

3차원 디스플레이 환경에서의 단안 초점 조절 정보

1. 서론

2009년 입체영화 아바타를 기점으로 안경 방식의 3차원 영화의 상영이 급격히 증가되고 있으며, 2010년 월드컵 기준으로 국내외 대기업들의 안경 방식의 3DTV의 개발/생산과 판매가 증가되고 있다. 이러한 3D 표시 기술의 대중화는 과거 어느 때보다 빠르게 진행되고 있다. 현재 상용화되고 있는 3D 표시 기술은 안경 방식으로 기술의 완성도가 높다. 그러나 현재의 3D 표시 기술은 여러 가지 문제와 개선의 필요성이 있으며 향후 이러한 문제들과 개선이 얼마나 빨리 그리고 얼마나 완벽하게 해결 또는 개선하는지가 미래의 진정한 3D 표시 기술의 대중화에 영향을 크게 줄 것으로 예상된다.

현재까지 알려지고 있는 안경 방식의 3D 표시 기술의 가장 큰 문제점은 특수 안경 착용의 불편함이며 이에 따

한다.

여러 가지 3차원 영상 특성을 만족하여도, 눈의 피로현상이 발생되면 상용 디스플레이로의 활용이 지극히 제한된다. 따라서 눈의 피로현상 완화 또는 제거는 매우 중요한 주제이다. 이러한 눈의 피로현상 발생의 주요 원인들은 (1) 과도한 양안시차 (2) 시차 영상 간의 광학적 및 기하학적 특성 차이 (3) 입체 카메라의 정합 불일치 (4) 입체 영상에서의 깊이 방향 물체 움직임 (5) 눈의 초점 조절 기능 불만족 등을 그 이유로 들 수 있다 [1,2]. 상기 주요 원인들 중에서 정교한 입력과 출력장치의 조절과 제작 3차원 영상의 인위적 조절로 (1), (2), (3) 그리고 (4)의 문제는 어느 정도 극복 가능하다. (5)의 조건도 3차원 영상 표시 장치와 시청자의 거리가 비교적 먼 극장과 같은 경우에는 어느 정도 우회 가능성이 있다. 그러나, 3차원 영상 표시 장치에서 양안 시차만을 이용하는 시스템에서

특집 ■ 3D Display

3차원 디스플레이 환경에서의 단안 초점 조절 정보

김성규*

라 무안경식(Autostereoscopic) 3D 표시 기술의 연구가 활성화 될 것으로 예상된다. 더 나아가 Crosstalk과 같은 광학적 분리도에 대한 완성도 향상이 필요하다. 그리고 안경식과 무안경식 3D 표시 방식 모두에서 휴먼 팩터(Human Factor)에 대한 문제가 중요한 해결 과제로 파악되고 있다. 이러한 휴먼 팩터 문제 중에서도 눈의 피로현상과 관련된 문제가 핵심 해결 주제로 떠오르고 있으며 이러한 눈의 피로현상 문제 중에서도 눈의 초점 조절 정보에 대한 관심이 증가되고 있다. 이러한 눈의 초점 조절 정보와 3D 표시 기술과 관련된 사항들에 대한 현재까지의 주요 연구 내용과 결과들을 본 고에서 정리하고자

입체감을 증대시켜 표현하고자 하여 시청자 가까이까지 입체감을 표현하는 경우와, 모니터와 같은 조건 즉, 가까운 거리에서 사용해야만 하는 경우에는 (5)의 조건은 물리적으로 일반적으로 만족하기가 어렵다. (5)의 조건을 원리적으로 만족할 수 있는 3차원 영상 표시 장치로는 체적 영상 표시 장치와 완전 시차 방식의 홀로그래프 3차원 영상 표시 등이다. 여기에서 체적 영상 표시 장치는 제한된 영역에서만 3차원 영상을 제공할 수 있어 그 응용 영역이 좁고 홀로그래프 3차원 영상 표시에서는 아직 그 기술적 문제로 단기간 내의 실용적 구현이 어렵다. 앞의 두 가지 방식 이외에 초점 조절 기능을 만족할 가능성이 있

* 한국과학기술연구원 영상미디어센터

는 3차원 영상 표시 장치는 초다시점 3차원 영상 표시 장치와 다초점 3차원 영상 표시 장치이다. 초다시점 3차원 영상 표시 장치의 경우는 일본TAO의 Advanced 3D Television Project에서 고안된 FLA 초다시점 3차원 영상 표시 장치와 동경농공대의 Takaki 교수팀에서 개발한 지향성 화상 초다시점 3차원 영상 표시 장치를 소개하고, 이러한 3D 표시 기술에서 눈의 초점 조절과 관련된 휴먼 팩터 연구도 같이 소개한다. 홀로그래피 기반 기술 중 최근 관심이 고조되고 있는 SeeReal사의 홀로그래픽 3D 표시 기술을 추가로 소개한다. 또한 초점 조절 만족의 주제에서는 KIST에서 개발한 다초점 3차원 영상 표시 장치의 개발 및 결과를 소개한다.

