

# 360도 테이블탑형 디지털 홀로그래픽 디스플레이 기술 동향

□ 임용준, 김진웅 / 한국전자통신연구원

## 요약

디스플레이 소자 평면에서부터 육안으로 관찰 가능한 입체 영상 영역까지의 물리적인 거리 조절을 바탕으로 공간상에서 재현될 수 있는 3차원 영상에 대한 기대감은 다양한 형태의 디지털 홀로그래픽 디스플레이를 개발하는 주요한 요인이 되어 왔다. 공간 광 변조기의 픽셀 크기에 의존하는 디지털 홀로그래프 영상의 시야각과 픽셀 수에 의존하는 홀로그래프 영상 크기로 인한 제약 사항들을 극복하는 방법을 토대로 다수의 시청자가 동일한 3차원 영상을 관찰할 수 있는 홀로그래픽 디스플레이에 대한 연구가 나타나기 시작하였다. 본 고에서는 테이블 형태의 공간상에서 관찰 가능한 디지털 홀로그래프 기술에 관한 연구 동향을 소개하고자 한다.

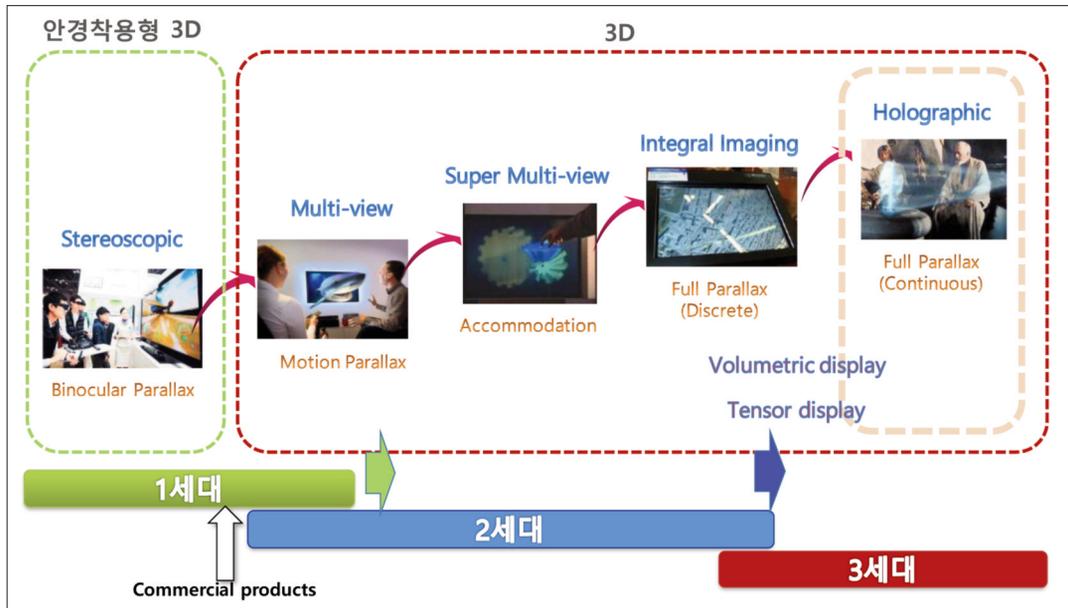
## I. 서론

3차원 디스플레이 기술은 사물의 자연스러운 형

상을 구현하는 방향으로 개발되고 있으며, 최근의 가상 및 증강 현실에 대한 소비자들의 관심도가 증가함에 따라서 Microsoft 및 Google과 같은 글로벌 기업들은 소비자의 기대감을 충족하기 위한 관련 제품들을 출시하고 있다[1]. 일반적으로, 3차원 디스플레이 기술은 안경을 착용하는 방식과 무안경(glasses-free) 방식으로 양분할 수 있으며, 후자는 주로 렌티큘러(lenticular) 렌즈를 이용하는 양안 시차 방식, 다시점 방식, 집적 영상 방식, 체적형 방식 그리고 홀로그래피 방식 등으로 세분화할 수 있다[2]. <그림 1>에는 3차원 영상 기술 방식과 그 진화 방향에 따른 그림을 도식화하였다.

양안 시차(binocular parallax) 방식은 가장 간단한 입체 영상 구현 방식이며, 이미 상용화가 많이 이루어진 기술이다. 그러나 양안 시차 방식은

※ 본 연구는 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 '범부처 Giga KOREA 사업'의 지원을 받아 수행된 연구임[GK19D0100, 디지털 홀로그래픽 테이블탑형 단말 기술 개발].



