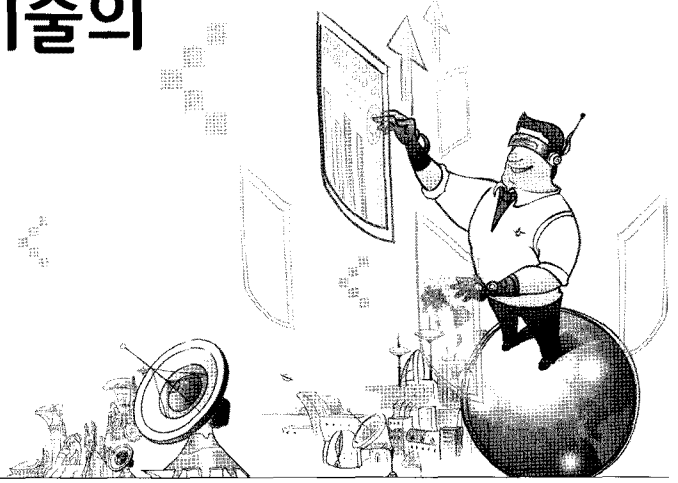


# 홀로그래피 : 완전 입체영상 기술의 전망

손욱호 ETRI 가상현실연구팀 책임연구원



## 1. 머리말

근래에 '아바타' 같은 3D 입체영화가 등장하여 흥행에 성공하고 또한 가정용 TV의 안경분야에 착용 및 무안경 방식의 입체 디스플레이 기술의 발전으로, 입체영상 제작 기술에 관한 관심이 고조되고 있다. 이렇듯, 차세대 3D 정보단말 기술의 총아로 불리는 3D 입체영상 기술은 영화, 방송, 오락, 우주항공, 군사, 의료 등 거의 모든 산업 광범위하게 활용되어 큰 영향을 가져올 것으로 예상되는 등 부가가치 파급효과가 지대할 것으로 예상되어, 최근 3D 영상기술개발 관련 커뮤니티에 회자되고 있을 뿐만 아니라 향후 연구개발 관련해 국가적인 이슈로 등장하고 있다.

3D 스테레오 입체영상의 가장 기본적인 원리는 인간의 시각시스템이 좌·우 눈의 위치 차이에 의해 서로 다른 영상을 받아들이고, 뇌는 이것을 입체로 받아들여 거리감을 갖게 되는 과정에서 입체감을 생성하게 된다는 것이다. 즉, 두 눈 간의 간격에 의해 사람이 사물을 바라볼 때 약간 다른 상이 두 눈의 망막에

맺어지게 되며 이 미세한 차이를 뇌가 해석하여 입체감을 느끼게 된다.

이러한 기존의 안경 및 무안경 방식의 입체영상 처리 기술은 모두 스테레오 방식으로, 양안 시차의 원리에 의해 인간의 시각 구도를 모방해 좌우 두 개의 2차원 영상을 이용해 3차원 영상을 출력해주는 방식으로 현재의 기술로 구현 가능한 입체영상 생성 기술이다. 최근에는 스테레오 영상의 입체시야각 확대를 위해 다시점(multi-view) 방식의 입체영상 입출력 방식이 활발히 연구되고 있다.

3D 입체영상 기술은 1838년 영국의 찰스 휘트스톤이 스테레오스코프(Stereoscoph)를 발표한 이후 국내외적으로 활발한 연구개발 작업이 진행되어, 상당 부분 현실에 적용되고 있다. 3D 입체영상 제공 기술은 크게 좌우안에 다른 영상을 제공해 그 시차로 인해 깊이감을 느끼게 하는 안경착용 방식과 무안경 방식으로 구분되어, 안경착용 방식은 다시 편광안경 및 셔틀 글래스 방식으로 나눌 수 있다. 무안경 방식은 안경착용 방식과 같이 관찰자의 좌우안에 다른 영상을 보여

주는 시차방식의 직접 영상(렌티큘러, 패럴랙스 배리어, 패럴랙스 일루미네이션)과 공간상에 실제로 3차원 영상을 생성하기 위해 물체의 단면 영상을 연속적으로 재생하는 체적(volumetric) 방식, 그리고 3차원 물체의 파면 정보를 기록 및 재현하는 홀로그래피 방식이 존재한다.

