

광기술 연구개발연구소

과학기술부 지정

홀로그래피 기술 국가 지정 연구실

이병호

홀로그래피 기술 국가 지정 연구실, 서울대학교 전기공학부

byoungho@plaza.snu.ac.kr

머리말

“홀로그래피(holography)”라는 말은 그리스 말에서 따온 holo(완전한:全)라는 단어와 그림(graphy)의 합성어이다. 즉, “완전한 그림”이라는 뜻이다. 이는 일반적으로 파동(주로 광파)을 저장하였다가 그대로 재생해내는 것을 뜻한다. 실제로 홀로그래피는 간섭에 의해 광파의 세기(intensity) 뿐 아니라 위상 정보까지 함께 기록할 수 있으므로, 입체영상의 기록 및 재생을 가능하게 한다. 실제적인 홀로그래피는 단일 파장의 광원인 레이저가 개발된 이후에 주목받기 시작했고 많은 발전을 이루었다. 홀로그래피 기술은 보안을 위한 홀로그래피 스티커나 입체영상을 통해 대중들에게 많이 알려져 있지만, 이외에도 홀로그래픽 메모리, 홀로그래픽 계측 등의 분야는 산업화 될 가능성이 크거나 이미 상용화되어 있는 기술들이 있어 많은 연구가 수행되고 있는 분야이다. 또한, 최근에는 광통신용 응용을 위한 연구도 활발해지고 있다.

본 연구실은 1999년 9월부터 과학기술부에서 시행하는 국가지정 연구실 사업 중 홀로그래피 기술 분야로 국가지정 연구실 지정을 받아 지속적으로 연구활동을 수행하고 있다. 홀로그래피 기술의 전반적인 응용분야와 기술을 개발하고, 특히 홀로그래픽 메모리, 근접장 기록 및 재생, 입체영상 기술, 광통신용 응용 등에 중점을 두어 연구를 수행하고 있다. 아직도 홀로그래피의 응용분야가 제한적이라는 의견도 있지만 큰 범주에서 홀로그래피 기술은 대부분의 회절광학 기술을 포함하고 있다. 본 연구실에서는 국내외 학술지 및 학술대회에 논문을 발표하고 새로운 기술을 개발하는 학문적 연구활동 이외에도, 홀로그래피 기술에 관심을 가지고 이를 산업화하려는 산업계에 자문활동을 수행하며 교육회와 workshop을 통한 기술 전파 활동에도 힘쓰고 있다.

연구 분야별 소개 및 기술현황

(1) 홀로그래픽 메모리

1.1. 홀로그래픽 메모리 시스템

전세계가 인터넷, 네트워크로 연결되는 인터넷 혁명의 시대인 21세기에는 인터넷을 통하여 광대한 양의 정보를 구하거나 제공할 수 있게 되었다. 통신망의 발달과 컴퓨터의 처리속도의 향상과 함께, 빠른 입출력이 가능한 대용량의 저장장치가 요구되는데 이러한 요구에 부합되는 기술로서 홀로그래피를 이용한 저장장치가 제안되고, 연구 시제품이 개발되고 있다. 미국에서는 이미 80년대 초반에 그 실현 가능성에 주목하여 다수의 인적, 물적 자원이 집중되었고, 90년대 들어와 Rockwell, IBM, Bell Lab. 등의 산업계에서도 큰 관심을 가지고 기술을 개발하여왔으며, 최근 미국에서는 대규모 컨소시엄 형태의 연구가 진행되었고 몇 개의 벤처 회사가 만들어졌다¹⁾.

이러한 홀로그래픽 메모리 시스템을 일부 변형하면, 입력 영상을 이미 저장된 대량의 정보와 광 상관(optical correlation)을 시킬 수 있어, 고속 대상물 인식이나 물체 추적이 가능하게 된다. 이러한 방식의 홀로그래픽 광 상관기는 빛의 병렬성(parallelism)의 장점을 최대한 살리게 되는데, 지문인식, 지능형 로봇 등의 민수용 뿐 아니라 항공기, 선박 등의 관별 및 지리 정보 관별 등의 군사용으로도 응용을 갖는다.

홀로그래픽 메모리는 광굴절 결정(photorefractive crystal)이나 광 폴리머(photopolymer) 등의 기록 물질에 두 방향으로부터 오는 레이저의 간섭 무늬를 기록한다. 그 중 하나의 빛은 물체빔(object beam) 혹은 신호빔(signal beam)이라 불리며, 이는 공간 광 변조기(spatial light modulator: SLM)를 통해서 2차원적인 영상으로 변조된다. 이 영상은 보통 우리가 그림으로 인식하는 아날로그 영상이 될 수도 있지만, 대용량 메모리를 위해서는 이진(binary)의 2차원 정보로 변환된 디지털 영상을 사용한다.

홀로그래픽 메모리의 강점 중 하나인 대량의 정보 기록이 가능한 이유는, 물체빔과 함께 기록에 이용되는 기준빔(reference beam)의 변화에 따라 서로 다른 정보 페이지를 같은 (또는 부분적으로 겹치는) 공간에 중첩하여 기록하고 재생할 수 있다는 점이다. 즉, 기준빔의 각도, 파장, 위상코드 등을 이용하여 서로 다른 페이지의 정보를 기록, 재생할 수 있는데 이의 기록 밀도를 증가시키거나 재생 시의 누화(crosstalk)를 최소화할 수 있는 기술에 대하여 많은 연구가 집중되고 있다.

