

기술 특 집

홀로그래픽 3D 디스플레이 기술

김 남, 김은 석 (충북대학교 전기전자컴퓨터공학부)

I. 개 요

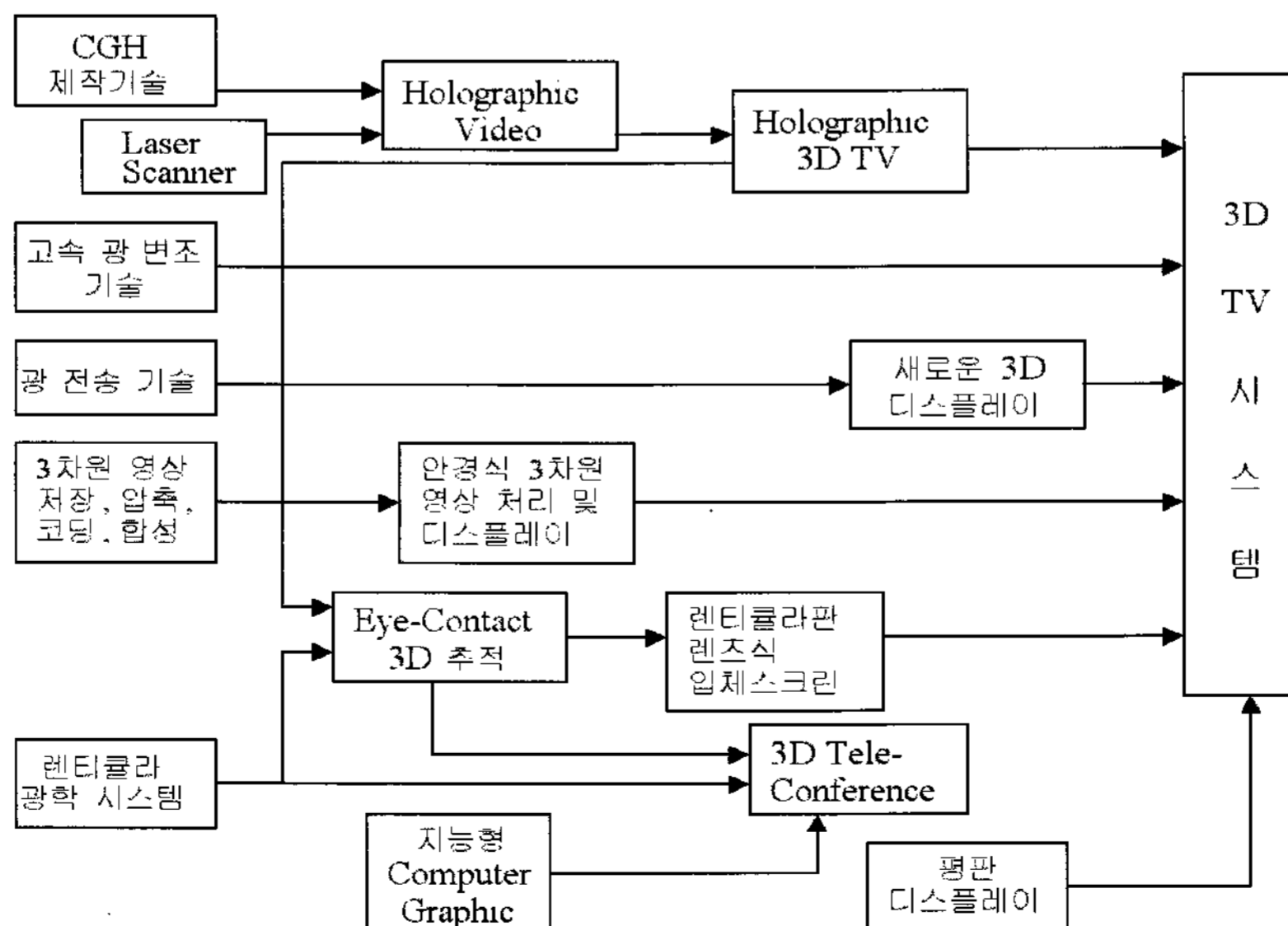
홀로그래피는 입체감이 생기는 요인인 초점조절, 폭주각, 양안시차, 운동시차 등 모든 요인을 갖춘 완전한 3차원 영상을 만드는 방식이다. 파면이 평행한 평면파를 어떤 점에 조사하면 물체로부터의 반사파는 구면파가 되어 사방으로 전파된다. 이 때 파면이 평행한 평면파를 기록면에 조사하면 대상물의 반사파와 합쳐진다. 합성된 구면파와 구면파 사이에 간섭무늬가 생기고 위상이 같은 부분과 다른 부분에 의해서 간섭무늬는 세기 차이를 갖는다. 따라서 이러한 간섭패턴은 물체의 무수한 점으로부터 광의 진폭과 위상의 정보를 가지고 있다.

홀로그래피는 3차원 디스플레이 방식에 따라 필름에 기록하는 전통적인 홀로그램과 디지털 장비를 이용한 전자홀로그램으로 분류된다. 두 방식 모두 간섭무늬를 기록하고 재생한다는 점에서 동일한 구조를 갖으며 이 기술을 총칭하여 3

차원 표시를 홀로그래픽 디스플레이라고 한다.

TV 분야에서는 지금까지의 대형화 고선명화 기술개발이 완성단계에 도달하여 차세대 기술로 입장감과 현실감을 제공할 수 있는 3차원 디스플레이 기술에 대한 요구가 증가하고 있다. 현재 이 분야는 편광안경, 액정 셔터 등을 사용한 안경방식이 일반적이었으나 안경 장착의 불편함과 시야의 한정이라는 문제 때문에 안경 없이 넓은 범위에서 입체 화상을 볼 수 있는 다안식 3차원 TV 시스템 쪽으로 개발되고 있다. 3차원 화상을 표현하는 방식으로는 렌티큘라 판 렌즈 (lenticular sheet lens)를 이용한 것이 있으며, 직접 투사형 투과 방식과 LCD(liquid crystal device)를 이용한 투사형 투과 방식이 주로 연구 개발되고 있다. [그림 1]에 3차원 영상 매체에 관련된 기술 흐름도를 대략적으로 나타내었다.

