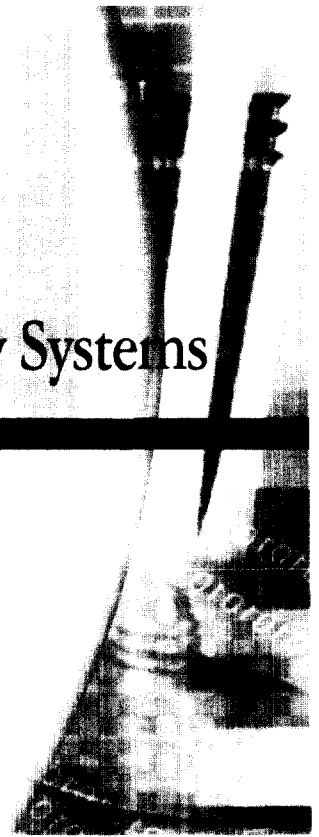


Volumetric Three-dimensional Display Systems

□ 오윤식 / 삼성 SDI



어떻게 입체로 느낄 수 있나?

인간이 입체를 입체로 볼 수 있는 능력은 무엇인가? 인간의 어떤 기능이 그것을 가능케 하는가? 그것을 정확히 분석해서 알고 있는 것이 입체적인 상을 구현할 수 있는 시스템을 만드는 지름길이 될 것이다. 그것을 전문적인 용어를 피하면서 평범한 말로 이해해 보기 위해 한 점으로 구성된 입체를 상상해 보자.

공간상에 색깔을 가지는 점이 있다고 하자. 그 점을 그 점 되게 해 주는 것은 3차원 위치좌표와 색깔이다. 위치는 더 설명할 것 없이 위치이다. 색깔에 대해서는 조금의 양자역학적인 설명이 필요하지만 최대한 쉽게 설명해보면 이렇다. 색깔은 외부의 빛이 그 점을 구성하고 있는 원자의 주위에 분포되어 있는 전자를 때려 에너지적으로 더 높은 곳에 올려 놨다가 그것이 자연적으로 다시

원래의 상태로 떨어지면서 빛을 되돌림으로 나타나진다. 허나 모든 파장의 빛을 다 되돌리는 것이 아니고 선택적이기 때문에 입체의 색깔이 다양한 것이다.

그 위치와 색깔을 어떻게 인간은 인지할 수 있을까? 색깔부터 생각해 보기로 하자. 입체의 한 점에서 퍼져 나가는 한 색깔의 빛이 인간의 눈에 도착하여 렌즈를 거쳐 망막에 초점이 맞게 된다. 망막상에 있는 세포들이 색깔을 선택할 수 있는 능력이 있고 그 빛을 선택한 세포와 신경을 따라 전기적 신호가 뇌에 전달되게 된다. 신호를 전달받은 뇌는 그 색깔이 어떤 것인지 최종 판결을 내려 준다. 이것이 색깔을 판별하는 인간의 기능이나 아직까지 더 깊은 원리는 연구 중이다.

위치는 어떻게 인지하는가? 잘 알려져 있듯이 위치를 느낄 수 있는 이유는 두 눈이 있기 때문이다. 한 점에서 파생되어 나오는 빛의 다발이

한 눈에 들어와 망막에 초점이 맞으면 그 눈은 그 점이 있는 곳의 방향을 인지하게 된다. 어떤 원리로 뇌가 방향감각을 느끼게 되는지는 이 논문의 영역 밖이므로 생략을 하자. 두 눈이 한 점에 대해 각각 다른 방향을 느끼게 되면 거리감을 느끼게 된다. 이것은 수학적으로 두 평행하지 않은 선은 만나게 되어 있다는 사실에 기인하나 어떻게 뇌가 그것을 인지하는가는 이 논문의 영역 밖이다.

이제 한 걸음 더 나아가서 수 많은 점들이 모여 이루어진 유한한 크기의 입체를 생각해 보자. 각 점들의 색깔과 위치를 위에서 설명한 바와 같이 인지하고 나아가 그 정보를 모두 종합하여 입체를 느끼게 되는 것이다. 이상과 같이 인간이 입체를 입체로 느낄 수 있는 능력을 간단히 살펴 보았다.

Volumetric 3-D Display란?

지금까지 인류는 입체를 평면에 담으려는 노력을 해 왔고 많은 것들을 발명해 냈다. 사진이 발명되었고 많은 종류의 평면 디스플레이 시스템들이 개발되어 왔다. 이러한 평면에 나타나는 동 또는 정지 영상들은 한 방향에서 관측한 것만 보여 준다. 인간은 여기에 만족하지 않고 입체 자체는 없지만 그 입체의 모든 것을 느낄 수 있는 입체 영상을 디스플레이 할 수 있는 방법을 꾸준히 찾아왔다.

