

## 기술 특 집

# 초점조절 가능 3차원 영상 표시 장치

김성규 (한국과학기술연구원 시스템 연구부 영상미디어 센터)

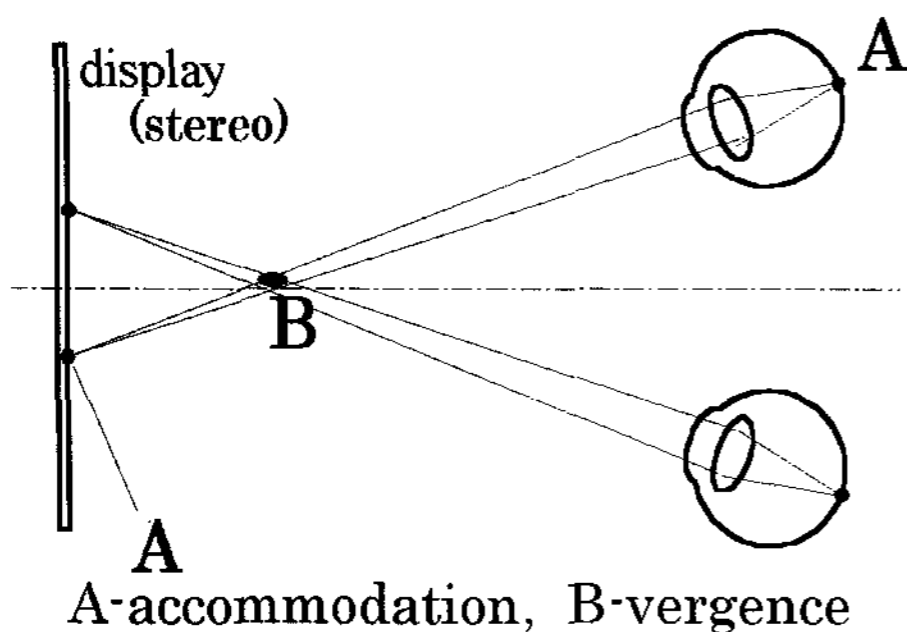
## I. 서 론

3차원 영상 표시 장치는 그 제공 영상이 기존의 평판 영상 표시에 비하여, 표시하고자 하는 대상의 입체 정보를 시청자에게 전달할 수 있는 영상 표시 매체인 이유로 인하여 그 가능성은 넓게 인식되고 있다. 이러한 3차원 영상 표시 장치는 1990년 미국 MIT에서 홀로그래프 원리를 적용한 홀로그래픽 동영상 표시 장치를 개발한 것을 계기로 하여<sup>[1]</sup>, 현재에 이르기까지 세계 각국에서 보다 효과적인 3차원 영상 표시 장치를 개발 경쟁에 참여하고 있다. 그러나 제공하려는 3차원 영상을 시청자가 다양한 위치에서 자연스럽게 관찰할 수 있고(운동시차) 특별한 안경을 사용하지 않고 시청할 수 있게 하는(무안경식) 조건을 만족시키기에는 너무나 복잡한 광학적 설계와 고성능의 공간 광 변조기를 필요로 한다<sup>[2]</sup>. 이와 더불어 3차원 영상을 장시간 시청시에 발생하는 눈의 피로현상과 어지러움 현상으로 기존의 2차원 영상 표시 장치에 대하여 아직도 경쟁 기술이 되지 않고 있다. 금년 1월에 미국에서 개최한 Electronic Imaging 학회에서의 3차원 영상 표시 장치 개발의 주 추세는 과거 그 원리가 밝혀진 렌티큘라 렌즈 배열을 이용한 방법, Integral Photography를 이용하는 방법, 그리고 시차 장벽을 이용하는 방법들의 시차 형성에 있어서 보다 정밀한 조건의 만족과 조절로 보다 자연스럽게 특별한 안경을 착용하지 않고 3차원 영상을 시청할 수 있는 조건의 달성에 주력하는 내용들이었다. 이러한 방법들은 적용하여 상당부분 상용화에 가까워진 완성도를 보인 시제품들이 다수 전시되었다. 그러나, 아직까지 기존의 2차원 영상 표시 장치와 경쟁하기 위하여는, 눈의 피로현상을 반드시 극복하여야만 하는 커다란 문제점이 남아있다. 현재까지 인지 심리학 분야에서 주로 연구되어 온 눈의 피로현상은 3차원 영상 표시 장치에서 눈의 초점조절 능력을 만족시킬 수 없음으로 하여 발생한다는 것이 가장 설득력 있다는 관점의 연구 결과들이 발표되었다<sup>[3, 4]</sup>. 이러한 눈의 초점조절 능력의 불만족은 “양안의 수렴작용과 각각의 눈의 초점조절 사이의 불일치”를 발생시킨다는 것이다. 이러한 연구 결과들을 완벽하게 검증하기 위하여는 수렴