그림 1은 본 연구실에서 구축한 홀로그래픽 메모리 시스템의 구성도이다. 광원으로 사용되는 레이저에서 나온 빛은 빔 분리기에서 두 방향으로 나뉘게 되는데 신호빔은 공간 광 변조기를 통하여 신호를 담게 되고, 기준빔은 각도를 조절할 수 있는 거울을 통해 반사되어 광굴절 결정에 입사된다. 두 빔이 만나서 이루는 회절 무늬는 광굴절 결정 내에 전하의 재배치 패턴에 의해 기록된다. 이렇게 기록된 후 신호빔이 없을 때 기준빔을 원래의 각도로 매질에 조사하면, 전자광학(electro-optic) 효과에 의해, 원래 기록할 때 진행하던 물체빔의 방향으로 신호빔이 재생되고, 이를 CCD 카메라로 감지하여 신호처리를 통해 원래의 영상을 얻게 된다.

기록 물질로서는 광굴절 물질 중 가장 적합하다고 알려진 Fe:LiNbO₃ 결정을 사용하고 있다. 광굴절 결정에 기록된 정보의 지워짐을 막기 위해서는 열적 처리와 같은 방법으로 격자를 고착(fixing)시키는 과정이 필요하다. 최근에는 광굴절 결정의 단점을 극복하고 낮은 가격에 물질을 제조하기 위해서 광 폴리머를 기록 물질로 이용하는 시스템에 대한 관심이 많아졌고 외국 연구팀들에서는 이를 이용한 홀로그래픽 메모리 시스템을 개발하고 있다. 광 폴리머를 기록 물질로 채용한 시스템의 경우 기록 물질은 폴리머의 얇은 막을 디스크에 코팅하여 이를 마치 CD나 DVD의 형태로 회전시킨다. 현재까지 개발된 광 폴리머는 대부분, 기록 후 다시

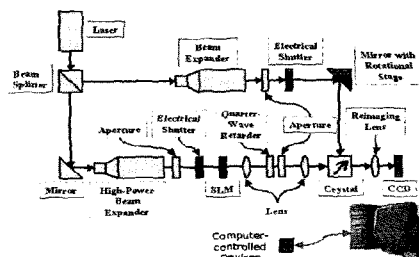


그림 1. 홀로그래픽 메모리 시스템 구성도

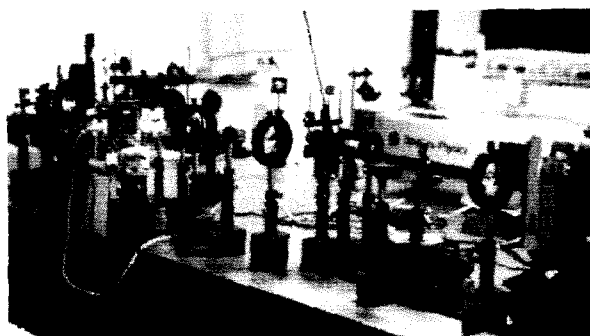


그림 2. 본 연구실에 구축된 홀로그래픽 메모리 시스템

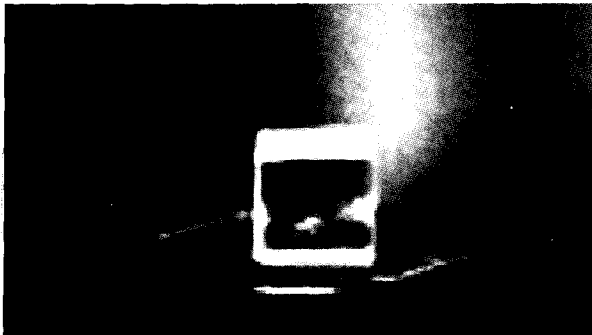


그림 3. 기록물질로 이용된 광굴절 결정(Fe:LiNbO3)

지우는 것이 불가능한 WORM(write once read-only memory) 형태의 물질이다^[1,2].

그림 2는 본 연구진에서 실험용으로 구성한 홀로그래픽 메모리 시스템의 사진이다. 그림 3은 저장 매체인 광굴절 결정의 사진으로서, 그 크기는 약 1 입방 센티미터이다. 광 폴리머의 경우에는, 현재 국내에서도 실험 단계로 일부 광 폴리머를 제조하고 있으나 대부분의 홀로그래픽 메모리 실험에 이용되는 광 폴리머 재료는 Dupont, Aprilis 등 외국 제조사의 제품이며, 그 성능의 우수성이 입증되고 있다. 보다 우수한 홀로그래픽 정보 저장 재료를 개발하기 위한 연구는 지속적으로 계속 되어야 한다.

1.2. 불규칙 위상 다중화 및 광섬유를 이용한 홀로그램의 기록 및 재생

홀로그램의 기록 시 다중화(multiplexing) 기법을 통해 그 저장 밀도를 비약적으로 증가시킬 수 있는데 여기에는 각도 다중화, 위치 다중화(이동 다중화), 파장 다중화, 위상 코드 다중화 등의 방법이 대표적이다. 이러한 다중화 시에, 홀로그램의 저장 밀도와 저장 용량은 각 기록 페이지 간의 재생 선택도(selectivity) 및 누화에 의해 제한된다. 적정 신호대잡음비(SNR)를 유지하며 홀로그램의 선택도를 높이는 것이 이를 개선하는 방법인데 본 연구실에서는 불규칙 위상(random phase) 빔을 이용하여 홀로그램의 선택도를 개선하는 연구를 수행해 왔다. 특히 불규칙 위상면을 가진 기준빔을 만들어 낼 때 광섬유를 이용하여 광섬유에서 발산되는 빔의 유사 불규칙 성질(pseudo-random)을 이용하면 홀로그램의 선택도가 개선되는 점을 발견하였다. 다중 모드 광섬유를 기준빔으로 이용하였을 경우 코어 내에 유도되는 다수의 모드들은 종단면에서 방출시, 그 간섭으로 인해 불규칙한 세기 빛 위상 패턴을 나타낸다. 이를 스펙클(speckle)이라고 하며 이를 이용하였을 경우 그림 4와 같이 기록된 홀로그램의 재생 선택도가 개선됨을 알 수 있다. 다중 모드 광섬유 뿐 아니라 테이퍼(taper) 형태로 제작된 단일모드 광섬유 탐침의 경우에도 표면의 불규칙성으로 인해 같은 효과가 나타나게 되는데 이는 다중 모드 광섬유에 비해 더 안정적인 패턴을 가지게 되므로 더 효과적으로 이용될 수 있는 장점이 있다^[3-5]. 이러한 방식은 각도 다중화, 위치 다중화, 파장 다중화 방식과 병행하여 사용될 수도 있다^[6-8].