〈그림 1〉 3차원 영상 기술 방식에 따른 진화 방향

수평 방향의 시차만 제공하고, 불연속적인 시점을 형성하게 되어 자연스러운 형태의 3차원 영상을 시청하기가 어렵다. 뿐만 아니라, 일반적으로 사람이 현실세계에서 3차원 형태의 사물을 인식할 때에는, 두 눈의 동공이 바라보는 방향(수렴)과 수정체의 초점은 동일하다. 그러나 2차원 구조의 디스플레이 소자로부터 3차원 영상을 만들 경우에는 수렴-초점(vergence-accomodation)이 일치하지 않는 현상이 나타나게 되는데, 이로 인해서 입체 영상 시청자는 피로감을 느끼게 된다[2].

관찰자가 3차원 영상을 시청할 때에는, 영상에 포함되는 깊이 단서(depth cue)에 의해서 3차원 영상을 인지한다. 〈표 1〉에서는 3차원 디스플레이 구현 방식에 따른 심리적 단서와 물리적 요인을 나타내었다. 안경식 입체 디스플레이(stereoscopic display) 방식, 다시점 디스플레이(Multi-view display) 방식, 라이트 필드 디스플레이(Light field display)

방식, 그리고 유사 홀로그램(pseudo hologram) 방식은 구현할 수 있는 깊이 인지 요소가 제한적이다. 하지만, 디지털 홀로그래픽 디스플레이(digital holographic display) 방식은 깊이 인지 단서를 모두 표현할 수 있으며, 기존의 양안 시차방식에서 발생하는 초점-수렴 불일치(vergence-accomodation mismatch)에 의한 피로감이 발생하지 않는 장점을 가지고 있다[3].

일반적으로 디지털 홀로그램 디스플레이는 스타워즈(1978)나 아바타(2009)와 같은 공상 과학 영화에서 보여지는 장면을 떠올리게 한다. 이러한 예상과는 달리, 지금까지 연구되거나 구현된 프로토타입(prototype)의 디지털 홀로그래픽 디스플레이는 아직 작은 시야각으로 인해서 사실감있는 3차원 영상을 제공하지 못하고 있다[4-7]. 디지털 홀로그램 기술의 가장 큰 제약 사항은 주로 현재 사용 가능한 공간 광 변조기(SLM, Spatial Light

〈표 1〉 3차원 디스플레이 방식에 따른 깊이 인지 가능 요소

	Binocular Disparity	Convergence	Motion Parallax	Accommodation
Stereoscopic display	Yes	Yes	No	No
Multi-view display	Yes	Yes	Limited (discrete)	No
Light field display	Yes	Yes	Yes	Limited
Pseudo Hologram (2D display)	No	-	No	-
Digital Holographic display	Yes	Yes	Yes	Yes

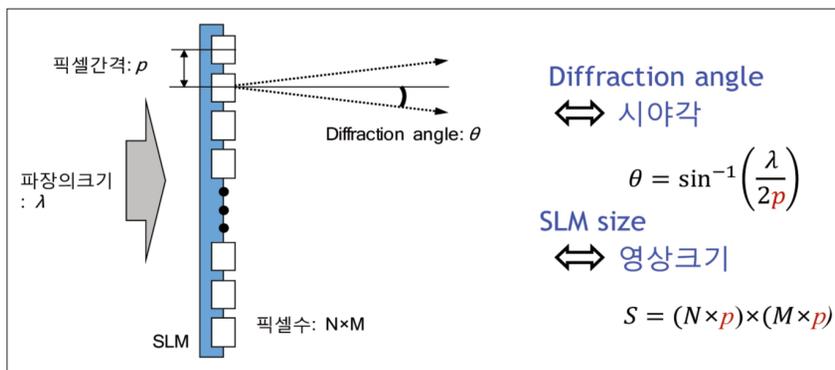
Modulator) 성능의 한계 때문인데, 이는 곧 SLM의 픽셀 해상도 및 픽셀 피치에 의해 주어진 SBP의 관점으로부터 설명이 가능하다. 즉, SLM을 구성하는 물리적인 구성 요소들 가운데 하나인 각 요소 픽셀의 크기는 홀로그램 영상을 관찰할 수 있는 시야각을 결정하고, SLM을 구성하는 전체 픽셀 수는 SLM으로부터 구현 가능한 홀로그램 영상의 최대 크기와 관련이 있다. SLM으로부터 디지털 홀로그램을 시청할 수 있는 시청 영역과 홀로그램 영상의 전체 크기를 동시에 표현하기 위해서 공간 대역 곱(Space Bandwidth Product, SBP)을 정의할 수 있다. SBP는 다음과 같은 수식으로 표현할 수 있으며[8], 〈그림 2〉에는 SLM의 물리적인 구조로부터 SBP를 도출하는 방법에 관한 개략도를 나타내었다.

