

최근의 3차원 디스플레이 기술

이병호 <서울대학교 전기공학부 교수>

1 머리말

유년시절 꿈으로만 생각되던 우주여행이 현실화되는 것처럼, 상상 속에서만 꿈꾸던 3차원(3D) 디스플레이 기술이 현실화되고 있다. 색차방식(anaglyph)을 이용한 영상 전송을 통해 인공위성이 화성을 탐사하고, 의료 연구용 인체 장기를 3D로 모델링하며, 군사 목적으로 지형을 3D로 표시하는 것은 이제 그리 놀랄 일이 아니다. 포화된 2차원(2D) 디스플레이 시장이 새로운 블루 오션으로 3D 디스플레이 시장을 찾는 것은 당연한 결과다.

각 기업들의 2D 디스플레이 기술 발전 정도는 이미 완성 단계가 되어 소비자는 디스플레이의 고화질화나 박형화에 대해서는 큰 차이를 느끼지 못할 정도에 이르렀고, 가격 경쟁력 강화를 통해 디스플레이 산업의 활로를 모색할 만큼 포화 상태가 되었다. 오히려 디스플레이 개발사의 브랜드 이미지나 패션 디자이너와의 개발 제휴를 통해 판매 성장을 이루고 있다는 사실은 유럽에서의 삼성 보르도 TV의 판매 대수나 LG 전자의 프라다폰의 판매 실적을 통해서도 알 수 있는 사실이다. 이에 비해서 3D 디스플레이 시장은 아직 누구도 유리한 고지를 선점하지 못한 상태이다. 이는 바꿔 말하면 그만큼 선도하는 기술을 개발하는 것이 어렵다는 말이다. 3D 디스플레이는 아직 2D 평판 디스플레이에 비해서 기술 경쟁력이 떨어지고, 그 품질

이 낮은 경향이 있다. 그러나 현재의 2D 디스플레이 시장은 포화되었으며 그로 인해 새로운 돌파구가 필요하다라는 사실은 자연스럽게 3D 디스플레이가 대안이 될 수 있다는 사실을 증명한다. 또한 초고속 정보통신망은 개인이 사용할 수 있는 정보의 양을 대폭 늘려주어 종전의 전송 가능한 2D 정보량을 넘어서 입체감 있는 깊이 정보를 모두 포함한 3D 정보량을 전송할 수 있는 시대를 열어주었다. 3D 디스플레이 산업은 상용화가 가능한 2010년경에는 전 세계적으로 연간 10[%] 이상의 고성장을 기대할 수 있다는 예측이 있다.

3D 디스플레이 기술은 기존의 2D 평판 디스플레이로 형성된 평면 이미지가 아니라 실재감 있게 형성된 3D 영상을 표시하는 기술로서, 1838년 Wheatstone에 의해서 스테레오스코프(stereoscope)에 대한 연구가 진행된 이후에 많은 선진국에서 기술의 개선과 발전이 이루어져 왔다. 차세대 디스플레이로 언급되는 OLED(organic light emitting diode), flexible display, 3D 디스플레이 중 특히 3D 디스플레이가 관심을 많이 받는 이유는 여타 차세대 디스플레이는 평면 영상을 재생하기 때문에 영상의 깊이 정보를 나타내는데 근본적으로 한계가 있지만, 3D 디스플레이는 우리가 일상적으로 보고 있는 자연 풍경이나 사물에 가장 근접하고 자연스러운 영상정보를 표현하는 유일한 기술이기 때문이다.

2. 3차원 디스플레이의 분류 및 최근 연구 동향

현재 상용화되었거나 연구가 진행 중인 3D 디스플레이의 종류는 무수히 많다. 3D 디스플레이에는 많은 분류 방식이 존재하고, 아직까지 모든 분야를 기술하는 분류 토대가 만들어진 것은 아니다. 하지만 그 구현 방식에 따라 좌측 눈과 우측 눈에 시차가 있는 영상을 제공하여 관찰자로 하여금 깊이감을 느끼게 하는 양안시차 방식, 가변 초점 거울이나 회전 스크린 등을 이용하여 공간상에 입체 영상을 형성하는 체적형 디스플레이 방식(volumetric display), 빛의 간섭을 이용한 홀로그래픽 디스플레이 방식(holographic display)으로 분류할 수 있으며, 양안 시차 방식은 보조 안경의 사용 여부에 따라 안경식(stereoscopic)과 무안경식(autostereoscopic) 두 범주로 나눌 수 있다(표 1).

표 1. 3차원 디스플레이 방식의 분류와 특성

방식	구현 방법	특성
안경식 (Stereoscopy)	편광안경 방식	다인 시청 가능
	액정 셔터 방식	시분할 방식
	HMD 방식	DMB 기능 등 병행 가능
무안경식 (Autostereoscopy)	렌티큘러 렌즈 방식	직시형, 투시형
	시차 장벽 방식	Barrier strips
	HOE(Holographic optical elements) 방식	홀로그래픽 스크린 이용
	집적 영상 방식	수직/수평으로 거의 연속적인 시차 제공
체적형 디스플레이 (Volumetric display)	가변 초점 거울 방식	거울의 진동 문제
	회전 스크린 방식	기계적 움직임 문제
	교차 레이저 빔 방식	고비용의 크리스탈 필요
홀로그래픽 디스플레이 (Holographic display)	전자 홀로그래피 (Electroholography)	동화상 표시가 가능하나 실시간 디스플레이가 어려움

안경식 3D 디스플레이 방식은 좌안과 우안에 해당하는 영상을 분리하는 방법에 따라 편광 안경 방식, 액정 셔터 방식, HMD(head-mount display) 방식으로 분류할 수 있다. 이 방식들은 현재 상업적인 용도로 많이 개발되었으며, 관찰자에게 생생한 입체 영상을 전달할 수 있다는 장점과 제작의 간편함 때문에 지속적인 연구가 진행되고 있지만 가장 큰 문제인 안경을 착용해야 한다는 불편함이 있고, 지속적으로 사용할 경우 사용자에게 눈의 피로나 두통을 야기할 수 있다는 점에서 개선되어야 할 여지가 많은 방식이다. 최근 삼성전자는 액정 셔터 안경을 사용하고 Full HD의 해상도를 가지는 50인치급 3D Ready DLP TV를 개발하여 업계 최초로 북미시장에 출시한 바 있다(그림 1).

