+ 김 남 · 충북대학교 전자정보대학 교수

TECH&TREND

홀로그래피 기술 및 동향 : 홀로그래피

서론

본 원고에서는 홀로그래피와 이를 기반으로 둔 기술 동향을 소개한다. 홀로그래피란 빛의 회절과 간섭 현상을 이용하여 빛의 진폭 정보뿐만 아니라 위상 정보까지 기록 및 재생을 하는 기술이다. 따라서, 홀로그래피를 이용하여 물체를 촬영하고 이를 재생하면 빛의 진폭뿐만 아니라 위상까지 완전히 재생 할 수 있어 완전한 깊이 정보와 높은 해상도를 가지는 3차원 영상을 얻을 수 있다. 우리가 보통 찍는 사진 속의 물체들이 2차원으로 보이는 근본적인 이유는 사진이 빛의 위상 정보를 모두 버리고 진폭 정보만을 기록하기 때문이다.

홀로그래피의 역사는 Dennis Gabor의 1984년 논문으로부터 시작되었다. 그는 전자현미경의 상을 개선하는 방법으로, 전자현미경에 이용되고 있는 전자렌즈를 사용하지 않고, 전자선의 파면을 기록하고, 그 다음 전자선보다도 파장이 긴 빛으로 상을 확대하여 재생하는 방법을 생각했다. 당시에는 간섭성이 좋은 코히어런트(coherent) 한 전자선을 얻을 수 없었으므로 수은등을 이용하여 기록과 재생실험을 하였다. 수은등의 빛은 파장 폭이 좁기는 하지만 코히어런트 한 빛이라고 말하기에는 부족하기 때문에 기록 가능한 피사체에는 한계가 있었다. 이 때문에 투명한 기판에 검은색으로 문자를 적은 간단한 2차원 패턴을 이용하였다. 재생된 상에는 불필요한 재생상이 초점에 어긋난 상태로 중첩되어 화질이 좋지 않았다.

1960년대에 미국의 Leith 교수에 의하여 레이저가 발명되어 코히어런트 한 빛을 사용 할 수 있게 되고, 특히 파장이 632.8nm인 가시광의 연속파가 헬륨 네온 레이저로부터 얻어지게 되자, 홀로그래피의 연구는 급속히 진전되었다. Gabor의 실험에서 재생상의 질을 저하시킨 공액상은 재생위치를 옆으로 비켜놓는 방법으로 중첩되지 않도록 하고, 일반적인 3차원 물체로부터의 파면을 기록하여 이로부터 다시 3차원 입체상이 재생 가능하게 되었다.

거의 같은 시기에 러시아의 과학자인 Denisyuk는 이제까지의 투과형(transmission type) 대신 반사형(reflection type) 홀로그램을 제작하는 기술을 개발하였으며, 이로부터 백색광원으로 홀로그램을 재생 할 수 있게 되었다. Denisyuk의 홀로그램은 투과형과는 달리 물체파(object wave)와 기준파(reference wave)를 서로 반대 방향에서 입사시켜서 제작하는 방식으로 이때 간섭무늬는 사진필름면의 방향과 평행한 형태로 기록된다. 이 때문에 그가 개발한 반사형 홀로그램은 파장 선택성이 뛰어나 컬러로 재현 할 수 있다는 획기적인 특징을 지니고 있다. 그 당시에는 반사형 홀로그램의 특성상 밝은 홀로그램을 얻기가 어렵고, 제작이 까다로워 실험실에서 주로 제작되어 거의 상품화되지 못하였다.

[그림 1] 홀로그래피의 역사적 인물

그 후 1970년대에 미국의 Benton에 의해서 또 하나의 획기적인 전환점이 마련되었는데, 오늘날 널리 사용되는 무지개 홀로그램을 개발한 것이다. 이 방법은 좁은 간격의 슬릿을 물체의 상과 같이 기록하게 되는데 재생시에 홀로그램 앞에 슬릿의 영상이 같이 재생되어 이 슬릿을 통해서 물체의 상을 관찰하게 되므로 상의 밝기가 뛰어나고 슬릿을 통해서 빛이 분산되므로 칼라로 재현된다는 점뿐만 아니라 밝은 실내에서도 적당한 조명으로 홀로그램을 볼 수 있다는 특징을 지니고 있다.

