

3차원 디스플레이

박재형*

미래의 세계를 다루는 영화나 공상 과학 소설에서 단골로 등장하는 소재가 있다. 바로 사람이나 사물을 입체 영상으로 표현해 주는 3차원 디스플레이이다. 1977년에 시작된 스타워즈 시리즈를 비롯해 최근의 마이너리티 리포트, 아이언 맨 등에 이르기까지 많은 영화들에서 주인공들은 3차원 디스플레이를 이용해 사물을 표시하고 원격 회의를 하며 새로 제작 중인 무기를 가상적으로 시뮬레이션 해 보기도 한다. 이러한 3차원 디스플레이는 과연 영화에서만 존재하는 것일까? 아니면 실제로 구현할 수 있는 것인가?

3차원 디스플레이의 구현은 과학자/공학자들의 오랜 과제였다. 1838년에 Wheatstone이 stereoscope의 개념을 제안한 이래로 여러 선각자들에 의하여 본격적인 연구

가 도모되기 시작했다. 이러한 노력의 결실로서 현재 거리의 소형 광고 매체, 시각 예술의 수단, 유원지에서의 실감형 극장 등에서 제한적으로 3차원 디스플레이 기술이 응용되고 있다. 최근에는 3차원 디스플레이 기술을 채용하여 입체 영상의 표시가 가능한 휴대폰, 게임기, 모니터 등이 시험적으로 출시되고 있기도 하다. 본 고에서는 현재까지 연구 개발되고 있는 다양한 3차원 디스플레이 기술들의 원리를 살펴본다.

1. 깊이감 인지 요인

인간은 어떻게 사물을 입체로 느끼는 것일까? 크게 심리적인 요인과 물리적인 요인으로 나눌 수 있다. 심리적인 요인은 그림 2에서 보듯, 원근감(소실점등), 물체 간의 순차적인 가려짐, 그림자와 명암, 패턴 모양의 점차적인 어두워짐등, 관측자에게 깊이에 대한 단서를 제공할 수 있는 평면 영상의 특징들을 말한다. 3차원 CG(Computer Graphic)에 의하여 만들어진 영화들은 이러한 심리적인 요인 효과가 잘 반영되어 있어 관측자는 보다 사실감 있게 영상을 볼 수 있다. 그러나 이러한 심리적인 요인들은 2차원 영상면에 존재하는 것으로써 관측자에게 실질적인 물리적 자극을 주는 것은 아니며, 단지 관측자가 기존의 경험을 바탕으로 물체의 깊이를 추측할 수 있도록 유도한다.

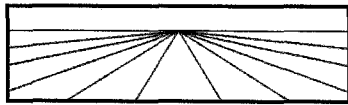
이에 반하여 물리적 깊이 요인들은 실제로 관측자에게 물리적인 자극을 주어 입체감을 느끼게 한다. 물리적 깊



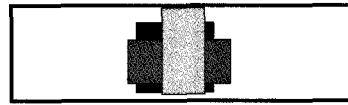
그림 1. 영화 Star Wars의 한 장면

* 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부

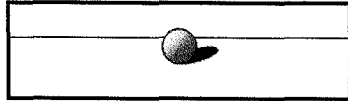
◆ Linear perspective



◆ Overlapping



◆ Shading and shadow

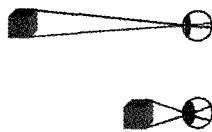


◆ Texture gradient

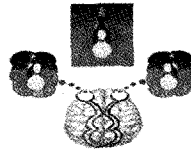


그림 2. 심리적 깊이 인식 요인

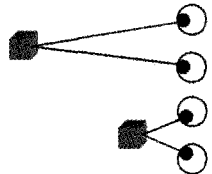
◆ Accommodation



◆ Binocular disparity



◆ Convergence



◆ Motion parallax



그림 3. 물리적 깊이 인식 요인

이 요인에는 그림 3에서 보는 바와 같이, 물체의 원근에 따라 초점을 맺기 위한 눈의 수정체의 두께가 달라지는 accommodation, 양쪽 눈의 위치 차이로 인하여 같은 물체를 보더라도 약간 다른 영상을 보게 되는 양안 시차(Binocular disparity), 물체의 원근에 따라 양쪽 눈이 물체를 바라보는 각도가 달라지는 수렴(Convergence), 가까운 물체는 시야 내에서 빨리 움직이고 멀리 있는 물체는 시야 내에서 느리게 움직이는 움직임 시차(motion parallax) 등이 있다. 3차원 디스플레이 기술은 이와 같은 물리적 깊이 요인의 전부 혹은 일부를 관측자에게 전달하여 관측자로 하여금 입체감을 느낄 수 있도록 하는 기술이다.