그것을 할 수 있는 가장 충실하고 직접적인 방법은 실제 입체가 차지하고 있는 공간에서 입체를 제거하고 대신에 거기에서 빛을 발산시키는 것처럼 보이게 하는 장치를 만드는 것이다. 물론

입체의 각 점에서 발산되는 것과 똑같은 빛을 동일 위치에서 발산시킬 수 있어야 한다. 여기서 두 가지 염두에 두어야 할 것이 있다. 첫째로 각 점에서 빛을 발산하는 것처럼 보이게 하는 장치 자체는 보이지 않아야 하며, 둘째로 실제 입체의 표면에서 발산되는 빛은 사방 팔방으로 퍼지는 것이 아니고 제한된 방향으로만 발산되어야 한다. 왜냐하면 입체의 다른 부분이 한 점에서 발산되는 빛을 가리기 때문이다. 진짜 충실한 입체 영상 디스플레이 시스템은 이것들을 다 만족시켜야 한다.

이것을 하고자 하는 것이 소위 Volumetric 3-D Display System이다. 이것의 단점은 충실히 사물을 디스플레이 하기 때문에 경치와 같은 것을 디스플레이하기에는 공간이 제한된다는 점이다. 하지만 2차원 디스플레이 시스템을 병행하여 사용하거나 원근법을 이용하는 방법을 사용하면 그러한 단점을 극복할 수도 있다. Volumetric의 원 뜻은 Oxford English Dictionary에 따르면 다음과 같다.

volumetric: adj. Of, pertaining to, noting measurement by volume

이 말은 다른 여러 분야에서도 많이 쓰인다. 이 단어가 제대로 의미를 주기에는 조금 부적절하지만 이 3-D분야에서는 그런 대로 자리를 잡고 굳어져 가고 있다. 이 Volumetric Display Systems가 다른 말로는 Multi-planar Display Systems 또는 Direct Volume Display Devices(DVDD)로 불리 우기도 한다. 3-D디스플레이 분야에서 Volumetric Display란 말은 어떤 실제적 공간

의 국한되고 정의된 부분에서 가시광을 1) 자생 (Self-emitting), 2) 여기(Excitation), 3) 산란 (Scattering), 또는 4) 집속(Focusing) 등으로 발산시켜 입체영상을 구현하는 것을 말한다. 처음 3가지 방법에서는 빛을 발하는 점에 어떤 방법이든 빛을 내거나 산란시킬 수 있는 매체가 있어야 하고 마지막 방법은 그 점에 그런 매체를 필요로 하지 않는다. 위의 4가지 방법은 다음에서 좀 더 자세하게 설명하기로 한다.

다른 방법들은 어떤 것들이 있나?

이 Volumetric Display System에 대한 연구는 50년 이상의 역사를 가지고 있으나 이렇다 할 실용적 상품은 아직 등장하지 못하고 있다. 이 System 자체의 개발은 상당히 더디게 진행되고 있고 또한 매우 소수의 용감한 사람들에 의해서만 진행되고 있다. 반면에 상대적으로 많은 사람들이 Volumetric이 아닌 다른 방법으로 입체처럼 보이게 하는 여러 가지 지름길들에 대한 연구를 하고 있다. Volumetric Display Systems의 여러 가지 방법들로 들어가기 전에 Volumetric이 아닌 다른 방법들을 먼저 조금씩 살펴보고자 한다.

Holography

제일 먼저 이 Volumeric과 가장 가까운 방법이 Hologram이다. Dennis Gabor가 1947년에 발명한 Hologram은 그리스 말의 holos(영어로 whole)에서 따온 것이다. Photography에서 Photo대신 Holos를 넣은 것이다. 이 것은 실제

입체에서 나오는 빛과 기준되는 빛의 간섭 패턴을 사진판과 유사한 판에기록해 두었다가 그 판에 똑같은 기준 빛을 조사해주면 실제 입체에서 나오는 빛을 재생시킬 수 있다. 그 Hologram을 보고 있으면 실제 이미지가 아니고 Hologram 판 반대쪽에 입체가 있는 것처럼 보이는 Virtual Image가 보이게 된다. 이런 면에서 Volumetric과 다르다. Volumetric이 실제 이미지라면 Hologram은 Virtual Image이다. 여기서 두 가지 점에 주의 할 필요가 있다. 먼저 Hologram은 360도 돌아가면서 볼 수 있게 만드는데 어려움이 있다. 그런 시도가 있긴 하지만 아직은 성공적이지 않다. 그보다도 더 심각한 문제는 동영상을 만드는 데 있다. 즉 Electro-Holography의 어려움이다. 너무 많은 양의 데이터가 요구되기 때문에 기존의 컴퓨터와 알고리즘으로는 불가능하다. 그러므로 이 분야의 연구는 주로 데이터 축소와 계산 알고리즘에 관한 것이다. 그런 분야에 많은 발전이 있었으나 아직도 고질의 3차원 이미지를 적당한 값의 시스템으로 만들기에는 역부족이다.

Stereography

이것에 반해 역사가 오랬 뿐 아니라 쉽게 입체감의 일부를 주기에 용이한 방법이 Stereoscapy이다. Stereo-란 말의 원래 뜻은 입체란 말이지만 엄밀히 이야기하면 이것은 입체처럼 보이게 해 주는 쉬운 속임수에 불과하다고 할 수 있다. 잘 알려져 있는 것처럼 왼쪽 그리고 오른쪽에 다른 평면 이미지를 줌으로써 입체감이 나게 하는 것이다. 하지만 단지 그렇게 함으로써는 실제 입체가 주는 느낌과 똑같이 만들 수는 없다. 많은

다른 점들 중에서 하나만 예를 들어 보면 보는 사람의 위치가 달라지면 왼쪽, 오른쪽 눈에 들어 오는 이미지가 실제 입체에서는 달라져야 하는데 Stereoscropy에서는 그렇게 할 수가 없다. 이러한 것이 사람 눈에 피로감을 주는 직접적인 원인이다. Virtual Reality를 장시간 사용 할 수 없는 것도 이 이유에서이다.