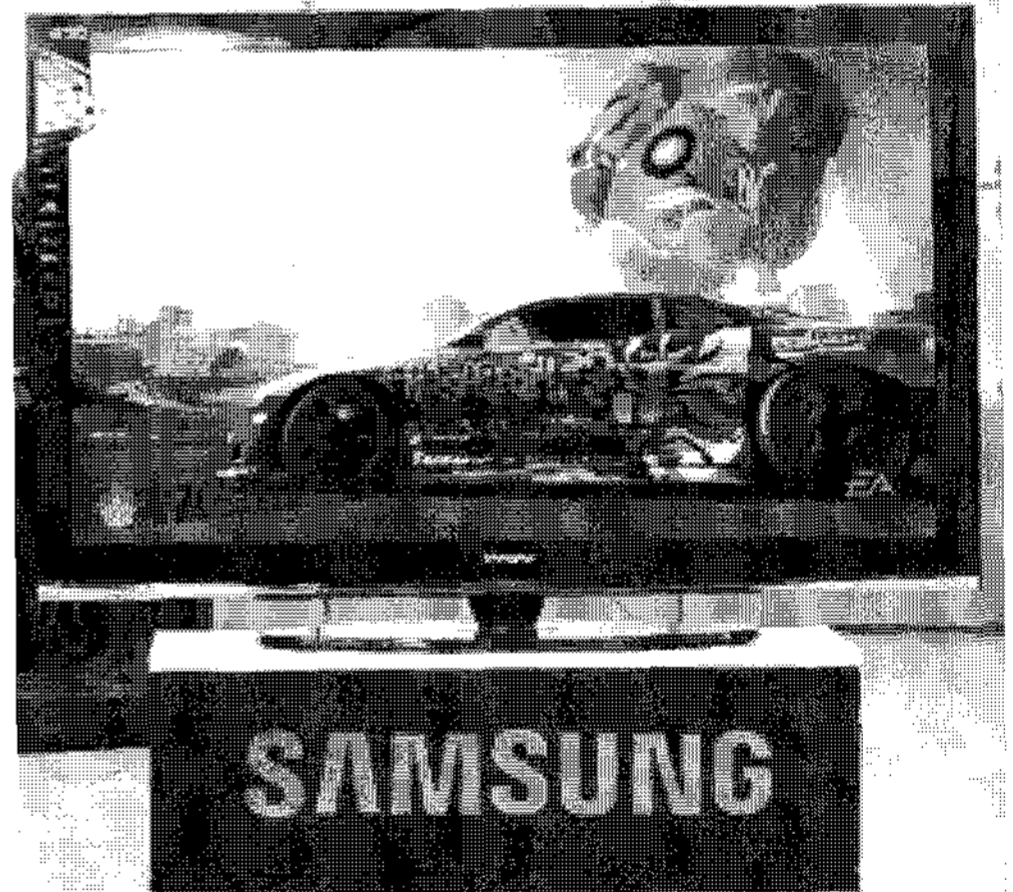


그림 1. CES 2008(미국소비가전전시회)에서 소개된 세계 최초의 50인치급 안경식 3D Ready DLP TV(출처: 삼성전자)

안경식 방법의 한계를 극복하기 위해서 꾸준히 개발되고 있는 무안경식은 구현 방식의 범위가 상당히 넓다. 디스플레이 패널 앞에 안경 대신 렌티큘러 렌즈(lenticular lens)나 시차 장벽(parallax barrier)을 만들어 관찰자에게 3D 영상을 제공하는 다시점 디

특집 : 3차원 디스플레이

스플레이 방식(multi-view binocular display)은 관찰 시점이 증가할수록 영상의 해상도가 떨어지고, 수직 방향의 시차는 가질 수 없다는 단점을 가지고 있다(그림 2).

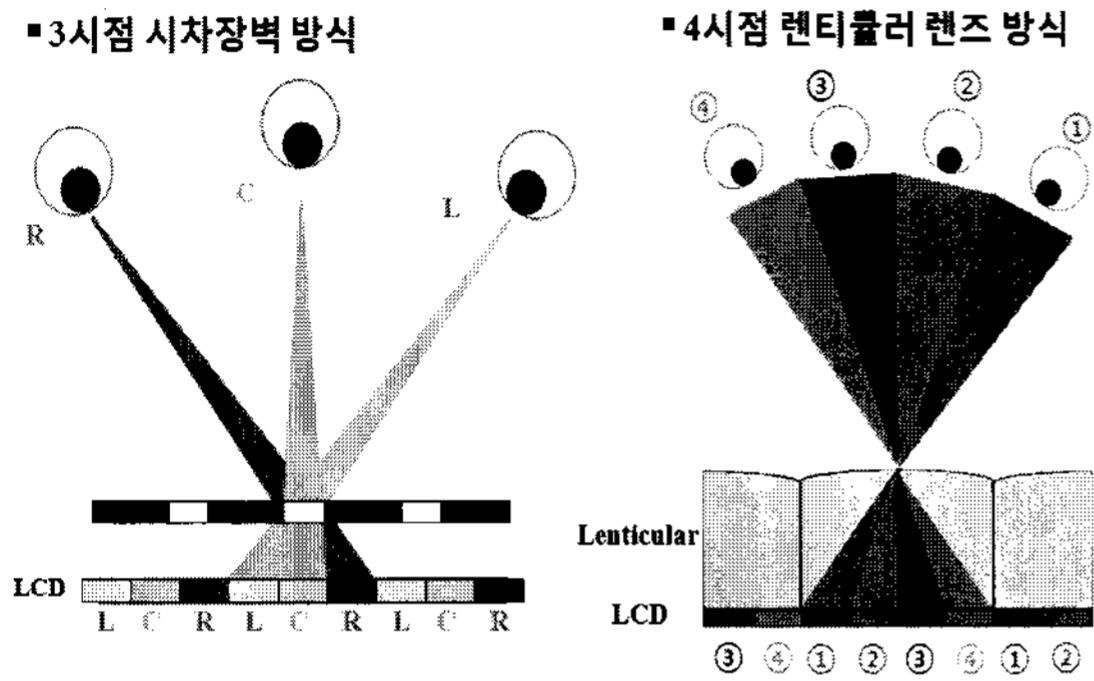


그림 2. 무안경식 3D 디스플레이 방식의 원리와 종류 (좌 : 시차 장벽 방식, 우 : 렌티큘러 렌즈 방식)