렌티큘라와 다안식 입체 TV는 모두 인간의 착시현상을 이용하는 시스템으로 주로 양안시차에 의해 입체감을 제공한다. 2차원 영상을 이용함으로써 현재 기술적인 문제는 없



[그림 1] 3차원 영상매체 관련 기술 흐름도

[표 1] 전자홀로그래피의 분류

Method \ Technique	Optics	Opt-Electronics	Electronics
CGH method	Projection and SLM	Acoust-Optics Modulator and mirror (holovideo)	CGH and kinoform by LC panel
Holographic Stereogram (in-direct method)	Holography Animation	Holography-Video ↓ Holography-Television	
Optical Holography (Direct method)	Holography Movie	Optical address SLM	Electrical address LC panel
	Optical record		

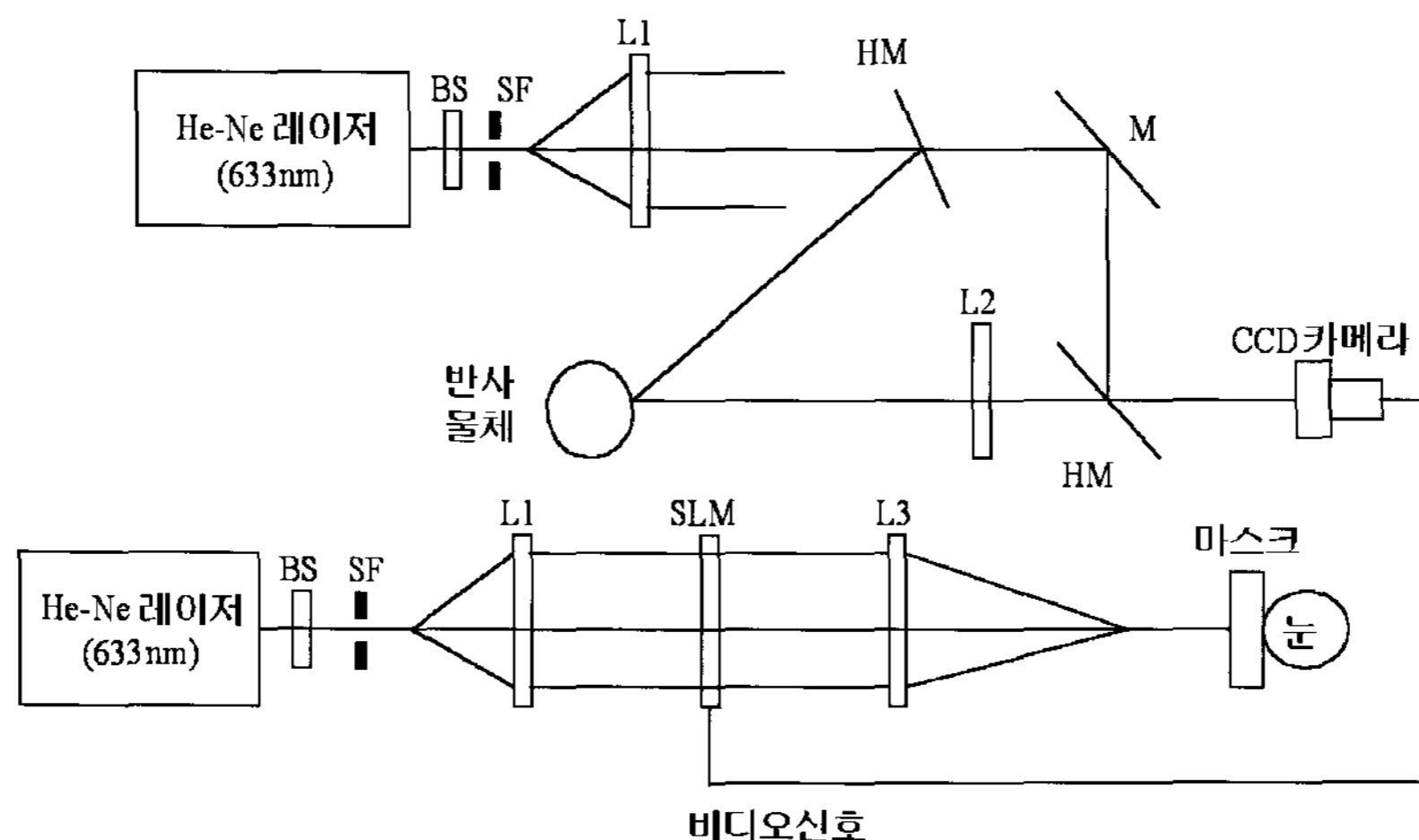
으나 양안시차가 제공되는 범위가 매우 제한적이므로 다자시청에 제약이 따르며, 깊이감의 제공에도 한계를 갖는다. 따라서 원래의 물체가 갖는 3차원의 영상을 그대로 재생할 수 있는 홀로그래피를 이용하는 방법이 궁극적으로 3차원 TV를 개발하는 방법이 될 것이다.

최근 들어 음향광학변조기(acoust-optical modulator ; AOM)와 폴리곤 미러를 이용하여 실시간으로 컴퓨터 생성 홀로그램을 재생하는 기술이 개발되었다. 또한 고해상도의 LCD를 실시간 홀로그래픽 디스플레이에 적용하는 사례가 늘고 있다. 지난 몇 년 동안 전자홀로그래피(electroholography)는 이 분야를 대표하는 단어로 사용되어 왔으며, 홀로그래픽 영화와 비디오, 텔레비전 그리고 기타 목적을 위해 [표 1]과 같은 기술들이 연구·개발되고 있다. 홀로그래피 비디오는 입력단과 저장장치 그리고 디스플레이 시스템으로 구성된 독립적인 구조를 갖고 있으며, 홀로그래피 TV는 입력 시스템, 전송 시스템 그리고 디스플레이 시스템으로 구성되어 별개의 독립적인 기술로 발전되고 있다. 두 경우 모두 실제 시스템을 구현하기 위해서는 데이터양을 줄이고 매우 빠른 속도로 주소지정이 가능한 광학소자가 필수적이며 이러한 소자의 개발이 주요 연구 대상이 되고 있다.

II. 광학 홀로그래피 기술

광학 홀로그래피는 전자 장비를 이용하는 방식으로 홀로그래피의 간섭무늬를 CCD 카메라에 기록하고 비디오 신호로 전송하여 수신단에서 SLM에 표시된 간섭무늬 데이터에 레이저광을 조사함으로써 영상을 재생하는 전자식 동화상 홀로그래피 장치이다.

시스템 구성은 [그림 2]와 같이 종래의 사진 기술에 의한 홀로그래피와 동일하게 레이저광을 집광 렌즈로 평행광을 만들고, 빔 분리기로 참조빔과 물체빔으로 나눈다. 물체빔은 피사체에 조명된 다음 참조빔과 직접 CCD 카메라에 조사되어 간섭무늬를 형성한다. 간섭무늬의 기본 공간주파수는 물체빔과 참조빔의 각도에 따라 결정된다. 촬영된 비디오 신호는 TV 신호로 변환되어 전송되며 필요에 따라 간섭무늬패턴을 비디오테이프에 저장할 수도 있다. 간섭무늬 정보는 SLM에 인가되고 여기에 평행광을 조사하면 1차 회절광이 발생하여 3차원 물체상을 재생할 수 있게 된다. 따라서 영상은 실시간으로 재생 가능하며 입력단에서 물체의 움직임을 출력단에서 동시에 나타낼 수 있다.