작용과 초점조절을 동시에 완벽히 만족시키는 3차원 영상 표시가 있어야 한다. 이러한 능력을 가질 수 있는 가능성을 가진 3차원 영상 표시 장치가 일부 개발되었다. 그 예로 MIT와 일본 TAO 그리고 KIST에서 개발한 홀로그래픽 동영상 표시장치<sup>[5, 6]</sup>, 일본 TAO에서 개발한 초다시점 3차원 영상 표시 장치<sup>[7, 8]</sup>, 그리고 체적 영상 표시 장치<sup>[9]</sup> 등이 그 대표적인 3차원 영상 표시 장치이다. 그러나 홀로그래픽 동영상 표시장치는 그 장치에 적용된 공간 광 변조기의 성능 부족으로 인하여 수렴작용과 초점 조절을 적절히 검증할 정도의 충분한 3차원 영상의 제공 공간의 크기를 만족할 수 없었고, 초다시점 3차원 영상 표시 장치는 초점조절을 만족할 수 있는 가능성은 있지만, 실제로 완벽하게 초점조절을 만족하는 영역까지 많은 시차 영상을 제공하지 못하였다. 그리고 체적 영상 표시 장치는 수렴작용과 초점조절을 완벽하게 만족시킬 수 있으나, 체적 영상 표시 장치의 구현 원리에 있어 한정된 체적 내에서만 3차원 영상을 제공할 수 있는 한계로 인하여 수렴작용과 초점조절의 불일치와 관련된 눈의 피로현상의 검증에는 적용할 수 없다. 이러한 배경으로부터, 2004년 1월의 Electronic Imaging 학회에서 Retinal Display 방식의 개발로 널리 알려진 Washington 대학의 연구팀의 멤브레인 미러를 이용한 초점 조절 만족 시스템에 대한 발표<sup>[10]</sup>가 있었고, 그리고 일본에서는 Floating Image 방식과 다시점 3차원 영상 표시 장치를 혼합하여 시청자의 주관심 깊이에 Floating Image 평면을 제공하여 초점 조절 불일치의 완화 시스템<sup>[11]</sup>을 발표하였다. 그러나 상기 두 시스템 모두 완벽한 초점조절의 제공과는 거리가 있는 시스템이었다. 눈의 피로현상과 수렴작용과 초점조절의 불일치 사이의 관련성에 대한 엄밀한 검증을 위한 3차원 영상 표시 장치의 개발이 절실히 필요한 상태이다. 본 논문은 눈의 초점조절 작용을 완벽하게 만족할 수 있는 3차원 영상 표시 장치의 개발 결과를 그 내용으로 하는 것으로 금년 1월 Electronic Imaging 학회에서 발표한 내용<sup>[12]</sup>을 포함한다.

## II. 수렴작용과 초점조절의 불일치

서론 부분에서 3차원 영상의 시청에 있어, 눈의 피로현상은 3차원 영상 표시 장치의 대중화에 있어 큰 문제점으로 작용한다고 언급하였고, 그 주 원인이 양안의 수렴작용과 각각의 눈의 초점조절 사이의 불일치라고 알려져 있다고 기술하였다. 이러한 불일치 현상을 아래의 [그림 1]로 이해할 수 있다. 일반적인 3차원 영상 표시 장치에서 제공하는 3차원 영상은, 적/청 또는 편광 안경과 같은 특수 안경을 착용하는 안경식이나 특수 안경을 착용하지 않고 특정 영역에서 3차원 영상을 볼 수 있는 무안경식 모두에 있어, 일정 영역의 공간에 존재한다. [그림 1]의 점 B를 표시하고자 하는 3차원 공간상의 점이라 할 때, 그 점을 보는 사람의 두 눈은 자연스럽게 두 안구의 중심 광축이 점 B를 지나도록 수렴하게 된다. 이것은 일반적으로 실제에 존재하는 어느 점을 볼 때 발생하는 두 안구의 수렴 작용과 일치한다. 또한 사람의 눈은 점 B와 같이 어느 깊이의 한 점을 주시할 때 두 안구가 회전하여 수렴됨과 동시에 그 깊이의 점 예들 들어 점 B를 선명하게 보기 위하여 각각의 눈의 수정체 두께를 조절하여 초점을 점 B의 깊이에 둔다. 이것 역시 실제에 존재하는 어느 깊이의 작은 물체를 주시할 때 각각의 눈에서 발생하는 초점조절 현상과 일치한다. 따라서 실제 상황이면 3차원 영상 표시 장치에서 제공하는 3차원 영상 내에서든, 일정 깊이의 물체나 점을 보기 위하여 사람의 두 눈은 그 점이나 물체를 중심으로 수렴됨과 동시에 각각의 눈은 그 점이나 물체의 깊이에 초점을 둔다. 이러한 두 가지 작용은 자연스러운 반응이다. 그러나, 3차원 영상 표시 장치에서 제공하는 3차원 영상에서의 점 B는 수렴작용에는 일치되지만, 점 B를 표시하기 위한 두 눈 각각을 위한 빛은 3차원 영상 표시 장치의 2차원 영상 표시 장치에서부터 출발한다(점 A). 따라서 각각의 눈의 가장 자연스러운 초점 깊이는 2차원 영상 표시 장치의 표면이다. 따라서 수렴작용에 따른 초점조절에 의해 점 B의 깊이에 초점을 두면 점 B는 선명해지지 않고 오히려 흐려지는 비초점화 현상이 발생한다. 이것이 수렴작용과 초점조절의 불일치이다. 이러한 불일치 현상이 눈에 부담으로 작용되어 시간이 흐름에 따라 누적된 불일치 현상에 의한 눈의 부담이 눈의 피로현상의 원인이 되는 것이라는



