi-View) 영역<sup>[6-8]</sup>에 따른 입체 디스플레이에는, 조절 자극이 입체상의 위치에 제시됨으로써 해서, 폭주(조절반응의 모순이 해소될 수 있는 가능성이 있다(그림 4). 초다안 영역은, 그림 5에 나타난 것처럼, 사람의 좌우 안의 동공에 복수의 시차가 있는 영상을 제시하는 것으로, 집속화 광원열 방식 (Focused Light Array : FLA)<sup>[7,8]</sup>과 투영 광학계 익형 배열 방식(FAPO : Fan-like Array of Projection Optics)<sup>[9]</sup> 등에 의해 그 실현이 이루어졌다. 또, 초다안 입체상의 조절 유도 효과에 관해서는, 카메라를 이용한 Simulation에 의해, 그 가능성이 확인되었다<sup>[6]</sup>. 최근의 보고에는 초다안 입체 디스플레이를 이용한 조절 반응을 측정할 예가 있다<sup>[9]</sup>. 이것에 따르면, 단안시에 비하여 양안시의 경우가, 폭주에 의한 조절의 유도 효과 (Convergence Accommodation, 폭주성 조절)<sup>[11]</sup>에 의해 그 조절이, 물체의 깊이 방향 유도가 되기 쉬워진다는 결과가 보고되었다. 그러나, 종래의 2안식 입체 디스플레이에서도, 폭주성 조절에 의한 조절이 폭주 점에 유도되었다는 보고도 있다<sup>[6]</sup>. 또, 이러한 보고에는 폭주 반응이 측정되지 않음으로써, 양안시에서의 조절의 변화가 폭주성 조절에 의한 것인지, 초다안 표시에 따른 조절 유도 효과인지를

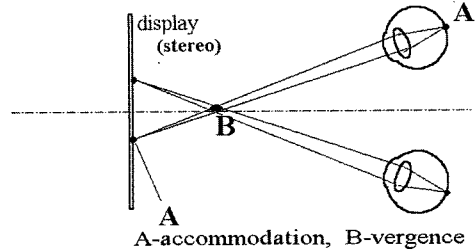


그림 3. 2안식 방법에 의한 입체 영상에 대한 조절 및 폭주

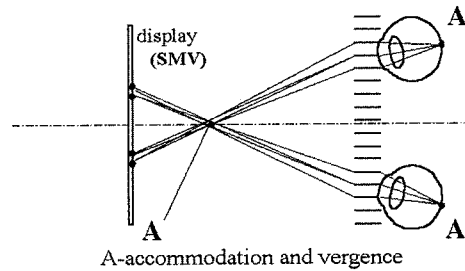


그림 4. 초다안(Super Multi-View) 방식의 입체 영상에 대한 조절 및 폭주

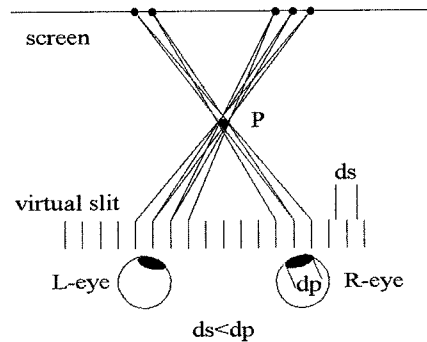
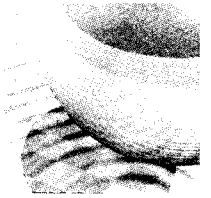


그림 5. 초다안(Super Multi-View) 영역의 도식화

추정하는 것이 어렵다. 이와 같은 배경으로부터, 본 논문에서는 폭주(조절의 동시 측정에 따른, 2안(초다안 입체 영상에 대한 폭주, 조절 반응을 검토한다.