최근 고해상도 디스플레이 패널 개발과 렌티큘러 렌즈나 시차 장벽의 광학 설계 소자 최적화를 통해 관찰 시점과 해상도가 향상된 방식이 제안되고 있다. 삼성전자는 2007년에 2대의 카메라를 이용하여 양안 영상을 찍어 입체 영상을 디스플레이 할 수 있도록 한 3D 휴대폰(SCH-B710)을 출시하였다(그림 3). 이 제품에서 3D/2D 변환 패널 기술(시차 장벽 방식)은 삼성 SDI가 개발한 것이다. 또한 LG전자는 2006년에 렌티큘러 렌즈를 비스듬히 배열하여 시야각을 향상시킨 42인치급 2D/3D 변환 가능한 TV를 선보인 바 있다(그림 3). 이 제품의 디스플레이 패널은 LG디스플레이(구 LG.Philips LCD)에서 만든 것이다.

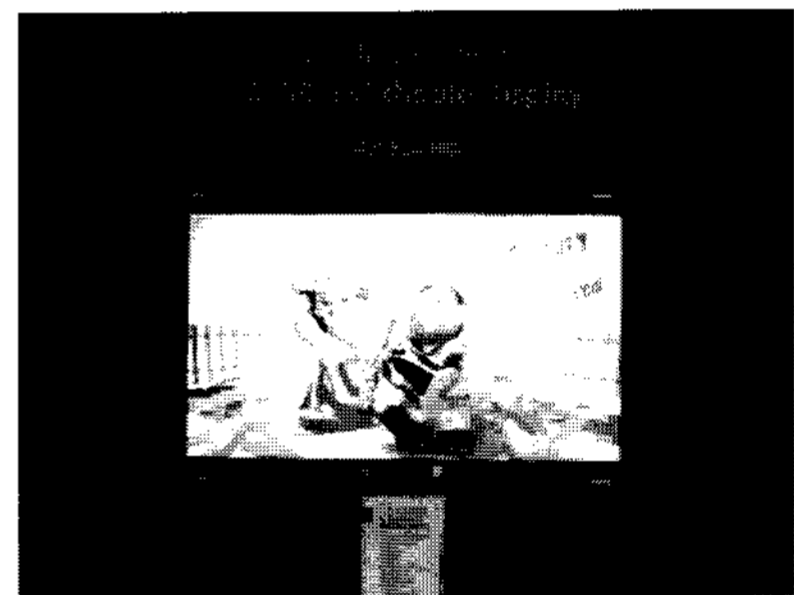
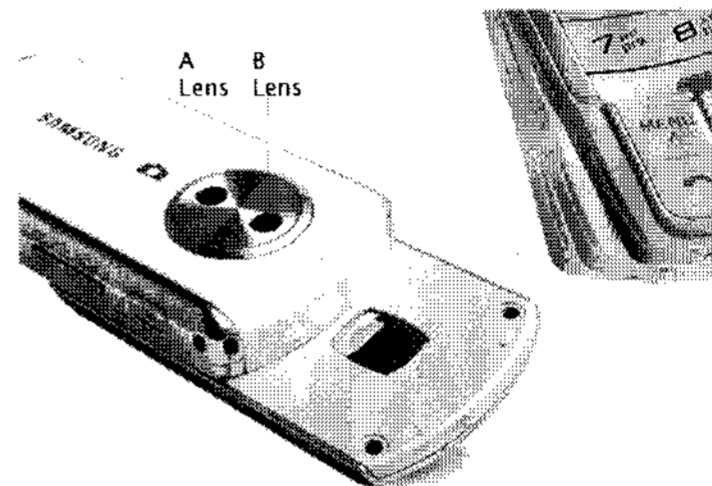


그림 3. 최근 출시된 시차 장벽 원리를 이용한 무안경식 3차원 디스플레이(상 : 삼성 SDI/삼성전자의 2D와 3D 변환 가능한 휴대폰, 하 : LG디스플레이/LG전자의 2D와 3D 변환이 가능한 42인치 Full HD TV)

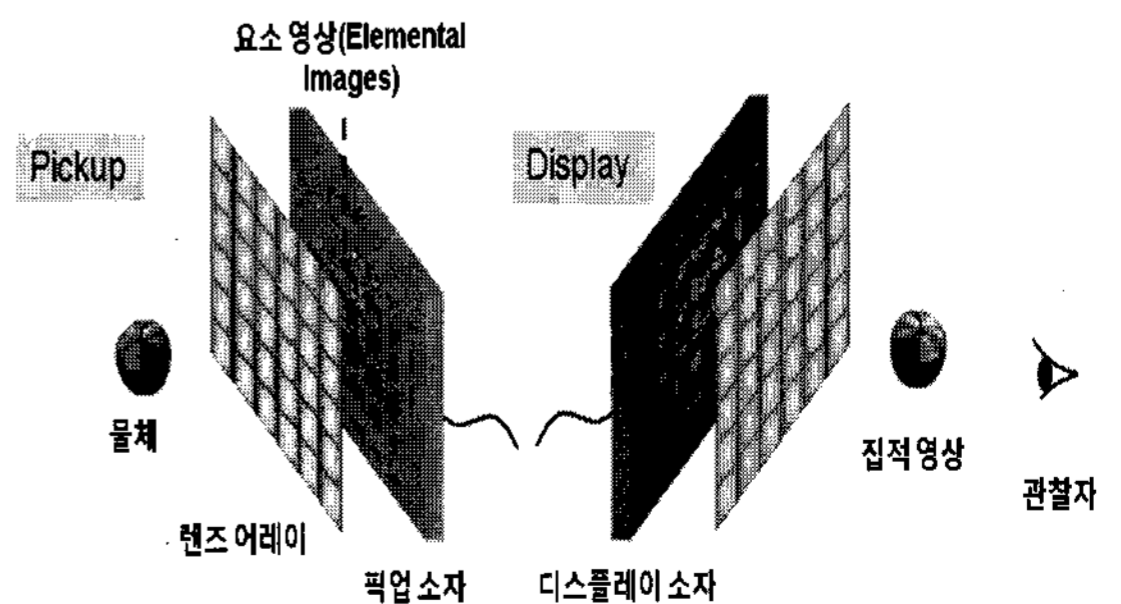


그림 4. 집적 영상 방식의 원리

집적 영상(integral imaging) 방식은 렌티큘러 렌즈 방식과 원리적으로 유사한 방식이지만, 렌즈의 배열이 2차원이라는 것이 다르다(그림 4). 실제로는