아울러 본 연구실에서는 홀로그래픽 메모리에 적합한 코딩 방식과, 재생된 홀로그램에서 이진 데이터를 추출할 때에 발생할 수 있는 오류(error)에 대해 정정을 하는 오류 정정 방식에 대한 연구를 함께 수행하고 있다. 기존의 홀로그래픽 메모리에서 사용되는 Reed-Solomon 방식의 오류 정정 부호 뿐 아니라, 이미 무선 통신 방식에 많이 사용되고 있는 Viterbi 코드와, 이에 부가하여, 이차원 배열을 감안하여 문턱치(threshold)를 선택적으로 결정하는 소프트

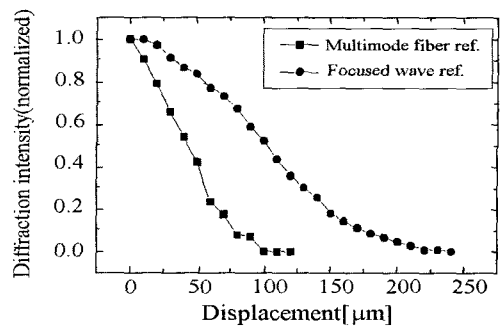


그림 4. 다중 모드 광섬유를 이용한 홀로그램의 기록 및 재생시 홀로그램의 위상 선택도 개선 효과

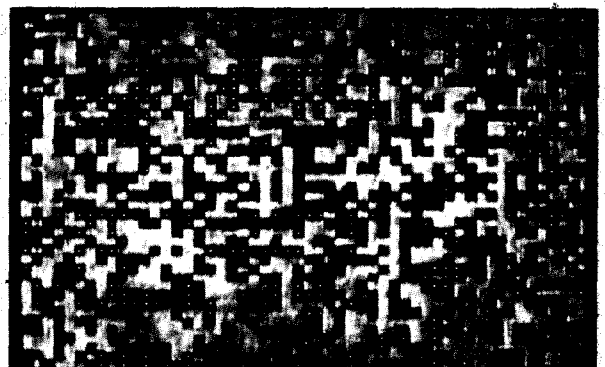


그림 5. 다중화되어 저장되었다가 재생된 정보 페이지의 예

결정(soft decision) 방식을 이용하여 재생된 홀로그램 페이지의 비트 당 오율(bit error rate; BER)을 개선시키는 연구도 수행하고 있다^{9,10)}. 그림 5는 다중화되어 저장되어 있는 정보 중 재생한 페이지의 예를 보여준다. 이러한 2차원 데이터는 문턱치에 따른 데이터 판별, 오류 정정 등의 처리를 거쳐 원래의 영상으로 복원되게 된다.

본 연구실은 홀로그래피 메모리 실험을 위해 다수의 장비를 보유하고 있다. 광원으로는 5 W 급의 Ar Ion 레이저 1 기와 Nd:YAG 레이저 2 기, Ti:Sapphire 레이저 1 기를 보유하고 있고, 물체빔의 2차원 변조를 위한 공간 광 변조기 2 기, 재생된 영상을 고속으로 감지하기 위한 디지털 CCD 카메라 2 기를 보유하고 있다. 각도 다중화를 위해 사용되는 고정밀도의 회전 스테이지는 1/1000 도의 정밀도를 가지고 있으며, 이에 상응하는 정밀도를 가지고 고속으로 구동할 수 있는 팽스캐너 시스템도 보유하고 있다. 아울러 시스템을 전자동으로 제어하기 위해 셔터 구동 및 기타 신호 처리는 컴퓨터로 일괄 제어가 가능하도록 만들어져 있다.

(2) 근접장 홀로그램

2.1. 개요

최근 근접장 주사 현미경(near-field scanning optical microscopy; NSOM) 기술의 발달에 따라 근접장(optical near-field)에 대한 이론적, 실험적 연구가 많은 분야에서 이루어지고 있다. NSOM은 종전의 회절한계를 넘어서는 분해능을 가지고 있어 빛을 매우 작은 영역의 샘플과 상호작용 시킬 수 있기 때문에, microscopy 수준을 넘어서 최근에는 나노 소자의 구조적, 광학적 특성을 연구하거나, 생물학적 샘플을 분자수준에서 직접 제어하는 데 사용되고 있다¹¹⁾. 또한 광학적 메모리 분야의 발전에 따른 차세대 고밀도 홀로그래피 저장장치에의 응용도 연구되고 있다^{12,13)}.