## 2. 홀로그래피 기술 현황

양안시차 방식의 입체영상 제공 기술은 몇 가지의 이유로, 자연스러운 입체영상과는 다르게 인간에게 두통 및 어지럼증 등의 근원적인 문제점을 안고 있다. 이는 모두 입체영상 제작 시의 영상정렬, 광학적 왜곡, 입체감 조절을 위한 카메라 세팅 및 감성적 측면 등의 충분한 고려를 하지 못한 입체영상물 촬영 및 디스플레이 장치의 세팅, 좌우 영상을 번갈아 뿌려주면서 발생하는 플리커 현상, 또한 과도한 돌출효과 생성에 의한 입체영상 자체의 왜곡 등에 기인하게 된다.

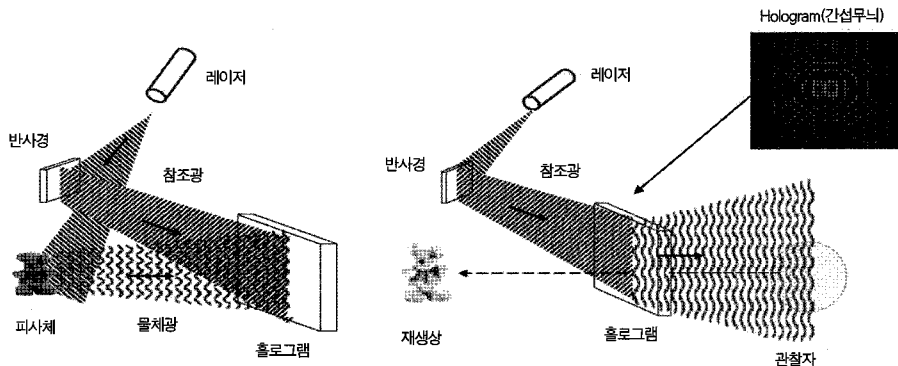
이러한 양안시차 방식의 문제점으로 야기되는, 스테레오 방식 입체영상 시청의 불편함을 근원적으로 해결해 줄 수 있는 방식이 홀로그래피 기술이다. 일반적으로, 인간은 물체에 부딪쳐 나오는 빛으로 인해 3차원 물체를 인지하게 되는데 이 물체의 빛을 생성할 수만 있다면, 실제의 물체 형상을 재현하는 것이 가능하

게 될 것이다. 홀로그래피는 이것을 실현한 것으로, 레이저 빛을 사용해 물체로부터 반사되어 나오는 물체파를 또 다른 방향에서 나온 레이저 빛과 만나게 하여 사진필름에 함께 기록한다. 이 때 두 방향의 빛이 만나면 물체의 각 구분에서 반사된 물체파의 위상 차이에 따른 간섭무늬가 생성되고 이 간섭 무늬에는 물체의 진폭과 위상이 함께 기록된다. 이렇게 간섭무늬의 형태로 물체의 형상이 기록된 사진필름을 홀로그래피라 하면, 홀로그래피를 기록하는 기술을 홀로그래피라고 칭한다.

즉 홀로그래피는 두 개의 레이저광이 상호 만나 일으키는 빛의 간섭효과를 이용, 사진용 필름과 유사한 표면에 3차원 이미지를 기록한 것이다. [그림 1]은 이러한 홀로그래피 생성의 기본 원리를 잘 보여주고 있다.

여기서 유의할 점은 홀로그래피에 기록된 피사체의 영상을 재현하기 위해 빛의 파면 질서도가 높은 광원을 홀로그래피에 조명하게 되면 원래 피사체의 공간 영상이 재생되나, 이 경우에는 홀로그래피의 기록 시 광원과 재현 시 광원의 특성에 차이가 있다면 재생영상과 원래 피사체가 형태 및 위치에 있어서 미소한 차이가 있을 수 있으므로 양 광원의 통일이 필요하다.