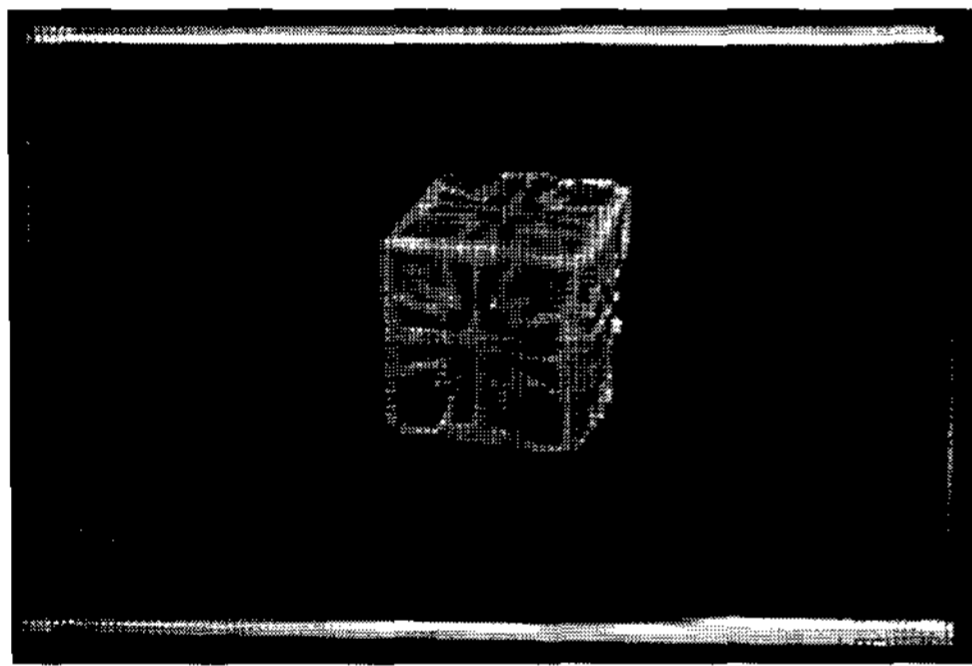
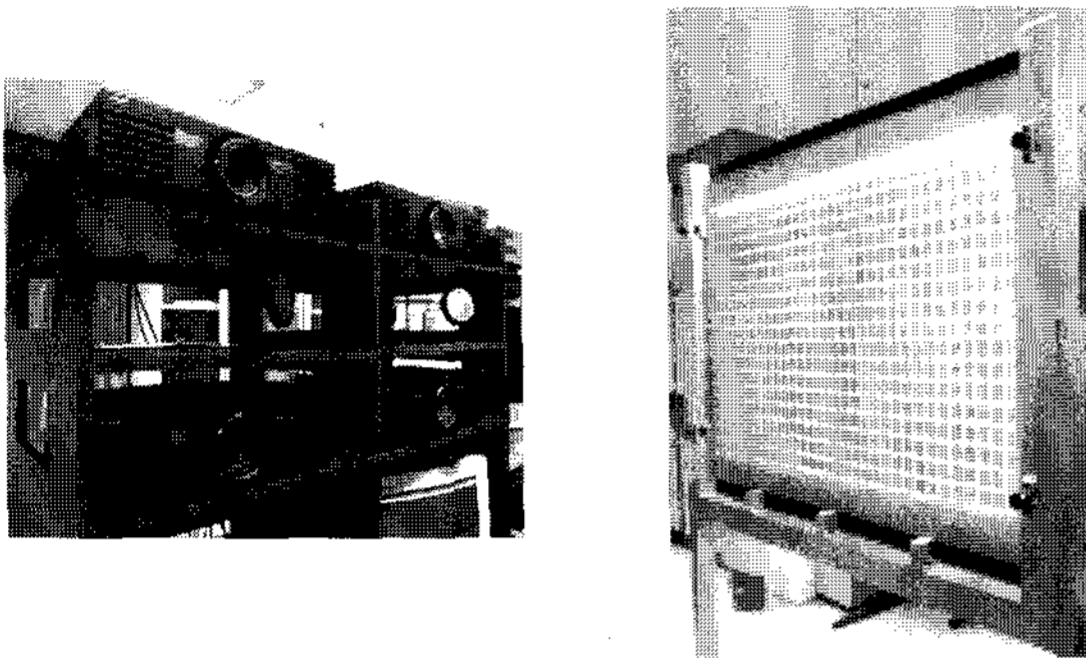


그림 5. 서울대의 60인치 프로젝션형 집적 영상 시스템
(상 : 실험 셋업, 하 : 집적 영상 실험 결과)



그림 6. Toshiba의 24인치 집적 영상 방식 3D 디스플레이(오른편 하단의 병이 실제 물체이고 나머지 영상은 3D 영상, 출처 : Toshiba)

집적 영상 방식이 더 먼저 고안되었는데, 이는 지금으로부터 100년 전이었다(그 당시에는 integral photography라 불림). 2차원으로 배열된 렌즈 어레이를 이용하여 3차원 물체의 각기 다른 방향에서 바라본 영상들을 요소 영상(elemental image)들로 저장 또는 전송하여 실시간으로도 3D 영상을 재생할 수 있는 방식이다. 이 방식은 기존의 평면 디스플레이 패널과 렌즈 어레이로 간단히 구성할 수 있기 때문에 실시간 방송 등 여러 분야에서 활용이 가능하지만, 제한된 시야각과 해상도 문제, 깊이감 제한 등 앞으로 꾸준히 연구 개발이 필요한 분야이다. 이와 같은 제한적인 요인을 향상시키기 위한 연구는 서울대, 광운대, 일본의 NHK 등과 일본의 일부 기업체에서 활발히 수행하고 있다(그림 5와 그림 6).

