

工學碩士 學位論文

영사형 완전 결상을 이용한 3 차원
동영상 디스플레이

指導教授 張 珠 錫

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出 함



釜慶大學校 産業大學院

情報通信工學科

趙 順 濟

이 論文을 趙順濟의 工學碩士
學位論文으로 認准함

2004年 6月

主 審 工學博士 鄭 信 一



委 員 工學博士 金 錫 泰



委 員 工學博士 張 珠 錫



- 목 차 -

Abstract

1. 서 론	1
2. 3D 디스플레이의 이해.....	4
2.1 3D 디스플레이의 정의 및 특징.....	4
2.2 3D 디스플레이의 역사	4
2.3 3D 디스플레이의 용도 및 분류	6
2.4 3D 디스플레이의 구조 및 원리	13
2.5 스테레오스코픽 방식의 근본 문제점	15
3. 완전 결상: 다양한 방법들.....	19
3.1 일반적인 완전결상(Integral Imaging).....	19
3.2 렌즈배열을 사용한 3 차원 영사형 II	21
3.3 미세 오목거울 배열을 사용한 3 차원 영사형 II.....	22
3.4 미세 볼록거울 배열을 사용한 3 차원 영사형 II.....	22
4. 미세 볼록 거울 배열을 가진 영사형 II 시스템에서의 실험	24
4.1 시스템 설명.....	24
4.2 실험 결과.....	26
5. 결 론.....	29
참고문헌	30
감사의 글	34

Display of three-dimensional animations using projection integral imaging

Department of Telecommunications Engineering, Graduate

School Pukyong National University Soon-Je cho

Directed by Professor Ju-Seog Jang

Abstract

Display of three-dimensional animations using projection integral imaging with micro-convex-mirror arrays is presented. In this scheme, a pseudoscopic to orthoscopic image conversion process is not required even if elemental images of direct camera pickup are used. In addition, a wide viewing angle without image flipping can be achieved even if optical barriers are not used. Using the proposed scheme a short animation was experimentally demonstrated, in which the viewing angle of more than 60 degrees was obtained.

1. 서 론

2 차원 디스플레이 장치를 사용한 3 차원 영상법과 디스플레이 방법은 이것들의 이점과 응용성 때문에 많이 연구되고 있다[1-5]. 여기에는 주로 스테레오스코픽 (stereoscopic) 방식과 홀로그래피 방식이 주로 이용되고 있다. 양안시차를 갖는 두 2 차원 영상을 사람의 양쪽눈에 각각 분리해서 보여주는 스테레오스코픽(stereoscopic) 기술은 3 차원 디스플레이를 수행하는데 있어 가장 널리 사용되고 있다. 왜냐하면 고해상도를 가진 큰 영상을 디스플레이 할 수 있는 스테레오스코픽 시스템을 구현하기가 상대적으로 쉽기 때문이다[1]. 그러나 스테레오스코픽 기술은 보통 3 차원 시각 효과를 불러일으키기 위해 추가의 안경 장치가 요구되고 수평시차만 가지고 있음으로 인해 수평시차와 수직시차를 모두 갖는 3 차원 영상의 구현은 어렵다. 또한 관찰자에게 단지 제한된 수의 시점만을 제공한다. 영상을 보는 눈의 수렴각과 초점사이의 불일치가 존재하여 즉, 수렴-조절간의 불일치 때문에 스테레오스코픽 영상의 관찰은 시각적 피로의 원인이 된다[2].

홀로그래피방식도 3 차원 디스플레이에 사용되어지고 있는데, 이때의 3 차원 영상은 격자에서의 회절에 의해 생성된다. 하지만 홀로그램을 제작하기 위해서는 레이저 빛과 같은 코히어런트(coherent) 광원이 필요하고, 또한 풍경과 같은 먼거리의 큰 물체를 기록하고 재생하는 것이 어렵다. 그리고 컴퓨터 발생 홀로그램을 만들어낼 때의 많은 계산

시간을 요구한다[3-5]. 따라서 홀로그래피를 통한 자연풍경에 대한 큰 컬러 3 차원 디스플레이의 구현은 현실적으로 불가능하다.

일반 자연광(백색광)으로 공간상에 3 차원 영상을 광학적으로 디스플레이 하기 위해 완전 결상(Integral imaging: II), 즉 실시간 완전 사진술(Integral photography)이 연구되고 있다[6-10]. II 에서 3 차원 영상은 렌즈배열을 사용하여 2 차원 요소 영상으로부터 오는 교차하는 광선들에 의해 형성된다. 홀로그래피에서처럼, II 에서는 수평, 수직시차를 모두 갖는 완전 시차와 연속적인 시점을 가진 3 차원 영상이 구현될 수 있다. 하지만 II 를 실용화 하기 위해서는 많은 문제를 해결해야 한다. 예를 들면, 제한된 시야각, 초점 심도, 3 차원 영상의 해상도가 낮다는 것이다[11,12]. 게다가 직접 픽업 II 에서 생성된 3 차원 영상은 역심(깊이가 바뀐) 영상이다[7]. 이런 결점을 해결하기 위해 많은 기법들이 제안되고 있는데, 이것들은 일반적으로 II 시스템을 더 복잡하게 만들어 구현하기에 어렵다[9,13-19].

최근 II 의 여러 가지 문제를 극복하기 위해 영사 II 방식이 개발되었다[20,21]. 이것은 영사형 II 시스템에서는 렌즈배열을 미세 볼록 거울배열로 대체함으로써, 두 가지 중요한 문제를 해결할 수 있다. 첫째는 제한된 시야각 문제이고, 둘째는 역심-정심 영상 변환 문제이다.

그러므로 이 논문에서는 미세 볼록 거울배열을 이용한 영사형 II 방법을 설명하고, 3 차원 동영상을 디스플레이 하는 것에 대해

연구하였다. 무시할 수 있는 수차와 작은 $F/\#$ 를 가지는 미세 볼록 거울을 만드는 것은 쉽기 때문에 미세 볼록 거울배열을 사용함으로써 시야각을 크게 증가시킬 수 있다. 게다가 렌즈배열을 가진 직접 카메라 픽업으로부터 요소 영상이 얻어지고 2 차원 영상 검출기가 사용될 때, 자동적으로 3 차원 정심 허상이 디스플레이 된다. 비록 광학 장벽을 렌즈배열 각각에 사용하지 않아도 영사형 방법에서는 Flipping(즉 고차 재생영상) 현상 없이 3 차원 영상을 관찰할 수 있다. 이는 각각의 요소 영상은 단지 해당하는 미세 볼록 거울에만 영사될 수 있기 때문이다. 제안된 방법의 특징을 실험을 통해 증명하고 여기서 60 도 이상의 시야각을 얻어짐을 확인한다. 또한 웹 제작용 동영상 툴(Flash)을 이용하여 동영상 제작이 가능하다.

2. 3D 디스플레이의 이해

2.1 3D 디스플레이의 정의 및 특징

입체감을 일으키는 여러 요인 중, 눈이 가로 방향으로 약 65mm 떨어져서 존재하여 나타나게 되는 양안시차(binocular disparity)가 근거리에서의 입체감을 나타내는 가장 중요한 요인이라 할 수 있다. 즉, 좌우의 눈은 각각 서로 다른 2 차원 영상을 보게 되고, 이 두 영상이 망막을 통해 뇌로 전달되면, 뇌는 이를 정확히 서로 융합하여 본래 입체 영상의 깊이감과 실제감을 재생하는 것이다.