Stereoscropy의 여러 방법 중에는 Color Filter, Polarization, 또는 액정을 사용한 시간차 Shutter 등을 사용한 안경이나 고글을 사용하는 것들이 있다. 이것을 이용한 단말기, 또는 방송들이 계획되고 있고 조금씩 상용화의 조짐이 보이는 이유는 기술적인 용이함과 가격의 저렴함 때문이다. 하지만 시장형성의 속도가 그렇게 빠르질 못할 것이라는 것은 쉽게 예측할 수 있다.

Autostereoscropy

안경 쓰는 불편함을 해소시키기 위한 노력을 통틀어 Autostereoscropy라 한다. Auto-란 말은 자신, 자기, 또는 자율이란 말인데 여기서도 안경 없이 보는 입체 영상을 만드는 법을 의미한다. Volumetric도 일종의 Autostereoscropy일 수 있으나 일반적으로는 Autostereoscropy는 안경 없이 보는 Stereoscropy에 국한하여 쓰인다. Stereoscropy는 두 눈에 같은 이미지를 보내 안경이나 Shutter를 사용해 각 눈이 볼 이미지를 선택하는 방법인데 반해 Autostereoscropy는 왼쪽 이미지는 왼쪽 눈에만 오른쪽 이미지는 오른쪽 눈에만 보이게 하는 방법이다. Autostereoscropy의 방식 중에는 Parallax Barrier, Lenticular Sheet, Holographic Optical Element(HOE),

또는 특수 제작된 액정들을 사용하는 방법들이 있다. 이것의 단점은 볼 수 있는 위치가 매우 한정되어 있다는 것이고 이런 문제를 해결하기 위해 Head Tracker나 Eye Tracker를 사용해야 한다는 부담이 있다. 여러 사람이 동시에 볼 수 있게 하기 위해서는 데이터도 더 많이 필요하고 시스템 자체의 복잡성도 심각해진다. 이것 역시 Stereoscropy가 가지는 단점, 즉 실제와 다른 입체 이미지를 오래 봄으로써 느끼는 눈의 피로는 피할 수가 없다.

어떤 Volumetric의 방법들이 있는가?

이제 Volumetric 3-D Display System을 구현할 수 있는 구체적인 방법들을 살펴보자. 다시 언급하면 Volumetric이란 실제의 입체의 점들에서 빛이 발산되게 하는 방법이다.

1) 자생(Self-Emitting)

제일 쉽게 생각할 수 있는 방법으로 빛을 발할 수 있는 작은 점들을, 예를 들어 Light Emitting Diode(LED)를 3차원 격자로 정리해놓고 Direct Addressing으로 원하는 점들을 켤 수 있다면 원하는 Volumetric 3-D image를 Display할 수 있겠으나 이것의 실제적인 문제점들은 다음과 같다. 먼저 이러한 3차원 격자를 투명하게 만들 수 있는지가 의문이고 Direct Addressing도 현실적으로 불가능하다. 그래서 차선의 방법으로 2차원 격자를 만들어 빠른 속도로(20Hz 이상) 회전시키는 것이다.(그림 1) 그리고 전기적인 Matrix Addressing을 사용한다. 이것은 사람의 눈에 빛이 들어오기를 마친 후 1/16초간 남아있

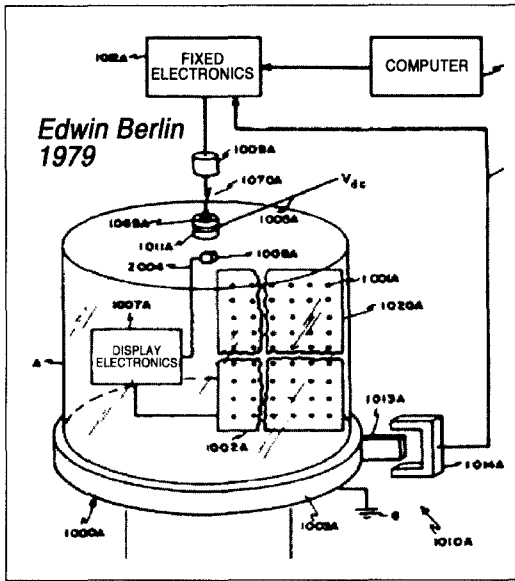


그림 1. Digital Volumetric Systems

는 잔상을 이용하는 것이다. 영화의 원리이기도 하다. 다음에 설명할 산란에서도 똑같은 현상을 이용하게 된다. 빠른 속도 때문에 발광하지 않는 점들은 보이지 않기를 바라지만 외부의 빛에 따라 다르긴 하지만 아주 없앨 수는 없다. 또 한가지 문제점은 한 점에서 발산하는 빛의 방향을 제어할 수 없기 때문에 여러 사람이 볼 때에 유령 같은 모양의 이미지를 피할 수 없다는 것이다. 한 사람이 볼 때는 물론 안 보이는 부분을 신호적으로 빛을 발하지 않게 하면 그 문제는 해결 할 수 있다.