최근에는 기존의 양안시차 방식 이외에도 새로운 3D 디스플레이 방식이 개발되고 있다. 일본의 Hitachi와 NTT는 두 개의 디스플레이 패널을 앞뒤로 배열하고 각 디스플레이 패널의 색감이나 명암을 조절하여 관찰자로 하여금 두 디스플레이 패널 사이에 3D 영상을 인식하게 하는 depth-fused 디스플레이를 개발하였다(그림 7). 삼성전자에서도 CeBIT 2007에서 22인치 depth-fused 디스플레이를 선보인바 있다(그림 8).

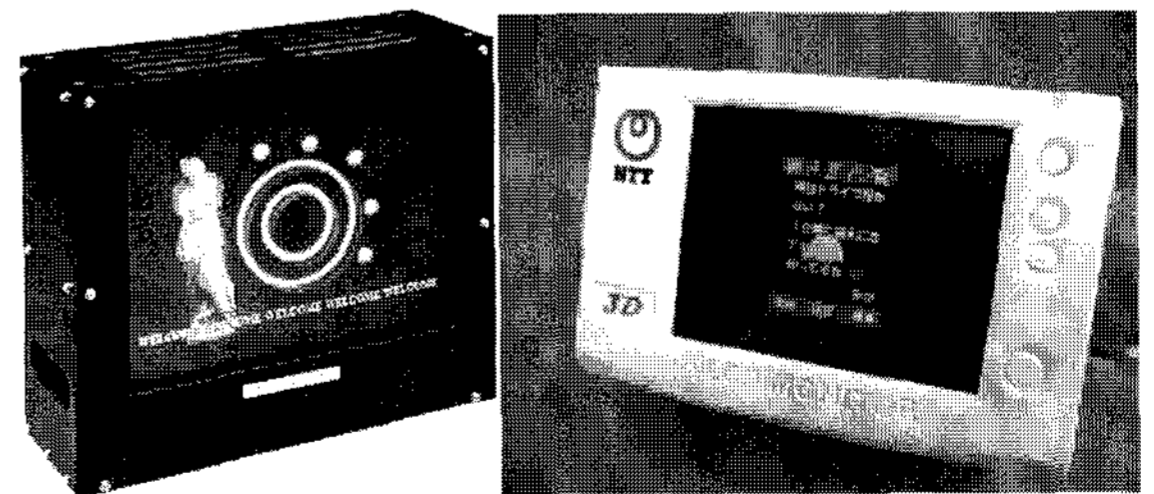


그림 7. Depth-fused 디스플레이 방식(상 : Hitachi와 NTT에서 공동 개발한 9인치 시스템, 우 : NTT에서 개발한 작고 얇은 4인치 시스템)

특집 : 3차원 디스플레이

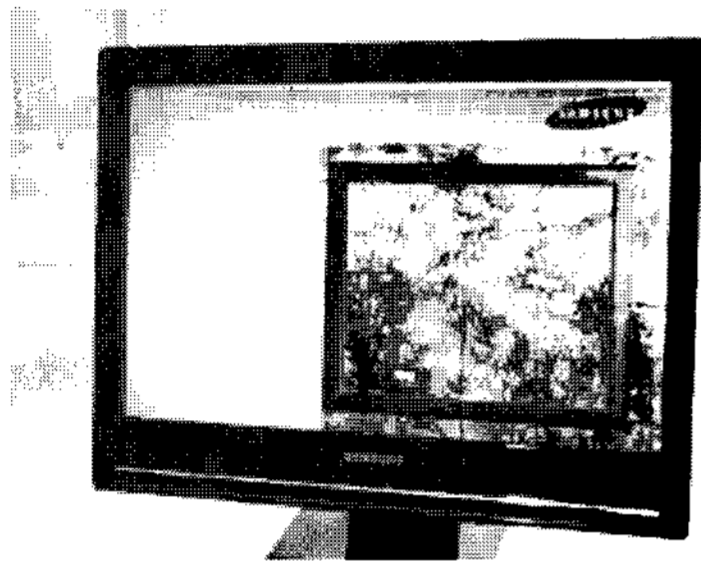


그림 8. 삼성전자에서 개발한 22인치 depth-fused 디스플레이

체적형 디스플레이 방식은 3차원 공간상에 실제로 입체감을 형성하여 관찰자로 하여금 보다 자연스러운 입체감을 느낄 수 있게 하는 방식이다(그림 9). 이 방식은 관찰 가능 시야 범위가 넓어서 많은 사람이 관찰하기에 적합하지만, 임의의 영상에 대해서 다른 방향의 영상이 가려지는 가려짐(occlusion) 현상이 생기지 않는 단점이 있다. 가변 초점 거울을 사용하여 공간상에 여러 층의 영상을 표시함으로써 입체감을 느낄 수 있는 가변 초점 거울 방식은 눈의 잔상 특성을 이용해야 하기 때문에 가변 초점 거울의 고속 진동과 정교한 광학계 설계 기술이 필요한 것이 단점이다. 디스플레이 스크린이 회전하면서 3D 영상을 표시하는 회전 스크린 방식은 스크린 회전 속도가 빨라야 한다는 단점이 있으며, 서로 다른 두 파장의 레이저가 입사되었을 때에만 반응하는 희토류(rare-earth) 금속을 이용한 교차 빔 방식은 그 매질로 사용하는 크리스털의 가격이 높은 것이 단점이다.