그 후로 1977년에는 미국의 Cross에 의해 멀티플렉스 또는 스테레오 홀로그램이 개발되었는데, 이 홀로그램 역시 무지개 홀로그램과 마찬가지로 백색광으로 볼 수 있다. 뿐만 아니라, 물체의 여러 방향에서 모습을 기록할 수 있어 입체감이 뛰어나다는 특징을 지니고 있다.

1980년대에 들어서면서 홀로그램은 급속한 발전과 상품화가 이룩되었는데, 물체의 원색을 재현 할 수 있는 자연색 홀로그램 제작 기술이 개발됨에 따라 3차원 영상 기술로써의 기틀이 확실히 마련되었다고 할 수 있다.

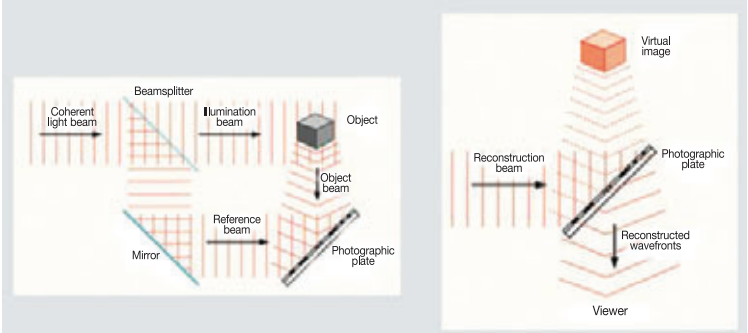
90년대에 와서는 비선형 물질을 이용한 수백 가지의 홀로그램을 동시 기록 및 실시간 재생, 컴퓨터에 의한 홀로그램 제작, 그리고 Full-Color 홀로그램의 연구가 진행되고 있다. [그림 1]은 홀로그래피를 고안하고 개발한 연구가들의 모습이다[1].

김 남 · 충북대학교 전자정보대학 교수

1. 홀로그래피의 원리

홀로그래피에서는 먼저 물체에 간섭성 광원인 레이저 광선을 입사시켜 이로부터 반사 · 회절 하는 빛(물체파)을 감광재료에 입사시킨다. 그리고, 이와 동시에 레이저 광선의 일부를 거울을 통해서 물체파와 일정한 각도를 이루도록 해 감광재료에 바로 입사시킨다(이를 기준파라 한다). 여기서 물체파는 물체에 부딪친 후 반사 · 회절 되어 서로 다른 위상(파동의 골과 마루)을 가지고 감광재료에 부딪친다. 이 때문에 물체파와 기준파는 서로 간섭해 감광재료 위에 미세한 간섭무늬를 남기게 된다. 기록된 이 간섭무늬를 홀로그램(hologram, '완전한 그림'이라는 뜻)이라고 부르는데, 홀로그램 그 자체로는 대상 물체를 닮지 않았지만 물체에서 반사된 광선의 모든 위상과 세기에 대한 정보를 지니게 된다.

반대로 기록된 영상을 재생 할 때에는 홀로그램에 레이저 광선을 투과시키면 홀로그램 위에 있는 미세한 간섭무늬들이 이번에는 회절격자 역할을 해 일부 광선을 휘거나 회절시킴으로써 홀로그램을 생성한 광파의 원래 상태를 정확하게 재현한다. 즉, 재생 시 사용하는 광선은 기록 시와 같은 진동수를 가진 파동만이 3차원으로 재현되고, 파장과 위상이 다른 파들은 아무런 효과가 없이 저장된 홀로그램을 통과해 버리기 때문에 기록 시 사용된 기준광과 반드시 정확히 일치해야 한다. 따라서, 재현된 상은 원래 물체의 3차원적 특징들을 재현한 입체적 성질을 지니게 된다. [그림 2]에서 홀로그램의 기록과 재생을 보이고 있다[2].