이러한 근본적인 문제 이외에 2차원 격자에 데이터를 주는 문제, 2차원 격자를 빠른 속도로 회전시켜야 하는 기계적인 문제, 그리고 해상도를 높이기 위해 빛을 발하는 점들의 크기를 아주 작게 해야 하는 문제들이 있다.

또 다른 방법으로 진공 안에 인광물질을 바른 스크린을 회전시키면서 Cathode Ray Tube



그림 2. Cathode Ray Sphere

(CRT)처럼 전자총을 사용 Vector Scanning으로 Addressing을 하는 시도가 있었다. 이는 어느 정도의 성공을 얻었으나 상업적으로의 진전은 없었다. 이것을 Cathode Ray Sphere (CRS)라고 부르기도 한다.(그림 2) 이 방식에서는 큰 부피의 공간에 진공을 유지하는 문제와 그 안에 인광 Screen을 빠른 속도로 돌려야 한다는 문제가 있다.

2) 여기 (Excitation)

이 방법은 투명한 발광매체를 3차원 스크린으로 만들어 원하는 점들의 원자들을 외부에서 주는 빛의 에너지로 여기시킨 후 거기에서 다시 나오는 빛을 이용하여 3차원 영상을 구현하는 것이다.

가장 손쉽게 구할 수 있는 발광매체는 공기이다. Laser빛을 원하는 곳에 초점을 맞춰 그 곳에 존재하는 공기분자를 여기시켜 발광시키면 3차원 영상을 구현할 수 있을까 하는 생각도 출현했었지만 공기분자에서 우리 눈으로 볼 수 있을 정도의 빛을 발생시킨다는 것은 현재의 기술로는 요원할 뿐 아니라 Laser 빛을 빠른 속도로 Scanning하는 것은 아직 불가능하다.

한 단계 더 발달해 어떤 밀폐된 공간 안에 어떤 Gas를(예로 Rubidium Vapor, E. Korevaar 1989) 넣어 그것을 발광매체로 하려는 시도가 있었으나 이것 역시 충분한 밝기의 빛을 얻는 데는 실패하였다. Gas를 여기 시키는 방법은 방향이 서로 다른 두 IR Laser를 사용해 그 둘이 교차하는 곳에서 빛을 내게 하는 것이다. 두 Laser가 교차하는 곳에 Gas 분자가 있으면 여기되어 빛을 발할 수 있게 된다. 역시 여기에서도 Laser의 Scanning 속도가 문제가 된다. 3차원을 스캔하는 것은 2차원의 스캔보다 한 차원이 많기 때문에 고속의 Scanning이 요구된다.

지금까지 알려진 바로는 이러한 3차원 영상에 사용될 수 있는 Scanner는 Acousto-optic Scanner인데 그것은 소리를 가지고 특수 결정에 격자를 만들어 스캔하기 때문에 속도가 태생적으로 늦을 수 밖에 없다. Electro-optic Scanner는 속도가 빠르나 굴절하는 각도가 작음에다 고전압이 요구되므로 사용될 수 없다. 새로 각광을 받기 시작하는 Photonic Crystal에 빠른 속도의 Scanner에 대한 기대를 걸어볼 수도 있겠다.

여러 번의 시도가 있었으나 충분한 밝기의 빛을 얻을 수 있는 고체로 된 발광매체가 발견된 것은 근래의 일이다.(E. Downing et al, 1994) 충분한 밝기의 빛을 얻기 위해서는 고체로 된 발광매체가 아직까지는 불가피하다. 그들은 투명한 결

정에다 (예를 들어 Heavy Metal Fluoride Glass) Laser 빛을 쬐이면 빛을 발할 수 있는 Rare-Earth 물질을 집어넣었다.(그림 3) 그리고 그것의

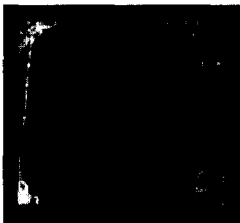


그림 3. Two-Step Upconversion Display System

여기는 앞에서도 언급한 것과 같은 방법으로 두 방향이 다른 IR Laser를 사용했다. Laser의 Scanning 속도 문제 이외에 큰 결정을 얻는데 어려움이 있다. 얻었다 해도 그것의 무게는 상당할 것이다. 그래서 이 방법은 Scalability의 문제가 원천적으로 존재한다.

이 문제를 부분적으로 해소하기 위해 결정대신 결정을 잘게 만들어 플라스틱 안에 집어넣는 방법이 시도되고 있으나 아직은 시작 단계이고 Scanning 속도의 문제는 여전히 존재할 것이다.

이것 역시 앞에서 언급한 유령 모양의 이미지의 문제는 해결할 수 없다. 유령 모양이라 함은 실제의 물체가 물체 자체에 가려 보이지 않아야 할 부분이 보이는 현상을 말한다.