HM : Half Mirror BE : Beam Expander
SF : Spatial Filter SLM : Spatial Light Modulator

[그림 2] 홀로그래피 TV의 구성

[표 2] CCD 개발 동향

Product Spec.	SONY ICX285AL	DALSA DS-4x-06M18	MICRON MT9T001	KODAK 16.8i
Resolution	1.45M pixels 1392(H) × 1040(V)	6M pixels 3072(H) × 2048(V)	3M pixels 2048(H) × 1536(V)	16.8M pixels 4096(H) × 4096(V)
Pixel Size	4.65μm(H) × 4.65μm(V)	12μm(H) × 12μm(V)	3.2μm(H) × 3.2μm(V)	9μm(H) × 9μm(V)
Aperture	7.6mm(H) × 6.2mm(V)	36.9mm(H) × 24.6mm(V)	6.55mm(H) × 4.91mm(V)	36.9mm(H) × 36.9mm(V)

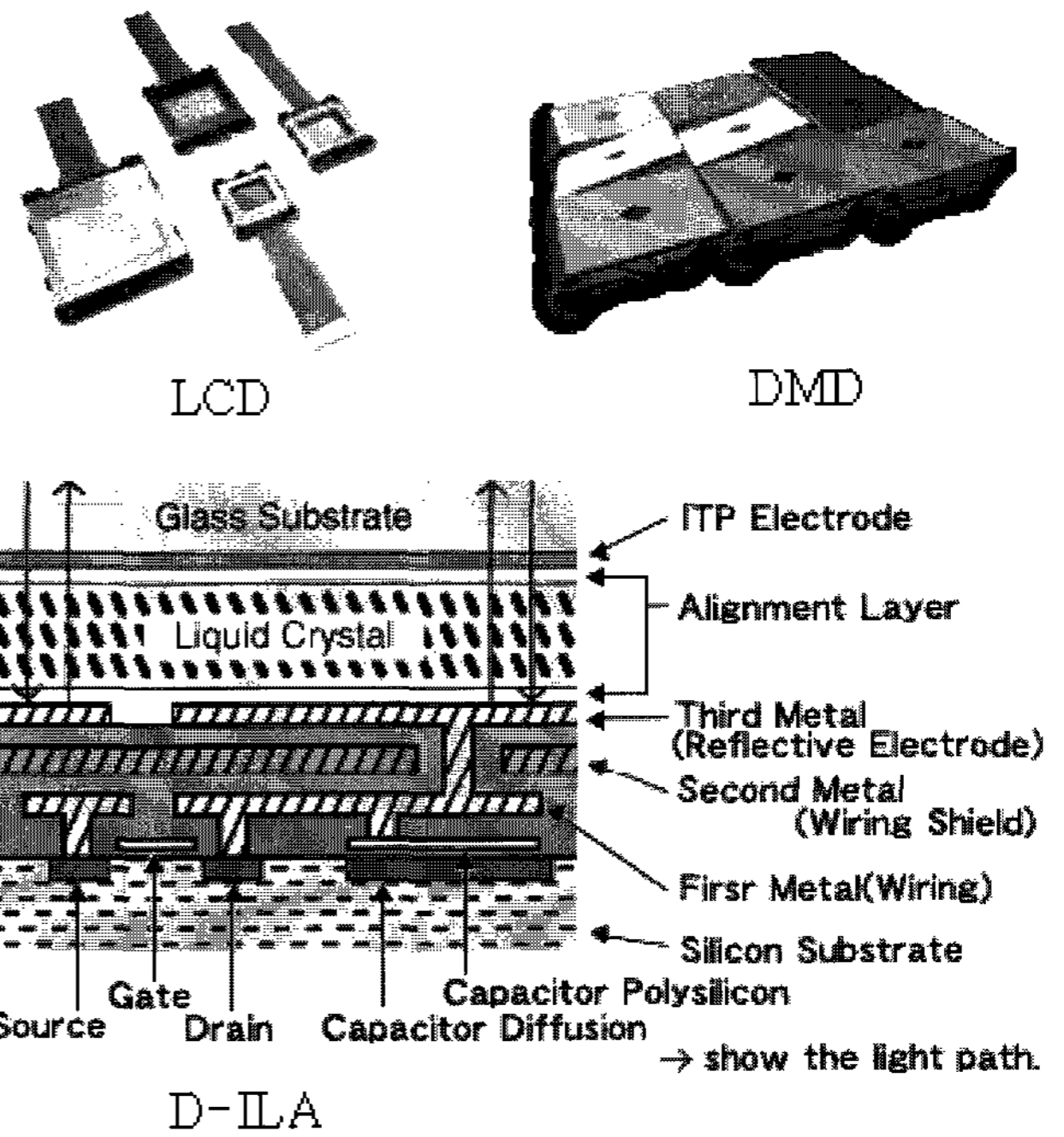
광학 홀로그래피는 전자적으로 입력, 전송, 출력이 가능한 완벽한 방송 시스템을 목표로 개발되고 있으며, 매우 작은 간섭무늬를 입력받아 표현해야 하기 때문에 CCD와 SLM의 역할이 매우 중요하다.

입력 데이터의 품질을 좌우하는 CCD의 중요 파라미터로는 픽셀의 크기와 화소수가 있다. 픽셀의 크기는 기록되는 간섭무늬의 해상도를 결정하여 시스템의 입력 구조와 재생되는 영상의 품질을 결정하며, 화소 수는 전송되는 데이터의 양과 디스플레이 되는 영상의 밝기를 결정한다. [표 2]에 현재 생산되는 CCD 카메라와 각 제품의 성능을 나타내었다. 이 표에서 알 수 있듯이 가장 작은 셀의 크기는 3.2μm로 일반적으로 말하는 홀로그래프의 최소 샘플링 간격 0.5μm와 비교하여 아직도 많은 차이가 있음을 볼 수 있다. 따라서 기록 구조도 on-axis로 간섭무늬 간격을 최대한 넓혀야 하며, 사용되는 물체 역시 깊이감이 많지 않은 것을 사용하고 있다. 또한, 간섭무늬를 확대할 수 있는 광학적 셋업이 요구된다.