2. 3차원 디스플레이 구현 방식

3차원 디스플레이 기술은 앞서 살펴 본 인간의 물리적

깊이 인식 요인들 중 어떤 것들을 어떠한 방식으로 관측자에게 제공하느냐에 따라 여러 가지로 분류될 수 있다. 먼저 크게 특수한 안경을 착용해야 입체 영상을 감상할 수 있는 안경식(stereoscopic)과, 특수한 안경을 착용하지 않고서도 3차원 영상을 관찰할 수 있는 무안경식(auto-stereoscopic)의 두 범주로 나뉘어 진다.

(1) 안경식 3차원 디스플레이 (Stereoscopic display)

안경식 3차원 디스플레이는 특수한 안경을 이용하여 관측자의 왼쪽 눈과 오른쪽 눈이 서로 다른 영상을 보게 하여 입체감을 주는 방식이다. 그림 4에서와 같이 왼쪽 눈과 오른쪽 눈에 해당하는 영상을 파란색과 빨간색으로 각각 표시한 후 이를 파란색과 빨간색 안경알의 안경을 쓰고 보면 각 눈은 서로 다른 영상을 보게 되며, 양안 시



그림 4. 적청안경을 이용한 입체 사진 (Anaglyph)

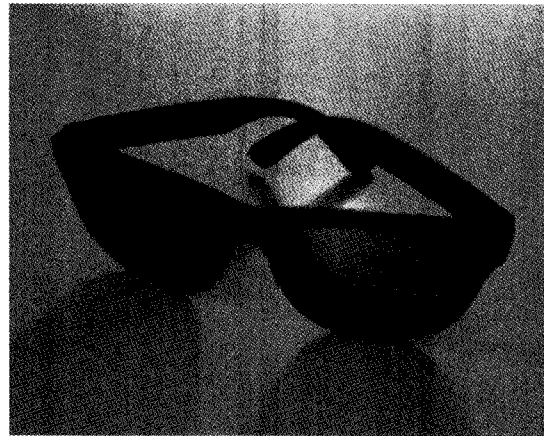
차에 의하여 입체감을 느낀다. 좌안 영상과 우안 영상을 분리하는 방식에 따라 적청 안경을 쓰는 방식, 서로 수직 방향의 편광 안경을 쓰는 방식, 시간적으로 좌안 영상과 우안 영상을 번갈아 표시하고 그에 동기되어 좌안과 우안을 개폐하는 액정 셔터 안경을 쓰는 방식 등이 있다. 안경식 3차원 디스플레이 방식은 기술적으로 단순하고 큰 입체감을 갖는 동영상의 재생이 용이하여 현재 입체 영화관등을 중심으로 상업화가 상당히 진행되어 있다. 그러나 안경을 써야하는 근본적인 불편함이 있고, 또 앞서 살펴본 4가지 물리적 깊이 인지 요인 중 양안 시차만을 제공할 뿐 나머지는 제공하지 못하는 데서 비롯하는 관찰자의 눈의 피로, 두통 등의 문제점을 가지고 있다.

(2) 무안경식 3차원 디스플레이

무안경식 3차원 디스플레이에는, 관찰자의 시차를 이용하는 다시점 양안 시차 디스플레이 방식과, 공간상에 실제로 3차원 이미지를 형성하는 체적형 디스플레이 방식, 3차원 물체의 파면을 그대로 재현하는 홀로그래피(holography) 방식 등이 있다. 아래에선 이들 무안경식 입체 영상 디스플레이 방식들 각각을 살펴본다.