홀로그래피는 1948년 영국의 물리학자인 데니스 가보가 그 원리를 발견하여 노벨상의 영예를 안았고, 1960년대 레이저의 개발로 본격적인 홀로그래피의 응용기술



※출처: ETRI 창의연구본부, 2010.09

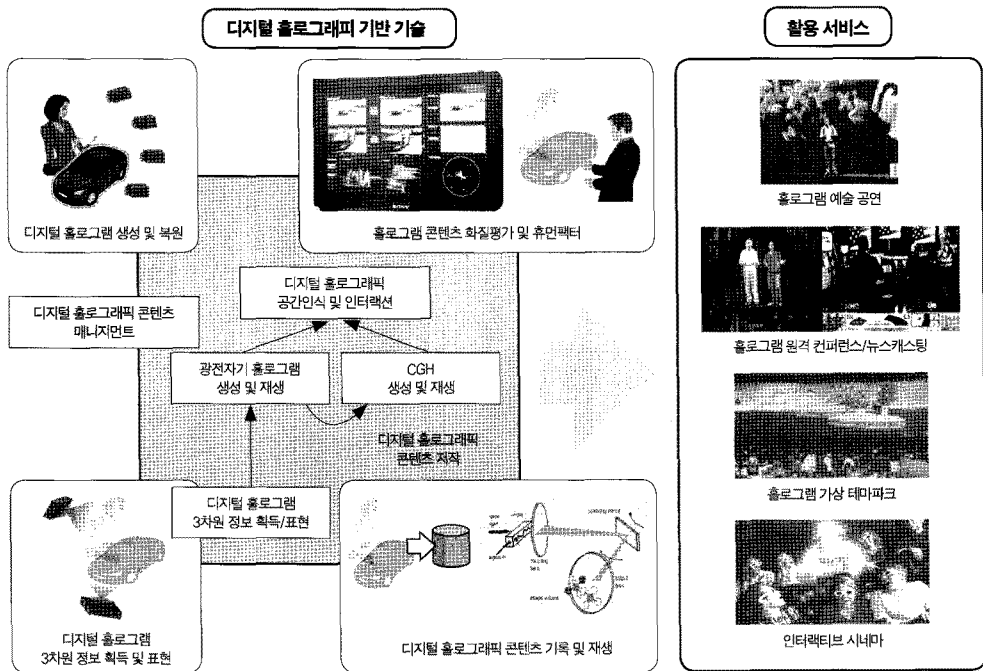
[그림 1] 홀로그래피의 생성 원리

이 발전되어 왔다. 홀로그래피에서 홀로의 어원이 완전 또는 모두라는 뜻을 내포하고 있듯이, 홀로그래피는 완벽한 3차원 영상재생에 필요한 모든 정보를 담고 있으며 누구나 편하게 어떠한 각도에서든지 3차원 영상을 볼 수 있으므로, 홀로그래피에 의해 생성된 완전한 3차원 영상은 기존의 스테레오 입체영상 생성 방식에서 야기되는 눈의 피로감과 어지럼증 등의 문제를 근원적으로 배제할 수 있는 기술이다.

이렇듯 홀로그래피는 실사로부터 반사 또는 회절(diffraction)되어 전파되는 빛의 분포를 기록 및 재현하는 기술로, 공간상에 실사에 대한 상을 완벽하게 재현하며 관찰자에게 실사 관찰과 같은 입체감을 제공한다. 디지털 홀로그래피는 이러한 홀로그래피 기술을 전자기기 및 광전자기기를 이용해 구현하고, CCD 및 CMOS를 포함하는 광전자기에 의해 획득 또는 수학적 모델에 의해 생성된 홀로그래픽 패턴<sup>1)</sup>을 광정보처

리를 통해 디지털 데이터 형태로 조작가능하게 하여, 홀로그래피를 디지털 영상 미디어인 정지 및 비디오 콘텐츠 등으로 가공하여 폭넓은 산업에서의 무궁무진한 응용 분야에 활용될 수 있도록 하는 아주 중요한 기술이라 말할 수 있다.