디스플레이에 사용되는 소자로는 주로 LCD와 DMD 그리고 최근 개발된 D-ILA가 있다. 투과형 LCD는 가장 일반적으로 사용되는 광학 홀로그래피 디스플레이 소자로 가격이 저렴한 반면 픽셀 수가 적고 각 픽셀의 크기도 다소 크다. 또한 투과율이 약 15% 정도여서 재생광을 효과적으로 활용할 수 없다는 단점을 갖고 있다. DMD는 fill factor가 100%에 가까워 가장 우수한 광 효율을 갖고 있으며, 픽셀 수도 LCD의 두 배로 앞으로 계속 액정을 대체해 나갈 것으로 예상된다. 현재 가장 픽셀 수가 많은 소자로는 JVC에서 개발된 D-ILA로 반사형 LCD이면서 fill factor가 약 93% 이상을 갖고 있다. 이 소자는 각각의 이미지 도트에 해당하는 하나의 픽셀 그룹으로 구성되어 있으며, 기존의 LCD 패널과 다르게 수정 크리스탈 층 위에 드라이브 IC가 위치해 있다. 따라서 LCD보다 더 높은 밝기와 해상도의 구현이 가능하며, 수정 크리스탈 층이 수직 배열을 이루어 더 높은 콘

트라스트의 영상을 실현할 수 있다. 픽셀 수는 약 3M로 가장 높으나 아직 일반화되지 않아 고가라는 단점을 갖고 있다. [그림 3]에 대표적인 공간 광변조기의 사진을 나타내었으며, [표 3]에 각 소자가 갖고 있는 광학적 특성에 대해 간단히 소개하였다.

어떤 공간 광변조기를 사용하던지 현재 나와 있는 제품의 픽셀 수로는 3차원 영상을 표현하기에는 충분하지 않다. 따라서 몇 개의 소자를 붙여서 사용하는 방법이 제안되었으며, 렌즈를 이용하여 회절된 에너지를 집속해야만 3차원 영상의 관찰이 가능할 것이다.



[그림 3] 공간 광변조기

[표 3] SLM 개발 동향

Product Spec.	CRL OPTO XGA-3(LCD)	Texas Ins. 0.9SXGADDR (DMD)	JVC D-ILA (D-ILA)
Resolution	0.78M pixels 1024 × 768	1.3M pixels 1280 × 1024	3M pixels 2048 × 1536
Pixel Size	18μm(H) × 18μm(V)	13.8μm(H) × 13.8μm(V)	7μm(H) × 7μm(V)
Aperture	18.5mm(H) × 13.9mm(V)	0.9inch	1.3inch

III. CGH 홀로그래피 기술 (Hologram)

홀로그램은 3차원 영상을 효과적으로 나타낼 수 있지만, 대부분의 정지 영사에 국한되어 왔다. 그러나 최근 MIT의 Benton 교수 등이 새로운 방식의 홀로그래픽 3차원 디스플레이 연구에 힘입어 많은 연구가 진행되고 있다. 홀로그래피 기술을 이용한 홀로그래픽 TV로는 초음파 광변조기를 이용한 방식과 액정을 이용한 방식 등이 연구되고 있다. 초음파 광변조기를 이용한 방식은 레인보우 홀로그램의 발명자인 MIT의 Benton 교수그룹이 1990년에 발표한 방식으로 현재로서는 직접 입체상을 관찰할 수 있는 유일한 방법이다. 이 방법은 고속의 슈퍼컴퓨터를 사용해서 간단한 구조의 물체를 움직였을 때의 화상 정보를 계산하고 이것을 비디오 신호로 변환하여 AOM을 구동한다. AOM은 1차원의 광파면 변조 소자로 조사된 레이저광을 회절 시킨 다음, 수평 방향의 화상 신호를 만들고, 수직 방향에 대해서는 갈바노 미러를 움직이면서 주사하여 화상을 합성 재생한다. 초음파가 AOM속을 통과할 때 광 파면이 가로 방향으로 이동(700m/sec)하는 것을 방지하고 정지시키기 위해 폴리곤 미러를 일정한 속도로 역방향으로 회전시킨다. 이후 축소렌즈를 통해서 화상의 시역을 확대함으로써 3차원 화상을 볼 수 있다.

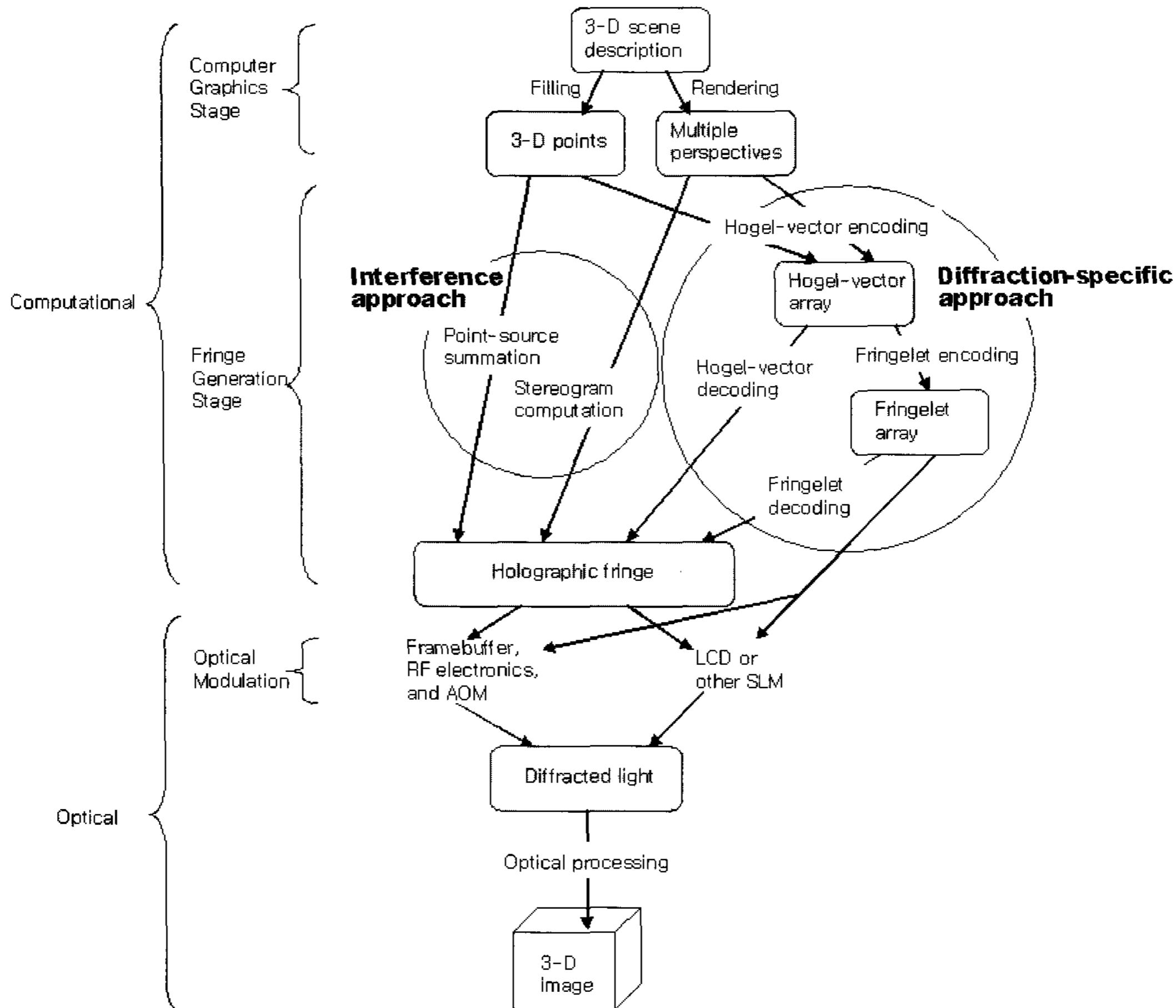
이 방식은 수직방향의 시차 정보가 없고 상의 크기는 그다지 크지 않지만(~수 cm) 성공적으로 완전한 컬러 동화상을 표시하고 있다.