## 4. 실험 방법

### 4.1. 자극의 조건

FLA의 적색 레이저에 의해 표시된 화면을 자극으로 이용하며, 초दान 상태를 실현하기 위해, 영상의 시차 수가 42, 시차의 간격은  $0.22^\circ$ 로 하였다. 이러한 시차 조건에서, FLA 화면을 1.75D (57cm=1.75Diopter), 동공 경을 5mm로 한 경우에는, 동공 내에 약 2.3개의 시차 영상이 입사 된다. 영상의 표시 조건은, 1안 화상(mono), 2안 입체 화상(stereo), 초दान 입체 화상(Super Multi-View : SMV)의 3조건을 설정했다. 1안 조건에는, 42시차가 모두 동일한 화상으로, 각각의 화상들은 시차가 없다. 행한 자극 위치는 화상의 1.75D였다. 2안 조건에는, 42시차의 좌우를 반씩 분리하여, 좌측 21시차, 우측 21시차에서 같은 방향에는 같은 시차의 화상으로 하였다. 좌우 화상의 양안시

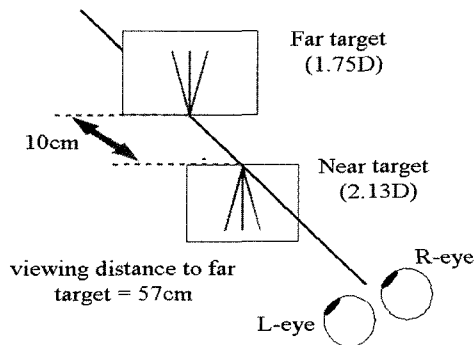


그림 6. 대상에 대한 주시

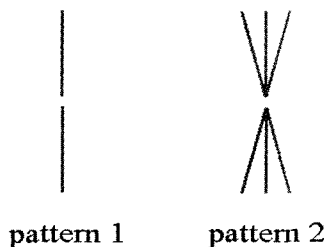


그림 7. 실험에 사용된 자극

차는, 상하 자극의 융합 상의 위치가 각각 1.75D (57cm), 2.13D(47cm)가 되도록 설정 하였다 (binocular retinal disparity  $40'$ ). 초दान 조건에는, 42시차 모두 시차가 있도록 설정하고, 상하의 패턴은 2안 조건과 같은 제시 위치로 하였다(그림 6). 자극 패턴은 수직 단일 선분과 수직 방사 선분의 2 종류이다 (그림 7).

### 4.2. 폭주, 조절 측정

안구 운동의 측정은 양안 안구 운동 측정 장치(제조사: 竹井機器), 조절은 Accommodometer (제조사, 모델명: NIDEK, AA-2000)를 이용하였다. 이번의 폭주(조절 측정에는, 이들 2개의 기기를 이용하고, 양안 안구 운동 측정 장치의 측정용 적외선 빛을 고속 시분할하여, 폭주와 조절을 번갈아서 측정했다. 시분할하여 측정한 이유는, 두 기기의 측정 장치가 적외선을 측정광으로 사용하고 있어, 실제 측정시에 적외선 빛이 간섭하여, 측정 값의 신뢰성이 저하되거나 측정이 불가능하게 되기 때문이다. 또, 이 측정 시스템에는, 조절 측정용 안구 적외선 빛 화상을 이용하여, 동공 면적을 측정했다. 데이터의 1샘플링은 190ms 주기이고, 폭주와 조절 동공의 샘플링 시간은 각각 5ms 였다.

### 4.3. 실험 절차

피험자는 의자에 앉아, 이마 벨트에 이마를 고정하고, 압실 조건 하에서 초दान 입체 디스플레이의 화면을 제시하여 자극을 관찰한다. 시행 순서는, 자극 패턴 (2) × 표시방식(3)의 총 6조건을 1세트로 하여, 1세트 내에는 각 조건을 랜덤하게 실행하였다. 각 피험자는 각각의 2세트를 실행하였다. 시행의 직전에는 안구 운동의 Calibration을 행하였다. 폭주거리, 좌(우안의 변위각)로부터, 동공 거리를 64mm로 하여 산출하였다. 피험자는 상하로 분리된 자극을 PC로부터의 주시 신호음에 따라서 3.8초 마다, 하-상-하-상의 순서로 바꾸어가며 주시하였다.

### 4.4. 피험자

피험자는, KM, DN, KS의 3명이고(KM, DN :

23세, KS : 40세), KM은 콘택트렌즈를 착용한 교정시력의 상태에서 측정 하였다. 다른 2명은 나시안으로 진행하였다.