$$SBP = N_p \times M_p \times \theta \tag{1}$$

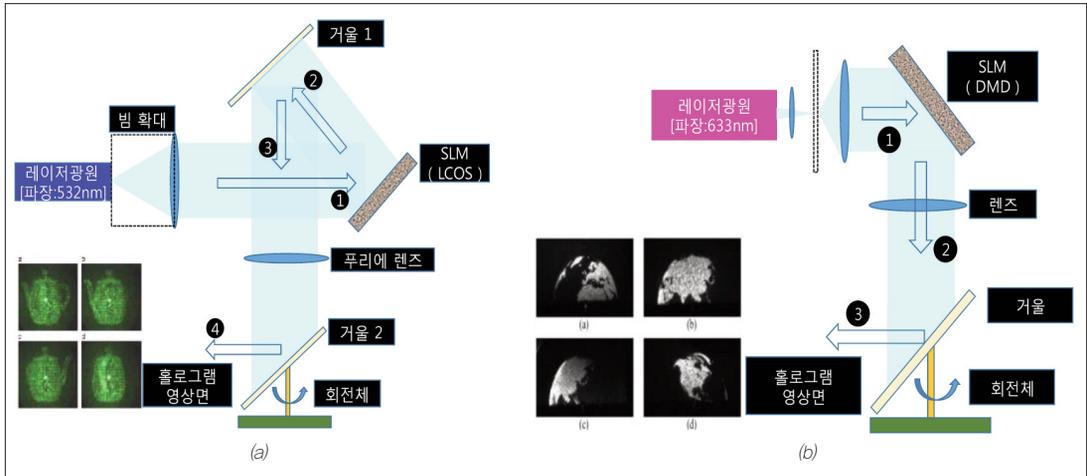
위의 수식(1)에서  $N_p$ 와  $M_p$ 는 각각 수평 및 수직 방향의 SLM의 크기를 나타내며, 픽셀 수와 각요소 픽셀 크기(또는 픽셀 간격)의 곱으로 구할 수 있다.  $\theta$ 는 각 요소 픽셀의 크기와 SLM으로 입사하는 광원의 파장의 크기로부터 구할 수 있으며, 이는 수평 및 수직 방향의 시야각을 결정한다.

## II. 디지털 홀로그래픽 디스플레이 기술 동향

앞서 설명한 바와 같이, 디지털 홀로그래픽 디스플레이 기술은 3차원 영상을 제공하는데 있어서 많



〈그림 2〉 공간 대역 곱(SBP)의 구조적 해석



〈그림 3〉 시분할 방식의 360도 디지털 홀로그래픽 디스플레이[9,10]

은 장점을 가지고 있지만, 이상적인 디지털 홀로그래픽 디스플레이를 구현하기 위해서는 SLM을 구성하는 SLM의 픽셀 크기가 충분히 작아야 하며, 동시에 SLM의 전체 크기는 커야 한다. SLM의 작은 픽셀 크기 또는 픽셀 간격은 홀로그램 영상의 시정 범위를 결정하는 요소이며, SLM의 전체 크기는 홀로그램 영상 크기를 결정하는 요소가 된다. 따라서, 현재의 기술을 바탕으로 이용 가능한 SLM으로부터 홀로그래픽 디스플레이를 구현하기 위해서는 추가적인 방법을 적용하는 것이 필요하다. 주로 이용되는 방법은 고속으로 동작이 가능한 SLM을 이용하는 시간 다중화(temporal multiplexing) 방법이 있으며, 다수의 SLM을 이용하는 공간 다중화(spatial multiplexing) 방법, 그리고 이러한 시간 및 공간 다중화 방법을 동시에 적용하는 시공간 다중화(spatio-temporal multiplexing) 방법이 주로 사용되고 있다. 디지털 홀로그램의 구현에 있어서 필요한 홀로그래픽 디스플레이용 SLM의 높은 가격과 다수의 SLM을 이용하게 될 경우에 증가하는

광학 시스템의 복잡도 문제로 인해서, 현재 연구 및 개발 단계에 있는 디지털 홀로그래픽 디스플레이 시스템에서는 주로 최소 수량의 SLM을 적용하는 시간 다중화 방법에 대한 연구가 주를 이루고 있다. 아래에서는 최근 발표된 디지털 홀로그래픽 디스플레이 관련된 연구동향을 소개하고자 한다.