2. 기본 개념

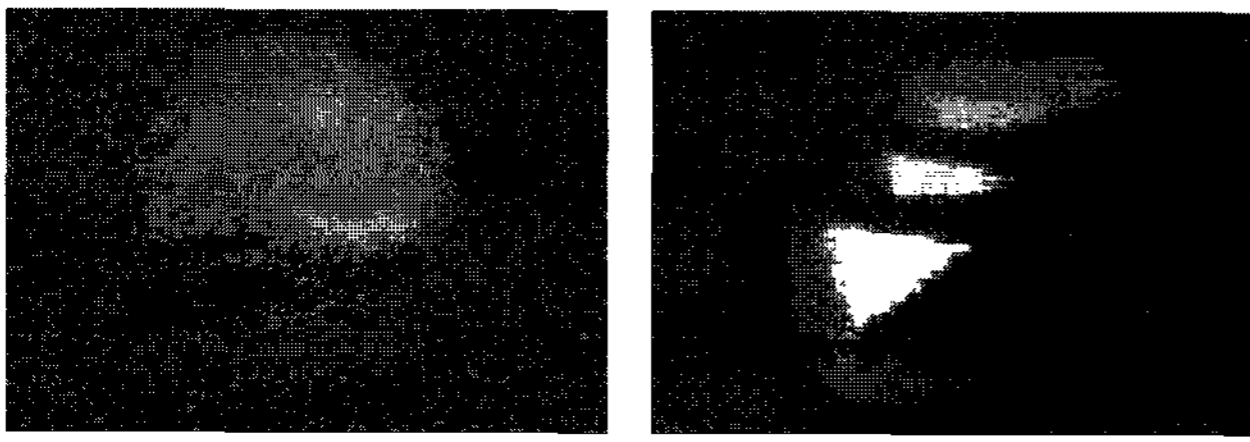
전자홀로그래피는 2차원 화면에 물체가 갖는 간섭무늬를 표시함으로써 3차원 홀로그래픽 영상을 만드는 기술이다. 여기에는 많은 단계를 포함하고 있으며 크게 3차원 표현을 홀로그래픽 간섭무늬로 변환하는 계산과정과 간섭무늬에 의해 빛을 변조시키는 광학계로 구성된다. [그림 4]는 이 두 과정에 포함되는 다양한 기술들을 나타내고 있다.

데이터의 계산과 광학 변조에서 발생하는 가장 큰 문제는 홀로그래피가 요구하는 방대한 양의 정보(또는 대역폭)이다. 일반적으로 2차원 디스플레이에서 영상을 수~수십 μm 의 샘플 간격을 갖는 픽셀 어레이로 처리하는 반면, 홀로그래픽 디스플레이에서는 변조된 빛이 3차원 영상을 형성하기 위해서는 약 0.5 마이크로미터의 샘플 간격으로 홀로그래픽 간섭무늬를 계산하여야 한다.

전형적인 손바닥 크기의 full-parallax 홀로그램을 만들기 위해서는 100G 샘플이 필요하다. Horizontal-parallax-only(HPO)는 수직 시차를 없앴으로써 디스플레이 성능 저



[그림 4] 3차원 홀로그래픽 영상의 흐름도



[그림 5] MIT의 칼라 holovideo 영상

하 없이 100배 이상의 대역폭을 절약할 수 있다.^[8] 최초의 holovideo 디스플레이에서는 하나의 데이터를 업데이트 하는데 수 분이 걸리는 작은 영상(50ml)을 만들었다.^[9] 그러나 대역폭의 압축과 더 빠른 디지털 하드웨어의 개발로 실시간 계산이 가능해졌고 속도와 디스플레이 되는 영상의 복잡도가 증가될 수 있었다.^[6] 현재, 가장 큰 holovideo 시스템으로 사람 손바닥 크기(약 1 리터)의 영상을 만들 수 있으며, [그림 5]는 MIT에서 개발된 holovideo 시스템에서 재생된 영상이다.