## 5. 결과와 고찰

### 5.1. 실험 결과

3명의 피험자에 대하여 측정한 결과, 2안-초दान 조건에서는, 자극의 원-근에 대응하는 조절, 폭주의 변화가 보였다. 동공 면적은 약 60 ~65 mm<sup>2</sup>(동공 내경: 4.4~4.6mm)였고, 원-근 주시에 따른 현저한 변동은 보이지 않았다. 그러나, 3명중 2명에 불안정한 조절 데이터가 얻어졌다. 원인을 분석한 결과, 피험자

DN은, 속눈썹에 의한 측정용 적색광의 차단이 원인이었다. 피험자 KS의 경우에는 자극 타이밍에 대응한 폭주, 조절의 변화는 발생했으나, 원시 상태이기 때문에, 자극 제시 위치인 1.75~2.13D 부근의 조절 반응은 얻어지지 않았다. 이상의 이유로부터, 이번 실험은 피험자 KM의 데이터만을 정량 평가하였다.

2안, 초दान 조건에 대한 피험자 KM의 반응의 일례를 각각 그림 8, 9에 제시하였다. 가로축은 시간(sec)을 표시, 좌의 세로축은 폭주 위치와 조절 위치(diopter), 우의 세로축은 동공 면적(mm<sup>2</sup>)이다. 그림 8, 9는 폭주(VG), 조절(ACC), 동공면적(IRIS) 및 주시 이동 타이밍(STML)을 표시하였다. F-N의 기호를 추가하여 자극의 원-근을 표시하고, 원-근 자극의 제시 거리를 점선으로 표시 하였다. 또한, 1안 조건에서는 자극의 원-근에 대응하는 조절, 폭주의 변화가 보이지 않아 생략하였다.

### 5.2. 폭주·조절반응

그림 8, 9의 결과를 전체적으로 보면, 다음의 사실을 알 수가 있다. 우선 폭주와 조절은, 자극의 원-근의 주시 타이밍으로부터 다소 늦게 자극의 위치로 향해, 주시 시간 3.8초의 이후에는, 대체로 자극 위치에 일치하였다.

2안 조건에서는, 조절 자극을, 종래의 2안 입체 디스플레이와 같이, 영상 면에 위치하도록 설정하여, 이 경우에는, 원(먼) 자극의 위치가 영상 면에 상응한다. 따라서, 폭주-조절 모순 가설로부터, 조절이 영상 면(즉 이 조건에서는 원(먼)자극의 위치)으로부터 변화하지 않을 것 이라는 예상을 할 수 있다. 그러나, 그림 8의 결과로부터, 조절이 원(먼) 자극의 위치에 온다는 것은, 폭주성 조절의 작용에 따른 조절이 폭주 위치에 유도 되었다고 생각할 수 있다. 결국, 조절 기능에 있어서는, 폭주의 영향에 의해 가장 핀트가 일치하기 쉬운 위치로부터 떨어진 것이 되어, 분명한 상을 맺기 위하여 부하가 되었다고 생각할 수 있다. 한편, 초दान에서는, 앞에서도 언급한 초दान 영역에 따른 조절 유도 효과를 가정하면, 조절이 근(가까운) 자극의 위치에 왔을 때에도, 조절 기능의 부하는 없었다고 생각할 수 있다.

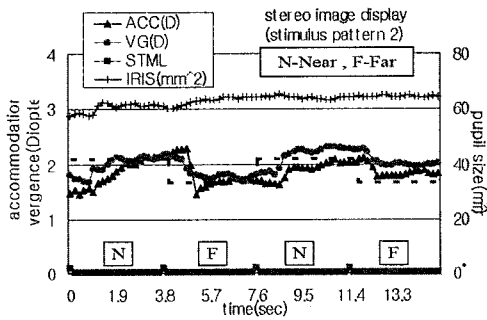


그림 8. 2안식 조건에서의 폭주, 조절작용

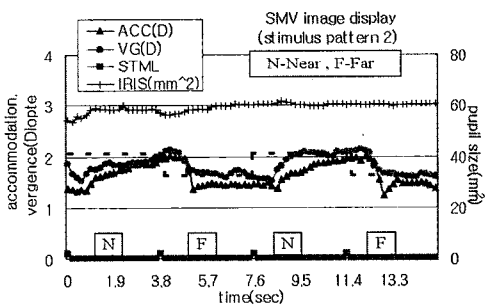
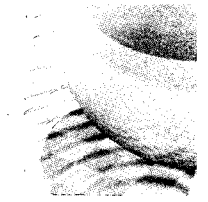