2. 초다시점 (SMV; Super Multi-View) [3~9]

2-1. 초다시점의 개념 [3~5]

초다시점은 다시점 개념을 확장한 것으로 그림 1에 초다시점의 개념을 표시하였다. 그림 1처럼, 다만 스테레오그램에서, 가상상의 간격을 눈의 동공경보다 좁게한 경우를 가정한 것이다. 이것을 초다시점 조건이라 부른다. 초다시점 조건이 만족되면, 시청자의 단안에는 항상 복수의 카메라의 영상이 입사되고, 망막에 투영되는 과정에 합성된다. 시청자가 좌우로 이동하면, 이동한 방향으로부터 새로운 카메라의 영상이 첨가되어, 이동에 반대되는 방향의 카메라 영상은 동공으로부터 벗어나게 된다. 망막에는, 항상 복수의 시차가 존재하여 투영된다. 이산화 된 운동시차가 연속화 되어, 시청자는 입체 영상이 부드럽게 변화하는 것처럼 보게 된다. 결국, 동공의 좌측과 우측에 입사되는 영상은, 다른 카메라로부터 촬영한 시차를 갖고 있으므로, 단안 가운데에도 시차가 발생한다(단안 시차). 시청자는, 이러한 단안시차를 이용하여, 입체상의 위치에 눈의 핀트(초점 조절)를 맞출 수 있다고 생각되어 진다.

이러한 특징들로부터, 초다시점을 이용하면 자연스러운 입체 디스플레이를 실현하는 것에 가능성이 있다. 이러한 개념은 일본 TAO(Telecommunication Advancement Organization)에서 진행된 2nd 3D Project에서 고안된 개념이다. 상기 프로젝트는

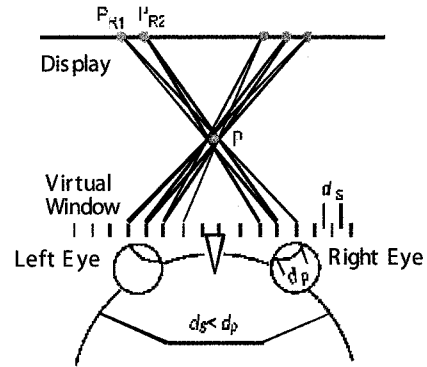


그림 1. 초다시점의 개념

Advanced 3D Television Project의 명칭으로 1997년 10월부터 2002년 9월에 이르기까지 5년에 걸쳐 10억엔을 연구비로 사용하였다. 본인은 1999년 4월에서 2000년 3월까지 초다시점 관련 3차원 영상 표시 장치를 상기 프로젝트에 해외 초청연구원의 자격으로 연구에 참여하였다.

2-2. 집속화 광원렬(Focused Light Array : FLA) 방식의 초다시점 3D 디스플레이와 휴먼팩터 연구 [3~6]

실제에는, 인간의 눈의 동공 경은 2 ~ 8mm 정도인 관계로, 초다시점 조건을 만족하기 위하여는, 좁은 간격에 많은 시차 영상을 표시할 필요가 있다. 이것의 실현을 위하여 FLA 초다시점 영상 표시 장치를 개발하였다. 우선, 소형 광원으로부터 나온 빛을 좁은 광속으로 정형한다. 그 다음에 다수의 광속을 원호의 위에 나열하고, 전체의 광속이 동일한 한곳에 집속하도록 배치한다. 이런 광원의 어레이(array)를 집속화 광원렬(Focused Light Array)이라 부른다. 광원에 반도체 레이저 등의 소형 광원을 이용하면, 초다시점 조건(즉 좁은 간격에 많은 시차 영상을 표시하는 것)의 만족이 가능하다. 그림 2는 처음 제작한 FLA 방식의 입체 디스플레이 외관이고, 전체적으로 22.5도의 각도를 표현할 수 있도록 FLA를 구성하여, 이것을 매초 30 프레임의 속도로 레스터 주사를 하면서 45 안의 초다시점 입체 영상을 표시하였다. 이러한 디스플레이는 입체 안경 등이 없이도, 다수의 시청자가 동시에 볼 수 있고, 부드러운 운동시차 등과 같은 초다시점