3) 산란(Scattering)

이 방법은 스크린을 돌려 3차원 영상을 구현하는 방법이다. 원리는 앞서 설명한 2차원 자생(Self-Emitting)하는 스크린에서 설명한 것과 동일하다. 차이점은 자생하는 스크린 대신에 빛을 받아 산란시킬 수 있는 스크린을 사용하는 것이다. 여태까지 시도된 스크린의 모양도 다양하다. 평면스크린, 나선형 모양의 스크린 등이 그것이다. 스크린을 움직이는 방법도 회전과 직선운동이 있다. 이렇게 스크린을 움직이는 방법 외에 Polymer Dispersed Liquid Crystal (PDLC)를 겹겹이 붙여 놓고 전기적으로 투명, 불투명한 상태를 바꿔 주는 방법이 제안되었다. 이것 이외에 큰 원 주위에 여러 개의 스크린을 붙이는데 각 스크린의 원 중심에서부터의 거리를 다르게 한 스크린의 아이디어도 제시되었었다.

그 중에 실제적으로 시작품이 존재하는 것들 중에는 다음과 같은 것들이 있다. 제일 먼저 시도

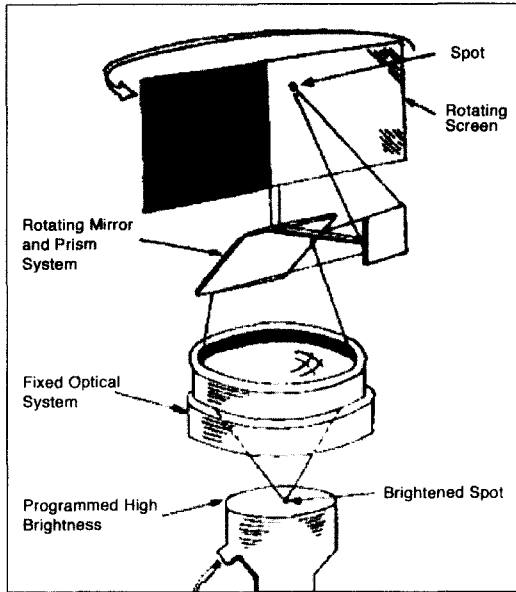


그림 4. High Brightness CRT Projection

된 것이 1960년도에 CRT의 이미지를 적당한 광학장치를 사용해 회전하는 평면 스크린에 투사하는 방법이다. 그 당시에는 CRT에서 투사된 빛이 너무 약해 실패했다.(그림 4) 그것을 거울삼아 휘도를 높이기 위해 인광물질을 바른 스크린을 직접 진공 중에 회전시키며 전자총으로 주사해 발

광시키는 앞에서 언급한 CRS방법이 시도되었다.

이것의 문제점은 앞에서 언급되었고 이후에는 Laser의 발달로 Laser를 사용한 방법들이 시도되기 시작하였다. Laser를 사용하는 사람들은 광학구조의 복잡함을 피하기 위하여 나선형 구조의 스크린을 선호하였다. 이들 중 대표적인 그룹들은 미국 해군과 독일의 Felix이다.(그림 5) 여러 개의 시작품들이 선을 보였으나 대중적이 되기에는 3차원 상의 질이 좋지를 못했다. 스크린을 돌려야 하는 기계적인 문제를 제외하고라도 가장 문제가 되는 것은 해상도이다. 앞에서 언급한 바와 같이 Laser의 Scanning의 속도가 따라가 주질 못하기 때문이다. 여러 개의 Laser Pointer들을 사용하고 평면 스크린을 사용한 시작품도 선을 보였었다.

해상도의 문제를 해결하기 위해 Laser의 직경을 확산시켜 그것을 Ferroelectric Liquid Crystal (FLC)를 이용한 광학적 Shutter를 통과시킨 다음 그것을 회전하는 나선형 스크린에 투사하는 방법도 시도되어 선을 보였다.(그림 6) 이것으로 해상도의 문제는 해결하였으나 휘도의 문제는 더 심각해졌다. FLC Shutter를 만드는데 있어 수