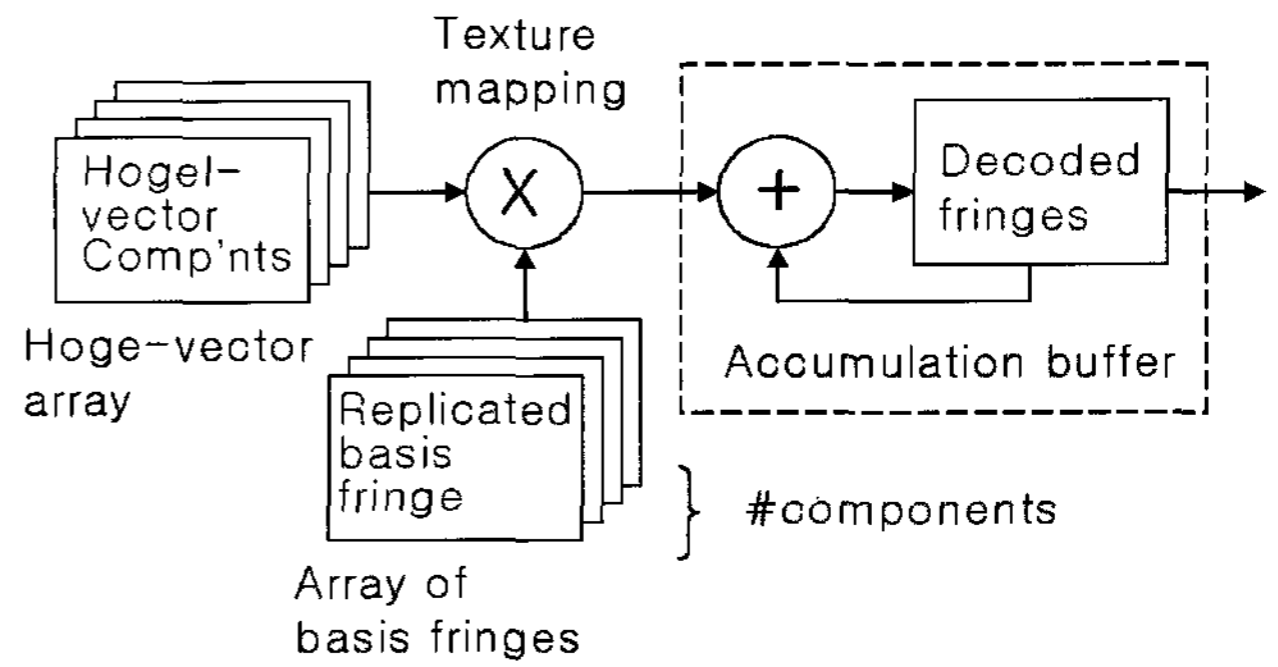
2. 간섭무늬 계산

전자홀로그래피에서의 계산은 3차원의 물체나 장면을 간섭무늬 패턴으로 변환하는 과정이다. Holovideo에서는 컴퓨터 그래픽의 렌더링과 같은 단계와 3차원 영상의 정보가 광학적 회절로 부호화하는 홀로그래픽 간섭무늬 생성의 두 단계를 의미한다.

컴퓨터 그래픽 단계에는 폴리곤 미러에 의한 공간적인 광 조사와 보이지 않는 부분의 처리, 그림자 처리, 그리고 2차원 영상의 렌더링이 포함되기도 한다. 그러나 MRI와 같이 색상과 위치 정보를 갖는 3차원의 데이터가 제공되는 분야에서는 이러한 단계가 필요하지 않을 수도 있다.

간섭무늬 생성 단계에서는 막대한 양의 2차원 홀로그래픽 간섭무늬를 계산하기 위해 컴퓨터 그래픽에서 만든 결과를 이용한다. 이 단계는 일반적으로 매우 많은 계산이 요구되며 컴퓨터 그래픽 단계에서 수행될 명령을 결정하기도 한다. 또한, 이 두 계산 단계를 결합함으로써 계산 속도를 증가시킬 수도 있다. 간섭무늬의 계산은 간섭과 회절에 기초한 두 개의 접근방식으로 분류할 수 있다.

전통적인 방법은 광학 홀로그램을 기록하는데 사용되는 물리적인 광학계의 간섭을 직접 계산하는 것이다.^[13] 간섭무늬를 계산하기 위해서 물체점에서 발생한 복소 진폭들은 참조파와 합해진다.^[8] 각각의 영상점에 대해 수백만 개의 간섭무늬 샘플이 요구되며 작고 단순한 홀로그래픽 영상에 대해서도 수십억 계산단계를 거쳐야 한다. 이 과정에는 삼각함수와 제곱근을 포함하는 복잡한 산술계산과 많은 소수점 계산이 요구된다. 많은 연구자들이 슈퍼컴퓨터를 사용하여 간섭에 기초한 접근법을 사용함으로써 성공적으로 3차원 영상을 재생할 수 있었다.^[8] 회절에 기초한 접근법은 3차원 영상에서 반대로 홀로그래픽 간섭무늬를 계산함으로써 전통적인 방식과는 차이가 있다.^[15-17] 간섭무늬는 공간적(홀로그래픽 요소함수 또는 'hogels' 속)으로 스펙트럼적('hogel vector'



[그림 6] 컴퓨터 그래픽에 기초한 hogel 벡터 부호화

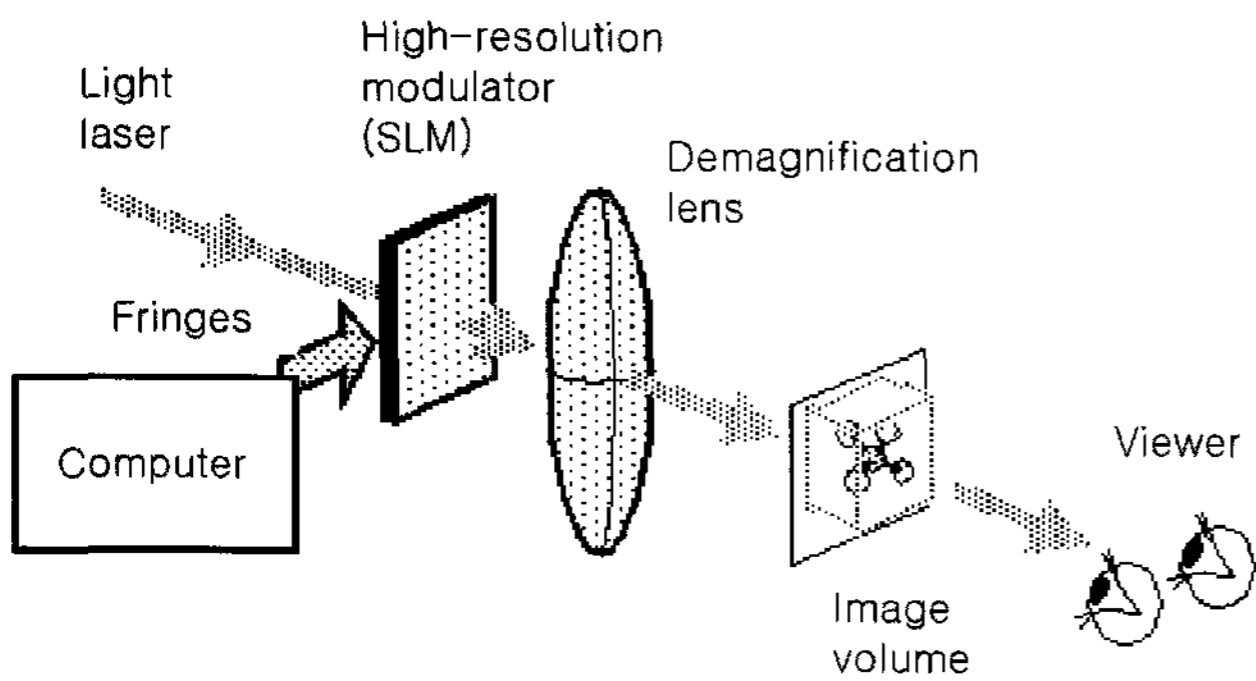
배열 속)으로 부표본화 되었다고 가정한다. Hogel의 주파수 스펙트럼에 대응하는 연속적인 수직 투영을 렌더링 함으로써 hogel 벡터를 생성한다. 수직 투영은 공간(픽셀)과 스펙트럼(투영방향)의 이산적인 샘플을 제공한다. 이 값들은 쉽게 hogel 벡터 어레이로 변환될 수 있으며, 미리 계산된 기본 간섭무늬 조합을 이용하여 부호화 단계에서 간섭무늬로 변환된다.