3차원 디스플레이 환경에서의 단안 초점 조절 정보

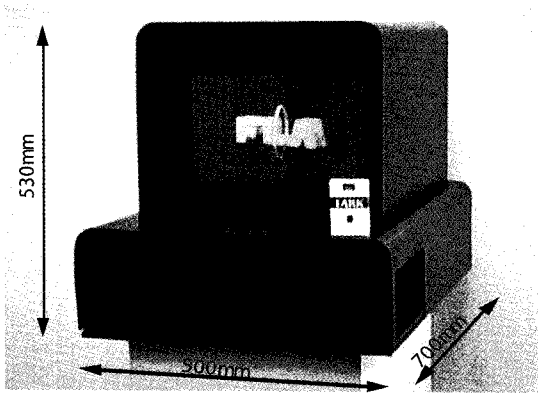
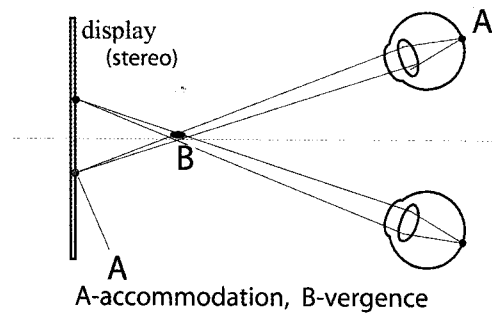


그림 2. 제작된 FLA 단색 초다시점 3차원 영상표시장치



A-accommodation, B-vergence

그림 3. 스테레오 환경에서의 수렴과 조절 기능의 불일치

의 특징을 실증하였다.

스테레오 방식의 입체 표시에서는, 수렴을 유도하는 정보가 양안 융합상이 보여주는 위치에 있었으나, 조절 자극은 그림 3과 같이 디스플레이면에 있었다. 따라서, 양안 망막 영상차(binocular retinal disparity)에 의해 크게 두드러지듯이 보이는 융합상에서는, 수렴 반응과 조절 반응의 모순이 발생하는 경우가 있다.

이것에 대하여 초다시점(Super Multi-View) 영역에 따른 입체표시에는, 조절 자극이 입체상의 위치에 제시됨으로 해서, 수렴·조절반응의 모순이 해소될 수 있는 가능성이 있다. 초다시점 영역은 사람의 좌우 안의 동공에 복수의 시차가 있는 화상을 입사시키는 것으로, 집중화 광원열 방식(Focused Light Array ; FLA)에 의해 그 실현이 이루어 졌다. 따라서, 이러한 동공내의 복수시차 제공의 경우에 피험자들을 대상으로 하여, 초다시점 입체화상에 대한 수렴과 조절 반응이 연구되었다. 그

실험 방법으로, FLA의 적색 레이저에 의해 표시된 화면을 자극으로 이용하였으며, 초다시점 상태를 실현하기 위해, 화상의 시차수가 42, 시차의 간격은 0.22° 로 하였다. 이러한 시차조건에서, FLA 화면을 1.75D (57cm=1.75Diopter), 동공 경을 5mm로 한 경우에는, 동공내에 약 2.3개의 시차 화상이 입사되게 된다. 화상의 표시 조건은, 2안 입체 화상(stereo), 초다시점 입체화의 조건을 설정했다. 2안 조건과 초다시점 조건에서 피험자들을 통해 실험하였으며 스테레오의 경우 깊이 자극과 반응 자극이 일치하는 정도가 1/8이었고, 초다시점의 경우 그 일치 정도가 4/8이었다. 이는 완벽하지는 않지만, 초다시점 영상이 동공의 조절 작용에 어느 정도 영향을 줄 수 있음을 보여준다.

2-3. 지향성 화상 방식의 초다시점 3D 디스플레이 [7~9]

동경농공대의 Takaki 교수팀에서는, 무안경 방식으로 다수의 시청자가 자연스러운 운동시차를 제공가능하며, 눈의 초점 조절 기능을 어느 정도 만족시키는 목적을 달성하기 위하여, 변형 이차원 배열의 다중 결상계를 이용하는 구성방식을 사용하여 박형 대화면 3차원 디스플레이를 개발하고자 하였다. 그 기본적인 원리는 그림 4에 보여진다.

그림 4 (a)에서 보여지듯이, 3차원 표시를 위한 특수한 화소 구성을 사용한다. 각화소는, 광원 어레이와 마이크로렌즈를 적용하고, 수직 확산판을 사용한다. 광원 어레이는 마이크로렌즈의 초점면에 배치한다. 수평단면도는 그림 4 (b)에 있다. 광원의 수평위치에 대응하여 마이크