[그림 1] 수렴작용과 초점조절의 불일치

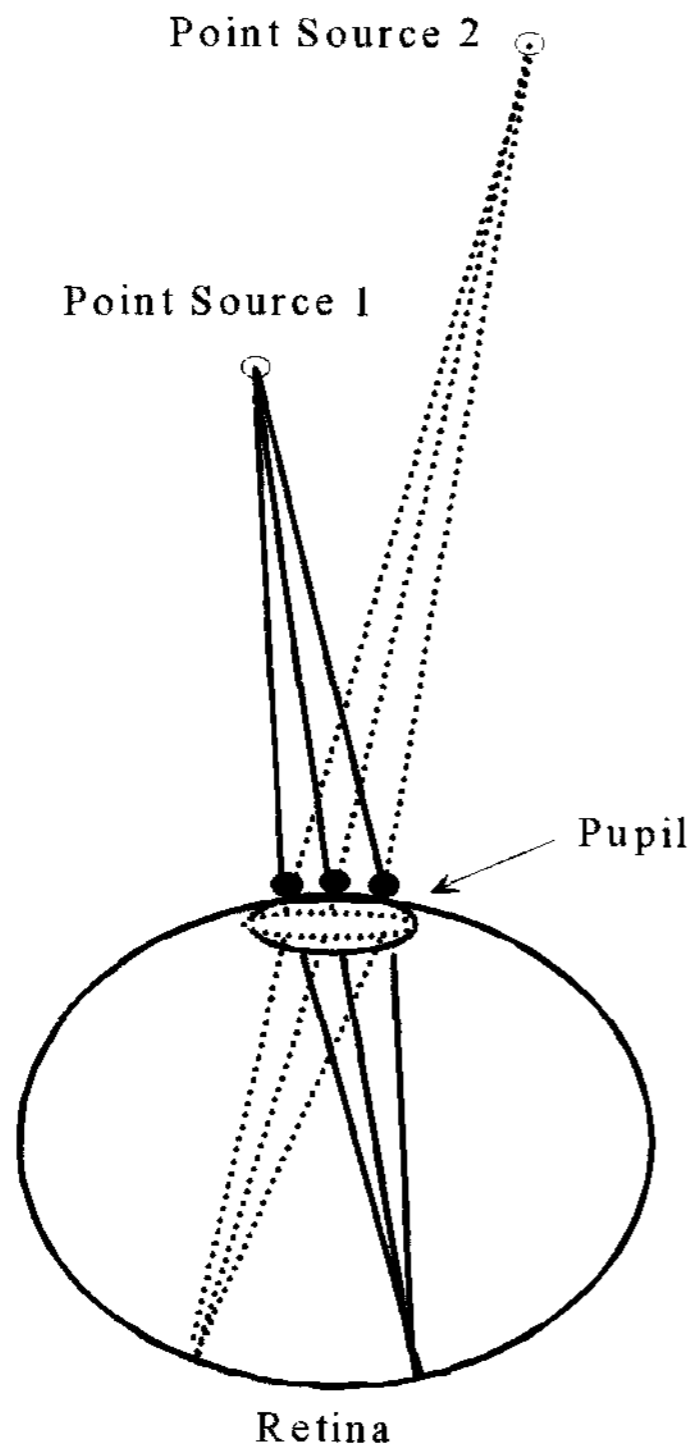
것이 인지 심리학자들의 공통된 눈의 피로현상의 원인에 대한 분석이다. 그러나 수렴작용과 초점조절을 동시에 완벽하게 만족시켜주는 3차원 영상 표시 장치가 개발되어지지 않은 관계로, 현재에 이르기까지 엄밀한 실험적 검증은 이루어지지 않고 있다.

## III. 초점조절 만족의 조건

사람의 눈의 동공의 크기는 평균적으로 약 2~8mm로 주위의 밝기에 따라 자연스럽게 조절된다. 따라서 동공의 크기가 가장 작은 경우에도 수평/수직 방향에 각각 최소한 2개 이상의 시차영상이 제공되어야 눈의 초점조절의 조건을 만족할 수 있는 가능성이 있음을 알 수 있다. 이러한 경우에 각 눈의 수정체 렌즈는 일정 깊이의 표현하고자 하는 점에 초점을 맞출 수 있을 것이라고 생각된다. 물론, 이러한 조건을 만족시킬 수 있는 3차원 영상 표시 장치가 있는 경우에는 보다 정확한 만족의 조건을 찾을 수 있으나, 아직까지 다 시점 영상을 기초하여 초점조절 만족 영역까지 제공 가능한 3차원 영상 표시 장치가 없었으므로 구체적 조건을 검증할 수가 없었다<sup>7,8)</sup>. 또한 시스템적인 조건 이외에도 3차원 영상의 인식은 사람의 눈의 시세포의 크기, 분포와 뇌의 인식 작용과 연관되어 있으므로 진정한 검증은 보다 많은 실험적 근거를 필요로 한다.

본 논문의 기본 아이디어를 [그림 2]에 나타내었다. [그림 2]에 세 개의 수평 시차 영상만으로 한쪽 눈의 초점 조절을 만족시키는 상황을 표시하였다. [그림 2]의 동공 주위에 표시한 세 점은 세 개의 수평시차 영상들 각각의 수렴점을 나타낸다. 3차원 영상에서 나타내고자 하는 점 1의 경우에는 눈의 수정체 렌즈가 두꺼워짐으로써 망막상에 상을 일치시킬 수 있고, 그림에서의 수정체 렌즈를 실선으로 표시하였다. 그리고 3차원 영상에서 나타내고자 하는 점 2의 경우에는 점 1의 경우에 비하여 수정체 렌즈는 얇아짐으로써 망막상에 점광원 2의 상을 일치시킬 수 있게 되고, 이 경우의 수정체 렌즈를 점선으로 표시하였다. 이러한 경우에는 실제의 영상과 가상적으로 제공하는 3차원 영상과의 차이를 최소화시킬 수 있다.

이러한 가정을 만족할 수 있는 시스템은 수평 및 수직 방향으로 각각 1mm의 간격마다 시차영상을 제공하기 위하여는 일반적인 사람의 양안사이의 거리인 65mm를 고려하더라도 65×65개의 시차영상이 필요하다. 이렇게 필요한 정보량이 방대하고, 광학적으로 구현하기가 매우 어렵다. 따라서 현재 상태에서는 관찰자 두 눈 각각에 대하여만 상기 조건을 만족할 수 있는 시스템은 현재의 기술로 그다지 어렵지 않게 구현할 수 있다. 이러한 경우 시스템은 각각의 눈에 해당할 수 있도록 두 개의 유닛으로 구성된다. 또한 수평 및 수직의 모든 방향에 대한 초점조절 조건을 만족시키는 것이 가장 자연스러우나 이 또한 광학적으로 구현하기가 어렵다. 따라서 우선적으로 수평 방향에 한하여 두 눈 각각에 초점조절 조건을 만족하는 시차영상을 제공하는 시스템을 구성