◆양안 시차 방식 / 다시점 디스플레이 방식 (Autostereoscopic display / Multi-view display)

무안경식 양안시차 방식은 앞서 살펴본 안경식 3차원 디스플레이와 깊이감을 인지하게 되는 원리(양안 시차)



는 똑같으나, 안경 대신 특수한 광학계를 디스플레이 패널 앞에 부착하여 양안 영상을 분리하는 점에 그 차이가 있다. 그림 5는 시차 장벽(parallax barrier)을 이용한 무안경식 양안시차 디스플레이의 원리를 보여준다. 디스플레이 패널의 일정 거리 앞에 주기적인 개구(aperture)를 위치시켜, 관찰자의 좌안과 우안이 디스플레이 패널상의 서로 다른 픽셀들을 보도록 만든다. 이 때, 좌안과 우안에 각각 대응되는 픽셀들에 해당하는 시차 영상을 표시하면 관찰자의 두 눈은 서로 다른 영상을 보게 되며, 따라서 입체감을 느낀다. 그림 5의 시차 장벽 대신 수직방향으로 원통형의 렌즈 배열인 렌티큘라 렌즈를 사용하여도 같은 효과를 얻을 수 있다. 이와 같은 무안경식 방식은 안경식과 유사한 점이 많아 기술의 실현성이 높고 상용화가 쉽다는 장점이 있다.

그러나 이러한 방식은 관찰자의 위치가 고정되어 있어, 지정된 위치를 벗어나면 올바른 3차원 영상을 볼 수 없다는 단점이 있다. 이러한 불편을 해소하기 위하여, 시점의 수를 기존의 2개(좌안, 우안)에서 여러 개로 늘리는 방식들이 연구 개발 되고 있다. 그림 5(b)는 8시점을 가진 디스플레이의 예를 보여준다. 현재 출시되고 있는 대부분의 3차원 모니터, 3차원 휴대폰 등은 모두 이러한 방식을 사용하고 있으며 시점의 수는 대개 2~13개 사이이다. 최근에는 더욱 자연스러운 입체 영상을 표시하기 위해 100개가 넘는 시점을 제공하는 디스플레이들도 연구되고 있다.

이러한 무안경식 양안 시차 방식 혹은 다시점 방식은 관찰 시점이 증가할수록 영상의 해상도가 떨어지고, 수직방향의 시차가 없어 누워서 볼 수 없다는 단점이 있다.

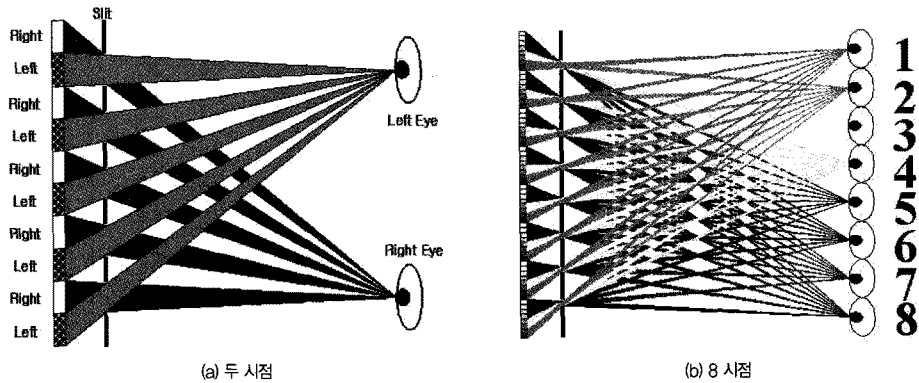


그림 5. 시차 장벽(Parallax barrier)을 이용한 무안경식 디스플레이

또, 입체감을 느끼는 원리가 안경식과 같아 인간의 물리적 깊이 인지 요인 중 오직 양안 시차만을 제공하므로, 장시간 관측시 피로감, 두통, 불편감을 느끼는 단점도 역시 지적된다.