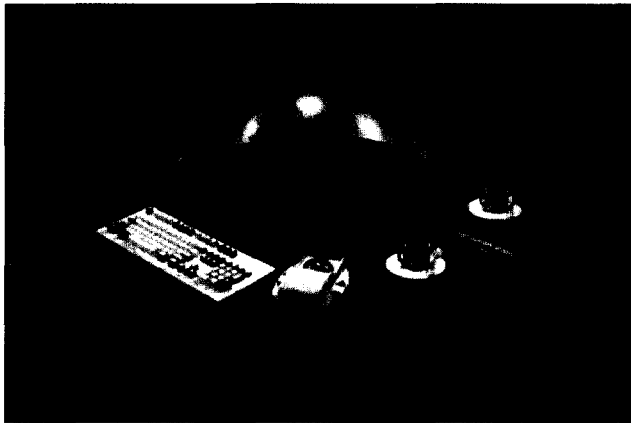


그림 5. Felix 3D-CAD-Display

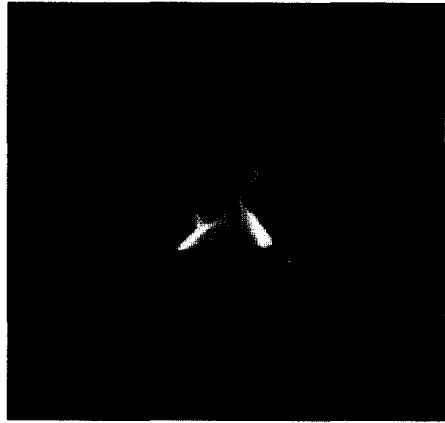


그림 6. 3D Image Displayed by using FLC Shutter

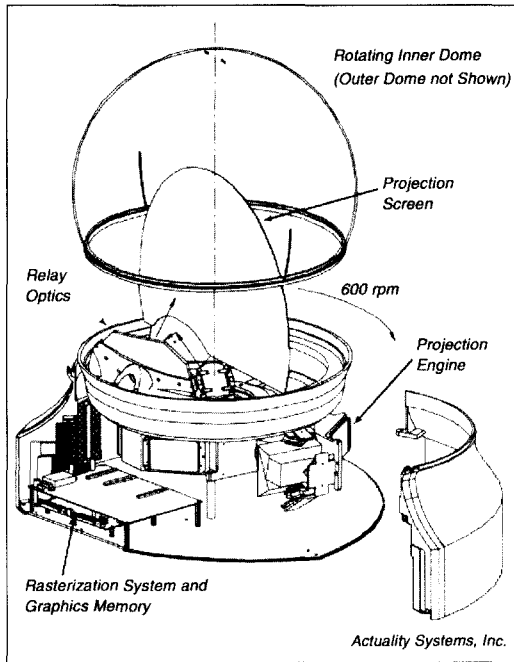


그림 7. Actuality systems 의 Volumetric Display System

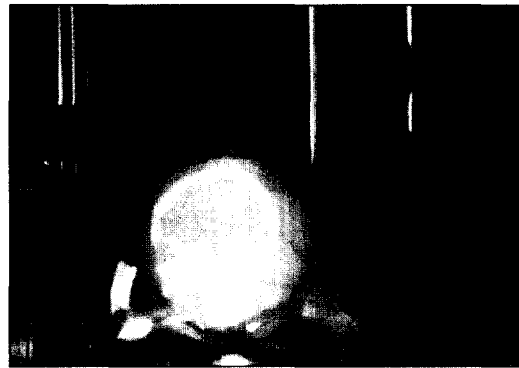


그림 8. Actuality system의 3-D Image

율이 높지 않은 어려움이 있고, 스크린 회전의 기계적인 문제는 여기에서도 피할 수는 없다.

최근에 Projection Engine을 Texas Instrument (TI)의 Digital Light Processor(DLP) 또는 Digital Micro-mirror Device(DMD)를 사용한 시작품이 등장하여 선을 보이고 있다. 이 DMD는 17 micron 정도의 작은 미세 거울의 방향을 전기적으로 조정하여 투사할 빛과 점을 선택하는 방법이다. 만들기가 쉽지 않은 기술이라 당연히 고가이다. 이 시스템의 장점은 휘도가 상대적으로 높다는 것이다. Addressing은 한번에 한 Line씩 Addressing을 하는 Matrix Addressing을 사용하고 미세 거울을 켜다 껐다 하는데 걸리는 시간이 5 microsecond 정도 걸리기 때문에 이것을 이용한 Rasterization은 많은 입체의 점들을 사용할 수 있다는 장점이 있다. 그래서 해상도가 지

금까지 나온 어느 시작품보다 높다는 평을 듣고 있다. 이것 역시 평면 스크린을 회전하고 있기 때문에 소음, 진동, 그리고 크기의 제한성 등의 문제는 그대로 지니고 있다. 그 외에 DMD의 Gray Level 구동방식이 디지털이기 때문에 지금까지는 8색이 고작이었고 색깔을 다양하기 구사하기 위해서는 해상도를 희생해야한다. DMD에서 Gray Level은 몇 번 미세거울을 진동시켰는가에 따라 결정된다. 허나 지금까지 존재하는 시작품 중 가장 진보한 작품임에는 논란의 여지가 없다.(그림 7 과 8)

Projection TV에 사용되는 CRT와 광학계의 발전으로 요즘의 Projection CRT의 휘도는 50년 전 처음 시도되었던 CRT와는 비교가 되지 않는다. 그리고 Laser에 비해서 Scanning Speed가 훨씬 빠르다. 잘 알려져 있듯이 CRT의 Scanning은 전기적 또는 자기적으로 전자빔을 편향시키기 때문이다. 그래서 Laser를 사용하는 어느 시스템보다 CRT를 사용하는 시스템이 해상도가 높다. 본 저자와 삼성 SDI가 개발하고 있는 Volumetric 3-D Display System은 Projection TV CRT를 사용하고 있다. 앞으로 3-D 시스템에 맞는 Projection CRT가 개발되기

전까지는 기존의 것을 이용하고 있다. CRT를 사용할 경우 기존 TV의 Raster Scanning은 속도가 너무 느려서 사용할 수가 없다. 그 대신에 Vector Scanning을 사용하여야 한다. 컴퓨터의 발달과 CRT 기술의 발전은 CRT를 사용해서 상대적으로 충분한 해상도와 휘도를 낼 수 있음이 최근 증명되어지고 있다. 물론 아주 복잡한 여러 개의 3-D 이미지의 표현에는 한계가 있지만 몇 개의 상대적으로 간단한 3-D 이미지는 충분히 구현할 수 있다. 거기다가 고도로 발달된 CRT의 공정기술은 가격 면에서 DMD와 비교할 수 없을 정도로 저렴하다.