인간이 현실에서 느끼는 것과 같은 현실성과 자연성이 뛰어난 완벽한 3 차원 영상통신의 구현을 위해서는 입장감을 극대화할 수 있어야 하며, 입장감의 극대화는 결국 인간생활 공간의 3 차원화에 기인한 영상의 3 차원적 입체 디스플레이를 의미한다. 또한, 대상체의 움직임도 생생하게 표현할 수 있는 입체 동영상의 실현을 요구하게 된다.

2.2 3D 디스플레이의 역사

3 차원 입체 영상의 기술발전추이를 살펴보면 표 1 과 같이 1920 년대에 편광방식과 1948 년에 광학 홀로그램이 개발되었고, 1980 년대에 편광 안경식과 1990 년대에 렌티큘라 방식의 입체영화가

실용화되기 시작하였으며, 현재는 Electro-Holography 방식에 의한 3 차원 입체 TV 에 대한 기초연구가 진행되고 있고 시제품 출시가 이루어지고 있다.

표 1. 3 차원 입체 영상의 기술 개발 추이

시기	특기사항	주요기술
1940	홀로그래피 기술	Optical Holography (1947)
1960		Laser Holography (1963)
1980	입체 영화	다수 시청용 입체 영화: 편광 안경, 색차안경 방식 Head Mounted Display: 가상현실, Game 기기
1990	입체 모니터	3D PC(SANYO): 입체 게임, 영화, 기록보존 개인용 입체 모니터(SANYO): 가상현실, 게임, 의료용 다인용 입체 TV(NHK): 회의, 강연장, 가정용 대화면 프로젝션 TV 다인용 입체 프로젝터: multiview 방식
1995	입체 TV 및 디스플레이 장치	2D/3D TV(SANYO): 가정용 3D TV, Shutter 안경방식 AOM & LCD 를 이용한 전자 홀로그래픽 디스플레이 시점추종방식의 홀로그래픽 디스플레이 애너모픽 광학계를 이용한 다안 입체 디스플레이 초다안영역(super-multiview)의 입체 디스플레이
2005	입체 방송	가정용 입체 TV: 가정용 Volumetric 3D TV 초공간 정보통신 서비스

3 차원 입체 영상 디스플레이는 1920 년대에 입체 영화나 입체 TV 에 대한 기술 개발이 시작된 이래 30 가지 이상의 방식이 개발되고 있으나 세계적으로 표준화된 것이 없고 일반 TV 로써 상용화되기까지는 보다 많은 시간의 연구개발이 요구된다.

2.3 3D 디스플레이의 용도 및 분류

3 차원 입체 영상 디스플레이는 표 2 과 같이 입체표시방식, 시점(view point), 안경착용여부, 시스템의 구성, 관찰조건에 따라 분류할 수 있다.

표 2. 3 차원 입체 디스플레이 방식

구분	방식	안경 착용	Color	동영상	대면 적	다수 관람	시야 각	시점 이동
스테레오 스코픽 display	Box 식	X	○	○	X	X	X	X
	Anaglaph 식	○	X	○	○	○	○	X
	편광안경식	○	○	○	○	○	○	X
	시분할식	○	○	○	○	○	○	X
	2 안 렌터쿨라식	X	○	○	○	X	X	X
제작 영상 display	다안 렌터쿨라식	X	○	○	○	△	△	△
	Integral photography	X	○	○	○	○	○	○

	깊이표본화식	X	○	○	△	△	○	○
	홀로그래피	X	○	○	△	○	○	○

(○: 필요/가능, X: 불필요/불가능)

입체 영상의 인식은 주로 양안 시차에 기인하는데, 양쪽 눈에 서로 다른 각도에서 관찰된 영상이 입력되면 두뇌작용으로 공간감을 인식하게 된다. 입체 영상 디스플레이는 영상 인식정도에 따라 2 종류로 분류되며 스테레오스코픽 방식과 체적 영상 디스플레이 방식이 있다. 스테레오스코픽 방식은 표 3 에서 분류된 바와 같이 양안시차를 이용한 것으로 관찰자가 별도의 안경착용 여부에 따라 안경식의 편광방식과 시분할 방식, 비안경식의 Parallax barrier 방식과 렌티큘라 방식 등이 있다. 전자는 기존 디스플레이로써 가능하지만 별도의 편광 또는 액정서터 안경을 착용해야 하고, 후자는 기존 디스플레이에 각각 image splitter 와 cylindrical lens array 가 결합된 구조로 관찰범위가 고정되어 소수 인원(1 인 또는 수명정도)에 한정되지만 별도의 안경식을 착용하지 않는 특징이 있어 전자보다는 실용성이 있다. 비안경식은 입체관찰영역을 확대하는 방법으로 렌티큘라 방식의 다안화와 관찰자 이동에 대응하는 시점추종형과 백라이트 분할식의 입체 TV 방식도 계획되고 있다. 이와 같이 비안경식의 입체 TV 개발은 활발한 상태이지만 기술적으로는 아직 연구단계에 있다. 체적 영상 디스플레이 방식은 다안식, 홀로그래피, 깊이 표본화 방식으로 구분된다. 다안식은 스테레오스코픽 방식과 유사한 구조로서 여러 각도의 다수의 영상을

표시함으로 두 개의 영상만을 표현하는 양안시보다 넓은 각도에서 관찰이 가능하다.

표 3. 양안식 입체영상 디스플레이 분류

요지경식	미러식 (Wheastone, 1838)		
	프리즘식 (Brewster, 1849)		
	렌즈식 (Holmes, 1895)		
	두부탐재식 (Sutherland, 1968)		
필터안경식	애너글리프식 (적청안경) (D'Almeida, 1985)		
	농도차식 (폴프리히 효과)		
	편광안경식 (Land, 1935)		
	시분할식	셔터안경식	기계식
편광안경식		전자식(PLZT, 액정)	
무안경식	패럴랙스 스테레오그램 (Ives, 1903)		
	렌티큘라식 (Ives, 1932)		
	대형 오목면 미러식 (Valyus, 1966)		
	대형 볼록 렌즈식 (Valyus, 1966)		

홀로그래피는 광학적 홀로그래피와 전자적 홀로그래피 방식이 있으며, 전자는 광감성기관에 레이저나 백색광원을 사용하여 그림 1 과 같이 물체의 상을 간섭패턴으로 광파의 진폭과 위상을 기록하고 재생하는 방식이고, 후자는 전자와 같이 물체의 입체 영상 정보를 간섭패턴의 형태로써 전기적인 신호 처리를 함으로써 대량의 영상 정보 처리가 가능하도록 하여 3 차원 입체 정보를 표현하는 방식이다. 그리고 깊이 표본화 방식은 물체의 깊이 방향에 여러 화상을 중첩하여 입체 영상을

표시하는 방식으로 varifocal mirror 방식, 회전 원통식, 표시면 진동식등이 있다. 이 방식은 정해진 범위에서 임의의 시점에서 관찰이 가능하도록 깊이감을 표현함으로써 관찰위치의 제약이 없고 자연스러운 화상 표현이 가능하지만 대량의 정보 처리 기술의 개발이 관건이 되고 있다.