다중 투영(multiple-projection) 기술은 스테레오그램에서 사용되는 것과 유사한 표준화된 3차원 컴퓨터 그래픽 렌더링을 사용한다. 회절에 기초한 접근법은 전체적인 계산 속도를 향상시키며 대역폭 압축이 가능하다. 대역폭의 감소는 영상의 선명도 감소를 수반하며 blur는 압축율과 샘플링을 적절히 선택함으로써 조정할 수 있다. 8:1 또는 그 이하의 압축률(간섭무늬 크기와 hogel 벡터 어레이 사이의 크기 비)에 의해 blur는 사라질 수 있다. 16:1 또는 32:1의 압축률에서도 큰 영상의 품질 저하 없이 좋은 이미지를 얻을 수 있다.^[6]

3. 디스플레이를 위한 광학계

홀로그래픽 디스플레이의 두 번째 단계는 광학 변조와 신호처리 과정이다. 만들고자 하는 3차원 화면 정보는 전자적인 비트에서 공간광변조기(SLM)을 이용한 빛의 변조에 의해 계산된 홀로그래픽 간섭무늬로 변환된다. 수백만 개의 간섭무늬 샘플이 홀로그래픽 디스플레이 구현에서 가장 어려운 부분이다.

LCD는 2차원 영상의 투영을 위해 빛을 변조하는데 사용되는 일반적인 공간 광변조기이다. 전형적인 LCD의 화소 수는 1M 픽셀로 매우 작은 평면 영상만을 만들 수 있다. 전자적으로 빛을 변조시키기 위해 광자기효과를 이용한 magneto-optic SLM은 1M 픽셀보다 적은 픽셀을 갖기도 한다.^[16] 간섭무늬 샘플 수에 비해 상대적으로 적은 LCD의 픽셀 수는 LCD를 여러 개 붙임으로써 극복될 수 있다.^[12] Holovideo 시스템에서 변조기술의 다양한 개발은 필수 요소이다. 변조 소자는 약 0.5 μm 의 간섭무늬 샘플에 비해 수~수십 μm 정도로 너무 크다. 필요에 따라 실제 샘플의 크기를 줄이기 위해 렌즈를 사용하여 축소하는 기법을 사용하고 있지만 영상의 크기 또한 줄어드는 단점을 갖고 있다. [그림 7] 홀로그래픽 영상은 진폭 또는 위상 변조기를 이용

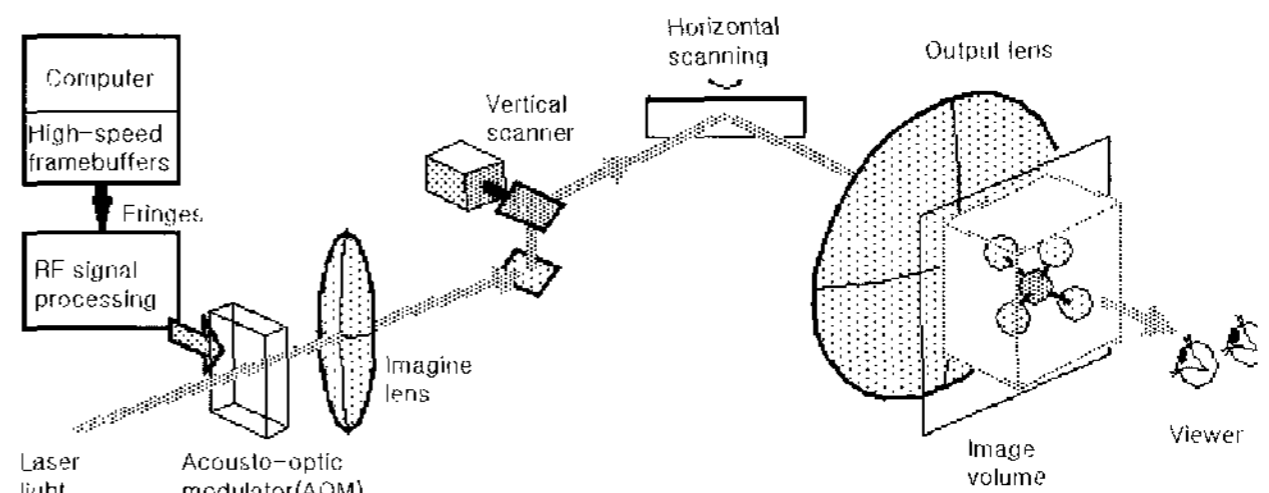


[그림 7] SLM을 이용한 홀로그래픽 광변조

하여 수행될 수 있다. LCD는 편광판을 사용하지 않으면 기본적으로 위상 변조기의 역할을 한다. 위상변조는 진폭변조보다 광학적으로 더 효과적이며 따라서 많은 경우에 사용되고 있다. 또한 변조기는 그레이스케일과 같은 많은 레벨의 변조가 가능해야 한다. 일반적인 LCD는 보통 256 그레이스케일의 레벨을 갖으며, 복잡한 영상을 만들기에 충분하다. 현재 LCD보다 광 효율이 높고 픽셀 크기가 작은 DMD 소자의 응용이 활발해지고 있다.

매우 빠른 시변조(time-multiplexing) 기능을 갖는 AOM이 holovideo에 주로 사용되고 있다. 빠르게 전파하는 음파를 이용하여 넓은 개구를 갖는 AOM 위상은 한번에 약 1000개의 샘플 변조가 가능하며, 고속으로 동작하는 미러를 통해 변조된 빛의 영상을 스캐닝하여 더 많은 간섭무늬를 변조시킬 수 있다. 이 기술은 3차원 홀로그래픽 디스플레이를 만들기 위해 1989년 MIT Media Laboratory 연구진에 의해 처음 사용되었다.^[9, 10] 이에 대한 일반적인 구조가 [그림 8]에 나타나 있으며, scanned-AOM 시스템이라 한다. RF 처리 후 계산된 간섭무늬는 음파에 의해 AOM의 개구에 전달되며, 여기서 레이저 빔의 위상을 변조한다. 두 개의 렌즈는 관찰자의 앞면에 회절된 빛을 축소시켜 결상시킨다. 수평 스캔 시스템은 변조된 빛의 영상을 각도 다중화(angular multiplexing) 한다. 수직 스캐닝 미러는 홀로그램 평면에서 정확히 수직 위치에 회절된 빛을 반사시킨다.