향후, 홀로그래피 관련한 기술적 용어를 통일하는 것이, 홀로그래피 연구개발자 간의 올바른 소통 및 관련 산·학·연 커뮤니티에서 독자적인 위상정립에 기여한다는 측면에서 무척 중요하다고 할 수 있다. 홀로그래피 기술 관련 용어를 정리하자면, 우선 디지털 홀로그래피(Digital Holography)는 기존의 CCD(Charge-Coupled Device) 카메라를 이용하여 홀로그래피를 촬영하고 컴퓨터를 이용하여 영상을 재생하는 방식과 기존의 프티팅 기술을 이용하여 Embossed 홀로그램<sup>2)</sup>을 제작하는 방식 등을 통틀어 지칭한다. 이와 비교해, 흔히 일컫는 전자 홀로그래피(Electro



[그림 2] 디지털 홀로그래피 기반 기술 및 활용성

1) 수학적 모델에 의해 생성된 홀로그래픽 패턴은, 컴퓨터를 이용해 계산하는 방법으로서 CGH (Computer-Generated Hologram)이라고도 함  
 2) Embossed 홀로그램: 레이저로 기록되는 간섭무늬를 화학적인 소재에 기록하는 방법에서 표면에 수 마이크로 단위의 요철로 기록할 수 있는 소재가 개발되면서 홀로그램의 대량생산의 길이 열렸으며 이러한 요철을 이용해 홀로그램을 복제 또는 대량생산하는 방법을 일컫음

Holography)는 홀로그램을 전자적으로 디스플레이 하는 방식을 통틀어 지칭한다고 보면 된다. 특히, 미래 연구개발 주제로 등장하고 있는 디지털 홀로그래피 처

리 기술은 [그림 2]와 같이 개념화하여 나타낼 수 있다. 디지털 홀로그래피 기반 기술의 이론이 해외 대학 및 연구소를 중심으로 폭넓게 연구되어 왔으며, 이론

〈표 1〉 국외 홀로그래피 기술 개발 현황

국가	기관	내용
미국	MIT 미디어랩	다채널 AOM 광학변조기와 LCD를 이용한 5인치급 디지털 홀로그램 동영상 재생시스템인 'HoloVideo'를 개발했으며, 홀로그램 데이터 처리 방법론, 햅틱을 이용한 홀로그램 인터랙션 등 디지털 홀로그램 관련 기초 연구를 수행 중
	NSIC	DARPA 지원 하에 홀로그램을 이용한 차세대 대용량 저장장치를 개발하기 위해 광굴절 저장물질을 개발하는 산학연 컨소시엄 형태의 대형 국책 프로젝트인 PRISM(Photorefractive Information Storage Materials)과 시스템 및 관련 부품을 개발하기 위한 HDSS(Holographic Data Storage System)를 수행 중
	커네티컷 대학교	디지털 홀로그램의 부호화를 위한 기술개발을 진행
	버지니아 공대	레이저빔이 생성하는 간섭무늬를 전기신호로 변환 및 저장해, 고해상도의 CCD 카메라 없이 효율적으로 홀로그램 데이터를 획득할 수 있는 광주사 홀로그래피(Optical Scanning Holography) 기술을 개발
일본	게이오대학	레이저 집광과 공기 중의 플라즈마 생성을 통해 점(flashpoint) 단위공간 영상의 실험적인 생성에 성공
	NTT	홀로그램 대용량 저장장치에 대하여 연구가 진행 중임
	동경대	2009년 Touchable 홀로그램 초기 연구결과물을 시연하여, 사용자와 인터랙션이 가능한 홀로그램의 개발 가능성을 시사
	지바대	LED 광원을 이용하여 실시간으로 컬러 홀로그램 영상 복원이 가능하도록 FPGA 기반의 컬러 홀로그래픽 디스플레이 장치를 개발
	NHK	HD급 공간광변조기(SLM)를 이용해 고해상도 홀로그래픽 디스플레이를 개발
유럽	빌켄트대학 (터키)	유럽 7개국이 참여하는 FP7의 'Real3D' 프로그램을 통하여, 디지털 홀로그래피의 신호처리 및 디스플레이 기술 개발을 주도
	범유럽 산학연 컨소시엄 (프랑스 · 영국 · 이탈리아 · 스위스)	항공용의 자동 물체인식장치 · 자동 물체추적 장치 · 공장 자동화용 형상인식 장치에 응용이 가능한 초고속 홀로그래픽 디지털 광상관기 및 대용량 저장장치 개발을 위하여 BRITE-EuRAM 프로젝트를 수행 중
	SeeReal (독일)	사용자의 관심영역에만 홀로그램 영상을 생성함으로써 처리할 영상정보의 양을 줄이는 Sub-hologram 기술을 창안, 20인치급 홀로그래픽 디스플레이 장치를 개발