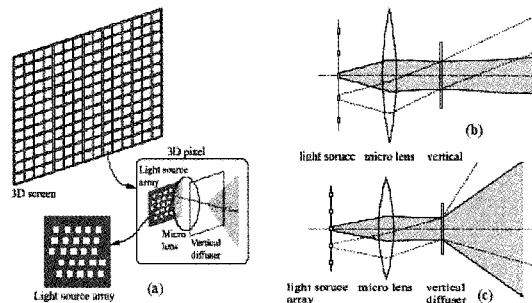


그림 4. 지향성 화상 초다시점 3차원 영상 표시 장치의 기본 원리

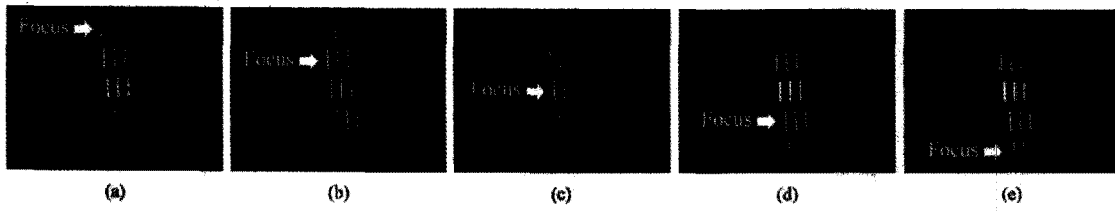


그림 5. 256 지향성 화상 초다시점 3차원 영상표시에서 구현된 수평방향의 단안 깊이 정보

로렌즈를 통과하여 생성된 평행광의 방향이 결정된다. 이러한 원리를 이용하기 위하여, 수평방향의 위치가 일치되지 않도록 광원 어레이를 변형 2차원 배치한다. 수직 단면도는 그림 4의 (c)에 보여진다. 광원의 수직위치에 따라 광선의 수직 진행 방향이 다르게 진행되나, 모든 수직 방향의 평행광이 그림 4의 (c)와 같이 수직 확산판의 위치에서 모두 일치되도록 설계한다. 이러한 방법을 사용함으로써, 수직 방향은 시차가 제공되지 않고, 수평 방향은 마이크로렌즈의 초점 수평 위치에 따라, 다른 시차 영상을 제공하게 된다. 따라서, 수평 방향으로 배치된 지향성 화상의 수가 그 시차의 수를 결정하게 된다.

128개의 시차영상을 갖는 지향성 초다시점 3차원 디스플레이를 제작하기 위하여, 0.44인치 칼라 LCD (Sony, LCX033)를 2차원 디스플레이로 사용하였다. LCD 패널을 16x8개의 변형 2차원 배열을 적용하였다. 상기 지향성 화상 초다시점 3차원 영상표시 시스템을 이용하여 자연스러운 운동 시차를 제공할 수 있었다. 더 나아가 최근의 논문[7]에서는 수평 방향의 초점 조절 정보를 줄 수 있음을 검증하였으며 깊이별 초점 조절을 그림 5에서와 같이 구현하였다. 그러나 이러한 초점 조절 정보는 지향성 초다시점의 구현 원리상 수평 방향의 초점 조절 정보만 제공할 가능성을 갖고 있어 완전한 초점 조절 정보가 될

수는 없다.

3. Holographic Display-SeeReal [10]

근래 들어서 SeeReal사에서 동공추적 기술을 기반한 실시간 홀로그래픽 동영상 구현 기술을 개발하였다. 이러한 홀로그래픽 동영상 기술은 과거 미국MIT와 KIST에서 개발한 AOM(Acousto-Optic Modulator)를 이용한 수평시차 방식의 홀로그래픽 동영상 표시 기술에 비하여 보다 적은 데이터량과 저성능의 디스플레이 하드웨어 성능으로도 향상된 완전시차 방식의 홀로그래픽 동영상 표시 장치를 구현할 수 있음을 검증하였다. 이것은 먼 미래에서나 구현될 것으로 예상된 홀로그래픽 동영상 구현 기술이 예상보다 이른 시기에 구현이 될 수 있는 하나의 가능성을 보여준 중요한 발전이다. 이러한 홀로그래픽 표시 기술은 홀로그램이 갖는 완전시차 방식의 깊이 정보를 줄 수 있어 단안의 깊이 정보 부재로 인한 눈의 피로현상 발생의 완화 내지는 제거에 대한 근거를 제시할 수 있다.