[그림 2] 초점조절 조건

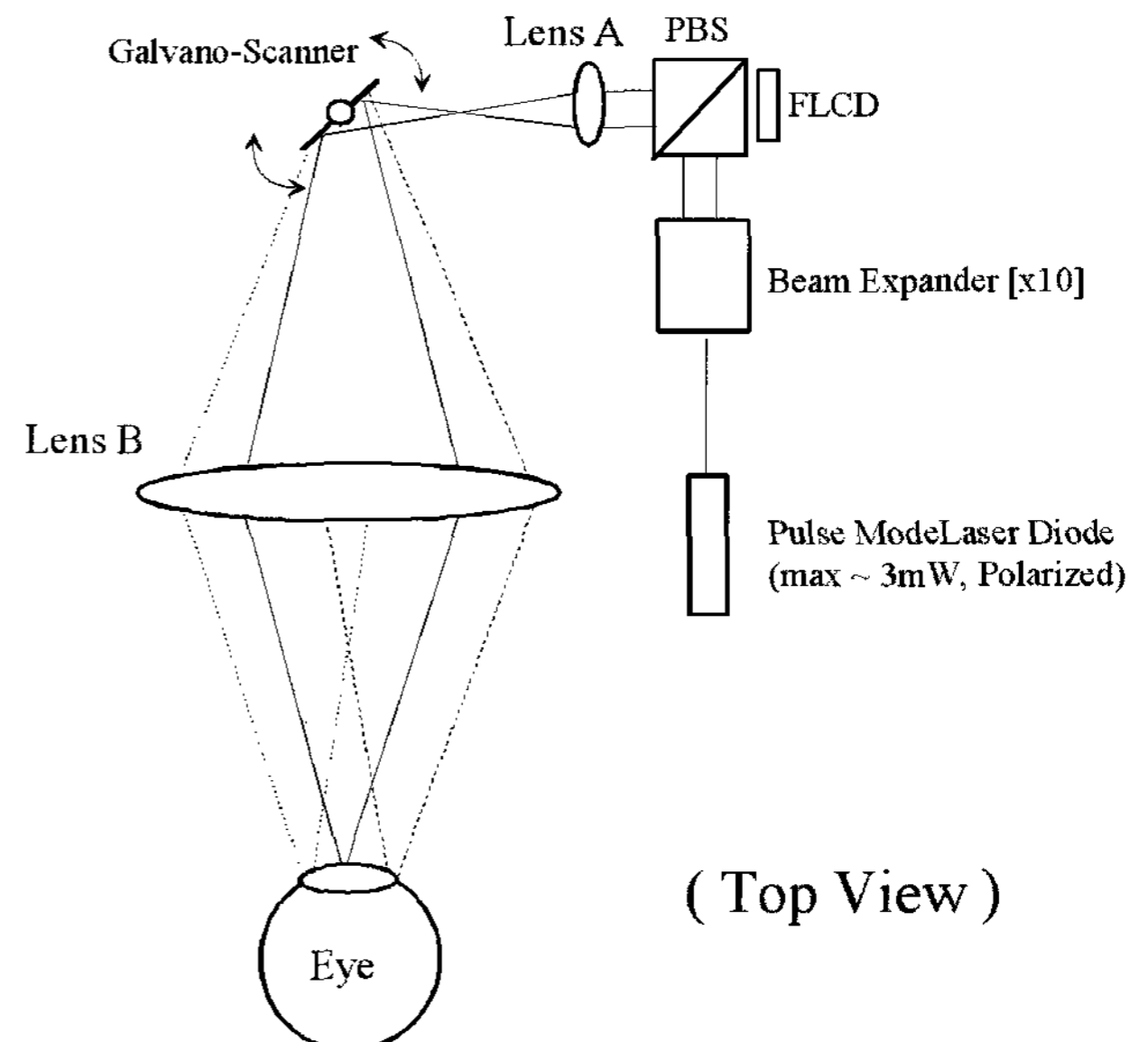
한다. 이러한 경우에 관찰자의 수직 방향 자유도를 제한하는 경우에는 수평 방향만의 초점조절을 만족시킬 수 있는 시차영상만으로도 각 눈의 초점 조절을 만족시킬 수 있다.

사람의 동공은 수평과 수직 방향에 대하여 동일하게 작용하지만 어느 한 쪽의 초점조절을 만족시켜 주면 비초점이 될 경우에도 흐려짐의 현상이 발생하므로 수평과 수직 방향의 모든 방향에서 비초점에서 발생하는 흐려짐의 현상과 그 형태는 다르나 흐려짐이 발생하므로 초점조절 만족에 위배되지는 않는다.