기존의 홀로그램은 물체와 저장 물질(예: 광굴절 결정)간의 거리가 커서 신호빔 중 진행파(propagating wave) 성분만 저장되고 evanescent 파에 대한 진폭과 위상에 관한 정보는 저장과정에서 배제된다. 따라서 재생시 원래 신호에 대한 모든 정보가 재현되는 것이 아니라 그 중 진행파 성분만 재생되므로 신호빔의 spot size가 빛의 파장에 비해 크게 작다고 하더라도 재생되는 빛은 Rayleigh의 한계라고 알려진 파장의 반 이하의 크기로 줄어들 수는 없다. 진행 신호빔은 광원(예: 공간 광 변조기)에서 발생한 후에는 그와는 무관하게 독립적으로 공간(진공 혹은 매질)을 진행하는 빛으로서 기본적으로 회절의 성질을 갖게 된다. 따라서 그 빛의 빔 크기는 이상적인 경우라도 Rayleigh의 한계로 불리는 파장의 반 이하보다 작아질 수 없다. 그러므로, 이진 홀로그램의 경우 광매질에 저장할 수 있는 비트의 크기는 파장의 반 보다 작을 수 없게 된다. 이는 고밀도 홀로그래피 메모리의 저장용량을 제한하는 주요 요소로서 지금은 단파장 레이저를 사용하는 해법을 추구하고 있으나 이 역시 조만간 그 한계가 도래할 것으로 생각된다. 초고밀도 홀로그래피 메모리를 위해서는 신호빔의 크기를 회절한계 이하로 만들 수 있는 기술이 요구되고 있다. 또한 아날로그 홀로그램의 경우 물체가 파장의 반보다 작은 크기라고 해도 재생되는 물체의 크기는 파장의 반보다 커지게 되고 따라서 물체의 모든 정보가 저장/재생될 수는 없게 된다. 이는 DNA와 같은 아주 작은 크기의 생물학적 시료의 저장 같은 응용분야에 홀로그래피 메모리가 사용될 수 없음을 의미하며, 따라서 기본적으로 이런 저장 대상의 크기에 무관하게 정보를 저장할 수 있는 홀로그램이 요구되고 있는 실정이다. 근접장 홀로그램은 회절의 성질을 띠는 진행 광이 아닌 근접장 광을 사용하는 홀로그래피 기법으로서, 그 빔의 크기가 제한되지 않기 때문에 이진 홀로그램의 경우 그 저장 밀도를 높일 것으로 기대되고 있으며, 아날로그 홀로그램의 경우 저장 대상의 크기에 제한이 없게 된다. 또한, 근접장 홀로그램은, SIL(solid immersion lens) 방식과 같은 여타의 다른 근접장 저장 방식과는 달리, 같은 저장 장소에 각기 독립적인 여러 데이터를 적절 한 방법을 통해 다중화할 수 있다는 장점이 있다. 이는 저장 용량의 획기적인 증가를 의미하기 때문에 고밀도 메모리 시스템의 관점에서 유망한 차세대 기술로 평가받을 수 있다.

2.2. 근접장 홀로그래피의 예

현재까지 근접장 홀로그래피를 보고한 그룹은 Denmark의 Bozhevolnyi 그룹⁽¹⁴⁾과 본 연구진이 유일하다. 여기에서는 본 연구진이 제안한^(8,15,16) NSOM을 이용한 이진 근접장 홀로그래피의 저장과 재생, 그리고, 다중화 저장의 결과를 간략히 살펴본다.

그림 6에 이진 근접장 홀로그래피의 기본 원리를 나타내었다. 상호빔으로 NSOM의 광섬유 탐침에서 나오는 빛을 이용하였다.

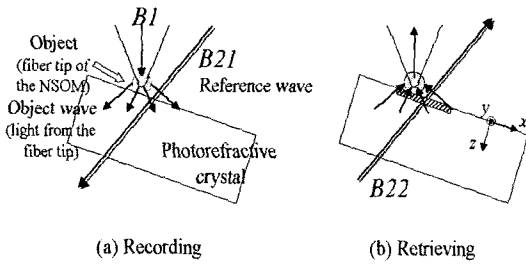


그림 6. 이진 근접장 홀로그래피의 기본 원리

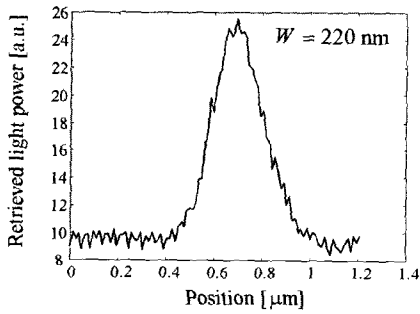


그림 7. 단일 spot을 기록한 후 재생한 예

광섬유 탐침의 끝단의 크기는 약 100 nm 정도 되는데 이는 광원으로 사용하는 He-Ne 레이저의 파장($\lambda=633$ nm)에 비해 아주 작기 때문에 진행파 뿐만 아니라 evanescent 파가 발생된다. 후자의 경우, 광섬유 탐침이 NSOM의 shear-force mechanism에 의해 저장 물질인 광굴절 결정에서 10 nm 정도까지 가까이 갈 수 있기 때문에, 충분히 광굴절 결정에 도달할 수 있다. 기준빔으로는 레이저에서 나오는 Gaussian 빔을 그대로 사용하였다. 광섬유 탐침에서 나오는 빛과 기준빔이 광굴절 결정에서 만났을 때 그 겹치는 영역은 Gaussian 빔의 spot size(~ 1 mm)에 비해 아주 작기 때문에 Gaussian 빔을 거의 평면파로 근사해서 생각할 수 있고, 따라서, 그림 6의 (b)에서처럼 반대방향으로 진행하는 Gaussian 빔을 광굴절 결정에 입사시키면 이는 기록에 사용한 기준빔의 공액위상(phase-conjugated) 빔으로 근사될 수 있기 때문에, 저장되었던 광섬유 탐침에서 발생되었던 진행파, evanescent 파의 공액위상 빔이 재생된다. 이는 스캐닝(scanning)하면서 읽고 있는 NSOM의 광섬유 탐침으로 결합(coupling)되게 된다. 그림 6에서 짐작할 수 있듯이 기준빔과 광섬유 탐침과의 상호작용이 존재하고 여기에서 발생된 빛도 광굴절 결정에 저장되게 된다. 하지만 이 성분은, 재생 시 그 공액위상 빔이 생성되더라도 광섬유 탐침으로 결합되는 효율이 낮기 때문에 전체적인 광학적 이미지에 큰 영향을 끼치지 못한다.