그림 9. 초दान 조건에서의 폭주, 조절작용



### 5.3. 동공 반응

실험 결과에 동공 면적의 결과를 첨가하여 고찰한다. 2안 조건에는, 폭주성 조절의 작용에 따른 조절이 영상 면으로부터 떨어지면, 분명한 상이 얻어질 수 없다고 가정하였다. 그러나, 안구 결상계는 렌즈와 마찬가지로 초점 심도가 있어서, 조절이 화상 면으로부터 떨어져 있다고 해도, 어떤 적당한 범위에서는, 상을 맺는데 있어서 지장을 주지 않는다고 생각할 수 있다. 이번의 결과에는, 동공 면적은 약 60~65mm<sup>2</sup>로 대체로 일정하고, 원-근의 주시 타이밍은 동기되지 않았다. 이것은, 원-근 자극을 주시한 경우, 초점 불일치의 정도가 적었기 때문에 초점 심도를 변화시킬 필요가 없었다고 생각할 수 있다.

이런 가능성을 확인하기 위해서는, 동공 면적으로부터 안구 결상계의 초점 심도를 계산하여, 상이 비초점화 될 것인가를 추정하면 된다. 그림 8, 9의 동공 면적으로부터 초점 심도를 계산하면 약 ±55mm이 되고, 2안 조건으로 조절이 근(가까운) 자극의 위치에 있으면 상은 비초점화가 된다(양안의 상의 차에 의한 근(가까운) 자극의 예상 위치는 영상 면의 570mm부터 100mm 피험자측). 그러나, 조절 유도를 위한 비초점화는, 망막상에서의 결상 특성 뿐 아니라, 망막 아래의 시상계의 공간 주파수 특성에도 의존한다고 생각할 수 있기 때문에, 이러한 의미에서 초점 심도의 결정은 자각적(스스로의) 검사에 의존하는 것이 타당할 것이다. 이번의 실험에는, 초점 심도 결정을 위한 자각 검사도 예정하고 있었으나, 폭주-조절 측정시 피험자의 부담이 커지므로 행하지 않았다. 이 점은 추후 검토할 예정이다.

### 5.4. 정량적 분석

그림 8, 9의 결과를 보면, 2안과 초다안 조건의 경우 모두 주시 타이밍에 대응하여 폭주와 조절이 변화하고 있으므로, 움직이는 점에 대해서는 현저한 차이를 보이지 않았음을 알 수 있다. 그러나, 원-근 자극의 2회의 주시를, 제1주시, 제2주시로 하여, 이로부터의 폭주, 조절의 값을 착안하면, 2안 조건에 비교하여 초다안 조건에는, 같은 자극의 주시를 반복했을 때의 값이 상대적으로 안정되고 있음을 알 수 있다. 또한, 1인의 피험자는, 자극 패턴 2조건 × 2세트 = 4시행을 행하고, 여기에, 1실행 중, 원-근 자극의 주시를 2회 행하였다. 때문에 제1주시와 제2주시의 값의 안정성에 착안하여, 4시행 × 원-근 2조건 = 8데이터의 분석이 가능하다.

상세한 분석에 앞서 우선, 피험자 KM의 제시 거리(바로 앞-멀리)라는 표시조건(2안-초다안)에 대하여 1세트 마다 분산 분석을 실시하였다. 그 결과, 제시 거리와 표시 조건의 상호 작용이 패턴 1의 제 1 Session을 제외하고는 모두 의미가 있었다. 이것은, 2안-초다안 조건 사이에는, 원-근 자극에 대하여 조절 반응 경향이 다를 수 있고, 표시의 방법에 따른 조절 유도 효과가 다르다는 것을 시사하고 있다. 그래서, 폭주, 조절 반응의 안정성에 착안하여, 1안, 2안, 초다안 조건에 있어서, 1시행중의 1회째와 2회째의 아래, 위 패턴을 주시한 측정치에 대하여 t 검정을 행하였다. 또한, 검정 대상 데이터는, 자극 주시 타이밍후의 폭주, 조절 변동을 고려하여, 주시 신호 전의 0.95초간(5데이터)으로 하였다.