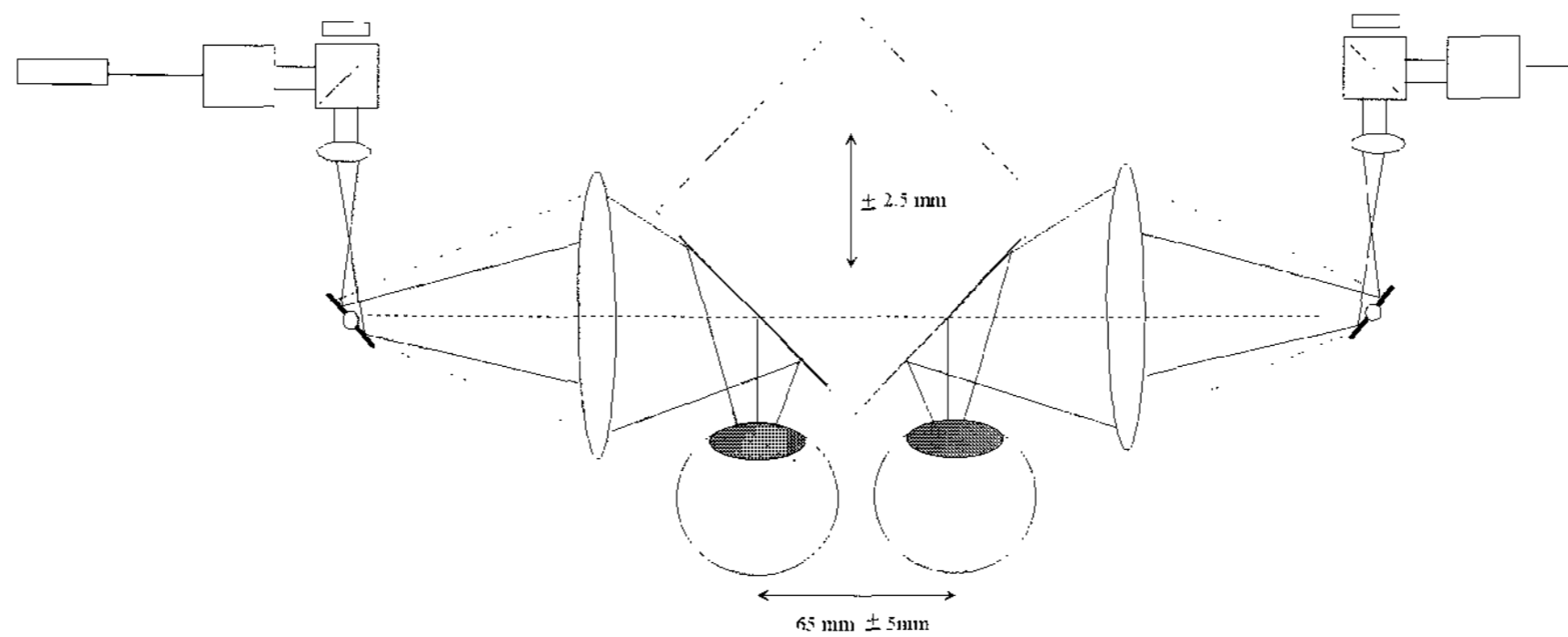
#### IV. 초점조절 만족 시스템

[그림 2]의 상황을 만족시킬 수 있는 시스템을 [그림 3]에 두었다. 이 시스템에서는 FLCDC(Ferroelectric Liquid Crystal Display)를 공간 광 변조기(SLM: Spatial Light Modulator)로 사용하였다. FLCDC의 공간 해상도는  $256 \times 256$ 이고 최대의 초당 프레임 갱신률은 1KHz이다. 또한 각 픽셀은 8bit인 Gray Scale의 데이터를 표현 가능하다. 3차원 기본 화면 갱신률을 30Hz로 설정할 경우 초당 최대 프레임 갱신률을 고려하여 한장의 3차원 화면을 구성하기 위하여는 시간분할 방식을 적용할 때 약 33개의 시차영상을 제공할 수 있다. 본 시스템에서 광원으로 펄스모드로 작동이 가능한 레이저 다이오드 모듈을 사용하였다. 펄스 모드의 동작은 50KHz이상의 사각파에 대응하여 적용 가능한 성능을 갖고 있어 본 시스템에 적용하는 FLCDC의 최대 화면 갱신률에 충분히 적용할 수 있는 성능이다. 또한 사용 레이저 다이오드는 연속동작에서 약 5mW의 출력을 내며 파장은 635

nm±20nm인 적색광이다. 레이저 다이오드의 펄스모드 동작으로 시간 분할 방식의 시차영상에 동기하였다. 레이저 다이오드에서 발생한 광은 광확산기를 통과하게 함으로써 레이저 광의 면적이 확대되어 FLCDC 전면을 조사하였다. FLCDC는 편광 특성을 이용하는 공간 광 변조기이므로 편광 광 분할기(PBS)를 FLCDC 전면에 적용하였다. 레이저 다이오드의 펄스 모드 동작과 동기된 FLCDC에서의 각각의 시차영상은 결과적으로 시간계열에 순차적인 시차영상 들로 생성된다. 이렇게 시간계열의 시차영상들은 렌즈 A를 통과하면서 시차영상들은 모두 동일한 수렴점에 수렴하게 된다. 렌즈 A에 의한 수렴점에서 FLCDC로부터 발생한 회절광들을 제거하기 위하여 편홀을 사용하였다. 편홀을 사용함으로써 0차회절광에 의한 시차영상만을 투과시키도록 하였다. 렌즈 A에 의하여 수렴된 시차영상들을 시간적 흐름에 따라 다른 공간적 위치에 분포시키기 위하여 갈바노 스캐너를 사용한다. 갈바노 스캐너의 진동에 따라 시간계열상에 존재하던 시차영상 들이 공간상의 각각의 다른 위치에 수렴점으로부터 출발한 시차영상과 같이 보여지게 된다. 본 실험에서는 최대의 경우 20개의 시차영상을 3차원 화면에서 15Hz의 갱신률로 재생하였다. 3차원 화면에서의 화면 갱신률이 그 성능의 반으로 사용한 것과 최대 시차영상을 20개로 설정한 것은 현재 사용한 FLCDC 소자의 구동 회로에서 동기신호를 적절히 제공하지 못함으로 인하여, 시차영상의 수렴점들을 공간상에 분포시키기 위하여 사용한 갈바노 스캐너와의 동기에 최대 성능을 줄 수 없는 구동 회로의 문제로 인한 결과이다. 이 부분은 추후 구동 회로의 적절한 개선으로 성능 개선을 이룰 수 있다. 따라서 전체 시차영상의 초당 갱신률은 300Hz이다. 갈바노 스캐너의 진동으로 각각의 다른 위치로부터 출발한 시차영상들은 렌즈 B를 지나면서 렌즈 B의 수렴거리와 렌즈 A의 수렴점 그리고 렌즈 B의 위치 값들로부터 시차영상들의 수렴점 들의 공간상의 분포 좌표를 계산할 수 있다. 본 실험에서는 갈바노 스캐너를 4도 각도로 진동하도



[그림 3] 초점조절 가능 3차원 영상 표시 장치(한쪽 눈의 경우)