앞에서 다른 시스템을 설명할 때 언급 했지만 다시 한번 작동 원리를 설명한다면 다음과 같다. CRT에서 어떤 3차원 영상표면의 단면을 Vector Scanning으로 그려서 광학계를 통해 한 위치에 있는 Screen에 투사시키고 다음 스크린 위치에 또 다른 단면을 투사시키면 사람의 눈에는 그것이 연결되어 보인다. 상이 연결되어 보이는 이유는 전자빔의 주사가 그쳐도 빛이 남아있는 인광 물질의 성질과 또 사람 눈에 남는 잔상 때문이다.

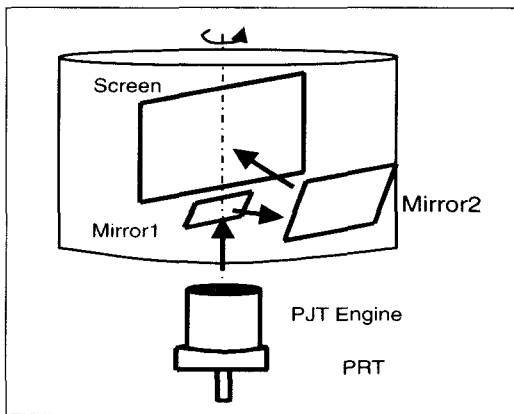


그림 9. Volumetric System의 작동원리

물론 인광이 너무 오래 남으면 꼬리가 길게 남을 것이기 때문에 적당해야 하고 Flickering 같은 것도 없게 하기 위해 스크린의 회전 속도를 조절해야한다.(그림 9)

저자와 삼성 SDI가 개발하고 있는 Volumetric 3-D Display System은 평면 스크린을 사용하고 있으며 비축 광학계를 이용하고 있다. Projection TV의 스크린처럼 빛을 효과적으로 사용하기 위해서 Lenticular 스크린을 사용하고 있다. 2-D Projection TV와 다르게 스크린이 회전하면서 스크린이 보는 사람의 시선과 평행하게 위치해 있을 때도 있기 때문에 특별히 고안되어 180°의 시야각을 갖는 스크린이 필요하다.

기계적 소음과 진동을 최소화하기 위해 모터와 베어링의 최적화가 필요하다. 그리고 휘도와 해상도를 향상시키기 위해 CRT의 축소 그리고 여러 개의 CRT를 사용하는 방법들이 연구되고 있다.

4) 집속(Focusing)

개인적으로는 이 방법이 Volumetric의 궁극적으로 가야할 방향으로 생각되어 진다. 이것은 Re-imaging 또는 Floating images 등으로도 불려진다. 공간에 어떤 방법으로든지 빛을 집속시키면 사람 눈과 뇌는 그 점에 물체가 있는 것처럼 착각할 수 있다. 이 방법에는 허상(Virtual Image)과 실상(Real Image)의 방법이 있다. 거울 같은 경우가 우리가 흔히 보는 허상 Re-imaging 방법이다. 빛을 거울의 면으로 반사시킴으로 해서 그 반사된 빛이 눈에 들어오면 사람 눈은 그것이 어떤 경로로 왔는지 알지 못하고 그것을 거꾸로 따라가 수렴 또는 집속되는 곳에 입체가 있는 것처럼 느끼게 된다. Volumetric Display System

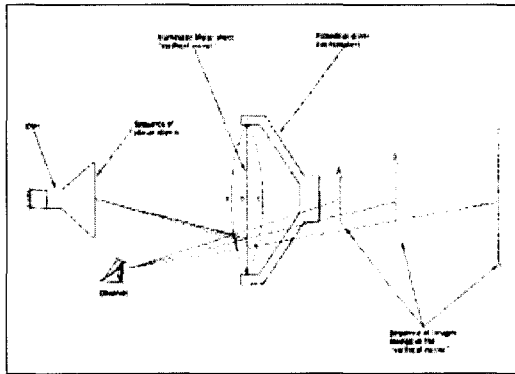


그림 10. Varifocal mirror for 3D imaging

중 Varifocal Mirror를 사용한 것은 이 현상을 이용한 것이다. CRT나 다른 2-D 디스플레이 시스템 앞에 가변초점 거울을 두고 초점을 변화시키면서 투사되는 이미지를 바꿔주면 공중에 뜨는 Virtual 3-D 이미지를 나타낼 수 있다.(그림 10)

Hologram 역시 이것의 일종이다. 판에 기록된 간섭 Pattern 격자에서 재생되는 빛을 눈이 따라가면 그 빛이 집속되어지는 것처럼 보이는 곳에 입체가 있는 것처럼 느끼게 된다.