이러한 SeeReal사의 홀로그래픽 동영상 표시 기술은 현존하는 LCD 또는 투사형 SLM 등을 이용하여 관찰자

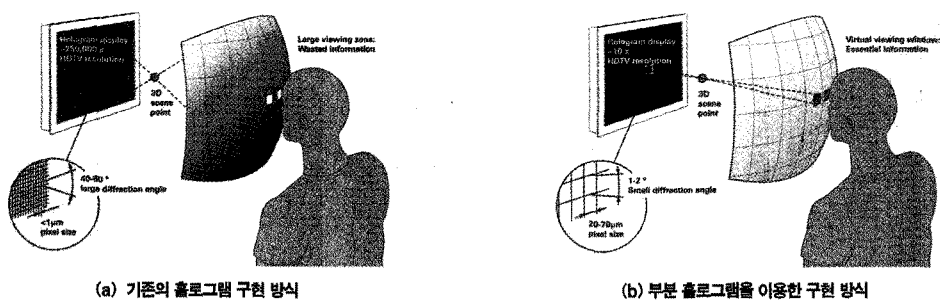


그림 6. SeeReal사의 부분 홀로그램을 이용한 홀로그래픽 동영상 구현 표시 기술

3차원 디스플레이 환경에서의 단안 초점 조절 정보

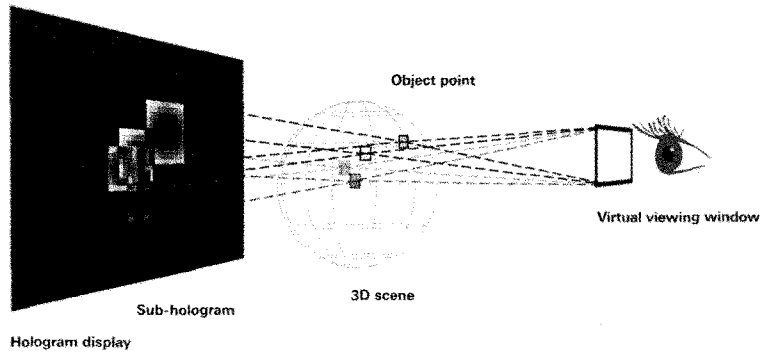


그림 7. 부분 홀로그램을 이용한 입체 물체의 구현

눈의 동공 근처에만 홀로그램 영상을 볼 수 있도록 부분 홀로그램(Subhologram) 개념을 도입하여 표시 장치의 성능적 한계를 완화시켜 줄 수 있다. 이러한 개념을 도식화 한 것이 그림 6의 (b)이다.

그림 6에서 표시한 시스템에서 구체적으로 부분 홀로그램을 이용함으로써 동공 근처에서 홀로그램 영상을 볼 수 있도록 구현하는 원리를 그림 7을 통해서 이해할 수 있다.

그림 6과 7의 구현 원리로부터 실제적으로 시스템을 제작하여 단안에 깊이 정보를 줄 수 있음을 검증하였으며 그 결과가 그림 8에 있다.

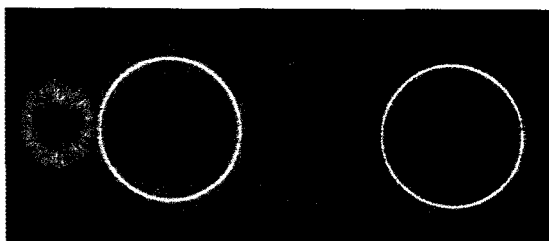
4. 다초점(MF; Multi-Focus) 3차원 디스플레이 [11, 12]

앞서 초다시점 시스템의 개발 목적에서 알 수 있듯 3차원 영상 표시 장치에서 관찰자의 눈의 피로현상 발생은 3차원 영상 표시 장치의 상용화에 큰 문제로 작용되며, 이

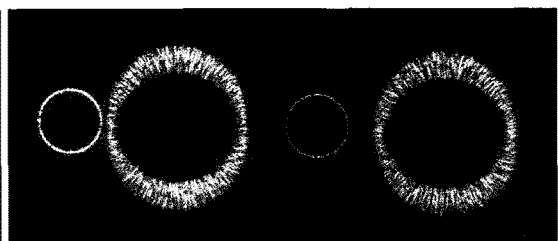
러한 눈의 피로현상에 대한 여러 가지 추정 원인들 중에서 3차원 영상 표시 장치에서 표시되는 3차원 물체들의 서로 다른 깊이에 대한 눈의 정확한 초점 조절의 불만족은 그 중요한 원인으로 파악되고 있다. 이러한 부분을 극복할 수 있는 가능성을 초다시점 시스템에서 검증하였으며 조절 반응의 측정 방법으로 그 가능성을 보여주었다. 그러나 현존하는 초다시점 구현 3D 표시 시스템은 수평 방향의 초점 조절 정보만을 제공할 가능성을 갖고 있다.

다초점 3D 표시 기술에서는 MF(Multi-Focus) 즉 다초점의 개념을 도입하였으며, 이러한 개념을 구현한 MF 3차원 영상 표시 장치를 개발하였으며, 이 장치를 이용하여 눈의 조절 반응이 상당부분 만족될 수 있음을 검증하였다. 이러한 시스템을 구현한 완전시차 방식을 소개하고, 그 실험 결과를 소개한다. 더불어 증강현실(AR; Augmented Reality)에 적용된 MF 3차원 디스플레이의 구현과 실험 결과를 소개한다.