[그림 4] 초점조절 가능 3차원 영상 표시 장치(양쪽 눈의 경우)

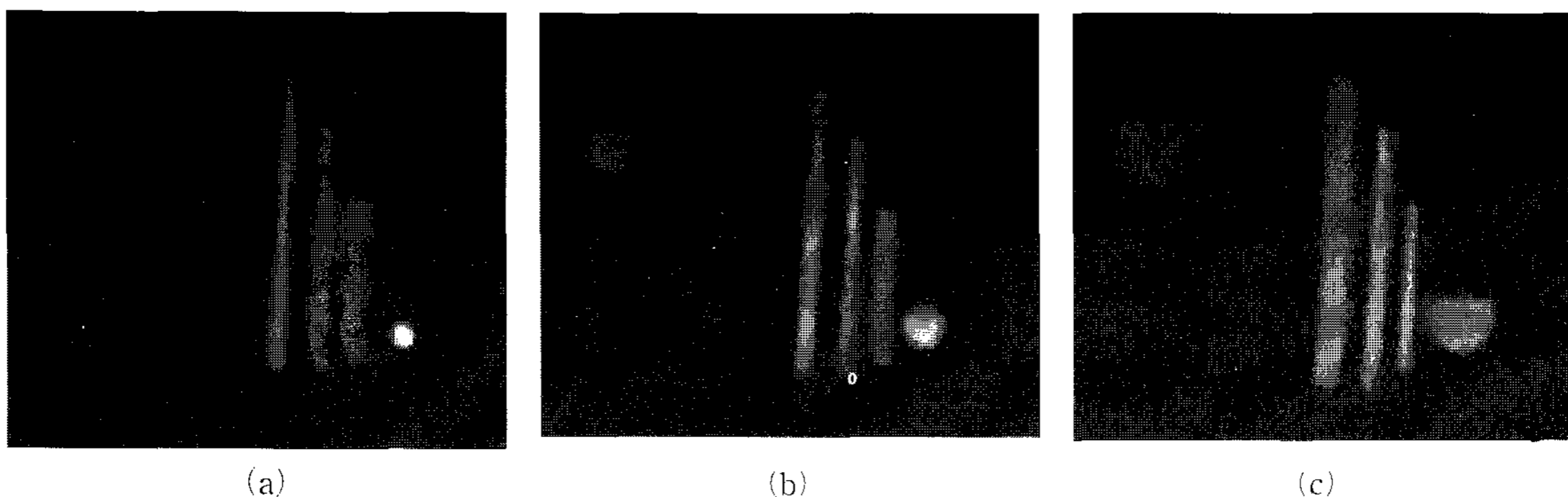
록 하였고, 이러한 경우에 렌즈 B를 지난 후의 공간상의 시차영상 수렴점들의 분포의 수평방향 폭은 3mm가 되었다. 이러한 시차영상 수렴점들의 수평방향 폭에 최대 20개의 시차영상에서부터 최소 2개의 시차영상의 분포가 가능하도록 시차영상들을 제공할 수 있다. 이렇게 일정 수평 방향 폭에 다른 수의 시차 영상을 제공할 수 있도록 시스템을 설계한 것은 추후 초점조절 만족을 위한 최소 시차영상 수와 이웃하는 시차영상 간의 최대 수평 거리를 확인하기 위함이다. 렌즈 A와 렌즈 B의 초점 거리는 각각 100mm와 108mm이다. 렌즈 A와 갈바노 스캐너(Galvano-Scanner) 사이의 거리는 200mm이고 갈바노 스캐너와 렌즈 B사이의 거리는 410mm이다. 그리고 렌즈 B와 눈 사이의 거리는 138mm이다.

본 시스템의 사양으로 수평 방향의 시야각은 최대의 경우 23도를 얻을 수 있다. 또한 수직 방향의 시야각은 10도이다. 본 논문의 수평 방향 초점조절 만족 3차원 영상 표시 장치를 양쪽 눈에 모두 사용하기 위한 확장을 [그림 4]에 두었다. [그림 4]의 시스템을 구축하는 경우에 중심부의 미러를 이동함으로써 각각의 관찰자의 양안 거리가 다른 경우에 조절 가능하게 할 수 있다. 두 개의 시스템으로 두 눈에 초점 조절과 양안시차를 줄 수 있다. 양안시차만을 제공하는 시스템에서는 양안시차가 전체적으로 다소 어긋나더라도 동일 양이 각각의 양안시차를 위한 영상에 작용하는 경우에 관찰

자의 깊이감만 다소 다르게 느낄 뿐 그 입체감의 제공에는 영향이 없다. 이런 이유로 인하여 동일 입체 영상을 다른 깊이의 위치에서 감상할 수 있다. 그러나, 양안시차와 초점조절을 위한 시차영상이 존재하는 경우에는 양안시차 영상과 초점 조절을 위한 시차 영상이 정확히 일치하여야만 관찰자가 입체감을 체험함과 동시에 정확한 깊이의 3차원 영상 물체에 초점을 둘 수 있다. 두 가지 종류의 정보가 어긋나는 경우에는 또 다른 눈의 피로 원인이 될 수도 있다. 따라서 양안시차 정보와 초점조절 정보는 항상 일치되도록 하여야 한다. 이러한 이유로 양안 거리가 변화되는 경우의 양안용 시스템 설계는 상기 문제의 발생을 고려하여야 한다.