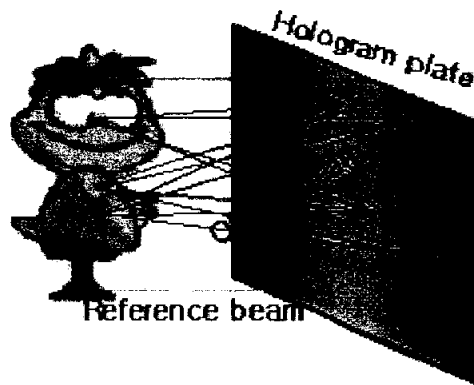


그림 1. 홀로그래픽 3D 디스플레이 방식

현재 3D 디스플레이의 응용분야로는 특수분야인 의료용, 게임기, CAD 용 등에 제한되고 있으나, 일반 TV 영상으로 입체 영상을 표현하는 기술도 개발되고 있고 통합방송법의 통과로 통신과 방송의 융합으로 3D 에 대한 기술개발의 가속도 붙을 전망이다. 여기에다 개인휴대전화의 대량보급과 초고속 인터넷의 폭발적인 수요증가로 인해 그 응용분야는 무한하다. 표 5 는 3 차원 입체 디스플레이의 용도와 기능을 나타낸 것이다.

현재 국내 3 차원 정보단말기 시장은 극히 일부 기업체, 연구소, 대학 정도에서 실험용으로 사용하고 있는 실정이다. 그러나 점차적으로 3 차원 단말기술의 인식이 확대되면서 이에 대한 관련 산업체들의 욕구도 점점 증가함에 따라 최근에는 3 차원 게임을 비롯한 소프트웨어 시장을 중심으로 의료, 보안, 광고, 방송 등에 대한 기업체의 참여와 더불어 수요시장이 형성되고 있는 추세이다. 그 응용분야는 특정한 분야가 아니고 통합멀티형 및 퓨전형등으로 통합하려는 쪽으로 진행되어지고 있다

기능 용도		표 시 기 능								가상 현실
		대화면	평면/ 소형	다수 시청	비안경	고정세	돌출 화상	부유 화상	동영상	Inter active
입 체 표시	TV	△	◎	○	○	○			◎	
	CAD		○			○				◎
	교재			○	○	○	○	◎	○	
	상식	△		○	○	◎	○	◎	○	
	계측장비		◎		◎			△		
	감시		◎						○	△
	예술		○		○	○		○		
	서적	△			○	○	○			
	극장	◎		◎	○	○	○		◎	
	게임		○		△	△	○		◎	◎
	가상현실	○			△	○	○	◎	◎	◎

표 5. 3 차원 입체 디스플레이의 용도와 기능

국외의 경우 표 6 과 같이 3 차원 게임, 교육, 의료, 컴퓨터, 시뮬레이터 및 각종 관련 산업에서 기존의 2 차원 멀티미디어 정보단말기를 대신할 차세대 3 차원 입체 멀티미디어 시장으로 자리를 잡았고 과학기술 분야에서도 이에 대한 연구수요가 폭발적으로 증가하고 있다.

관련 사업	현재 시장 규모		향후 3 년후 시장 규모	
	국내	국외	국내	국외
3D 모니터	0	\$3 억	700 억원	\$20 억
3DTV (방송)	0	0	1000 억원	\$30 억
3D 게임	64 억원	\$90 억	5280 억원	\$520 억
3D 동영상	90 억원	\$12 억 5 천만	300 억원	\$25 억 2 천만

표 6. 3D 관련 국내외 시장 전망

3 차원 디스플레이를 비롯한 3 차원 정보단말기 산업의 경우 21 세기의 새로운 총아로 수요가 2005 년경 약 4 조 달러가 될 것으로 예상되는 멀티미디어 관련산업의 핵심 분야로 전망되고 있다. 이중 세계 3DTV 수상기 시장은 2005 년에 20 억불에 이를 것으로 전망되고, 이에

따라 3DTV 수상기 및 기타 3DTV 방송사업을 포함한 전체 시장 규모는 2005 년말에 30 억불에 이를 것으로 전망되고 있다.

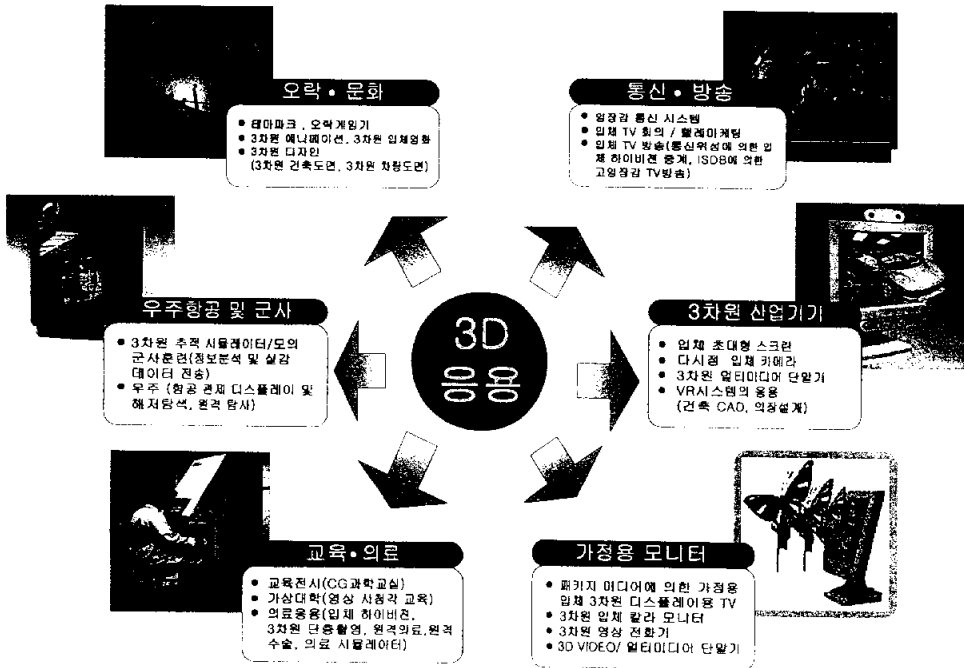


그림 2. 3D 기술의 응용분야

향후 3 차원 정보단말 기술수요 분야는 그림 2 와 같이 현재의 거의 모든 정보통신 산업분야에 사용되고 있는 2 차원 정보단말 시스템을 점차적으로 대체하여 보다 현실감 있는 정보를 제공할 것으로 예측되고 있기 때문에 정보산업전반에 걸쳐 수천억 달러의 폭발적인 시장규모가 형성될 것으로 전망되고 있다.

2.4 3D 디스플레이의 구조 및 원리

인간은 동일 물체를 좌우의 눈으로 서로 다른 방향에서 동시에 보는 것에 의해 입체감을 얻는데 이것을 “양안시차” 라고 부르고 3 차원 디스플레이의 대부분은 이와 같은 양안시차를 이용하여 입체 영상을 표시하고 있다.

그러나 양안시차는 인간이 3 차원 공간을 지각하는 요인의 한가지 일 뿐이고 실제로는 인간에게는 더 많은 정보 즉, 폭주(눈의 회전각), 조절(눈의 초점 맞춤), 운동시차(관찰자와 물체의 상대적인 운동에 의한 변화) 및 심리적인 요인(원근법, 음영)등을 기본으로 3 차원 공간을 지각하고 있다.