### 1. 360도 홀로그래픽 디스플레이 기술 연구 동향

대만의 중산 대학(Sun Yat-sen University) Biao Wang 교수 연구진에서는 푸리에 방식의 컴퓨터 생성 홀로그램(CGH, Computer Generated Hologram)을 회전하는 미러에 투영시키는 방법을 통해서 360도 전방향에서 홀로그램 영상을 시청할 수 있는 방법을 제안하였다[9]. 〈그림 3〉(a)에서 보여지듯이, 거울에서 반사된 CGH는 대상 객체의 특정 각도를 형성하고, 평면상에서 형성된 시야 영역 범위를 연결하면 잔상 효과를 통해 360도 방향

에서 홀로그램 영상을 시청할 수 있는 디지털 홀로그래픽 디스플레이를 구현할 수 있다. 또한, 일본 Utsunomiya 대학의 Toyohiko Yatagai 교수 연구진은 고속 디지털 마이크로 미러 디바이스(DMD, Digital Micro-mirror Device)를 SLM으로 사용하여 360°의 시청 범위를 제공할 수 있는 홀로그래픽 3차원 디스플레이 시스템을 구성하였다[10]. 회전하는 미러의 고속 동작으로 인해서 다수의 시청자가 홀로그램 영상을 관찰할 수 있는 디지털 홀로그래픽 디스플레이 시스템을 구현하였다. 기본적으로 시간 다중화 방법을 바탕으로 360도 방향으로 홀로그램 영상을 형성할 수 있는 기술에 대한 개념을 입증하였다.

일본 동경 농공대(Tokyo University of Agriculture and Technology, TUAT)의 Yashuhiro Takaki 교수 연구진은 단수의 DMD를 SLM으로 적용한 시간 다중화 방법을 바탕으로 수평 360도에서 홀로그램 영상을 시청할 수 있는 디지털 홀로그래픽 디스플레이 시스템에 대한 연구를 수행하였다[11]. 개발된 디지털 홀로그래픽 디스플레이 시스템에서는 532 nm의 파장을 갖는 녹색 레이저 광원을 이용하여 2인치 크기의 단색 디지털 홀로그램 영상을 성공적으로 재현하였다. 회전하는 스크린은 모터에 의해서 구동되며, Fresnel lens가 회전체에 부착되어 시야창을 형성하고 이를 관찰자가 시청할 수 있게 하였다. 수평 360도 방향으로의 시역은 제공하고 있으나, 수직 방향으로의 시야각은 제한되어 수직 시야각 확장에 대한 문제가 남겨졌다.

반면, 영국 캠브리지 대학교 Daping Chu 교수 연구팀과 중국 Huawei 社의 연구팀은 적색, 녹색, 청색 레이저 광원을 사용하여 컬러 홀로그래픽 디스플레이를 구현하였다[12]. SLM으로서는 DMD를 적용하였으며, 광 격자 구조와 수직방향의 시청각

을 확보하기 위한 수직 확산판을 적용하였다. 재현된 영상의 크기는 30mm×60mm이며, 수평 시차(horizontal parallax)를 갖는 디지털 홀로그램 영상을 구현하였다.

한편, 독일의 SeeReal 社에서는 시야창 방식의 실용화 가능한 디지털 홀로그래픽 디스플레이 시스템을 개발하였다[13]. 기존의 디지털 홀로그래픽 디스플레이 방식에서는 홀로그램 영상의 크기에 비례해서 디지털 홀로그램 영상 표시 소자인 SLM의 크기가 커져야만 하였고, 이로 인한 SLM의 요소 픽셀 크기가 커짐에 따른 좁은 시야각이 문제가 되었다. 그러나, SeeReal 社에서는 홀로그램 재현 영역을 사람의 동공 크기와 비슷하게 구성하여 시야창으로 불리게 되는 특정 영역 내에서만 디지털 홀로그램을 관찰 가능하게 구성하였다. SLM의 각 요소 픽셀이 구현할 수 있는 시야각을 충분히 활용할 수 있지만, 시야창 영역 밖에서는 디지털 홀로그램 영상을 볼 수 없게 된다. 따라서, 관찰자의 동공을 추적하여 관찰자의 위치에서 디지털 홀로그램 영상이 관찰 가능하게 구현하였다[13,14].