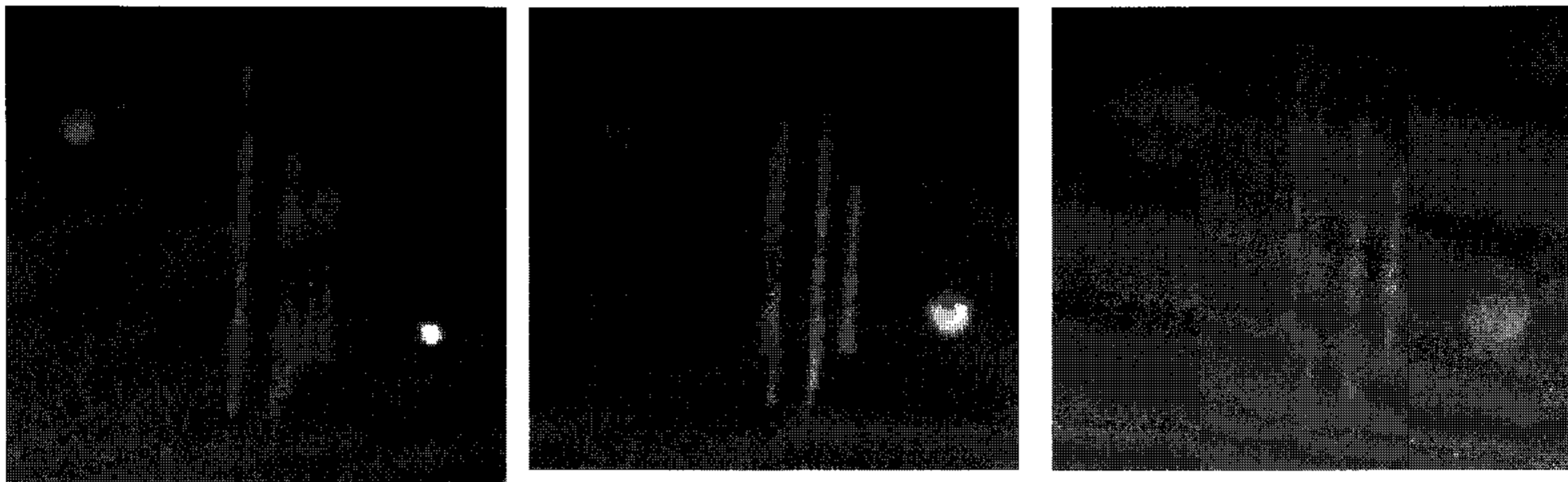
## V. 실험 결과

본 초점조절 가능 3차원 영상 표시 장치의 구성에 따른 눈의 초점 조절 만족에 대한 실험 결과를 [그림 5]와 [그림 6]에 두었다. [그림 5]와 [그림 6]에서의 촬영 결과 그림들은 관찰자 수명이 실제의 눈으로 동일한 결과를 확인하였다. 피험자들 중 안경을 착용한 경우에는 안경을 착용한 상태에서 그리고 정상 시력을 갖는 피험자는 나안으로 확인하였다. 또한 [그림 5]와 [그림 6]의 결과는 디지털 비디오 카메라



[그림 5] 한쪽 눈에 대한 초점 조절 실험 (20개의 시차 영상)

- (a) 눈으로부터 0.3m 떨어진 좌측 수직선에 초점을 둔 경우의 결과
- (b) 눈으로부터 0.5m 떨어진 중간 수직선에 초점을 둔 경우의 결과
- (c) 눈으로부터 1.2m 떨어진 우측 수직선에 초점을 둔 경우의 결과



(a)

(b)

(c)

[그림 6] 한쪽 눈에 대한 초점 조절 실험 (2개의 시차 영상)

(a) 눈으로부터 0.3m 떨어진 좌측 수직선에 초점을 둔 경우의 결과

(b) 눈으로부터 0.5m 떨어진 중간 수직선에 초점을 둔 경우의 결과

(c) 눈으로부터 1.2m 떨어진 우측 수직선에 초점을 둔 경우의 결과

로 초점깊이를 다르게 하여 제공한 3차원 영상의 각각의 깊이 일치한 경우의 결과들이다. [그림 5]의 경우에는 [그림 3]의 시스템에서의 수렴점들이 분포하는 평균 깊이로부터 300mm, 500mm, 그리고 1200mm 떨어진 세 개의 수직선으로 구성된 가상 물체를 3차원 영상 한 화면에 제공하기 위하여 20개의 시차영상을 시차영상들의 수렴점들의 수평폭 3mm 사이에 계산하여 표시한 것이다. 본 시스템은 하나의 눈에만 적용가능한 형태이므로 초점조절의 만족 가능성을 확인하기 위한 실험 결과이다. 초점조절의 증거로 [그림 5]의 (a)는 수렴점들의 분포 평균 깊이로부터 300mm에 초점을 둔 경우의 촬영 결과이다. 이 결과에서 확인할 수 있듯이 좌측의 300mm 깊이의 수직선 만이 선명한 하나의 선으로 나타나고 중간부분의 수직선은 다소 흐려지며(실제로는 20개의 시차영상에서 제공하는 중간부분 수직선이 좌측 수직선의 깊이에 초점을 둔 경우에 한 곳의 위치에 일치하지 못함으로 각각 초점으로부터 이격된 정도로 갈라진 결과) 우측 부분의 수직선은 중간 부분의 수직선에 비하여 더욱 흐려짐을 알 수 있다. 따라서 일반적으로 초점깊이로부터 멀어질수록 비초점화(흐려짐)가 커지는 것과 동일한 현상을 보여준다. [그림 5]의 (b)에서와 같이 중간 부분의 수직선의 깊이에 초점을 둔 경우에는 눈에 보다 가까운 좌측 수직선과 눈에 보다 먼 우측 수직선이 흐려짐 현상을 확인할 수 있다. [그림 5]의 (c)에서는 눈으로부터 가장 먼 우측 수직선 깊이에 초점을 둔 경우의 촬영 결과이다. 이러한 결과에서도 좌측과 중간 부분의 수직선이 흐려짐을 확인할 수 있다. 이러한 결과들로부터 본 시스템에서 제공하는 3차원 영상은 눈의 초점조절 기능을 만족할 수 있음을 확인할 수 있다. [그림 5]의 모든 결과 그림에서 좌측 상단의 원형 물체와 우측 하단의 원형 물체는 일정 깊이에 존재하는 실제 광원의 영상으로 카메라의 초점설정 깊이가 변화됨을 나타내는 참고 실제 광원의 영상이다. 각각의 그림에서 그 원의 직경이 변화되는 것으로 초점 깊이가 다름을 확인시켜 준다.