광원으로는 5 mW He-Ne 레이저($\lambda=633$ nm)를 사용하였으며 여기에서 나온 빛은 빔 분리기를 통해 B1과 B2로 나뉜다. B1은 NSOM 시스템으로 결합되어 광섬유 탐침에서 신호빔을 발생시킨다. B2는 또 한번 빔 분리기를 통해 B21과 B22로 나뉘는데, 전자는 홀로그래피의 저장시 기준빔으로, 후자는 세기를 약하게 한 후, 재생시 기준빔의 공액위상 빔으로 Fe:LiNbO₃ 결정(10 mm × 10 mm × 5 mm)에 입사하게 된다. 광굴절 결정의 한 곳의 위치에 그림 6의 (a)에서처럼 광섬유 탐침에서 나오는 빛을 저장한 후 그림 6의 (b)에서처럼 광굴절 결정 위를 스캐닝하면서 읽은 광학적 이미지를 그림 7에 나타내었다.

그림 8과 9에 광섬유 탐침과 광굴절 결정 사이의 거리를 다르게 했을 때의 저장된 spot의 크기와 각도 선택도를 비교하여 나타내었다. 탐침과 결정 사이의 거리가 10 nm일 경우 탐침에서 발생된 근접장 성분이 결정에 도달할 수 있으므로 Rayleigh 한계보다 훨씬 작은 240 nm 크기의 spot이 저장됨을 알 수 있다. 이 경우의 각도 선택도가, 근접장이 도달하지 못할 정도로 탐침과 광굴절 결정을 떨어뜨려 같은 실험을 했을 경우의 값보다 높음을 알 수 있다. 근접장 홀로그래피는 일종의 얇은(thin) 홀로그래피지만 각도 선택도는 부피(volume) 홀로그래피의 값과 비슷함을 알 수 있다. 이는 근접장 홀로그래피의 저장 시에 공기 중에서는 evanescent의 형태이지만 저장 매체 안에서는 진행파가 되는 k 벡터가 홀로그래피의 저장에 기여를 하여 훨씬 좋은 각도 선택도를 주기 때문으로 생각된다. 이러한 각도 선택도를 이용한 각도 다중화된 근접장 홀로그래피의 재생 결과가 그림 10과 11에 나타나 있다.

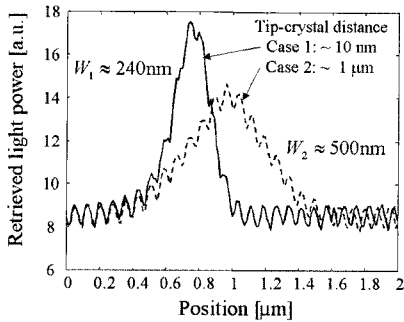


그림 8. 기록 거리가 다른 경우에 기록 후 재생된 단일 spot

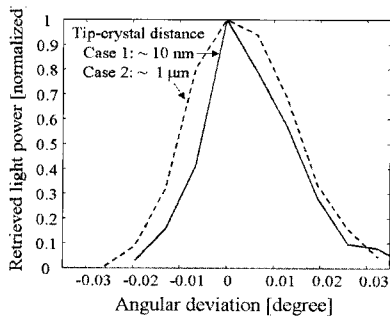


그림 9. 그림 8의 각 spot의 재생시 각도 선택도

(3) 3차원 디스플레이

3.1. 개요

최근 정보통신 분야의 폭발적인 성장은 개개인에게 전달되는 정보의 양과 질을 한 단계 향상시켰다. 따라서, 이제는 무엇을 전달하느냐 하는 정보의 내용 못지 않게 어떠한 형태의 정보를 전달하느냐 하는 정보의 표현방식에도 많은 관심이 모아지고 있다. 전문가들은 2010년경에는 컴퓨터, 통신, 방송 사이의 경계가 대부분 없어지고 10~15년 이내에 이러한 통합된 멀티미디어 서비스가 사회, 문화 생활 전반에 걸쳐 큰 변화를 야기할 것이라고 예상하고 있다. 특히 사용자들은 통신, 정보, 교육, 의료, 엔터테인먼트 등 폭넓은 영역의 서비스를 보다 현실감 있게 받아보기 위해 3차원 영상 매체를 이용하고자 할 것이다. 3차원 디스플레이 기술은 다음과 같은 여러 분야에 응용 가능성을 가지고 있다.

- 오락 분야 : 테마파크, 가상현실(VR; virtual reality) 오락 게임기, 3차원 애니메이션, 3차원 입체영화
- 문화 분야 : 전시회, 박람회, 공연, 갤러리, 모델하우스, 인테리어,

이상에서 근접장 주사 현미경을 사용하여 근접장을 기록하고 재생할 수 있는 방법과 그 실험예를 간단히 살펴보았다. 근접장이 기록됨으로써, 재생되는 신호빔의 spot size가 Rayleigh의 한계보다 작은 값을 가질 수 있었고 이를 이용한 고밀도 홀로그래픽 메모리 시스템이 가능하다고 생각된다. 하지만 스캐닝 시에 시간이 오래 걸리기 때문에 access time의 측면에서 큰 단점을 지니고 있다. 하지만 생물학이나 고밀도 메모리, 근접장 연구의 측면에서 많은 응용이 기대된다.