또한, 일본 Utsunomia 대학의 Yoshio Hayasaki 교수 연구그룹에서는 마이크로 버블을 형성 및 제어하여 이를 산란체로 사용하고 계산으로 생성한 홀로그램(Computer Generated Hologram, CGH) 패턴을 이용하여 물리적으로 제어된 산란체에 레이저 광원을 조사하여 3차원 영상을 구현하는데 성공하였다[15]. 연구진에서는 산란체에 조사하는 레이저 광원을 원하는 형태의 패턴을 형성하기 위해서 SLM을 사용하였으며, 사용한 SLM 상에는 CGH 패턴에 의한 레이저 광원의 위상을 동적으로 제어하게 된다. 공간상에 형성된 마이크로 버블을 산란체로 이용하여 체적형 3차원 영상을 형성하였다. 산란체에서 퍼져나가는 영상을 관찰 가능하게 되어

〈표 2〉 해외의 디지털 홀로그래픽 디스플레이 시스템 및 주요 특징[9-16]

국가 [기관]	대표연구자 (년도)	적용 SLM [픽셀 크기 /픽셀 수]	기본 구조	시야각 [수평/수직]	영상크기
대만 [Sun Yat-Sen university]	Biao Wang (2012)	LCOS [8.0 $\mu\text{m}$ /1920×1080 ]	미러 스캐닝 단색(녹색)	수평 360도 (단일시점) /unknown	0.5 인치
일본 [Utsunomiya university]	Toyohiko Yatagai (2014)	DMD [10.8 $\mu\text{m}$ /1920×1080]	미러 스캐닝 단색(적색)	수평 360도 /수직 2.2°	1 인치
영국 [Cambridge university]	Daping Chu (2017)	DMD [10.8 $\mu\text{m}$ /1920×1080]	광격자 회전구조 컬러(적색,녹색,청색)	수평 37° /수직 40°	5.6 인치
일본 [Tokyo university of agriculture and technology]	Yashuhiro Takaki (2015)	DMD [13.68 $\mu\text{m}$ /1024×768]	Fresnel lens 스캔 단색(녹색)	수평 360° /수직 55°	4 인치
독일 [SeeReal 社]	R. Häussler (2009)	LCD [156 $\mu\text{m}$ ×52 $\mu\text{m}$ /15,000,000]	시야창 방식 컬러(적색,녹색,청색)	수평 1° /수직 3° 동공추적적용	20 인치
일본 [Utsunomiya university]	Yoshio Hayasaki (2017)	LCOS [20 $\mu\text{m}$ /800×600 ]	펄스 레이저 와 micro bubble voxels의 상호 작용	4 $\pi$ sr 입체각	0.6 인치
일본 [Chiba university]	Takashi Kakue (2015)	LCOS [8.0 $\mu\text{m}$ /1920×1080 ]	Mirage mirror 정지영상, 단일시점	수평 4° /수직 4° (단일시점)	0.6 인치

시청할 수 있는 시야각이 넓어지는 장점이 있는 반면, 부족한 영상의 크기를 증대하는 방안이 필요한 것으로 보인다.

일본 Chiba대학교 연구진은 아래 위로 마주보는 형태의 한 쌍의 포물경을 이용하여 단일 SLM으로 부터 형성되는 디지털 홀로그래프를 구현하였다[16]. LCOS(Liquid Crystal On Silicon) 방식의 SLM을 사용하였으며, 녹색 레이저 광원을 사용하여 단색 홀로그래프를 형성하였고, 이를 렌즈와 유사한 방식으로 이미지를 만들어내는 한쌍의 포물경의 위에서 홀로그래프 영상이 나타나도록 구성하였다. 재생한

영상은 단색의 홀로그래프이며 영상 크기는 1인치 급이다.