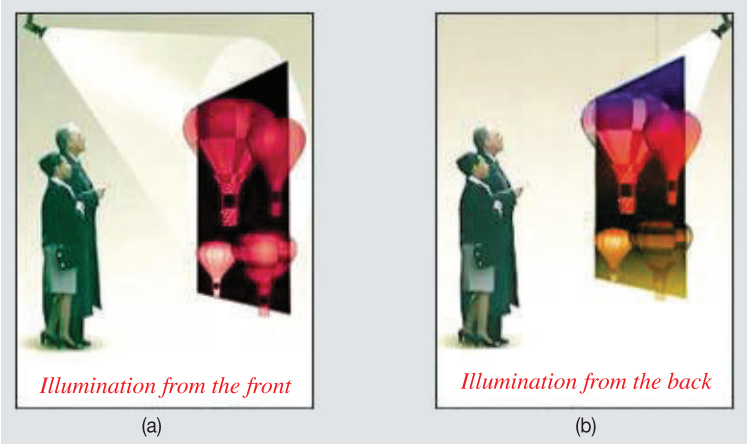


(a) 기록 (b) 재생

[그림 2] 홀로그램 기록과 재생

2. 홀로그래피의 분류

홀로그램은 기록 방식, 재생 방식, 그리고 용도에 따라 여러 가지로 분류 할 수 있다. 기록 방식으로 분류 할 경우 홀로그램은 진폭형 홀로그램과 위상형 홀로그램으로 분류 할 수 있다. 일반적으로 홀로그램을 제작하는 첫 단계는 물체의 상을 레이저 홀로그래픽 장치로 감광재료인 홀로그래픽 은염사진건판에 노출과정을 통해 기록을 하게 되는데 노출이 끝난 사진필름을 현상액에 담가 현상을 한 후에 정착을 거쳐 물로 수세를 하게 된다. 이때 공기 중에서 건조된 후에 얻어진 홀로그램을 진폭형 홀로그램이라고 하며, 이 홀로그램을 현미경으로 살펴보면 밝고 어두운 무늬로 이루어진 간섭무늬를 볼 수 있다. 밝은 무늬는 빛에 노출되지 않은 부분이며, 어두운 부분은 빛에 노출된 부분이다. 빛에 노출되어 어둡게 된 부분은 금속은으로 이루어져 있으며, 밝은 부분은 은염이 씻겨나가서 젤라틴으로만 되어 있다.



(a) (b)

[그림 3] (a) 반사형 홀로그램 재생 (b) 투과형 홀로그램 재생

이렇듯 빛에 노출된 정도가 홀로그램에 그대로 반영되도록 화학처리 과정을 거쳐 얻어진 홀로그램을 진폭형 홀로그램이라고 한다. 위상형 홀로그램은 진폭형 홀로그램을 표백과정이라고 하는 후처리 과정을 거치게 되면 얻어지는데, 이때 빛을 받아 어둡게 금속은으로 남아 있던 부분이 투명한 은염으로 바뀌어 육안으로 관찰 될 때 투명한 유리처럼 보인다. 이렇게 얻어진 위상형 홀로그램은 빛을 받은 부분이 은염으로 되어 있으며, 빛에 노출되지 않은 부분은 젤라틴으로 남아 있어 두 부분간에 굴절률 차이가 생겨 결과적으로 위상차에 의한 회절 현상이 일어난다. 이 때문에 홀로그램의 상 밝기가 대단히 뛰어나 현재 쓰이고 있는 홀로그램은 대부분 이 방식을 사용하고 있다.