〈표 2〉 국외 홀로그래피 기술 개발 현황

기관	내용
서울대	공간 광변조기를 원통형 구조의 어레이로 배열하여 홀로그램 복원시 시야각을 넓히는 연구를 진행 중
광운대	동영상 표준 코덱을 이용한 디지털 홀로그램의 압축방식, 고속 CGH 생성기술, 디지털 홀로그램의 보호 및 보안 기술, 컬러 홀로그래픽 디스플레이 기술 등의 전반적인 기술개발을 진행 중
세종대	광 주사 홀로그래피를 이용해 실제 물체의 복소수 홀로그램을 추출하는 홀로그램 정보 추출 기술, 추출한 복소수 홀로그램을 변환해 데이터 량을 줄이는 디지털 변환 처리 기술, 쌍영상 잡음 없이 복원하는 복원 기술을 진행 중
충북대	직접 광학계를 이용해 촬영한 객체의 요소영상을 합성하여 객체의 홀로그램 생성하는 연구를 진행 중
KIST	홀로그래픽 스크린 시스템 및 홀로그램 데이터 입출력 시스템을 개발
ETRI	3D 방송과 홀로그래픽 시스템 연구

적으로는 어느 정도의 가시적인 결과물이 나타나고 있는 상황이다. 또한 재료, 화학 및 나노기술의 발전으로 홀로그래픽 데이터를 표현 및 실사로 재현할 수 있는 홀로그래픽 TV를 개발하기 위한 개념연구가 진행되고 있다. 국외 및 국외의 홀로그래피 기술의 연구개발 현황은 <표 1>과 <표 2>에 나타나 있다.

### 3. 향후 발전전망

상기에 서술된 바와 같이 홀로그래피는 완벽한 입체 영상을 제공하지만, 아직까지 실용화 및 상용화를 위한 모델이 제시되지 못하고 있다. 특히, 디지털 홀로그래피(CGHI) 기술은 이론적인 면에서 비약적인 발전을 거듭하고 있음에도 불구하고, 물리적인 측면에서 상용화 수준의 전자식 홀로그래픽 디스플레이 실현에는 아직 큰 한계가 존재한다.