◆ 체적 표시 방식 (Volumetric display)

체적형 표시 방식은 앞서와 같이 일반적인 평판 디스플레이 패널 앞에 특수한 광학계를 붙여 시점 영상을 분리하는 것이 아니라, 실제로 일정 공간상에 3차원 상을 물리적으로 형성하여 입체 영상을 표시하는 방식이다. 따라서 입체감을 주는 요소로 양안시차만을 이용하는 안경 방식이나 무안경 양안시차 방식과는 달리, 이 방식은 실제로 3차원 공간에 입체상을 형성하므로 인간의 물리적 깊이 인지 요인을 모두 제공할 수 있어, 피로감 없이 자연

스러운 3차원 영상의 표시가 가능하다. 체적형 입체 영상 디스플레이를 구현하기 위한 한 가지 방법은 그림 6과 같이 회전하는 스크린을 이용하는 것이다. 스크린에 프로젝터를 이용하여 표시하고자 하는 3차원 영상의 단면 영상을 투사한다. 이와 같은 스크린을 빠른 속도로 회전시키고 또 그에 동기되어 적절한 단면 영상을 투사하면, 잔상 효과에 의하여 스크린이 회전하는 체적안에서 3차원 영상을 관측하게 된다. 그림 6(b)는 이러한 방식으로 표시된 3차원 영상의 예이다. 회전하는 스크린을 사용하는 방식 이외에도 두 적외선 레이저의 교차점에서 가시광을 발광하는 특수한 물질(고순도 희토류 이온(rare-earth ion)이 첨가된 유리)을 쓰거나, 가변 초점을 갖는 거울을 빠른 속도로 진동시키거나, 가변 확산판을 여러 장 겹쳐 놓고 하나씩 확산시키면서 해당하는 단면 영상을 투사하거나 하는 등의 방법들도 제안되어 연구 되고 있다. 이러

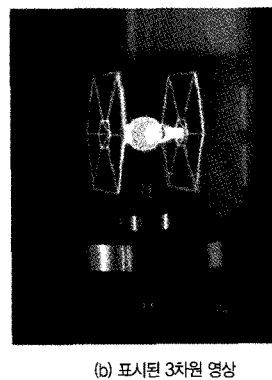
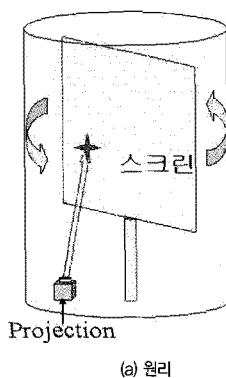


그림 6. 체적형 표시 방식 (오른쪽 그림 출처: A. Jones et al., Rendering for an interactive 360 light field display, ACM SIGGRAPH 2007.)

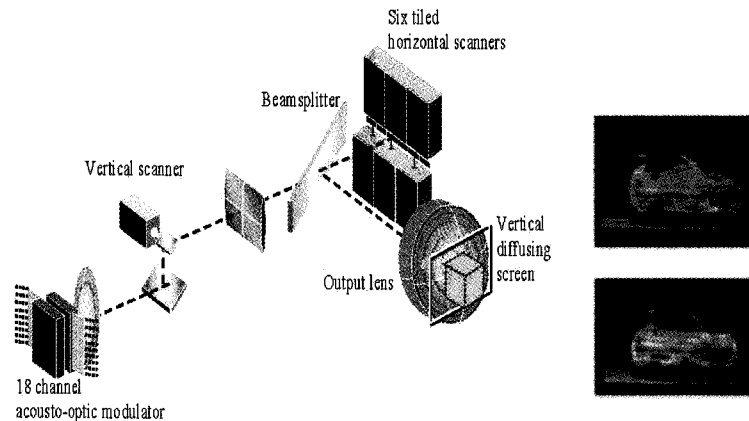


그림 7. 홀로그래픽 디스플레이

한 방식은 피로감 없이 자연스러운 영상의 관측이 가능할 뿐만 아니라 일반적으로 관찰 가능한 시역이 넓어서 여러 명의 관찰자가 다양한 방향에서 입체 영상을 동시에 볼 수 있다는 장점도 있다. 최근 이러한 방식을 채용한 3차원 디스플레이가 상용화 되어 의료 등 특수한 분야에 사용되고 있다. 또, 얼마 전에 미국 드라마인 CSI-NY에서 이러한 방식의 3차원 디스플레이를 이용하여 범 죄 증거물을 분석하는 장면이 방영되기도 하였다. 그러나 대부분 인간의 잔상 효과를 이용하기 때문에 빠른 기계적 움직임이 필요하고 대화면으로 만들기 어렵다는 단점이 있다.