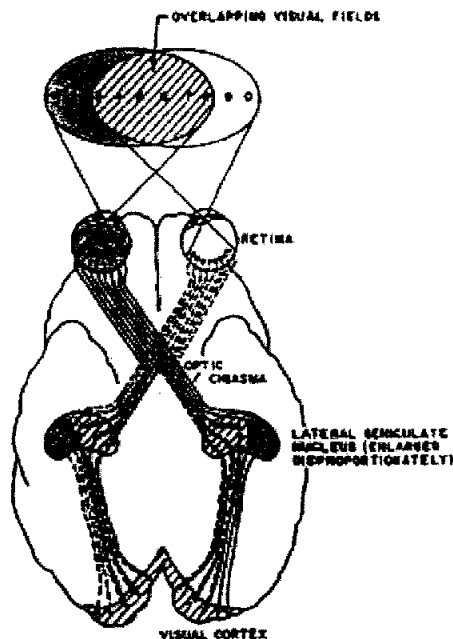


그림 3. 인간 시각계의 모형

인간의 눈을 해부학적으로 보면 이러한 양안 형태를 지니고 태어나는데 사람의 눈이 시스템적으로 어떻게 작동되는지에 대하여 알아보면 다음과 같다.

한 쌍의 눈으로 구성된 사람의 시각 시스템은 좌, 우 눈안에는 검은 색의 동공이 있고 이들은 통로를 통해 시각 피질에서 측면 골절체(lateral geniculate body)라 불리는 신체 부위까지 광 신경섬유를 통해 연결되어 있다.

그림 3 에서 볼 수 있는 것처럼 광 신경세포 섬유들이 광 시신경 교차점(optic chiasma)에서 분리되고 반대편으로 교차된다. 따라서 오른쪽 동공에서 온 섬유들은 뇌 밑에 있는 왼쪽 측면 골절체를 지나가고, 반대로 왼쪽 동공에서 온 섬유들은 뇌 밑의 오른쪽 측면 골절체를 지나간다. 여기서 어느 정도의 정보처리가 이루어진다. 2 개의 각 측면 골절체에서 발생한 시각 정보는 시각 대뇌피질에 있는 시각 영역에 도달된다. 이 외피 처리에서 시각적으로 감지하기 위한 함수를 제공해 준다. 즉, 외부 물체에서 반사된 빛이 눈으로 들어가면, 각막과 동공 렌즈를 통해서 초점이 맺힌다. 빛의 반사량은 각막뿐만 아니라 눈의 근육으로 제어되는 렌즈의 두께에 의해서 좌우된다. 그리고 무의식중에 눈이 움직여 망막에 상이 맺도록 한다. 망막은 간상체(Rods)와 콘(Cones)이라 불리는 빛을 감지하는 수광 소자들로 구성되어 있고, 광 신경을 통해 전기적인 펄스가 생성되어 이들 수광

소자들이 전기적인 반응을 시작함으로써 빛을 흡수한다. 이 방법에 의해 2 개의 동공 감각에서 생성된 영상은 위쪽에 맺힌다. 따라서 시각정보 시스템에서 중요한 정보처리는 동공 뒤쪽에서 발생한다. 종합적으로 최종 정보처리 결과는 1 개의 정확한 영상을 감지하게 되는데, 좌측 눈 영상은 뇌의 오른쪽 절반에 의해서 처리되고, 오른쪽 눈 영상은 뇌의 좌측 절반에 의해서 처리된다. 현재의 3D 입체 디스플레이는 상기 정보 중에서 무시되고 있는 것이 있게 되고 그것이 기존 3D 시청의 불편함이나 위화감의 근본적인 요인이 되고 있다. 최근, 여러 노력에 의해 점차 해소되어가고 있으나 자연스러운 3D 디스플레이를 실현하기 위해서는 실제의 3 차원 공간을 보고 있을 때와 똑 같은 자연스러운 입체시의 구현이 가능해야 한다.

2.5 스트레오스코픽 방식의 근본 문제점

입체 TV 의 실용화를 위해 최근 여러 종류의 3 차원 디스플레이가 개발되고 있다. 그러나 디스플레이 개발의 기술적 측면이 너무 중요시된 나머지, “사람이 보기위한 것”이라는 본래의 목적이 경시되고 있는 경향이 있다. 그 목적이란, 3 차원 디스플레이와 인간의 입체시 기능과의 인터페이스라고 할 수 있다. 예를 들면, 복수의 정보처리장치를 회선등에 접속하여, 어떤 기능을 실현하고자 할 때, 장치간의 인터페이스가 부적합하다면, 그 기능이 전혀 작동되지 않는다. 그것과

마찬가지로 3 차원 디스플레이로 표시된 영상과 그것을 받아들이는 인간의 시각기능이 부적합하면 여러 가지 문제가 발생하게 된다.

실제로 종래의 스테레오스코픽(Stereoscopic) 입체 디스플레이는 시각기능과의 부적합 인터페이스 때문에 여러 종류의 문제가 발생되고 있다. 예를 들면, 스테레오스코픽 입체 디스플레이에서는 폭주(Vergence)를 유도하는 정보가 양안 융합상이 보여주는 위치에 있으나 조절자극은 디스플레이 면이 있기 때문에, 양안안구의 폭주와 조절이 모순되어 자연스럽지 못한 상태가 된다(폭주-조절모순 Vergence-Accommodation Inconsistency Hypothesis). 이로 인해 스테레오스코픽의 단점인 시각피로가 생겨나게 되다. 또, 관찰자가 옆으로 움직일 경우 운동시차가 제공되지 않는다는가, 카르보드효과(Cardboard Effect)와 상정효과(Puppet Theater Effect)라도 불리는 입체 영상 왜곡(일그러짐)등의 문제로 인해 시청자가 자연스러운 입체 영상을 지각할 수 없게 된다.

3 차원 영상 디스플레이는 시청자의 움직임에 따라 입체상이 왜곡되거나 입체로 지각되지 않는 등, 보는 위치, 시역(viewing zone)의 제약으로 시청자의 머리카 몸의 움직임에 제약이 가해진다. 또한, 시청자는 스크린을 주시하고 있지만, 입체상은 스크린 앞으로 튀어나온 것처럼 느껴지거나 스크린 안쪽으로 들어가 보임으로 인해, 눈의 초점조절작용과 폭주작용이 부자연스럽게 일어나게 되고, 이로 인해

눈의 피로 , 어지러움, 그리고 두통 등의 증상이 보이기도 한다. 또한 기존의 head mount 형이나 안경을 쓰고 보는 3 차원 디스플레이는 기구를 사용해야 한다는 불편함이 있어 현재는 무안경식 디스플레이 시스템 개발을 지향하고 있다.

3 차원 영상 디스플레이의 궁극적인 목적은 시청자에게 자연세계와 거의 동일한 영상을 인공적으로 제공해서 현실감을 극대화하는데 있다. 따라서 3 차원 영상 디스플레이 시스템을 설계하고 제작하는 단계에서 가장 중요시해야 할 부분은 시스템이 표시하는 영상이 시청자에게 자연세계를 보는 것과 같은 자연스러운 장면으로 보여질 수 있도록, 그리고 시청자가 느낄 수 있는 불편함의 요소들을 최적화할 수 있도록 제반 파라미터들을 최적화하는 것이다.