예를 들어 50인치급의 홀로그래픽 디스플레이 실현을 위해서는 SHD(Super HD)급 공간광변조기가 수천 개가 필요한데, 현재로서는 이러한 디지털 홀로그램을 디스플레이할 수 있는 광학소자 기술이 없다. 현 평판 디스플레이 기술 수준으로는 상용화 수준의 홀로그램 디스플레이 실현이 어렵다고 판단되며, 단 현 산업 기술의 수준을 고려할 때 10년 이내에 시분할 또는 공간분할 방식의 SLM을 사용해서만 50인치급 홀로그래픽 디스플레이 실현이 가능할 것으로 희망적인 전망을 해볼 수 있다. 또한, 충분한 가시영역을 가진 실시간 홀로그램을 구현하기 위하여 HDTV의 250,000배 해상도와 수백 Peta( $10^{15}$ ) FLOPS의 처리 성능을 필요하다고 밝히고 있다.<sup>3)</sup>이 밖에 순수 홀로그래피 기술의 경우에도 사용자의 시야가 영상장치 면의 앞쪽으로 제한되며 재생상은 일반적으로 영상장치 뒤쪽 공간에 영상이 떠 있는 형태가 되고, 영화에서 보는 것과 같이 영상장치와 떨어진 허공에 영상을 맺히게 하는 것

은 또 다른 투자장치를 필요로 하는 등, 실용가능한 홀로그래픽 디스플레이 개발에는 여러 가지 기술적인 난점을 지니고 있다고 보면 된다.

기존의 안경 및 무안경 방식 입체영상의 기술적 한계를 근원적으로 극복하고 이미 선진국에 뒤처져 있는 기존 3D 영상 응용기술에 대응하여 영화, TV 등 엔터테인먼트 산업에 새로운 활력소로 작용 가능한 차세대 3D 영상 콘텐츠 제작기술 확보로 기존 시장 확대를 견인해야 되는 상황이다. 신개념의 입체영상 처리 기술인 홀로그래피는 이러한 상황을 타개하기에 적합한 기술이라 할 수 있다.

2010년 11월 <네이처>지에 발표한 나세르 페이검바리언 교수 연구팀에 의하면, 10년 내로 안방의 3D 비디오 스크린에 완전한 홀로그램을 구현할 수 있을 것이라고 예측하고 있으며, 2010년 12월 IBM은 5년 후 주목해야 할 혁신적인 기술에 홀로그램 휴대전화를 포함하여 현재의 화상채팅 기술이 3D 영상통화 수준으로 진화될 것으로 예견하는 등 최근 선진국에서는 앞다투어 홀로그래피 기술에 대한 잇단 장밋빛 전망을 내놓고 있다.

홀로그램 관련 시장 규모도 2022년 경에는 홀로그래픽 콘텐츠, CAD 시스템, TV, 부품 등까지 포함하여 약 40억 달러 이상의 규모로 성장할 것으로 전망되는 등, 홀로그램의 미래 성장성은 무척 밝다고 할 수 있다.<sup>4)</sup>

이와는 별개로, 문화체육관광부에서는 미래에 예상되는 홀로그램의 활용 예를 <표 3>과 같이 제시하고 있다.

### 4. 맺음말

이렇듯 최근 대내외적으로 각광을 받고 있고 또한 관련 대형 연구개발 계획이 추진되고 있는 등 차세대 3D 입체영상 기술의 뜨거운 감자인 홀로그래피 판

3) 출처: SeeReal Technologies, "Discover the Real World Holography"