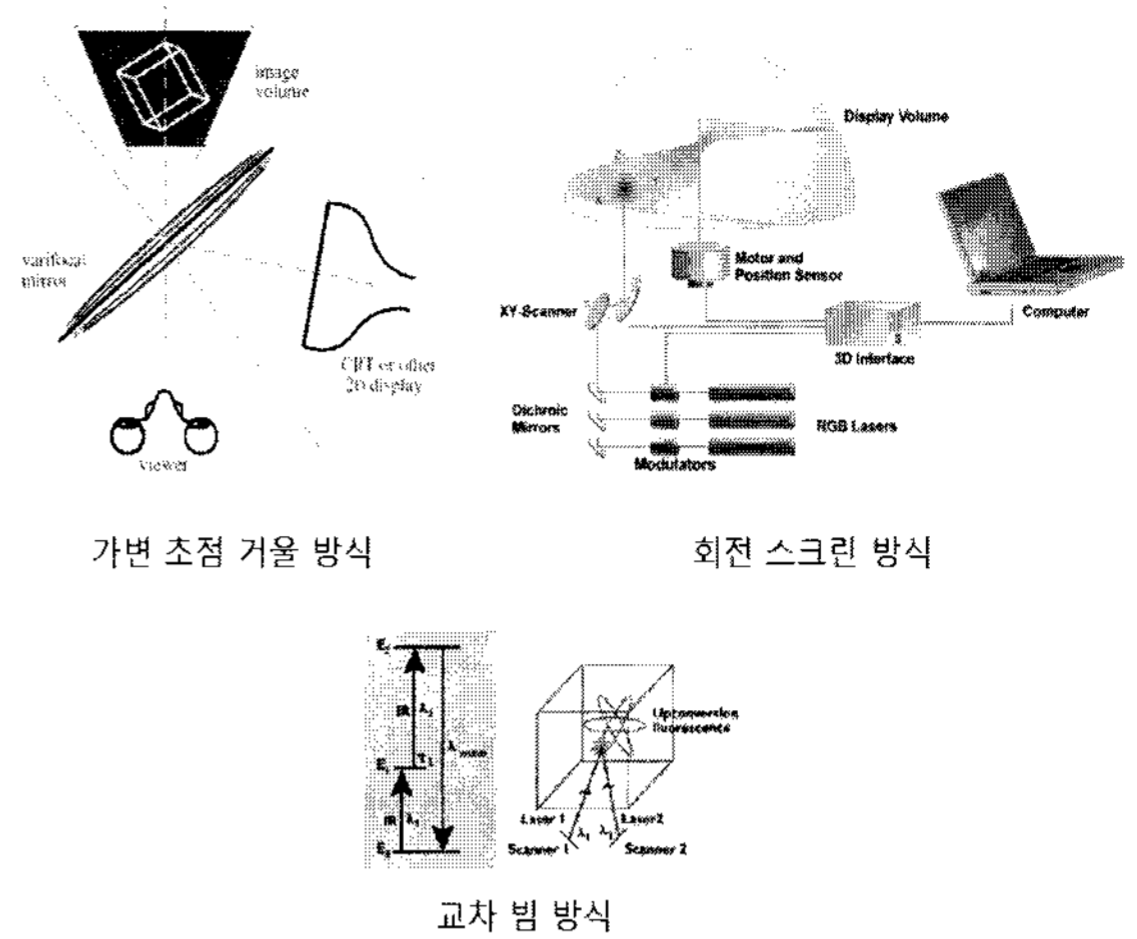


그림 9. 체적형 디스플레이 방식의 원리

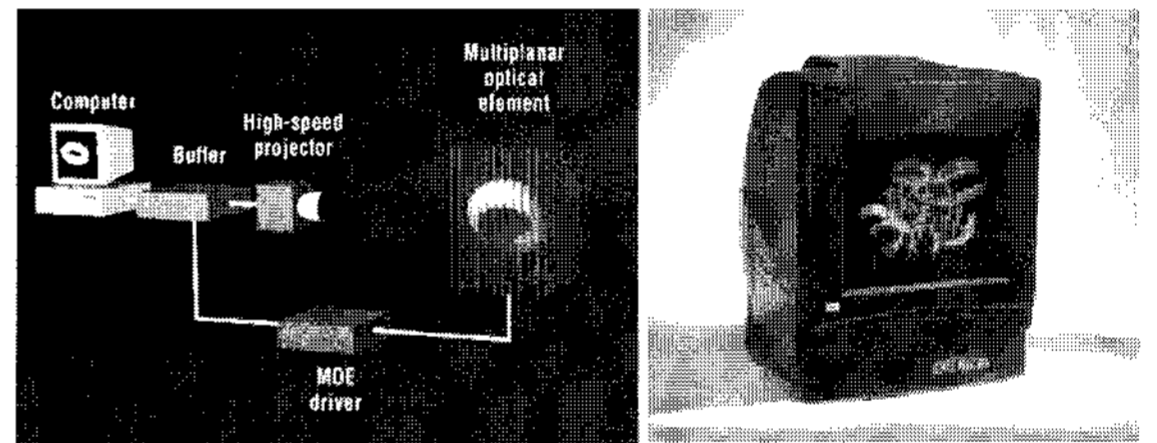


그림 10. Light Space사의 Depthcube z1024 3D 디스플레이 시스템(좌 : 원리도, 우 : 실제 디스플레이 시스템, 출처: <http://www.lightspacetech.com/>)

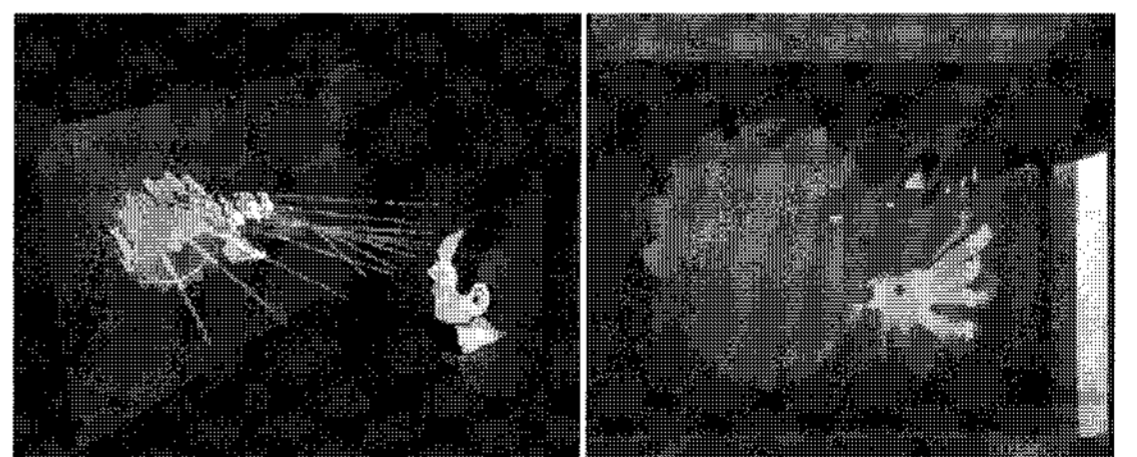


그림 11. Holografika사의 초다시점 디스플레이 시스템(좌 : 원리도, 우 : 실제 디스플레이 시스템, 출처: <http://holografika.com/>)

미국의 Light Space사는 고속 프로젝터와 20층의 평면 광소자(multiplanar optical element)를

이용하여 공간상의 액정 층에 영상을 표현하여 입체감을 형성함으로써 관찰자로 하여금 보다 자연스러운 입체감을 느낄 수 있게 하는 Depthcube를 제안하였다(그림 10). 3차원 영상의 실재감이 뛰어나지만, 고가의 광학 소자를 이용해야 하는 것이 단점이다.