표 1은 폭주, 표 2는 조절의 t 검정 결과이다. 표.1.2

표 1. Vergence의 T 검정 결과

Stimuli	Trial	position	Mono	Stereo	SMV
Pattern1	1	Near	8.00	17.74	0.60
	1	Far	4.03	14.57	9.12
	2	Near	0.49	4.36	1.08
	2	Far	9.10	1.88	2.32
Pattern2	1	Near	7.64	1.78	10.15
	1	Far	16.09	9.03	12.80
	2	Near	8.70	17.60	6.52
	2	Far	1.34	13.29	3.73

## 3차원 영상 디스플레이에 관한 Human factor의 연구

표 2. Accommodation의 t 검정 결과

Stimuli	Trial	Position	Mono	Stereo	SMV
Pattern1	1	Near	10.96	8.43	3.96
	1	Far	29.30	5.35	0.78
	2	Near	5.65	5.89	2.12
	2	Far	6.65	19.30	1.48
Pattern2	1	Near	18.10	58.00	9.38
	1	Far	4.05	1.00	3.72
	2	Near	0.57	5.42	4.49
	2	Far	8.48	9.33	0.21

의 t 값이, 3.36 보다 큰 값은 1% 수준에서 의미가 있음을 시사한다. 제 1시행 중에 있어 제 1주시와 제 2주시는, 폭주, 혹은 조절 거리가 다르다는 것을 의미한다. 역으로 의미 있는 값의 차이가 검출되지 않은 시행에 대하여는 박스(box) 안에 데이터를 표시하였다.

표 1에서, 폭주의 안정성을 의미 있는 값의 차이에만 착안하여 분석하면, 어떤 표시 조건에 대하여도 8시행 중, 2, 3시행 이외는 주시 위치의 재현성이 없다. 그러나, t의 값을 보면 초दान(SMV) 조건에는, 다른 조건에 비하여 t의 값이 적게 시행된 경우가 많다. 이것은, 초दान 조건에서 매번 주시의 폭주거리의 차이가 상대적으로 적다는 것을 시사하는 것으로 생각할 수 있다. 표 2의 조절의 검정 결과를 보면, 1안, 2안 조건에는 8조건 중 7조건에 1% 수준의 의미 있는 차이가 보인다. 그러나, 초दान(SMV) 조건에 있어서는 시행의 반응도가 의미 있는 차이를 보이지 않았다. 결국 이것은 1안, 2안 조건의 경우, 거의 모든 시행에서 조절이 같은 위치에 되돌아오지 않는다는 것을 보여준다. 그러나, 초दान 조건에서는 반수의 시행에서 조절 거리가 같은 위치가 되었다. 특히 가까운 조건보다 먼 조건에 안정성이 좋은 경향이 보인다. 이것은, 1안, 2안 조건에는 조절의 변동이 크지만, 초दान 조건에 대한 반응은 상대적으로 안정적이고, 특히 이미지가 맺히는 면에서의 조절이 안정적이라는 것을 시사하고 있다. 다만, 이런 경향은 한명의 피험자의 결과이고, 이 결과를 일반화 하기 위하여는, 이후 피험자와 조건을 추가하여, 조절을 안정화한 측정 방법을 강구하는 것이 필요하다.

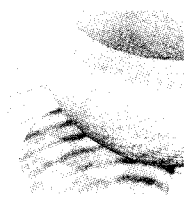
## 6. 맺음말

지금까지 3차원 영상 디스플레이 분야에 있어서 Human factor의 연구의 필요성, 과제 및 그 중요성을 살펴 보았고, 3차원 디스플레이와 시각 반응의 관계에서, 초दान 입체 영상에 대한 폭주-조절 반응의 실험적 검토의 예를 소개하였다. 종래의 2안 입체 디스플레이에는, 폭주-조절 모순이라 불리는 부자연스러운 상태가 있어, 이것이 시각 피로 등의 시각 부담이 되고 있다고 생각되어지고 있다. 또한, 2안 입체 디스플레이에는 운동시차가 제공되지 않는 등의 문제도 있다. 그래서, 폭주-조절 모순의 문제를 줄이고 운동시차를 제공하기 위하여, 초दान 입체 디스플레이가 제안되었고, 그것을 실현하기 위한 디스플레이가 연구 개발되었다. 본 논문에는, 초दान 입체 디스플레이를 이용하여, 2안, 초दान 입체 영상에 대한 폭주, 조절, 동공 반응의 효과를 검토 하였다. 그 결과, 2안, 초दान 조건 모두 자극의 위치에 대하여 폭주, 조절 반응이 발생하였으나, 2안 입체 디스플레이의 경우에는 조절이 초점 심도 밖으로 나가는 경우가 있어, 시각 부하의 증가가 시사되었다. 또한, 원-근 자극을 2회 반복하여 주시한 경우의 폭주, 조절 값에 대한 분석 결과, 초दान 입체 디스플레이에는 2안 입체 디스플레이에 비하여, 조절이 동일한 위치에 돌아 오는 경향이 강하였다. 이러한 사실들로부터, 초दान 입체 디스플레이에 있어 조절 유도의 안정성, 우수성이 보여졌다.