홀로그램은 재생 방식에 따라 반사형과 투과형 홀로그램으로 분류되는데, 이들은 사실상 홀로그램을 기록 할 때 그 기록 방식에 의해 결정된다고 할 수 있다. [그림 3]은 반사형과 투과형 홀로그램의 재생 과정을 보이고 있다[1]. 투과형 홀로그램은 재생 시 홀로그램의 뒤에서 빛을 비추어 홀로그램을 투과하여 나온 상을 홀로그램의 앞에서 관찰하도록 제작된 것이다. 이것은 제작 시 물체파와 기준파를 같은 방향에서 사진필름에 입사시켜 노출시킨다. 이때 간섭무늬는 사진필름의 젤라틴면에 수직으로 형성된다. 반면에 반사형 홀로그램은 재생 시 홀로그램의 앞에서 빛을 비추어 홀로그램을 반사하여 나온 상을 홀로그램의 앞에서 관찰하도록 제작된 것으로 이것은 제작 시 물체파와 기준파의 방향을 감광재료의 반대 방향에서 서로 입사하도록 하여 얻게 된다.

이러한 분류 외에도 홀로그램은 멀티플렉스 홀로그램, 무지개 홀로그램, 컴퓨터 생성 홀로그램, 엠보싱 홀로그램, 그리고 스테레오 홀로그램으로 구분된다. [그림 4]에서 이러한 다양한 홀로그램을 보이고 있다[1].

2-1. 멀티플렉스 홀로그램(Multiplex hologram)

홀로그램은 피사체를 레이저 광으로 조명해서 기록하는 방법이었으나, 이것과는 별도로 보통의 카메라로 피사체를 다방면에서 촬영한 사진필름에서 홀로그램을 작성하는 방법을 멀티플렉스 홀로그램이라 한다. 멀티플렉스 홀로그램은 영상을 허공에 띄워주는 기법으로, 360도 육안 관찰이 가능해서 마치 실물이 허공에 존재하는 듯 한 착각이 들도록 해준다.

2-2. 무지개 홀로그램(Rainbow hologram)

홀로그램의 재생은 레이저광보다도 백색광이 사용하기 쉽고 또 용도도 확대되므로, 백색광으로 홀로그램을 재생하는 방법이 고안되었다. 그러나, 홀로그램을 백색광으로 조명하면 빛의 파장에 의해 회절광의 방향이 변화해서 희미해지기 때문에 여러 가지 방법이 고안되었다. 그중 수직방향으로의 관찰방향을 제한해서 빛의 파장을 단색화하는 것이 무지개 홀로그램이다. 무지개 홀로그램은 일반적으로 대형 디스플레이 홀로그램의 제작에 많이 사용되는데 간격이 작은 슬릿을 사용하기 때문에 상이 선명하며 밝다.

2-3. 컴퓨터 생성 홀로그램(Computer-generated hologram)

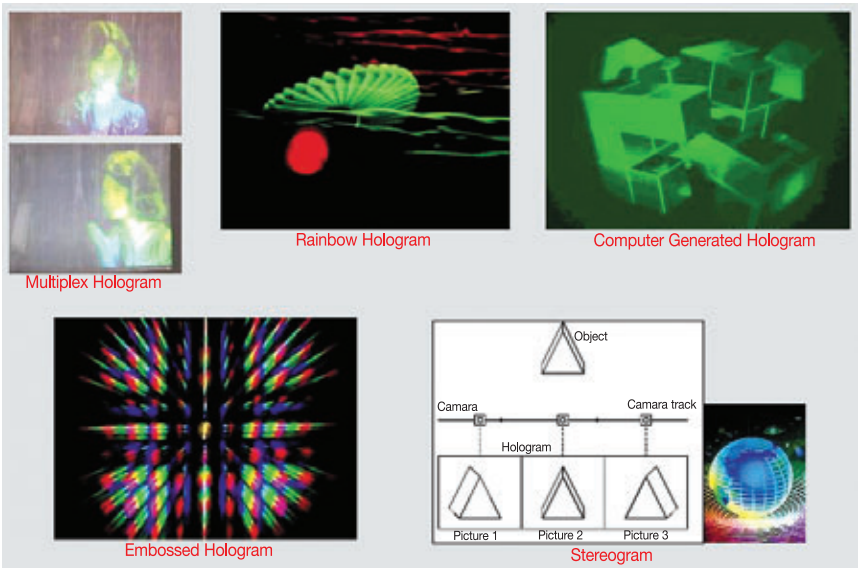
컴퓨터 생성 홀로그램은 홀로그램에 기록 된 간섭무늬의 형태를 컴퓨터로 계산 가능하며, 파면의 간격이 시간과 공간에 걸쳐 일정하게 유지되어 코히어런트 한 광이 어떤 형태를 가진 물체에 부딪쳐 반사 될 때에는 그 반사 된 광의 파면은 물체의 형태에 비례하여 달라진다. 즉, 파면의 위상 변화가 물체의 형상에 따라 변화한다. 그러므로, 컴퓨터 생성 홀로그램은 이러한 물체의 형상에 따라 변화하는 파면의 위상을 기하광학적인 방법으로 계산하는 것에 의해 얻어진다.