헝가리의 Holografika사는 수평방향으로 연속적인 시차를 제공하며 무안경식인 3D 디스플레이 시스템을 제안하였다(그림 11). 사람의 동공에 최소한 2개 이상의 시차 영상을 제공하는 초다시점 디스플레이 방식을 이용하여 실감나는 3D 영상을 제공한다. Holografika사는 초다시점 디스플레이에 관한 미국 특허를 수십 건 보유하고 있어 원천 기술의 확보가 3차원 디스플레이 시스템에 중요한 역할을 하는 것임을 알 수 있다.

회전 스크린 방식 중 대표적인 방식인 미국의 Actuality사의 Perspecta Display는 DLP 프로젝터를 사용하여 회전 스크린 방식을 구현하였으며, 의학적인 응용이 가능하다(그림 12).

또 다른 회전 스크린 방식으로 고속 프로젝터와 고속 회전이 가능한 거울을 이용한 interactive light field 디스플레이 장치가 2007년 SIGGRAPH라는 컴퓨터 그래픽 연구 분야의 가장 권위 있는 학회에서 발표된 바 있다(그림 13).

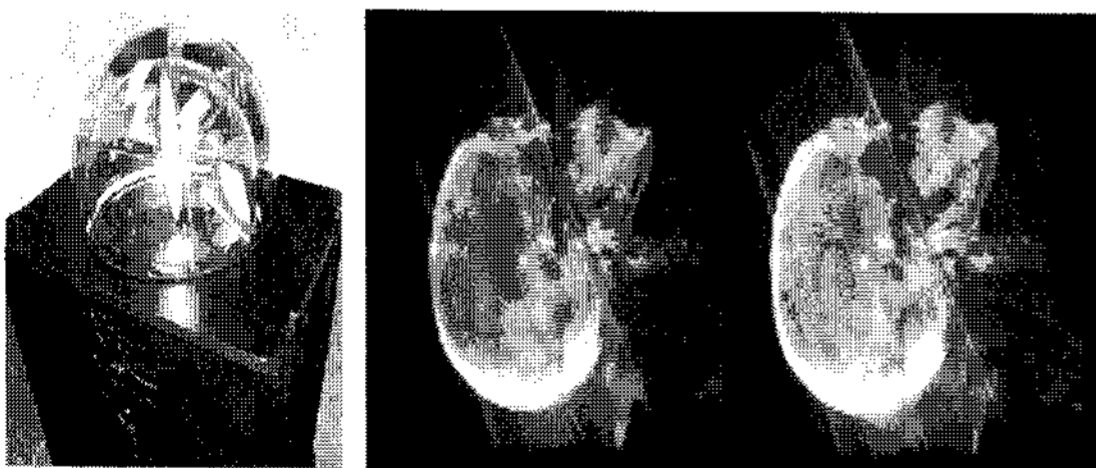


그림 12. 미국 Actuality사의 Perspecta 디스플레이 1.9 시스템(상)과 인체 두개골 CT 데이터를 Perspecta 디스플레이 시스템을 이용하여 입체로 표시한 영상(하)
(출처 : <http://actuality-medical.com/>)

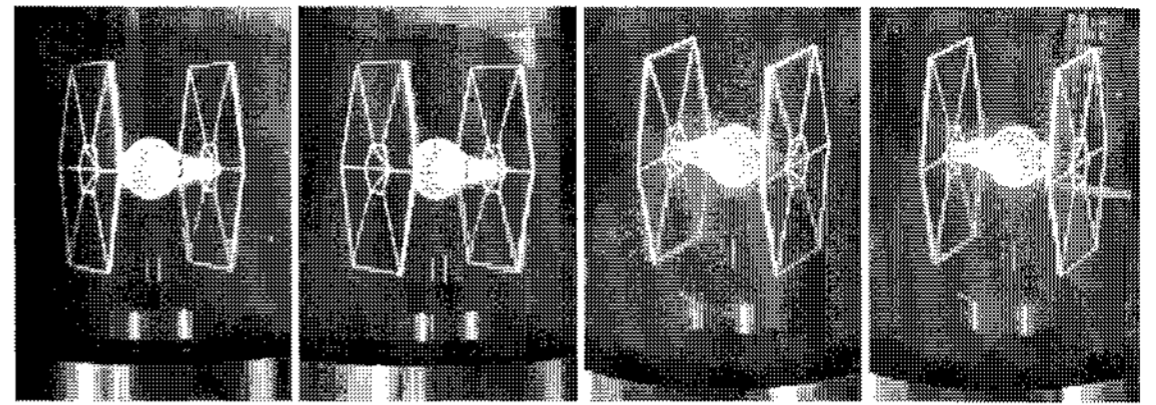


그림 13. University of Southern California의 ICT 그래픽스 연구실의 light field display
(출처: <http://gl.ict.usc.edu/Research/3DDisplay/>)

3. 최근의 각국의 3차원 디스플레이 정책들

세계 3D 디스플레이 시장은 아직 기술 개발 단계이지만 도입기로 진입하는 2010년을 지나 2015년부터는 본격 성장 단계에 들어서서 빠르게 성장할 것으로 예상된다. 현재는 일본과 미국, 유럽 등지에서 활발한 연구 활동을 하고 있지만, 최근 평판 디스플레이 산업이 급성장 중인 대만, 중국 등 동아시아 국가를 중심으로도 3D 디스플레이의 연구 개발이 확대되는 추세다.