우리가 어떤 것을 본다. 인식한다는 것은 단순히 발생하는 사건이 아니며, 빛 에너지에서 시작한 환경 자극이 신호화 되어 신경세포에 의해 뇌에 전달되고, 뇌에서 경험적 지식이 의거 하여 수많은 분석, 처리과정을 수행하게 된다. 이 복잡한 우리 뇌의 시각정보 처리고장은 약 0.2~0.3 초가 걸리는 지각.인지 작용이다. 3 차원 영상을 볼 때에 우리가 느끼는 입체감이라는 것도 단순한 시각정보처리의 의미를 넘어 어떠한 심리요인이 작용하고 있는 것이다. 그러므로 인간의 지각, 인지에 관련된 심리작용, 특히 시각작용에 관한 연구가 3 차원 영상 디스플레이 시스템의 연구와 병행되어야 한다.

과학기술은 인간에게 편리와 이익을 제공하는 수단으로서 발전해 왔으며, 지금도 수많은 프로젝트들이 진행 중이다. 최근 경향은 단순한 수단으로서의 기계를 발명하는 차원을 넘어 어떻게 하면 좀 더 인간에 가까운, 인간 친화적인, 즉 인간과의 인터페이스가 조화롭게 일어날 수 있는 것을 만들 수 있을 것인가를 연구하고 있다. 앞으로 차세대 영상을 주도하리라 예상되는 3 차원 영상기술에 Human factor 가 중요시 되어야 함은 더 이상 강조가 필요 없을 것이다.

3. 완전 결상: 다양한 방법들

앞에서 언급한 바와 같이 기존의 2 안식의 가장 근본적인 문제점인 시각 피로감을 해소하기 위해 완전결상 기법을 연구하고자 한다.

3.1 일반적인 완전결상(Integral imaging)

일반적으로 완전결상(II)에서는 양의 초점 거리를 가진 렌즈배열을 사용하고 있다. 3 차원 물체의 요소 영상의 한 세트(즉, 물체로부터 오는 공간적으로 샘플링된 광선들의 방향과 세기 정보)는 그림 4(a)에 나타나 있는 것처럼, 렌즈 배열과 CCD 나 CMOS 영상 검출기와 같은 2 차원 영상 검출기에 의해 얻어진다. 물체의 3 차원 영상을 재생하기 위해 2 차원 요소 영상의 세트를 그림 4(b)에 나타나 있는 것처럼, 액정 디스플레이(LCD) 패널과 같은 2 차원 디스플레이 패널을 사용하여 렌즈배열의 정면에서 디스플레이 한다. 요소영상으로부터 나오는 광선은 렌즈배열을 통해 3 차원 실상을 형성하기 위해 수렴한다. 이 3 차원 영상은 3 차원 물체의 역심(깊이가 반전된) 영상이다. 역심 실상은 요소 영상을 그것의 중심 광축에서 180 도 회전시킬 때 정심 허상으로 변환된다[10]. 또한, 픽업 렌즈배열 정면에 영상 렌즈(imaging lens)를 추가로 도입함으로써 정심 실상을 디스플레이할 수 있다[22].

정심-역심 변환 (pseudoscopic-to-orthoscopic image conversion: P/O conversion), 즉 모든 요소영상을 180 도 회전시키는 것은 광학적으로나 디지털적으로 수행할 수 있다.

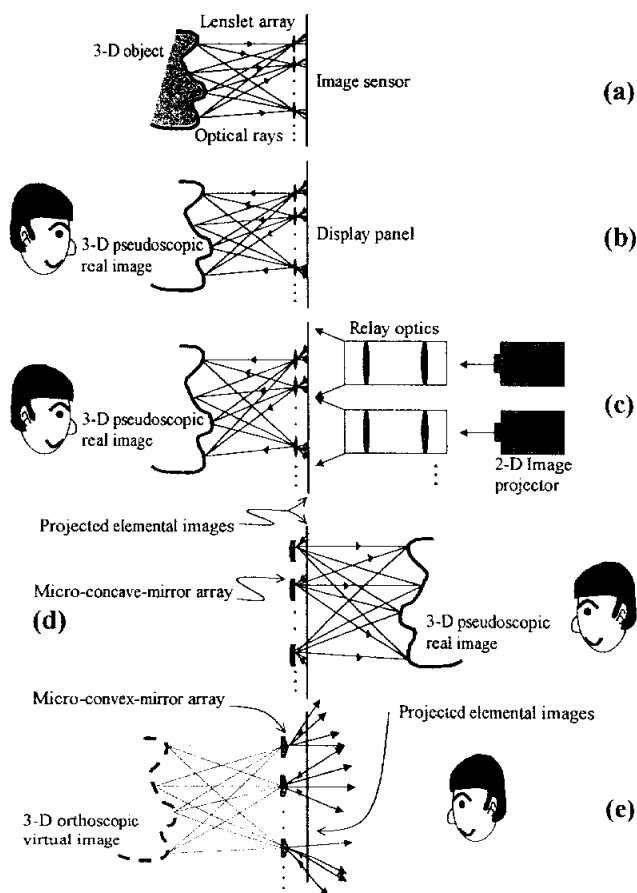


그림 4. 3차원 II에서 픽업과 디스플레이 (a) 렌즈배열을 사용한 요소영상의 픽업 (b) 렌즈배열과 디스플레이 패널을 사용한 일반적인 영상 디스플레이 (c) 렌즈배열을 사용한 영상형 II (d) 미세-오목-거울 배열을 사용한 영상형 II (e) 미세-볼록-거울 배열을 사용한 영상형 II

광학적 변환은 부가적인 렌즈배열이나 graded-index rod 렌즈배열을 사용해야만 하기 때문에 3 차원 영상의 질(quality)을 떨어뜨린다[9,13]. 디지털 변환에서, 각각의 요소영상은 컴퓨터 영상 처리에 의해 순차적으로 회전된다. 이 경우, 실시간으로 3 차원 영상을 재생하기가 어렵다 [22].

최대 시야각 Ψ 는 $2 \times \arctan[0.5/(f/\#)]$ 로 대략 제한되고 결정된다. 여기서 $f/\#$ 은 렌즈배열의 fill factor 가 거의 1 일 때 렌즈의 f 수이다[10,15,16]. 예를 들면, $f/\#$ 가 1 이 된다고 하더라도 Ψ 는 50 도 정도이다. 넓은 3 차원 영상을 디스플레이 할 때, 시야각이 작아질수록 3 차원 영상을 볼 수 있는 시야 영역은 더 제한된다. 광학 시스템을 변화시켜 시야각을 향상시키는 몇 가지 연구가 있었다. 이것은 시스템이 복잡해 큰화면의 II 시스템을 구현하는데 도리어 불리하다[15-19].

3.2 렌즈배열을 사용한 3 차원 영사형 II

영사형 II에서는 고해상도의 요소영상을 디스플레이할 수 있고, 그로 인해 재생된 3차원 영상의 해상도를 향상시킬 수 있다[21]. 왜냐하면 그림 4(c)에 나타나 있는 것처럼, 동시에 여러 대의 2차원 영상 프로젝터를 사용할 수 있기 때문이다. 각각의 프로젝터는 단지 전체 요소영상의 부분을 해당하는 렌즈배열 부분에 영사한다. 물론 영사 빔의 발산 각

θ 는 0에 가까워야만 한다. 하지만, 렌즈배열을 사용한 이 영사형 II 방식에서 P/O 변환이 요구되고 시야각은 일반적인 방식에서처럼 좁다.