초기의 초점조절 만족 시스템은 갈바노 스캐너를 사용하여 수평 방향의 단안 깊이 정보를 구현하였다. 이후에 기계적 스캐닝을 사용하지 않고도 구현 가능한 LED 광



(a) 디스플레이면으로부터 50cm앞의 가상 홀로그램 물체에 초점을 맞춘 결과



(b) 디스플레이면으로부터 50cm뒤의 가상 홀로그램 물체에 초점을 맞춘 결과

그림 8. 동공 추적과 부분 홀로그램 기술을 이용한 단안 깊이 정보 제공

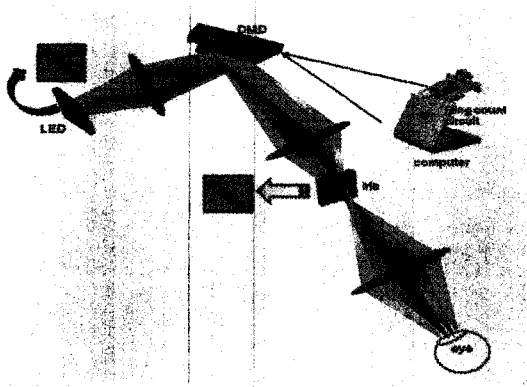


그림 9. 경사진 LED 광원 배열을 이용한 다초점 3D 디스플레이 시스템

원 기반 다초점(Multi-Focus:MF) 3D디스플레이를 구현하였고[11] 최근에는[12] 경사진 LED 광원을 이용하여 완전시차 방식의 다초점 3D 디스플레이를 구현하였고 이 결과를 증강현실 구현에도 적용하였다. 경사진LED 광원 배열을 사용한 MF 시스템을 그림 9와 같은 구조를 이용하여 구현하였다.

그림 9의 구조를 이용하여 순서대로 250mm, 600mm, 1800mm의 거리가 관찰자의 동공으로부터 떨어져서 표시되도록 가상 물체를 준비하여 각각의 깊이에서 초점을 조절한 비디오 카메라의 실험 결과를 그림 10에 두었다. 본 실험에서 시차영상의 초점 조절 효과에 의한 시차 영상들의 이동으로 defocus현상을 모사할 수 있음

을 검증하였다. 그림 10의 (a) ~ (c)에서는 4개의 시차영상을 이용하여 완전시차 형태의 깊이 정보를 초점/비초점화 현상을 이용하여 구현할 수 있었고 그림 10의 (d) ~ (f) 에서와 같이 2개의 시차영상만을 이용한 경우에도 완전시차 형태의 초점 조절 현상을 모사할 수 있음을 확인하였다. 본 실험 중 (b)를 제외한 모든 실험 조건에서 비초점화 현상이 시차영상이 갈라지는 모습으로 보이는 것은 본 실험결과와 비초점화의 구현 원리가 시차 영상간의 교차임을 나타내기 위하여 각 사각형 물체를 표현한 선을 가늘게 표현한 결과이다. 시차영상에 표현되는 물체의 선 두께를 조절하면 보다 자연스러운 비초점화 현상을 구현할 수 있다.

또한 이러한 실험 결과와 실제 물체와의 비초점화 현상을 비교하기 위하여 그림 9의 시스템에서 동공과 그 앞의 렌즈 사이에 반투과경을 45도 형태로 배치하여 실제 물체와 본 완전시차 MF 3D 디스플레이 정보를 동시에 볼 수 있도록 구성하였다. 이러한 상황에서 그림 10과 동일한 실험 조건에서 실제 물체와 비교하여 실험한 결과를 그림 11에 두었다. 그림 11의 결과에는 0.25m, 0.6m, 그리고 1.8m의 실제 깊이에 실물LED에 그 깊이를 문자로 표시한 표시기를 설치하여 완전시차 MF 3D 디스플레이 시스템에서 제공하는 가상 3D 물체들과 동일한 깊이에서 동일한 완전시차 형태의 초점화와 비초점화 현상을 확인할 수 있었다. 이러한 연구 결과는 실제 물체를 보는