4) 출처: Business Communication Company Inc. 보고서

〈표 3〉 홀로그램 활용 예

응용 분야	개념
홀로그램 전시	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 특정 지역에 존재하는 실물 문화재 또는 전시물을, 원격지 여러 타 지역의 전시관에서 완전 입체영상으로 동시에 가상적으로 전시하는 데에 활용</li> <li>· 전국 각지에 산재해있는 많은 전시관에 역사적 유물을 실물같이 관람이 가능함</li> </ul>
홀로그램 예술공연	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 디지털영상과 실물이 합성되어 꾸며지는 무대 장면에 실물 수준으로 가변적인 기능을 제공할 수 있는 시스템임</li> <li>· 홀로그래피를 이용하여 손쉽게 실사 수준으로 백그라운드(background) 및 포어그라운드(foreground) 형식의 가상 물체를 실물에 합성을 가능케하여 다양한 무대 상황을 재현가능하게 함</li> <li>· 무대 감독의 무대상황에 대한 변경 요구사항을 별도의 무대장치기 필요없이 반영 가능하게 함으로써, 저가의 가변적인 무대설비에 대규모적으로 활용 가능함</li> </ul>
홀로그램 체감형 게임	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 모바일 홀로그램 디스플레이상에서, 완전한 입체영상을 대상으로 사용자의 직접적인 인터랙션에 반응하는 신개념의 모바일 입체 게임에 활용</li> </ul>
홀로그램 원격 컨퍼런스	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 완전 입체영상 기반의 실감 영상 회의를 지원할 수 있는 기반기술을 제공</li> <li>· 원격교육 및 원격회의에서의 의사소통 및 정보전달체계의 획기적 개선으로, 사회 전반에 걸쳐 원격 대화 및 토론 문화가 보편화될 것으로 기대</li> <li>· 원격회의의 일반화에 의한 교통수요 감소 및 친환경 효과가 탁월하여 녹색성장 도구로 활용 가능</li> </ul>

※ 출처: 문화체육관광부 문화기술개발사업 기획보고서, 2010.12

련해 세계 최고의 기술력을 확보하고 또한 데이터 처리 표준화를 선도할 필요성이 있으며, 세계적으로도 기반기술 개발 단계인 홀로그래피 기술 수준을 퀀텀점프(Quantum Jump)시킬 수 있도록 국가정책 차원의 집중적이면서도 장기적인 연구개발 지원책을 추진 및 실행해야되는 시기가 무르익었다고 본다.

단, 홀로그래피 기술의 고난도성에 따른 장기적인 개발기간을 감안할 때, 현재로써는 단기적인 관점에서 현 산업기술에 의해 실현 가능한 다양한 디지털 홀로그래피의 응용 분야발굴에 집중하고 홀로그래피 디스플레이를 위한 기반 기술 개발에 중점을 두는 것이 타당하다고 판단된다. 실제로 현 수준의 디지털 홀로그래피 기술로도 적용가능한 무궁무진한 응용 분야 개척이 가능하며, 홀로그램 영상의 생성 및 재생 과정이 광학적으로 이루어지기에 기존의 인쇄로는 위·변조가 불가능하다는 점에 착안하면 다양한 응용상품 발굴이 가능하다.

홀로그램 자체가 가지고 있는 복제의 난이성 및 식별의 용이성으로 인해 각종 위조 방지용 라벨 및 핫스탬핑 포일로 이용되어 스티커나 열전사 포일(Hot Stamping Foil)의 형태로 각종 순정부품 표시용 라벨

또는 인증서로 작용해 진품 보호 용도로 쓰이거나 음반, 영상물, 소프트웨어 등의 협회용 또는 진품 라벨로 쓰여 지적 재산권 보호에 이용되며 상표 도용을 막는 기능을 수행하고 있다. 또한, 선경 홀로그램에서 최근 개발한 투명 홀로그램의 경우 운전 면허증에 도입되어 See-through 기능을 살려 피착재의 인쇄물을 재생함과 동시에 위조방지 활용의 예에서 보듯이, 신용카드, 각종 ID card, 여권, 면허증 등의 정부기관용 카드나 공문서 등에 도입되어 위/변조를 막는 기능으로 활용될 수 있다. 이외에도 현 산업기술을 이용하여 실용화 및 상용화가 가능한 홀로그래피 프린터, 홀로그램 현미경, 홀로그램 계측기 등의 새로운 응용 제품에 얼마든지 활용이 가능하다.

이상과 같이, 홀로그래피 기술개발은 아직도 갈 길이 멀지만 일단 기술개발의 가시적인 성과가 도출되고 상용화를 위한 모델이 발굴되기 시작하면 더 큰 가능성을 위한 산학연 관계자들의 도전이 배가될 것이며, 전략적 차원의 시의적절한 연구개발투자에 의해 무궁무진한 가능성을 지닌 실용화 기술개발이 앞당겨질 것으로 본다. **TTA**