3.3 미세 오목 거울 배열을 사용한 3차원 영사형 II

3차원 영사형 II의 주요 장점은 렌즈배열 대신 미세 오목 거울 배열이나 미세 볼록 거울 배열을 사용할 수 있다는 것이다. 이런 거울 배열을 사용하는 것은 바람직하다. 왜냐하면 작은 $f/\#$ 를 가진 회절 제한(혹은 수차가 없는) 오목/볼록 거울을 만드는 것이 렌즈를 만드는 것보다 쉽기 때문이다. 3차원 영사형 II에서 미세 오목 거울 배열을 사용한다면, 그림 4(d)에 나타나 있는 것처럼 역심 실상이 디스플레이 된다. 왜냐하면 미세 오목 거울 배열은 단순히 렌즈배열의 역할을 수행하기 때문이다. 따라서 큰 $f/\#$ 를 가진 미세 오목 거울 배열의 사용은 부가적인 장점이 없다[23].

3.4 미세 볼록 거울 배열을 사용한 3차원 영사형 II

이 논문에서 제안하는 것은 그림 4(e)에 나타나 있는 것처럼, 미세 볼록 거울 배열을 사용한 3차원 영사형 II 방법이다. 이 경우, 그림 4(a)에 나타나 있는 것처럼 직접 카메라 픽업으로 얻어진 요소 영상이 사용될 때, 자동적으로 정심 허상을 디스플레이 한다. 왜냐하면 각각의 미세 볼

록 거울이 3차원 영상 재생 과정에서 해당하는 요소영상을 그것의 중심 광축에 대해 회전하지 않기 때문이다. 그러므로 미세 볼록 거울을 사용한 원본 요소 영상의 디스플레이는 정확히 렌즈배열이나 미세 오목 거울 배열을 사용한 P/O 변환된 요소 영상의 디스플레이와 등가적이다. 각각의 볼록 거울 요소는 1보다 작은 $f/\#$ 를 가지는데, 예를 들면, $f/\#=0.5$ 일 때 시야각 Ψ 는 90도가 된다. 이것은 많은 실제 응용분야에 적용 가능한 것이다.

미세 볼록 거울(혹은 미세 오목 거울)의 초점거리가 relay optics의 초점 심도보다 더 작고 영사 빔의 발산 각 θ 가 작으면 광학 벽은 영사형 방법에서 필요하다. 이때 각각의 요소 영상은 대응되는 미세 볼록 거울 상에만 영사된다. 즉 요소 영상은 그것들의 이웃한 미세 볼록 거울을 통해 디스플레이 되지 않는다. 그러므로 관찰자의 시야 방향이 디스플레이 렌즈배열에 수직한 광축으로부터 벗어날 때, 재생된 3차원 영상의 flipping 발생하지 않는다.

4. 미세 볼록 거울 배열을 가진 영사형 II 시스템에서의 실험

4.1 시스템 설명

미세 볼록 거울 배열을 사용한 영사형 II의 특징을 보기 위해 그림 5에 나타나 있는 광학적 구도를 사용하였다. 사용된 물체는 그림 6에 나타나 있는 것처럼, 장난감 자동차이다. 물체에 대한 요소 영상을 얻는 과정은 그림 4(a)에 나타나 있는 일반적인 방법과 다르지 않다. 사용된 픽업 렌즈배열은 아크릴로 만들어져 있고, 53×53 개의 평면-볼록 렌즈를 가지고 있다. 각각의 렌즈는 사각형이고 렌즈간 $7.6\mu\text{m}$ 미만으로 분리된 $1.09\text{mm} \times 1.09\text{mm}$ 의 크기를 가지고 있다. 렌즈의 초점 거리는 대략 3mm 이다. 34×26 개의 요소 영상 전체가 실험에 사용되었다.

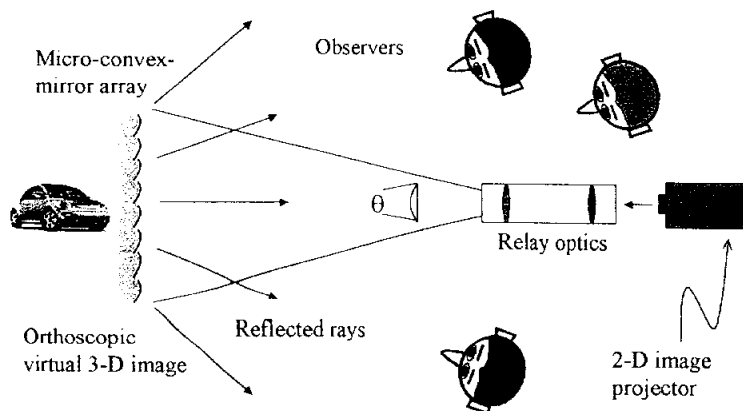


그림 5. 미세-볼록-거울 배열을 사용한 3D 영사형 II에서 실험에 대한 광학적 설정

3개의(RGB) 패넬을 가지고 있는 컬러 LCD 프로젝터가 디스플레이 패넬로 사용되었다. 각각의 패넬은 $18\mu\text{m}$ 의 픽셀 크기를 가진 1024×768 개의 픽셀을 가지고 있다. 각 요소 영상은 30×30 개의 픽셀을 가지고 있다. 실험에 사용된 relay optics의 배율은 2이다. 영상 빔의 발산 각 θ 는 대략 1.4도이다. 미세 볼록 거울 배열과 relay optics 사이의 거리는 대략 0.9m이다.

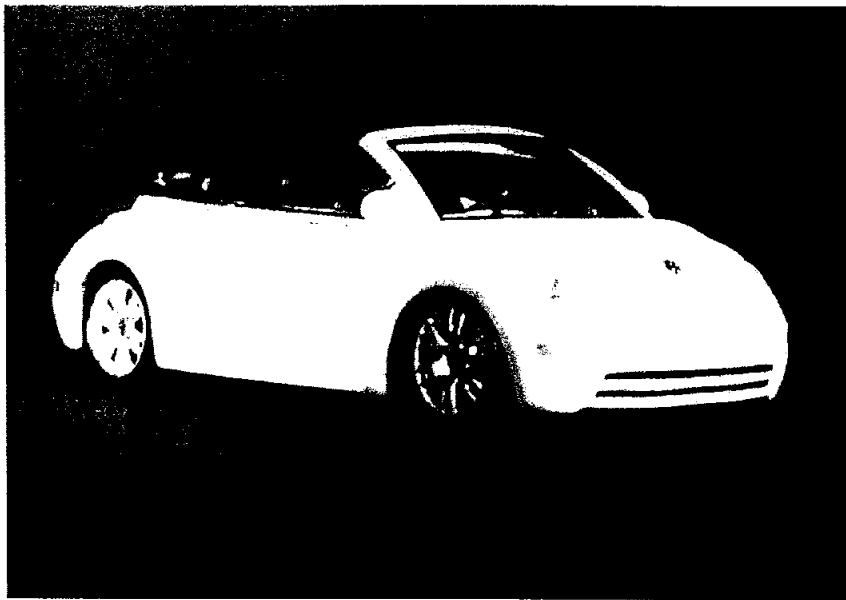


그림 6. 실험에 사용된 3차원 물체

미세 볼록 거울 배열은 픽업용 렌즈배열과 동일한 렌즈배열의 볼록한 부분을 알루미늄으로 코팅하여 제작하였다고, 반사율은 90% 이상이었다. 평면-볼록 렌즈를 코팅하여 사용하고 있기 때문에, 제작자의 공식,

$1/f = (n-1)/R$ 으로부터 렌즈의 표면 곡선의 반지름 R 을 구할 수 있다. 여기서 f 는 렌즈의 초점 거리 3mm 이고 n 는 렌즈의 굴절률($n=1.5$)이다. 이 실험의 경우, $R \approx 1.5$ mm이다. 따라서 미세 볼록 거울 배열의 초점 거리는 0.75mm이다. 그 때의 시야각은 67도가 될 것이라 예상된다.