그림 14. 할리우드 3D 영화(좌 : 몬스터 하우스, 중앙 : 슈퍼맨 리턴즈, 우 : 크리스마스의 유령)

미국은 할리우드의 3D 영화에 관련된 기술의 비약적 발전과 더불어서 SMPTE(미국 영화 TV 기술자 협회)에서 3D 디지털 영화관의 규격을 표준화하고 있으며, 드림웍스 애니메이션은 2009년부터 개봉되는 모든 영화를 3D로 제작하기로 했다고 발표했다.

특집 : 3차원 디스플레이

(그림 14). 또한 미국 우수 대학에서는 2시점 및 다 시점 디스플레이 방식 기술을 연구하고 있으며, 3차원 홀로그래픽 디스플레이를 2020년 실용화 목표로 연구를 추진 중에 있다.

유럽에서는 1991년부터 COST230이라는 프로젝트를 통하여 3DTV를 위한 관련 장치의 표준화영상 신호에 대한 부호화 및 전송기술을 연구하였다. 또한 ACTS의 PANORAMA(Package for New Operational Autostereoscopic Multiview Systems) 프로젝트를 통해서 3DTV의 핵심 기술의 개발, 통합에 의한 시너지 효과를 창출하고 있다. 향후 3DTV 개발을 위한 효과적인 네트워크 구성을 목적으로 3DTV NOE(Network of Excellence) 프로젝트가 진행 중이며 무안경식 디스플레이 방식 및 기존의 평

판 디스플레이 방식에 적합한 3D 데이터 변환 기술의 개발과 더불어서 홀로그래픽 디스플레이 방식에 대한 연구를 수행 중에 있다.

가까운 일본에서는 양안시차 방식 3DTV 방송 기술 연구를 20년 이상 진행하여 입체 방송에 대한 기술 축적이 상당하고, 3DTV 영상획득/저장/압축/전송/복원/재현에 필요한 핵심 기술을 대부분 확보한 상태다. 특히 1992년부터 10년간 TAO(Telecommunications Advancement Organization of Japan)를 중심으로 산학 공동 3DTV 핵심 기술을 개발하였으며, 최근엔 총무성 지원 하에 정부 출연 연구 기관인 NICT(National Institute of Communications Technology), URCF(Ultra-Realistic Communications Forum) 등 여러 컨소시엄을 위주로 3D 디스플레이 산업을 주도하고 있다.

한편 우리나라는 2005년도에 정보통신부 주도하에 '3D Vision 2010' 계획을 세워 3D 콘텐츠와 3D 방송, 3D 영상 재생에 대한 원천 기술 획득을 위해 노력하고 있으며, ETRI 주관으로 지능형 통합 정보 방송(Smart TV) 기술 사업을 수행하였고, 2002년 월드컵 때 3차원 입체 방송을 시범 서비스하기도 하였다. 산업계에서는 삼성전자/삼성SDI/LG디스플레이 등에서 10년 후 신수종 사업으로 3차원 디스플레이를 선정하고 연구 개발하고 있는 중이다. 연구소 및 대학의 3차원 디스플레이에 관한 연구는 1990년 중반부터 ETRI, KIST, 서울대학교, 광운대학교 등을 중심으로 입체 영상 방식 및 신호 처리 기술에 대한 기초 연구가 시작되어 현재는 3D 디스플레이 기술, 입체 방송 기술, 다시점 신호처리 기술, 입체 카메라 기술 등에 대한 다양한 연구 개발이 활발히 진행되고 있다. 또한 최근 국내의 현대 아이티 사는 일본 BS11 채널과 제휴하여 실시간 3D 방송을 위한 TV모니터를 개발하기도 하였다(그림 15).



그림 15. 실시간 3D 방송을 시현하고 있는 일본 BS11 채널 홈페이지(상)와 실시간 3D 방송을 위한 TV를 개발한 현대 아이티 사의 3D TV(하)(출처: <http://www.bs11.jp/>)

4. 제 언

우리나라의 3D 연구 개발에 대한 투자는 아직까지는 단기적 성과에 치중하여, 계획적이고 장기적인 투자가 부족하기 때문에 보다 장기적인 안목으로 3D 디스플레이에 대한 기업의 관심 및 투자와 이를 유도할 수 있는 정부 차원의 경제적 지원이 필요한 실정이다. 또한 기업 간의 중복 연구를 피하고, 뛰어난 아이디어의 신제품이 쉽게 나올 수 있도록 기업 간의 협력이 절실하다.

한국은 3D 디스플레이 시장에서 선두적인 위치를 차지하기에 매우 유리한 위치를 점하고 있다. 국내의 글로벌 기업들인 LG와 삼성 모두 3D 디스플레이 시장에 관심을 보이고 있으며, 현재 세계 LCD 시장에서 선두적인 시장 점유율을 차지하고 있기 때문에 한층 유리한 입장이다. 즉 3D 디스플레이를 위한 원천 기술 확보만 이루어진다면 평판 패널의 양산과 보급에서 세계적으로 선두의 위치에 있는 우리나라가 3D 디스플레이 분야에서도 선도적인 위치를 차지할 수 있을 것이다.

3D 디스플레이 기술은 현재 세계적인 표준이 막 정해지려고 하거나 아직 정해지지 않은 상태이다. 각각의 방식들을 상호 보완하거나 통합적으로 연구할 필요성도 높아지고 있다. 홀로그래픽 디스플레이 방식을 제외한 거의 모든 3D 디스플레이 방식은 기존의 2D 디스플레이 장치의 해상도를 낮추어 3D의 깊이 정보를 얻게 되므로 고성능의 3D 디스플레이를 위해서는 기존의 평판 디스플레이 소자의 고성능화(고해상도, 고 프레임율 등)가 필수적이다.

◇ 저 자 소개 ◇



이병호(李竝浩)

1964년 7월 6일생. 서울대학교 전기공학부 교수. 1987년 서울대학교 전자공학과 졸업. 1989년 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1993년 Univ. of California at Berkeley, EECS 졸업(Ph.D.). 1994년 9월부터 서울대학교 전기공학부 근무(현 정교수). 2006년~현재 OSA Director-at-Large(Board of Directors), OSA 시상총괄위원회 위원. 창의적연구진흥사업 수행. Applied Optics, Optical Fiber Technology, Journal of the Society for Information Display 편집위원. Japanese Journal of Applied Optics 편집위원 역임, 국가지정연구실 과제 수행.