◆홀로그래피 방식 (Holographic display)

빛은 파동이다. 따라서 진폭 뿐만이 아니라 위상 정보도 갖고 있다. 우리가 보통 찍는 사진속의 물체들이 2차원으로 보이는 근본적인 이유는 사진이 빛의 위상정보는 모두 버리고 진폭 정보만을 기록하기 때문이다. 홀로그래피란 빛의 회절과 간섭 현상을 이용하여 빛의 진폭 정보뿐만 아니라 위상 정보까지 기록 및 재생을 하는 기술이다. 따라서 홀로그래피를 이용하여 물체를 촬영하고 이를 재생하면 빛의 진폭 뿐만이 아니라 위상까지 완전히 재생할 수 있어 완전한 깊이 정보와 높은 해상도를 가지는 3차원 영상을 얻을 수 있다.

홀로그래픽 3차원 디스플레이는 이러한 홀로그래피의 원리를 이용하여 3차원 영상을 표시하는 기술이다. 광학적인 촬영과정 대신 컴퓨터 계산을 통하여 홀로그래피를 얻고 이를 광학적으로 재생하여 3차원 영상을 표시한다.

표시하고자 하는 3차원 영상에 해당하는 홀로그래피의 계산은 빛의 간섭과 진행 등의 물리화적인 현상을 기술하는 복잡한 수식을 통하여 수행된다. 계산을 통해 얻은 홀로그래피는 공간광변조기(spatial light modulator) 혹은 음향광변조기(acousto-optic modulator: AOM)에 입력되고 이러한 장치에 의하여 변조된 빛은 3차원 영상으로 표현된다. 그림 7은 미국 MIT 대학에서 만든 홀로그래픽 3차원 디스플레이의 개념도와 표시된 3차원 영상이다.

이러한 홀로그래픽 3차원 디스플레이는 처리해야 하는 계산량이 방대하고, 요구되는 광변조기의 대역폭이 높아 만족스러운 시야각과 해상도로 동영상을 실시간 표시하기는 현재로서는 어렵다. 그러나 홀로그래픽 3차원 디스플레이는 이론상 완벽한 3차원 영상을 표시할 수 있어 이에 대한 연구가 활발히 진행 중이며, 관련 기반 기술들이 발달한다면 머지않아 높은 품질의 3차원 영상을 표시할 수 있는 홀로그래픽 3차원 디스플레이가 개발될 것으로 생각된다.

3. 맺음말

본 고에서는 다양한 3차원 디스플레이의 구현 원리를 알아보았다. 디스플레이 기술의 발전 단계 상 3차원 디스플레이로의 진화는 필연적이다. 현대인의 필수품 중 하나인 TV는 초기의 흑백 TV에서 출발하여 컬러 TV를 거쳐 현재의 HDTV(High definition TV)에 이르기까지 빠르게 발전하여 왔다. 이러한 TV의 발전은 관측자에게 보다 사실적이고 실재감 있는 영상을 전달하기 위함이었

다. 곧 현재의 HDTV 해상도를 뛰어 넘는 UDTV(Ultra definition TV)가 나온다고 하니, 이제 2차원 영상의 표시 품질은 충분하다고 할 수 있다. 다음 단계는 현재 2차원에 국한 되어 있는 영상을 공간으로 확장하여 3차원 입체 영상으로 표시해주는 기술, 즉 3차원 디스플레이 기술이 될 것이다. 3차원 디스플레이 기술은 한 차원 높은 실재감, 현실감을 전달하여 관측자의 만족감을 한 단계 높여 줄 것이다. 본 고에서 소개한 다양한 3차원 디스플레이 기술들이 빠르게 발전하여 3차원 디스플레이가 현재의 TV와 같이 대중화 될 수 있기를 기대한다.

약 력



박재형

• 학력 :

서울대학교 전기공학부 학사
서울대학교 전기컴퓨터공학부 석사 (광학)
서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사 (광학)

• 경력 :

삼성전자 LCD 총괄 책임연구원
현 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 전임강사

• 학회 :

한국 광학회(OSK) 정회원
한국정보디스플레이학회(KIDS) 회원 / 편집위원회 위원
Society for Information Display(SID) Program
Committee Member