4.2 실험 결과

원본 요소 영상은 그림 7에서 볼 수 있듯이 직접 카메라 픽업으로 얻어진다. 그리고 동영상 구현을 위해 물체가 놓여 있는 스테이지를 10도씩 회전시켜 36장의 요소 영상을 픽업한다. 마지막으로 매끄러운 동영상의 디스플레이를 위해, Web 제작용 동영상 툴(Flash)을 사용하여 동영상 파일로 만든다. Flash에서는 10도씩 회전시킨 36장의 요소 영상들을 타임슬롯에 순차적으로 나열하여 일정한 프레임 속도로 동영상을 구현하게 된다. 이 3차원 정심 허상 동영상을 재생하기 위해 미세 볼록 거울 배열상에 요소 영상을 영사한다. 영사된 요소 영상의 빛 세기가 크기 때문에 재생된 3차원 영상은 불이 켜진 일반 공간 하에서 볼 수 있을 만큼 충분히 밝다. 재생된 3차원 영상의 왼쪽, 위쪽, 오른쪽 시점은 그림 8에 나타나 있다. 3개의 영상에 대한 시야 방향은 30도까지 광축으로부터 벗어나 있다. 미세 오목 거울 배열을 사용할 때 예상대로 역심 실상이 재생되었다.

P/O 변환된 요소 영상을 사용하여 동일한 실험을 할 경우, P/O 변환된 요소 영상이 미세 오목 거울 배열상에 영사될 때, 3차원 정심 허상이 재생될 것이라는 것을 예상할 수 있다. 반면에 P/O 변환된 요소 영상이 미세 볼록 거울 배열에 영사될 때, 3차원 역심 실상이 재생될 것이다. 왜냐하면 II에서는 영상이 광선의 교차에 의해 형성되기 때문에 미세 볼록 거울 배열(혹은 negative lens array)로부터 실상을 얻는 것이 가능하다. 광선이 교차하면 영상은 실상이 되고 광선의 연장선이 교차하면 허상이 된다. 시야각은 60~70도로 측정되었다. 이것은 예상한 값과 잘 일치한다. 시야각의 범위를 벗어난 관측자는 재생된 영상이 사라지는 것을 보게 된다. 그림 9는 각 프레임별로 재생된 3차원 영상을 나타낸다. 재생된 영상은 물체의 전 방향에 대해 표현된다.