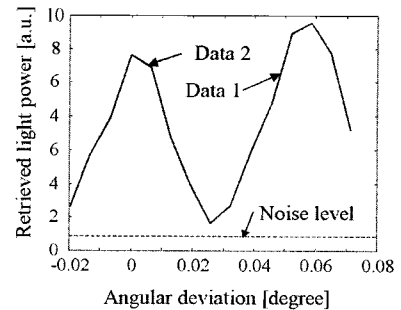


그림 10. 두 개의 각도 다중화된 spot의 각도 선택도

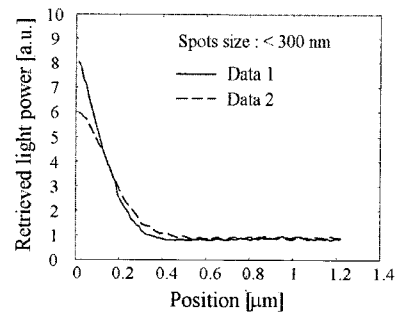


그림 11. 그림 10의 각 spot의 이미지

3차원 디자인(3차원 건축도면, 3차원 차량도면 등)

- 광고 분야 : 입체 온라인 광고, 입체 옥외 광고
- 인터넷 분야 : 기존의 2차원 인터넷 환경을 3차원 입체 환경으로 대체하는 모든 서비스, 가상 현실을 이용한 인터넷 포털 서비스 (3차원 쇼핑물(전자상거래), 경매 시스템 등)
- 통신, 방송 분야 : 입장감 통신 시스템, 입체 TV 회의/텔레마케팅, 입체 TV 방송(통신 위성에 의한 입체 하이비전 중계, ISDB에 의한 고입장감 TV 방송)
- 교육, 의료 분야 : 교육전시(컴퓨터 그래픽 과학교실), 가상대학(영상 시청각 교육), 의료응용(입체 하이비전, 3차원 단층 촬영, 원격의료, 원격수술, 의료 시뮬레이터)
- 가정용 모니터 : 패키지 미디어에 의한 가정용 입체 3차원 디스플레이용 TV, 3차원 입체 칼라 모니터, 3차원 영상 전화기, 3D Video/멀티미디어 단말기
- 우주항공 및 군사 분야 : 3차원 추적 시뮬레이터/모의 군사훈련(정보분석 및 실감 데이터 전송), 우주(항공 관제 디스플레이 및 해저탐색, 원격탐사)
- 3차원 산업기기 분야 : 입체 초대형 스크린, 다시점 입체 카메라, 3차원 멀티미디어 단말기, VR 시스템의 응용(건축 CAD, 의장설계 등)

이에 본 연구실에서는 상용화가 가능한 무안경 방식의 3차원 디스플레이 기술을 연구하고 있다. 현재 알려진 3차원 입체 영상의 구현 방식은 크게 안경식과 무안경식으로 나눌 수 있다. 안경식은 특수하게 제작된 안경이나 안경형태의 디스플레이 장치를 이용하여 관찰자의 왼쪽 눈과 오른쪽 눈에 각각 좌안 영상 정보와 우안 영상 정보를 전달함으로써 관찰자가 양안 시차를 통해 입체감을 느낄 수 있게 하는 방식으로서, 현재 일부 놀이공원이나 입체 영화 관람 시에 사용되고 있다. 이 방식은 HMD(head mounted display) 장치나 특수한 편광안경을 착용해야 하는 불편함과 함께 장시간 관람 시 관찰자들이 두통을 호소하는 등의 문제점이 있다. 무안경식 입체 영상 표시 방식 중 대표적인 기술로는 홀로그래피 방식과 스테레오그램 방식이 있다. 이중 3차원 디스플레이의 대명사처럼 사용되는 홀로그래피 기술은 이론적으로 공간상에 3차원 물체를 재생하므로 안경 없이도 완전한 입체 영상을 구현할 수 있지만, 광원으로 레이저를 이용해야 하고 표현하고자 하는 물체의 크기나 색이 제한되는 등 아직 해결해야 할 문제점이 많은 실정이다^[17]. 1990년대 이후 각광받고 있는 스테레오그램 방식은 안경식에서와 같이 양안시차를 이용하여 입체 영상을 구현하지만 좌안 영상과 우안 영상을 렌티큘러(lenticular) 렌즈나 HOE(holographic optical element) 등을 이용해 전달한다는 점이 다르다. 하지만 이 방식은 상하 방향으로의 입체 정보가 없고 시점이 고정된다는 단점이 있다^[18,19]. 이외에도 음향 광학 소자나 고속 스캐너를 사용하여 연속적인 영상을 사용자의 눈에 주사하는 방식도 연구되고 있으나, 고속 고정밀 영상 주사 장치가 필요하기 때문에 가격이 지나치게 비싸 상용화가 어려운 단점이 있다.

3.2. Integral Photography

본 연구실에서 연구중인 integral photography(IP) 방식은 1908년 Lippmann에 의해 처음 제안된 후^[20] 점차 개선되었으나, 그 동안 촬영 소자나 디스플레이 소자 기술의 한계로 인해 크게 주목을 받지 못하였다. 기본적인 원리는 간단한데 그림 12에서와 같이 촬영부와 디스플레이부로 이루어져 있다. 촬영부에서는 렌즈 어레이의 단위 렌즈에 의하여 3차원 물체의 여러 방향에서의 기초 영상이 생성되어 촬영 소자에 저장된다. 디스플레이부에서는 촬영부의 역 과정으로, 저장된 기초 영상들이 디

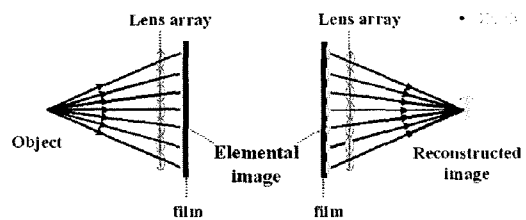


그림 12. IP의 기본적인 원리

스플레이 소자에 표시되고, 다시 이 기초 영상들이 렌즈 어레이를 통과하면서 합쳐져서 원래의 3차원 물체가 있던 위치에서 3차원 영상으로 재생된다. 하지만 Lippmann 당시에는 촬영 소자와 디스플레이 소자로 사진 필름이 이용되었기 때문에 동영상의 구현이 불가능하다는 큰 단점이 있었다. 최근들어 고분해능 촬영 소자(CCD)와 고해상도 디스플레이 소자(LCD)의 개발과 함께 동영상의 구현이 가능하게 되어 주목받고 있다^[21,22]. 특히 이 경우에는 CCD 카메라로 물체를 촬영해서 해당하는 영상 정보를 LCD 패널로 실시간으로 전송할 수 있으므로 입체 동영상을 실시간으로 볼 수 있는 장점이 있다. 그러나 이러한 IP 방식을 기초로 한 3차원 영상 처리 방식 또한 촬영과 재생이 반대 방향에서 이루어지기 때문에, 재생되는 영상의 겉과 속의 깊이가 바뀌어 보이는 깊이 역전(pseudoscopic) 영상이 발생하게 되는 문제점을 안고 있다. 또한 선명한 기초 영상을 얻기 위해서는 고해상도의 CCD 카메라가 필수적이다.