이것을 잘 이용해서 전시용의 상품을 만든 회사가 미국의 Dimensional Media Associates(DMA)이다. 두 곡률과 초점이 똑같은 Paraboloid를 마주 보게하고 한 Paraboloid의 정점이 다른 하나의 초점에 일치하게 배치하면 아주 재미있는 현상이 일어난다는 사실은 오래 전부터 알려져 왔다. 한 Paraboloid 상에서 발산되는 빛들을 각 Paraboloid를 거울삼아 거꾸로 추적해보면 다른 Paraboloid의 대각선으로 맞은 편에 정확히 수차 없이 집속이 되게 된다.(그림 11) 이 성질을 잘 이용하고 빛의 경로가 각 Paraboloid에 의해 방해받지 않게 해 주면 Re-imaging을 할 수 있다. 실제의 입체를 한 Paraboloid의 초점 근처에 놓고 강하게 조명을 해주면 다른 Paraboloid의 초점에 마치 그 입체가 있는 것처럼 입체 이미지가 나타난다. 한 초점에 2-D 디스플레이 장치를 놓으면 2-D 이미지가 공중에 떠 있게 된다. 이것을 입체적으로 보이게 하기 위해 여러 가지 현명한 발명들이 나와 있으나 이것은 기하적으로 상당한 제한이 있기 때문에 여러 가지 어려움이 따른다.

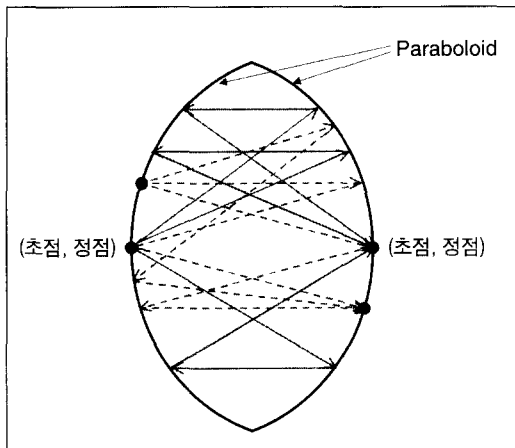


그림 11. Floating Image의 원리

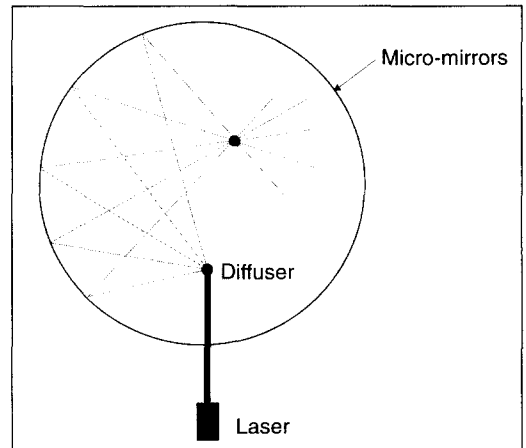


그림 12. 미래의 Volumetric System

개인적인 소견으로는 위에서 설명한 현상을 기하학적인 제한없이 구현할 수 있다면 그것이 Volumetric 구현 방법의 마지막이 될 것이다. 예를 들어 커다란 구 안에 사람이 들어가 있고 구 안에 작은 미세거울이 수없이 달려 있다 하자. 그 미세거울의 작동이 충분히 신속하고 원하는 대로 빛을 자유자재로 꺾을 수 있다고 가정해 보자. 구 안의 한 점에 Laser를 쬐어 사방팔방으로 분산시켜 구 내부표면의 거울로 원하는 다른 한 점에 집속시키면 구 안에서 보는 관측자는 그 집속된 곳에 점이 있는 것으로 느낄 것이다(그림 12). 그것을 충분히 빨리 다른 입체의 점에도 적용하면 사람 눈은 마치 연속된 점들을 동시에 볼 수 있기 때문에 공중에 떠 있는 3차원 이미지를 보게 될 것이다. 하지만 아직은 인간의 기술이 그렇게 많은 거울을 빠른 속도로 움직일 수 있는 수준까지 도달하지 못하였다. Micro Electro-Mechanical System(MEMS)의 기술이 조속히 발전하기를 기대해 본다.

좀 더 실용적이고 실현 가능한 방법으로 여러 개의 Projection Engine을 사용하여 위와 같은

효과를 낼 수 있는 방법이 저자와 삼성 SDI에 의해 고안되어 있으나 자세한 것은 차후에 공개가 될 것이다.

결 론

오랜 시간 3차원 영상을 디스플레이 해 보고자 하는 것이 인간의 꿈이었다. 그 중에 Volumetric에 관한 도전은 끊어질 듯 말 듯 그 명맥을 유지해오고 있으나 어떤 문턱을 넘어서면 그 수요는 상상을 초월할 정도일 것으로 쉽게 예상된다. 허나 지금까지 수많은 크고 작은 노력들이 있어 왔으나 아직까지 대중의 큰 호응을 받지 못하고 있으며 상업적인 가치를 큰 기업들이 인식하고 있지 못하고 있는 것은 사실이다. 그러나 이것은 언젠가 이루어질 아니 이루어져야 할 인간의 꿈이며 개인적으로는 그 필요한 기술들이 무르익었을 뿐 아니라 그것이 폭발적으로 대중의 요구에 호응할 날이 멀지 않은 것으로 확신한다. 참고문헌의 목록을 생략하였으나 요구에 의해 제공될 수 있다.

필자소개



오 윤 식

- 1976년 : 서울대 물리학과 졸
- 1976년~1980년 : 공군사관학교 물리학 교관
- 1987년 : University of Pennsylvania 물리학 박사
- 1987년~1994년 : Northwestern University 연구원
- 1994년~현재 : 미국 CNA Research Analyst
- 2000년~현재 : 삼성 SDI 연구위원