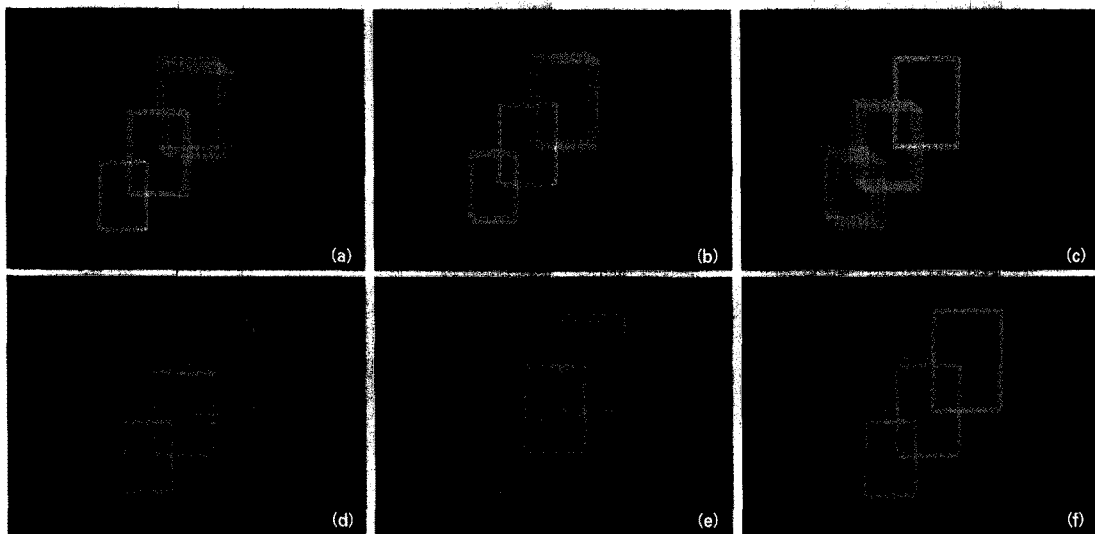


그림 10. (a) ~ (c)에서는 실제 물체와 가상 증강현실 정보와의 초점 및 비초점화 현상이 동기되어 표시되어 집을 확인할 수 있다. 여기에서 사용된 다초점 영상의 시차영상수는 4이다. 더 나아가 시차영상의 수를 2개로 줄인 경우의 동일 실험 결과가 그림 11. (d) ~ (f)의 결과이다.

3차원 디스플레이 환경에서의 단안 초점 조절 정보

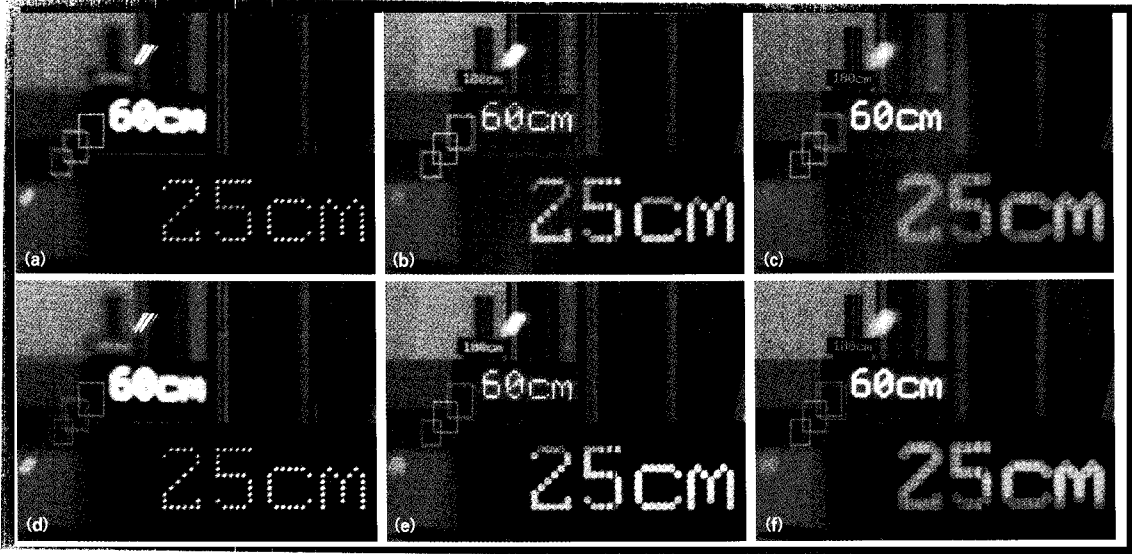


그림 11. 실제 물체와 만전시차 MF 3D 디스플레이와의 비초점화 현상 비교

상황에서 가상의 3D 정보를 첨가하여 볼 수 있는 증강현실 기술에도 활용할 수 있다. 더 나아가 단안만으로도 초점 조절 정보로써 어느 정도의 3D 정보를 줄 수 있음을 확인할 수 있다. 또한 다초점 표시 기술을 이용하여 궁극적으로는 단안의 깊이정보를 제공함으로써 수렴과 조절 정보 사이에 불일치가 일어나지 않도록 하여 눈의 피로 현상을 완화 또는 제거할 수 있는 가능성을 확인하였다.