본 연구실에서는 기존의 IP 방식에서 촬영부를 컴퓨터로 계산된 기초 영상 생성부로 대체한 CGIP(computer-generated integral photography) 방식의 상용화를 위해 힘쓰고 있다^[23,24]. CGIP 시스템은 영상 생성부와 디스플레이부로 구성되는데, 영상 생성부에서는 컴퓨터를 이용하여 표현될 3차원 영상정보를 디스플레이부에 알맞은 2차원 기초 영상 집합으로 바꿔 주고, 이를 디스플레이부에 전송한다. 디스플레이부는 CRT 모니터 또는 LCD 패널과 같은 평면 디스플레이 장치와 디스플레이 장치 앞의 일정한 거리에 설치된 렌즈 어레이로 이루어져 있는데, 영상 생성부에서 전송된 2차원 기초 영상 집합은 영상 표시부의 디스플레이 장치에 표시되고, 디스플레이 장치 앞에 설치된 렌즈 어레이를 통하여 3차원 영상으로 합성된다. 본 기술의 가장 큰 장점은 컴퓨터와 렌즈 어레이가 집적된 모니터만으로 구성된 간단한 장치로 안경을 쓰지 않고 3차원 입체 영상을 구현할 수 있다는 점이다. 또한 기존의 양안 시차 방식 등과 같이 관찰자의 착시 현상을 이용한 방식이 아니고, 렌즈 어레이를 이용하여 완전한 영상을 공간상에 표시하는 방식이므로, 관찰자는 시야각 안에서 시점을 연속적으로 움직이면서 영상의 깊이감과 변화를 같이 느낄 수 있다. 뿐만 아니라, 완전 칼라의 동영상을 자유롭게 표시할 수 있는 장점이 있다. 그림 13은 본 연구실에서 제작한 데모용 시스템으로 랩탑 컴퓨터와 렌즈 어레이로 구성된다. 그림 14는 CGIP 시스템으로 구현한 간단한 입체 영상을 왼쪽과 오른쪽에서 각각 관찰한 결과이다. 그림에서 볼 수 있듯이 관찰자의 위치에 따라 autostereoscopic 영상을 관찰할 수 있다.

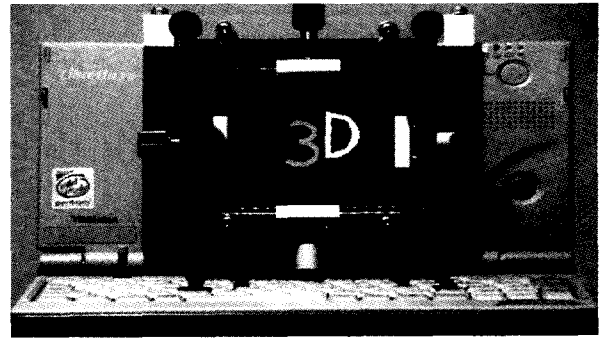


그림 13. 데모용 CGIP 시스템

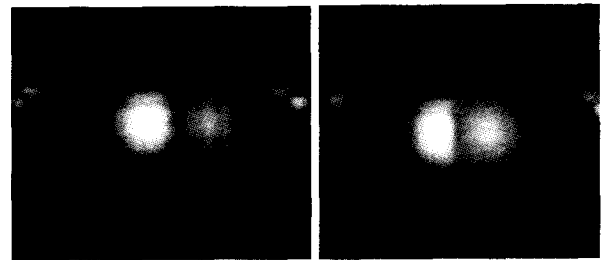


그림 14. Autostereoscopic 영상(공간상의 다른 깊이에 있는 두개의 구)

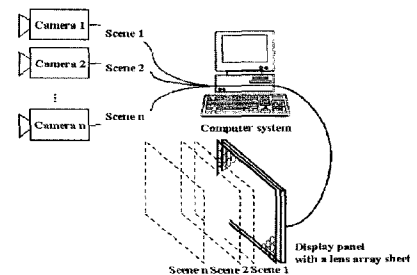


그림 15. 준 3차원 디스플레이 시스템

Flipping 현상 없이 입체 영상을 관찰할 수 있는 범위인 시야각은 사용된 렌즈 어레이의 특성에 따라 달라지는데, 본 데모용 시스템은 상하좌우 각각 10도 정도로 좁은 편이다. 이에 따라 해상도의 감소 없이 시야각을 넓히기 위한 연구를 진행 중이다.

이러한 CGIP 방식의 입체 영상 표시 장치는 그림 15와 같이 준(quasi) 3차원 디스플레이 장치로 응용할 수도 있다. 즉, 일반 카메라로 촬영한 영상을 깊이의 차이를 갖는 여러 평면들로(예를 들어 배경과 인물들간의 깊이 차이를 갖는 평면) 재구성하는 방식으로 간단한 준 3차원 디스플레이가 가능하다.