[그림 6]의 결과는 [그림 5]와 동일한 조건이나 시차영

상의 개수를 2개만을 제공하여 초점조절 기능의 작용을 확인한 결과이다. 하나의 3차원 영상을 형성하기 위한 시차영상의 개수가 2개이므로 [그림 5]의 결과와 같은 흐려짐의 현상은 발생하지 않고 비초점화에 의한 비초점 깊이의 수직선이 갈라지는 현상을 나타낸다. 이러한 갈라짐의 현상은 대상 물체들을 많은 점들로 구성하였을 때 각각의 점이 2개로 분리됨으로 인한 흐려짐 현상이 발생할 수 있으므로 최소의 경우 2개의 시차영상 만으로도 초점조절이 가능함을 알 수 있다. 본 결과에서는 최소의 경우 2개의 시차영상 만으로도 초점조절이 가능함을 보여주기 위한 목적으로 준비한 결과이며 최대 시차영상 수렴점들 간의 거리는 추후 보다 많은 실험을 필요로 한다. 이러한 결과의 중요성은 현재까지 알려진 3차원 영상 표시 장치의 가장 큰 문제인 눈의 피로 현상을 제거하거나 완화시킬 수 있는 가능성을 보여준다는 것이다.

## VI. 결론 및 고찰

3차원 영상은 그 인식에 있어 눈의 피로현상이나 어지러움과 같은 문제를 발생시킨다. 따라서 3차원 영상 표시 장치의 대중화를 위하여는 이러한 현상들의 발생 원인과 해결 방법을 알아내는 것이 시급한 주제이다. 이러한 문제 해결의 한 방안으로 초점조절이 가능한 시스템을 제안하였고 한쪽 눈을 위한 시스템을 제작하여 그 실험 결과를 포함하였다. 그 실험 결과로 초점조절이 만족됨을 제시하였다. 본 시스템에서는 시차영상의 수렴점의 개수를 변화시킬 수 있고, 시차영상 간의 간격을 조절할 수 있는 시스템이다. 이러한 장점을 활용하여 눈의 초점조절 만족의 최소 조건 즉, 가장 적은 시차 영상으로 초점조절을 만족시키는 조건 그리고 이웃한 시차영상 수렴점 간의 최대거리로 초점조절을 만족시키는 조건을 실험적으로 확인할 수 있다. 이러한 부분을 구체적으로 실험하기 위하여는 본 시스템의 현재의 기술적 문제인

공간 광 변조기와 갈바노 스캐너와의 동기화의 문제점의 해결이 필요하고 사람의 양안에 적용할 수 있는 시스템의 개발이 요구된다. 이러한 최소 조건을 찾을 수 있게 되면 그 결과는 무안경식 초점조절 3차원 영상 표시 장치의 주요한 기준이 될 것이다. 양안에 초점조절을 만족시키는 양안시차 적용 3차원 영상 표시 장치 만이 수렴작용과 초점조절의 불일치와 눈의 피로현상 사이의 관계를 명확하게 밝혀낼 수 있게 된다. 추후의 주요한 연구 대상은 눈의 피로현상과 초점조절 작용과의 구체적 관계를 알아내는 것이고 더 나아가 수직방향의 초점조절을 위한 시차영상의 효과를 추가로 확인하는 것이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] St. Hilaire, S. A. Benton, M. Lucente, M. L. Jepsen, J. Kollin, H. Yoshikawa, and J. Underkoffler, "Electronic Display System for Computational Holography", Proc. SPIE, Vol. 1212, Practical Holography IV, pp.1212-1220, 1990.
- [2] Takehiro Izumi, 김은수 (이승현 역: 3차원 영상의 기초, 기다리, 1998.
- [3] 奥山文雄, 村松知幸, 所敬: 調節・輻輳・瞳孔の同時測定, 日本眼光學學會誌, pp.80-84, 1985.
- [4] 奥山文雄, 八名和夫, 池田貴司, 小山田健二: 立體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.
- [5] K. Maeno, N. Fukaya, O. Nishikaw, K. Sato, and T. Honda, "Electro-Holographic Display using 15 Mega Pixels LCD", Proc. SPIE, Practical Holography X, 1996.
- [6] S. A. Shestak, J. Y. Son, S. K. Lee, and H. W. Jeon, "Pulsed Laser Holographic Video", Proc. SPIE, Practical Holography X, 1996.
- [7] Y. Kajiki, H. Yoshkawa, and T. Honda, "Three-Dimensional Display with Focused Light Array", Proc. SPIE, Vol 2652, Practical Holography X, Paper #2652-15, 1996.
- [8] S. K. Kim, Y. Kajiki, and T. Honda, "3D Display System for One Observer Using Multi-projection of 2-Dimensional Images from an Arc", Proc. SPIE Stereoscopic Displays and Applications XII, 2001.
- [9] Alan Sullivan, "DepthCube solid-state 3D volumetric display", Proc. SPIE Stereoscopic Displays and Applications XV, paper #5291A-30, 2004.
- [10] B. T. Schowengerdt, E. J. Seibel, J. P. Kelly, N. L. Silverman, T. A. furness III, "Stereoscopic retinal scanning laser display with integrated focus cues for ocular accommodation", Proc. SPIE Stereoscopic Displays and Applications XV, paper #5291A-41, 2004.
- [11] H. Kakeya, N. Kobe, H. Kasano, "Multiview autostereoscopic display with floating real image", Proc. SPIE Stereoscopic Displays and Applications XV, paper #5291A-27, 2004.
- [12] S. K. Kim, J. Y. Son, and T. Honda, "HMD type multifocus 3D display system", Proc. SPIE Stereoscopic Displays and Applications XV, paper #5291A-39, 2004.