5. 결론 및 고찰

3차원 영상은 그 인식에 있어 시청자의 자유를 가급적 제한하지 않아야 한다. 따라서, 우선적으로 특수 안경을 착용하지 않아야 하며, 시청자의 위치의 제한이 완화 되

어야 하며, 위치의 상하, 좌우, 그리고 깊이 이동에 따른 자연스러운 운동 시차를 제공하여야 한다. 이러한 추가적인 조건 이외에 기본적인 2차원 영상의 화질은 충분히 보장되어야 한다. 이러한 3차원 영상 표시 장치의 과도한 표시 장치의 성능 요구가 상용화에 큰 문제로 작용되고 있다. 이러한 3차원 영상으로서의 화질과 시청조건과 관련된 문제들의 해결이 중요하다. 그러나 눈의 피로현상과 같은 휴먼 팩터의 문제는 3차원 표시 장치의 대중적 상용화에 중요한 또다른 문제로 작용한다. 이러한 눈의 피로현상과 관련된 단안의 깊이 정보 제공은 그 구현이 어렵고 아직 그 휴먼 팩터적 효과를 완벽하게 실험되지 않고 있다. 향후 단안의 깊이 정보 제공과 관련된 표시 기술의 개발과 그 휴먼 팩터적 영향의 평가가 3차원 표시 기술의 대중화에 중요한 요인을 작용할 것으로 예상되며 이에 대한 깊이 있는 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] Sumio Yano, Shinji Ide, Tetsuo Mitsuhashi, and Han Thwaites, "A study of visual fatigue and visual comfort for 3D HDTV/HDTV images," *Displays* 23, pp.191-201, 2002.
- [2] Sumio Yano, Masaki Emoto, and Tetsuo Mitsuhashi, "Two factors in visual fatigue caused by stereoscopic HDTV images," *Displays* 25, pp.141-150, 2004.
- [3] Yoshihiro Kajiki, Hiroshi Yoshikawa, and Toshio Honda, "Hologram-Like Video Images by 45-View Stereoscopic Display," *SPIE Vol. 3012, Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems IV*, pp.154-166, 1997.
- [4] Kajiki, Y., Yoshikawa, 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
- [5] Y. Kajiki, 김성규, "초다안 입체 디스플레이", *광학과 기술*, 2001년 4월, 5권 2호, 특집 3차원 영상기술 I, pp. 21~24
- [6] K. Susami, 김성규, 반지은 "3 차원 디스플레이와 시각 응답 - 초다안 입체 화상에 대한 폭주 · 조절 · 동공반응의 측정 -", *광학과 기술*, 2001년 7월, 5권 3호,
- [7] H. Nakanuma, H. Kamei, and Y. Takaki, "Natural 3D display with 128 directional images used for human engineering evaluation," *Proc. SPIE Vol. 5664, Stereoscopic Displays and Applications XVI*, pp. 56-63, 2005.
- [8] Y. Takaki, "Natural 3D display which generates high-density directional images and human accommodation responses," *Proc. Of the 10th International Display Workshops*, p.1405-1408(2003).
- [9] Y. Takaki and N. Nago, "Multi-projection of lenticular displays to construct a 256-view super multi-view display," *Optics Express*, Vol. 18, No. 9, pp. 8824-8835, 2010.
- [10] Stephan Reichelt, Ralf Häussler, Gerald Fütterer, and Norbert Leister, "Depth cues in human visual perception and their realization in 3D displays," *Three-Dimensional Imaging, Visualization, and Display 2010*, *Proc. SPIE 7690, 76900B* (2010)
- [11] S. K. Kim, D. W. Kim, Y. M. Kwon, and J. Y. Son, "Evaluation of the Monocular Depth Cue in 3D Displays," *Optics Express*, Vol. 16, No. 26, pp. 21415-21422 (2008).
- [12] S. K. Kim, D. W. Kim, "A full parallax multi-focus 3D display using slanted LED array," *Latin Display*, pp. +1 ~ +4 (2010)

약 력



김성규

2000 : 고려대학교 물리학과 양자광학 박사
 1999~2001 : 일본 우정성 산하 TAO "3D TV Project" 해외 초청 연구원
 2007~2008 : 미국 UIC EVL에서 방문연구
 2001~ 현재 : 한국과학기술연구원 영상미디어센터 책임연구원

관심분야 : 다초점 3차원 영상 표시 장치, 동공 추적 방식의 다시점 3차원 영상 표시 장치, 초다시점 3차원 영상 표시 장치, 홀로그래픽 영상 표시 장치, 디지털 홀로그래피, 회절 광학 소자, 디지털 홀로그래피 현미경, 터일형 무안경식 3차원 가상현실 시스템