2-4. 엠보싱 홀로그램(Embossed hologram)

엠보싱 홀로그램은 Photoresist 감광 물질에 HeCd 레이저로 감광시켜, 마스터를 만든 후, 도금 과정을 거쳐 제작한다. 주로 Sticker나 Stanping 형태로 사용되며, 현재 연구되고 있는 위조나 복제 방지를 위한 마지막 대안으로 각광받고 있다.

2-5. 스테레오 홀로그램(Stereo hologram)

스테레오 홀로그램은 연속 촬영된 사진을 기록하는 것으로 적용이 자유롭다. 특히, 애니메이션화 할 수 있으며, 기존 1:1의 크기 개념에서 벗어나 다양한 크기의 확대 축소가 가능하다.



[그림 4] 다양한 홀로그램

3. 홀로그래피의 응용분야

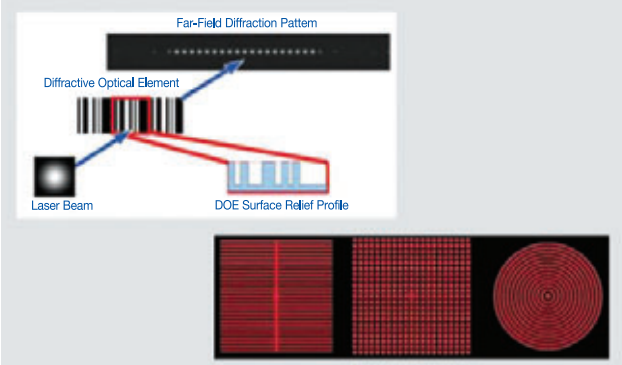
3-1. 홀로그램 위조방지

앞에서 소개한 바와 같이 홀로그램 영상은 생성 및 재생 과정이 광학적으로 이루어지기 때문에 기존의 인쇄로는 위 · 변조가 불가능하다. 즉, 다변하는 무지개 색 컬러 및 입체감은 컬러복사기 또는 정밀 스캐너에 의해 복사 될 경우 그 광학적 정보의 일부만이 인쇄되어 원래의 홀로그램과는 매우 다른 이미지를 얻게 된다. 그리고, 기존의 잉크에 의한 인쇄는 복제방지를 위해 부가적인 난이도를 올릴 경우 일반인들이 식별하기 어려워져 진품과 모조품의 구별이 모호해 질 수가 있으나, 홀로그램의 경우 유니크 한 영상으로 인해 변별력이 극대화되어 일반인들이 쉽게 구별할 수 있는 장점을 지니고 있다.

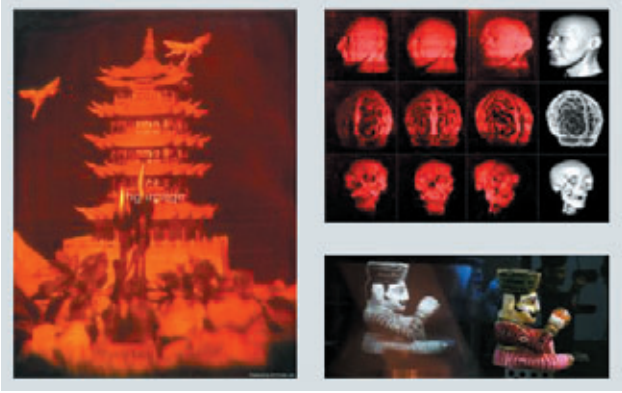
홀로그램 자체가 가지고 있는 복제의 난이성 및 식별의 용이성으로 인해 각종 위조방지용 라벨 및 핫 스템핑 포일로 이용되고 있다. 홀로그램이 채택됨으로서 진품의 사용량이 현격히 증가되어 매출액이 증가된다는 사례만 보더라도 모조품으로부터 진품을 보호하는 역할을 충분히 하고 있음을 알 수 있다.