## 참고 문헌

- (1) Takehiro Izumi, 김은수·이승현 역 : 3차원 영상의 기초, 기다리, 1998
- (2) E.B. Goldstein, 정현섭 외 역 : 감각과 지각(Sensation and





Perception), 시그마프레스, 1999

(3) 元木紀雄, 矢野澄男共編: 3次元画像と人間の科学, オーム社, 2000

(4) 畑田豊彦: 疲れない立体ディスプレイを探る NIKKEI ELECTRONICS 1988, 4, 4(no. 444)

(5) 奥山文雄, 村松知幸, 所敬: 調節・輻輳・瞳孔の同時測定, 日本眼光学會誌, pp80-84, 1985

(6) 奥山文雄, 八名和夫, 池田貴司, 小山田健二: 立体映像による眼のピント調節と輻輳, テレビジョン學會技術報告, 20, 24, 13-18, 1996.

(7) 梶木善裕, 吉川嵩, 本田捷夫: 集束化光源列(FLA)による超多眼式立体ディスプレイ 3次元画像コンファレンス, 1996, 108-113

(8) Kajiki, Y., Yosikawa, H., Honda, T.: Ocular Accommodation by Super Multi-View Stereogram and 45-View Stereoscopic Display, in Proceedings of The Third International Display Workshops (IDW 96), Vol.2, 1996, 489-492

(9) 永井大輔, 本田捷夫: 投影光学系扇形配列による立体表示装置の開発, 高臨場感ディスプレイフォーラム 2000, 電子情報通信學會技術研究報告 2000, EID2000-231~242

(10) Sudo, T., Morishita, H., Osaka, T., Taniguchi, N.: 3D display using intersection of light beams IST/SPIE Electronic Imaging 2000 International Symposium Stereoscopic Display and Application, Proc., SPIE, 3757, 2000, 215-224

(11) Krishnan, V. V., Phillips, S., Stark, L: Frequency Analysis of Accommodation, Accommodative Vergence and Disparity Vergence, Vision Res., 13, 1973, 1545-1554.

**약 력**



**須佐見憲史**  
(Kenji Susami),  
박사 (심리학)

1986년 중경 대학 대학원 연구과 박사 과정 수료 (심리학전공). 1989년 동박사 후기 과정 만족. 일본 학술진흥회 특별 연구원(PD), ATR 인간 정보 통신 정보 연구소 객원 연구원. 중경 대학 심리학과 강사, 동경 공업 대학 연구 지원 추진 위원 등을 경유하여, 1998년 4월부터, 통신 방송 기구(TAO), 고도 3차원 동화상 원격 표시 프로젝트 연구원으로 현재까지 재직. 3차원 화상과 깊이 방향의 인식, 운동성, 인구 운동 등의 연구에 종사.



**김상규,**  
이학 박사  
(물리학, 양자광학)

1996년부터 1999년 4월까지 KIST 영상미디어 센터에 박사과정 학생 연구원으로 재직하며, 홀로그래픽 비디오 시스템의 개발과 CGH 부분을 연구. 2000년 2월 고려대학교 물리학과 양자광학 전공, 박사 학위 취득. 1999년 4월부터 현재까지 일본 통신 방송 기구(TAO), 고도 3차원 동화상 원격 표시 프로젝트, 해외 초청 연구원으로 재직 중. HMD 형태의 입체 영상 표시 장치의 연구에 종사.



**반지은,**  
교육학 전공

1997년 이화여자대학교 졸업(교육학 전공). 1998년부터 현재까지 KIST 영상 미디어 연구 센터의 3차원 영상매체 팀에 근무 중. 2000년 9월부터 연세대학교 인지과학 협동과정에서 심리학과 대학원 소속 지각(perception) 실험실에서 공부 중. 관심 분야: 3차원 영상 디스플레이 시스템 제작과 관련된 Human factor, 깊이 지각과 관련된 시각 착상 및 양안·입체시 관련 시각 요소 테스트.