Scanned-AOM 시스템의 장점은 더 큰 영상을 만들 수 있다는 것이다. 처음 이 방법을 이용하여 2MB 간섭무늬로 만들어진 영상은 50ml였으나 최근 18 병렬 변조채널을 이용한 scanned-AOM 시스템을 만들어 36MB의 간섭무늬를 이용하여 1리터 이상의 영상을 만들기도 하였다.^[11] 그러나 scanned-AOM은 디지털로 계산된 간섭무늬를 고주파의 아날로그 신호로 변환해야하는 단점을 갖고 있다. 이를 위해 MIT에서는 18채널 동기화된 고속 프레임버퍼 시스템(synchronized high-speed framebuffer system)을 개발하였으며, AOM의 스캔 속도가 전자홀로그래픽 디스플레이 구현에서 가장 핵심요소이다. LCD, DMD, 그리고 SLM은 이미 전자 디지털과 인터페이스 되어있어 직접 디지털 컴퓨터와 연동 가능하거나 집적회로 위에 만들어지고 있다.^[22] Scanned-AOM의 또 다른 단점은 별도의 광학계가 필요하다는 것이다. 전형적인 LCD에 기초한 홀로그래픽 디스플레이는 단지 축소와 다양한 소자의 광학적 연결만을 필요로



[그림 8] MIT의 scanned-AOM을 이용한 holovideo 시스템

하지만, scanned-AOM 시스템의 시간 다중화는 간섭무늬 데이터 스트림과 동기화된 고속의 스캐닝 미러를 필요로 한다. 이러한 단점에도 불구하고, scanned-AOM 방식은 현재까지 개발된 전자홀로그램 중 가장 큰 영상을 만들었다.^[6]

그 외에도 칼라구현을 위해 세 개의 분리된 간섭무늬를 계산하고 각각에 해당하는 광변조기와 삼색 레이저를 이용하기도 한다. 또한, 최근 들어 다중 초음파 변환기가 있는 AOM 소자를 사용하고 있다.^[23] 다중 전극은 복잡한 패턴을 받아 소자 표면을 통해 SAW(surface acoustic waves)를 방출하고 회절된 빛은 홀로그래픽 영상을 만든다. 이 방법은 시간 다중화와 연속적인 미러 스캔이 불필요하다는 장점을 갖고 있지만 전극 수가 증가하여 비용이 높아진다는 점과 많은 역변환기를 필요로 하며 빠른 계산이 어렵다는 문제점을 갖고 있다.

IV. 홀로그래픽 3D 디스플레이의 향후 전망

실시간 3차원 홀로그래픽 디스플레이는 비용이 많이 들고, 새로우며, 거의 사용되지 않는 희귀 기술에 속한다. 또한, 현재 바로 구입 가능한 홀로그래픽 디스플레이 장치는 없다. 이 분야는 아직 연구단계에 있으며 1920년대의 2차원 디스플레이 기술과 유사한 위치에 있다고 할 수 있다. 가장 구현 가능성이 높은 CGH 기술 역시 한 프레임 당 최소 2MB 정도의 데이터가 생성되고, 계산시간 역시 실시간으로 처리하기에는 아직 부적합한 상태에 있다. 이러한 제약을 극복하기 위해 CCD와 LCD의 소형 집적화가 가속되어야 하며, CGH 계산 시간 단축을 위한 다양한 알고리즘과 계산 프로그램의 개발이 절실히 요구되고 있다. 그러면 앞으로 무엇이 우리에게 3차원의 세계를 열어줄 것인가? 그것은 아마도 더 빠른 계산속도의 컴퓨터와 더 높은 대역의 광변조기, 그리고 개선된 홀로그래픽 정보처리 기술일 것이다.

계산능력은 계속해서 증가하고 있다. 무어의 법칙(Moore's law)에 의해 지난 20년 동안 18개월을 주기로 계산속도는 2배 증가해왔다. 이는 홀로그래픽 디스플레이 영상의 크기가 매 18개월마다 2배로 증가함을 뜻한다.

광변조기는 현존하는 기술 즉, LCD나 AOM을 사용하고 있지만 홀로그래픽 디스플레이에서 이들 소자에 대한 필요성은 더 크고 더 현실적인 광학소자 개발을 위한 불씨가 될 것이다. 대역폭이 가장 중요한 요소임으로 인간의 시각 시스템이 감지할 수 없는 시간(약 20ms)에 변조할 수 있는 비

트 수를 능력 평가의 기준으로 사용한다. AOM은 약 \$2000의 비용으로 이 시간동안 16Mb를 변조(\$120 per Mb) 할 수 있다. 2차원 투사용 비디오 기술의 총아인 DMD는 \$3000의 비용으로 20ms 안에 약 100Mb를 처리할 수 있다(\$30 per Mb). 미래의 대량생산은 이 가격을 더 낮출 것이며, D-ILA와 같은 기술은 또 다른 해결책일 수도 있다.

계산속도와 변조 대역폭은 꾸준히 증가할 것이다. 홀로그래픽 정보처리 기술의 발전은 이 두 분야와 함께 전자홀로그래피 분야의 발전에 큰 역할을 할 것이다. 이미 홀로그래픽 대역폭 압축은 같은 하드웨어 조건에서 간섭무늬 계산속도를 3000배 이상 증가시켰다.^[6] 표준화된 MPEG은 계산된 간섭무늬를 부호화하고 복호화 하는데 사용될 수 있으며, 불규칙하게 샘플링 된 간섭무늬는 손실 없는 대역폭의 압축을 가능케 하고 더 낮은 발전을 약속할 것이다.^[25] 사용자의 요구 또한 전자홀로그래피 기술을 발전시키기 위한 중요한 열쇠가 될 것이다. Autostereoscopic과 같은 형태의 3차원 디스플레이 기술은 이미 공간 투영의 장점을 사용자에게 알려주었으며, 이를 경험한 사용자들은 실제 3차원 물체나 장면보다 더 낫은 완벽한 3차원 영상을 제공하는 기술에 대해 목말라할 것이다.

현재 전 세계적으로 3차원에 관련해 막대한 인력과 자원이 투입되고 있으며, 그 중심에 2차원 디스플레이 기술의 발전 계기를 제공하는 다양한 소자의 개발이 자리 잡고 있음을 보았다. 이제 3차원 디스플레이가 먼 미래지향적인 기술

이 아닌 현재 기술개발의 정점에 있음을 인식하고 좀 더 적극적인 지원과 인력 양산이 이루어져야할 것이다. 머지않은 미래에 3차원의 세계는 반드시 펼쳐질 것이라 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] 김은수, "3D 입체 디스플레이 시스템의 국내외 기술개발 동향 및 시장전망", 한국정보디스플레이학회지, 제 3 권 제 2 호, pp.27-38, 2002. 4.
- [2] K. Sato, K. Higuchi, H. Katsuma, "Holographic Television by Liquid Crystal Device", Proc. SPIE vol. 1667, Practical Holography VI, pp.19-31, Feb. 1992.
- [3] P. S. Hilaire, "Scalable optical architecture for electronic holography", Opt. Eng., vol. 34, no. 10, pp. 2900-2911, Oct. 1995.
- [4] P. Hariharan, *Optical Holography: principles, techniques, and applications*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1984.
- [5] M. Lucente, "Holographic bandwidth compression using spatial subsampling", Opt. Eng., vol. 35, no. 6, pp.1529-1537, June 1996.
- [6] MIT Media Lab., <http://www.media.mit.edu/groups/spi/>