부가적으로는 홀로그램 영상의 경우 미적인 아름다움을 표현 할 수 있으며, 전문적인 홀로그램 업체의 경우에도 각 사별 광학적 셋업의 차이점 및 스킬의 차이로 인해 잘 만들어진 홀로그램을 같게 만드는 것은 거의 불가능하다고 할 수 있다. [그림 5]에서 홀로그램 위조방지 예를 보이고 있다[1].

[그림 5] 홀로그램 위조방지 예



[그림 6] 홀로그래픽 광학소자 예



[그림 7] 홀로그래픽 디스플레이 예

3-2. 홀로그래픽 광학소자

홀로그래픽 광학소자는 홀로그램을 광학소자로 사용 할 경우 부르는 일반적인 명칭으로 홀로그램에 기록 된 파형을 재생시키거나 변형시켜서 원하는 파형을 얻고자 제작 된 광학 소자이다. 홀로그래픽 광학소자는 coherent 한 여러 개(대개 두개)의 빔에 의해 형성된 간섭무늬를 기록하여 제작하기 때문에 무늬간격이 균일하지는 않지만 일반적으로 잘 정의된 fringe 간격을 갖는 회절격자 구조를 갖고 있다. 따라서, 홀로그래픽 광학소자는 반사법칙이나 굴절법칙이 아닌 회절법칙에 따라 작동하는 회절형 광학소자이며, 이중에서도 가장 대표적인 회절형 소자가 홀로그래픽 회절격자이다.

홀로그래픽 렌즈 또는 홀로그래픽 광속분할기 등은 회절형 소자이지만 기능상으로는 재래식 렌즈 및 광속분할기와 똑같이 굴절형 소자나 반사형 소자로써의 역할을 수행한다. [그림 6]에서 홀로그래픽 광학소자 예를 보이고 있다[3].

3-3. 홀로그래픽 디스플레이

홀로그래픽 디스플레이는 홀로그래피의 원리를 이용하여 3차원 영상을 표시하는 기술이다. 광학적인 촬영과정 대신 컴퓨터 계산을 통하여 홀로그래피를 얻고 이를 광학적으로 재생하여 3차원 영상을 표시한다. 표시하고 있는 3차원 영상에 해당하는 홀로그래피의 계산은 빛의 간섭과 진행 등의 물리학적인 현상을 기술하는 복잡한 수식을 통하여 수행된다. 계산을 통해 얻은 홀로그래피는 공간광변조기 혹은 음향광변조기에 입력되고 이러한 장치에 의하여 변조된 빛은 3차원 영상으로 표현된다. [그림 7]에서 홀로그래픽 디스플레이 예를 보이고 있다[1].

4. 소결론

본 장에서는 홀로그래피의 역사, 원리, 분류, 그리고 응용 분야를 알아보았다. 홀로그래피는 한 마디로 말해서 물체에서 나오는 파동과 기준으로 잡은 파동 사이에서 간섭을 일으켜 물체에 관한 모든 정보를 사진건판에 기록시킨 다음 여기서 다시 물체의 3차원을 얻는 방법이라 하겠다. 그 응용 분야도 다양하다. 11월호에서는 홀로그래피 원리를 기반으로 한 여러 가지 기술에 대해 살펴보도록 하겠다.

참고 문헌

[1] Hologram, http://www.hologramsuppliers.com/
[2] Hologram, http://en.wikipedia.org/wiki/Holography
[3] Holoeye Systems, http://www.holoeyesystems.com/index.html