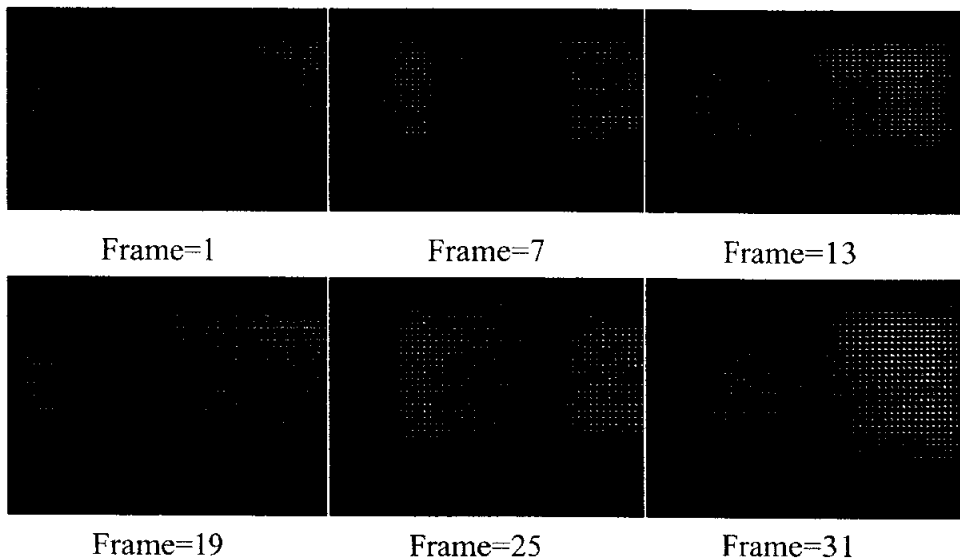


그림 7. 직접 카메라 픽업으로 얻어진 각 프레임의 요소 영상



그림 8. 재생된 3차원 정심 허상 (a) 좌측 시점 (b) 상측 시점 (c) 우측 시점

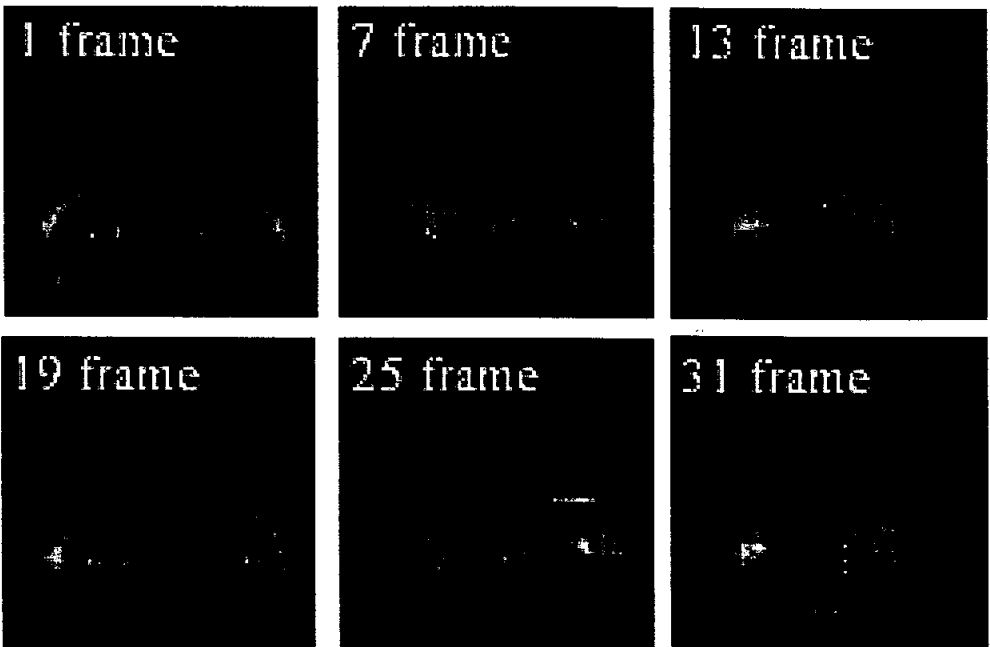


그림 9. 재생된 3차원 정심 허상 동영상

5. 결론

미세 볼록 거울 배열의 주기가 픽업 렌즈배열의 주기와 정확히 일치하더라도, 미세 볼록 거울 배열의 초점 거리는 픽업 렌즈배열의 초점거리의 1/4배이다. 이 경우, 재생된 3차원 영상의 깊이 크기는 물체의 깊이 크기의 1/4배이다.(즉, 깊이방향의 축소가 존재한다) 반면에 측면 크기는 변화 없다. 측면과 깊이 방향의 배율을 동일하게 하려면, 요소 영상은 동일한 $f/\#$ 를 가진 미세 오목 거울 배열을 사용해서 픽업되어야만 한다. 또한 미세 볼록 거울 배열을 사용하여 픽업을 하고 미세 오목 거울 배열을 사용하여 재생하는 것도 가능하다. 미세 볼록 거울을 가진 영상형 II 시스템에서 대규모의 고해상도 3차원 영상을 얻기 위해서 이 시스템에 공간과 시간상의 다중화 기법을 적용할 수 있다[22].

결론적으로, 역심-정심 변환이 필요 없고 시야각이 매우 향상될 수 있는 미세 볼록 거울 배열을 가진 영상형 II 시스템에서 동영상을 디스플레이하는 연구를 수행하였다.

참 고 문 헌

1. S. A. Benton, ed., Selected Papers on Three-Dimensional Displays (SPIE Optical Engineering Press, Bellingham, WA, 2001).
2. T. Okoshi, "Three-dimensional display," Proc. IEEE 68, 548-564 (1980).
3. D. H. McMahon and H. J. Caulfield, "A technique for producing wide-angle holographic displays," Appl. Opt. 9, 91-96, (1970).
4. I. Yamaguchi and T. Zhang, "Phase-shifting digital holography," Opt. Lett. 22, 1268-1270 (1997).
5. P. Ambs, L. Bigue, R. Binet, J. Colineau, J.-C. Leheureau, and J.-P. Huignard, "Image reconstruction using electrooptic holography," Proceedings of the 16th Annual Meeting of the IEEE Lasers and Electro-Optics Society, LEOS 2003, vol. 1 (IEEE Piscataway, NJ, 2003) pp. 172-173.
6. G. Lippmann, "La photographie integrale," Comptes-Rendus Academie des Sciences 146, 446-451 (1908).
7. H. E. Ives, "Optical properties of a Lippmann lenticulated sheet," J. Opt. Soc. Am. 21, 171-176 (1931).
8. C. B. Burckhardt, "Optimum parameters and resolution limitation of integral photography," J. Opt. Soc. Am. 58, 71-76 (1968).

9. N. Davis, M. McCormick, and M. Brewin, "Design and analysis of an image transfer system using microlens arrays," *Opt. Eng.* 33, 3624-3633 (1994).
10. F. Okano, H. Hoshino, J. Arai, and I. Yuyama, "Real-time pickup method for a three-dimensional image based on integral photography," *Appl. Opt.* 36, 1598-1603 (1997).
11. H. Hoshino, F. Okano, H. Isono, and I. Yuyama, "Analysis of resolution limitation of integral photography," *J. Opt. Soc. Am. A* 15, 2059-2065 (1998).
12. J.-S. Jang, F. Jin, and B. Javidi, "Three-dimensional integral imaging with large depth of focus using real and virtual image fields," *Opt. Lett.* 28, 1421-1423 (2003).
13. J. Arai, F. Okano, H. Hoshino, and I. Yuyama, "Gradient-index lens-array method based on real-time integral photography for three-dimensional images," *Appl. Opt.* 37, 2034-2045 (1998).
14. J.-S. Jang and B. Javidi, "Improved viewing resolution of three-dimensional integral imaging with nonstationary micro-optics," *Opt. Lett.* 27, 324-326 (2002).
15. J.-S. Jang and B. Javidi, "Improvement of viewing angle in integral imaging by use of moving lenslet arrays with low fill factor," *Appl. Opt.* 42, 1996-2002 (2003).

16. S. Jung, J.-H. Park, H. Choi, and B. Lee, "Wide-viewing integral three-dimensional imaging by use of orthogonal polarization switching," *Appl. Opt.* 42, 2513-2520 (2003).
17. J.-S. Jang and B. Javidi, "Large depth-of-focus time-multiplexed three-dimensional integral imaging using lenslets with non-uniform focal lengths and aperture sizes," *Opt. Lett.* 28, 1924-1926 (2003).
18. S.-W. Min, B. Javidi, and B. Lee, "Enhanced three-dimensional integral imaging system by use of double display devices," *Appl. Opt.* 42, 4186-4195 (2003).
19. J.-S. Jang and B. Javidi, "Time-multiplexed integral imaging for 3D Sensing and Display," *Optics and Photonics news*. Vol.15, No.4, 36-43, (2004).
20. J.-S. Jang and B. Javidi, "Real-time all-optical three-dimensional integral imaging projector," *Appl. Opt.* 41, 4866-4869 (2002).
21. J.-S. Jang, Y.-S. Oh and B. Javidi, "Spatiotemporally multiplexed integral imaging projector for large-scale high-resolution three-dimensional display," *Opt. Exp.* 12, 557-563 (2004).
22. J.-S. Jang and B. Javidi, "Formation of orthoscopic three-dimensional real images in direct pickup one-step integral imaging," *Opt. Eng.* 42, 1869-1870 (2003).

23. Y. Jeong, S. Jung, J.-H. Park, and B. Lee, "Reflection-type integral imaging scheme for displaying three-dimensional images," *Opt. Lett.* 27, 704-706 (2002).

감사의 글

본 논문이 완성되기까지 항상 적극적인 지도와 사랑을 주신 고 장주석 지도 교수님께 진심으로 감사 드립니다. 부족한 저에게 학술적인 가르침 뿐만 아니라 끝없는 스승의 애정으로 지도와 편달을 해주신 교수님께 다시 한번 고백숙여 감사 드립니다. 더불어 바쁘신 중에도 주심을 맡아 저의 논문을 검토 보완해주신 정신일 교수님, 김석태 교수님께도 충심으로 감사 드리고 정보통신공학과 하덕호, 김성운, 정연호, 박규철 교수님께도 감사 드립니다

그 동안 본 논문을 작성하는데 바쁜일을 제쳐두고 토론과 검토를 같이 한 광 시스템 연구실의 조명진, 김복수, 오용석, 송용욱님에게 감사를 드립니다. 또한 대학원 과정을 마칠 수 있도록 항상 많은 격려를 해주신 KT 해운대 고순산 지점장님께 감사를 드리며, 논문을 완성할 수 있도록 편의를 제공해주신 KT 가입자전송과 조진규 과장님과 최상옥 실장님 그리고 동료 사우들에게 감사한 마음을 전합니다.

끝으로 나를 있게 해주신 부모님과 항상 옆에서 조언해주신 장인. 장모님, 그리고 오늘에 이르기까지 항상 따뜻한 성원과 내조를 아끼지 않았던 사랑하는 아내, 사랑하는 아들 상원이, 귀염둥이 딸 희진이와 함께 이 기쁨을 나누고 싶습니다.