(4) 기타

이상에서 약술한 내용 외에도 본 연구실에서는 LCD backlight unit에 사용되는 확산판을 홀로그래피 기법으로 만드는 연구, 회절광학소자(DOE: diffractive optical element)의 설계 및 제작의 연구 등을 수행하고 있으며, 또한 같은 학부의 서승우 교수와 공동으로 다양한 격자 소자를 광 크로스 커넥터, 광 필터 등에 사용하기 위한 연구를 수행하고 있다. 그리고, 조선대학교 기계공학부의 김경석 교수와 함께 electronic speckle pattern interferometry(ESPI)를 이용한 비접촉 광계측의 기술 소개 및 교육을 하는 프로그램도 산업체 연구원과 관련 대학원생들을 대상으로 제공하였다.

참고문헌

- (1) NSIC(organizer), International Workshop on Holographic Data Storage, Nice, France, March 1999.
- (2) G. Zhou, D. Psaltis, and F. Mok, "Holographic read-only memory," *Optical and Quantum Electronics*, vol. 32, no. 3, pp. 405-417, 2000.
- (3) Y. H. Kang, K. H. Kim, and B. Lee, "Volume hologram scheme using optical fiber for spatial multiplexing," *Optics Letters*, vol. 22, no. 10, pp. 739-741, 1997.
- (4) K. H. Kim, Y. H. Kang, and B. Lee, "Recording of volume hologram using a beam pattern from tapered optical fiber," *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 9, no. 12, pp. 1610-1612, 1997.
- (5) K. H. Kim, H.-S. Lee and B. Lee, "Enhancement of the wavelength selectivity of a volume hologram by use of multimode optical fiber referencing," *Optics Letters*, vol. 23, no. 15, pp. 1224-1225, 1998.
- (6) B. Yang, H.-S. Lee, and B. Lee, "Optical pattern recognition by using speckle multiplexed holograms," *Photorefractive Fiber and Crystal Devices: Materials, optical Properties, and Applications V*, Proceedings of SPIE, vol. 3801, Denver, CO, USA, pp. 190-197, July 1999.
- (7) B. Yang, S. Jeon, and B. Lee, "Holographic data storage on photopolymer by use of fiber speckle referencing," *Conference on Lasers and Electro-Optics - Pacific Rim (CLEO/Pacific Rim)*, Seoul, Korea, pp. 1177-1178, Sep. 1999.
- (8) B. Lee, B. Yang, K.-Y. Kim, and N. Park, "Applications of optical fibers and near-field scanning optical microscope for photorefractive holograms," *Conference on Photorefractive Fiber and Crystal Devices: Materials, Optical Properties, and Applications VI*, SPIE's 45th Annual Meeting, Proceedings of SPIE, vol. 4110, San Diego, CA, USA, pp. 204-213, July 2000.
- (9) S. Jeon, S. Han, B. Yang, K. M. Byun, and B. Lee, "Soft decision decoding for holographic memories with intrapage intensity variations," *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 40, pp. 1741-1746, 2001.
- (10) S. Jeon, S. Han, B. Yang, K. M. Byun, and B. Lee, "Soft decision Viterbi decoding for holographic memory systems," *The 13th Annual IEEE Lasers and Electro Optics Society Meeting (LEOS)*, Rio Grande, Puerto Rico, USA, pp. 605-606, Nov. 2000.
- (11) M. Ohtsu, ed., *Near-Field Nano/Atom Optics and Technology* (Springer-Verlag, Tokyo, 1998).
- (12) B. Lee, B. Yang, H.-S. Lee, N.-K. Park, and Y.-K. Kim, "Holographic data storage using optical fibers and micromachined structures," *Conference on Lasers and Electro-Optics - Pacific Rim (CLEO/Pacific Rim)*, Seoul,

- Korea, pp. 1245-1246, Sep. 1999.
- [13] N.-K. Park, H.-S. Lee, K.-H. Kim, and B. Lee, "Recording of holographic grating in photorefractive crystal using two fiber probes," Conference on Lasers and Electro-Optics - Pacific Rim (CLEO/Pacific Rim), Seoul, Korea, pp. 399-400, Sep. 1999.
- [14] S. I. Bozhevolnyi and B. Vohnsen, "Near-field optical holography," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 77, pp. 3351-3354, 1996.
- [15] K.-Y. Kim and B. Lee, "Holographic approach to record and retrieve subwavelength-size objects using optical near-field," The Satellite International Symposium on Optical Memory 2000 (ISOM 2000), Kyongju, Korea, pp. 48-49, Sep. 2000.
- [16] K.-Y. Kim and B. Lee, "Holographic approach to record and retrieve subwavelength-size objects using optical near-field," *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 40, pp. 1835-1840, 2001.
- [17] P. P. Zhu X. S. Liu, Z. Z. Xu, "Color-holography using the angular selectivity of volume recording media," *Appl. Opt.*, vol. 34, pp. 842-845, 1995.
- [18] N. Davies, M. McCormick, and L. Yang, "3D imaging systems: a new development," *Appl. Opt.*, vol. 27, pp. 4520-4528, 1988.
- [19] T. Okoshi, *Three-Dimensional Imaging Techniques* (Academic, New York, 1971).
- [20] G. Lippmann, "La photographie integrale," *Comptes-Rendus*, vol. 146, pp. 446-451, Academie des Sciences, 1908.
- [21] F. Okano, H. Hoshino, J. Arai, and I. Yuyama, "Real-time pickup method for a three-dimensional image based on integral photography," *Appl. Opt.*, vol. 36, pp. 1598-1603, 1997.
- [22] 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.*, vol. 37, pp. 2034-2045, 1998.
- [23] B. Lee, S.-W. Min, S. Jung, and J.-H. Park, "A three-dimensional display system based on computer-generated integral photography," *Journal of the Society for 3D Broagcasting and Imaging*, vol. 1, no. 1, pp. 78-82, 2000.
- [24] S. W. Min, S. Y. Jung, J. H. Park, and B. Lee, "Three-dimensional display system based on computer-generated integral photography," The 2001 Stereoscopic Displays and Applications Conference, Photonics West, Proc. SPIE, vol. 4297, Paper 4297-24, San Jose, USA, Jan. 2001.