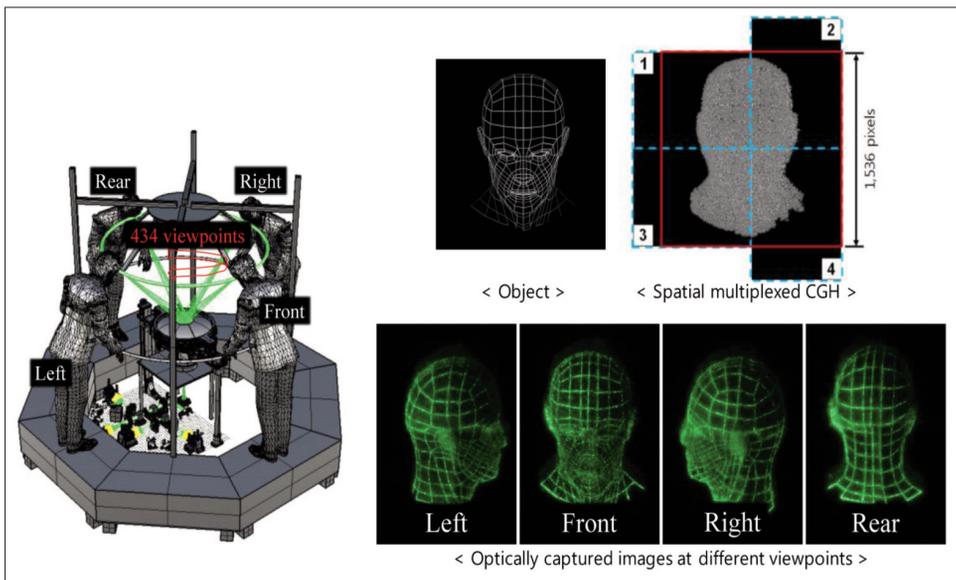
위에서 살펴본 국외의 디지털 홀로그래픽 디스플레이 시스템의 특징을 비교하기 위하여 해외 각 연구진이 개발한 디지털 연구 결과를 〈표 2〉와 같이 정리하였다.

## 2. 국내 한국전자통신연구원의 360도 디지털 홀로그래픽 디스플레이 시스템

국내의 한국전자통신연구원에서는 시야창 방식

의 홀로그래픽 디스플레이 시스템을 바탕으로, 홀로그램 영상 크기를 증대하기 위해서 시공간 다중화를 적용한 360도 테이블탑형 홀로그래픽 디스플레이를 개발하였다[17]. 테이블 탑 홀로그래픽 디스플레이 시스템과 재현된 디지털 홀로그램 영상이 <그림 4>에 나타나 있다. 고속 동작이 가능한 DMD(Digital Micro-mirror Device)를 SLM으로 사용하여 수평 360도 방향에서 다수의 시청자가 디지털 홀로그램 영상(정지영상 및 동영상)을 시청할 수 있는 시스템을 구현하였다. 독일 SeeReal 社の 시야창 방식 디지털 홀로그래픽 디스플레이 시스템에서는 관찰자의 동공을 추적하는 부가적인 장치가 필요하였으나, ETRI의 테이블탑형 디지털 홀로그래픽 디스플레이시스템에서는 렌티큘러(lenticular) 렌즈를 적용하여 수직 방향으로 15도 이상의 범위에서 홀로그램 영상이 시청 가능하도록 구현하였다. 디스플레이 시스템에서 적용한 Texas Instru-

ment 社の Discovery 4100 DMD의 이진화 데이터 전환속도는 약 22,000Hz이며, 이로 인해서 초당 22,000장의 이진 홀로그램 영상 데이터를 표시할 수 있다. DMD의 고속 동작 속도는 주로 홀로그램의 시간 다중화 및 시야각 확장에 이용된다. 적용한 DMD의 픽셀 간격은 13.7 $\mu$ m이고, 픽셀 수는 수평 방향으로 1024개 그리고 수직 방향으로 768개이다. DMD SLM에서부터 시야창까지의 광 경로에서 두개의 포물경이 위치하는데, 이는 최종적으로 나타나는 홀로그램 영상 이미지의 부양감을 가지게 한다. 또한, 홀로그램 영상의 크기는 사용된 SLM의 크기에 의해 결정되며, 두개의 렌즈로 구성되는 4f 광학계에 의해서 홀로그램 영상을 확대하였다. 이로 인해서, DMD의 요소 픽셀 크기가 확대되어 동일한 비율의 유효 시야각 감소가 발생하지만, 고속으로 동작하는 DMD의 특성을 활용하여 시분할 방식을 통한 수평 360도 방향의 시야각을 구현하였다.

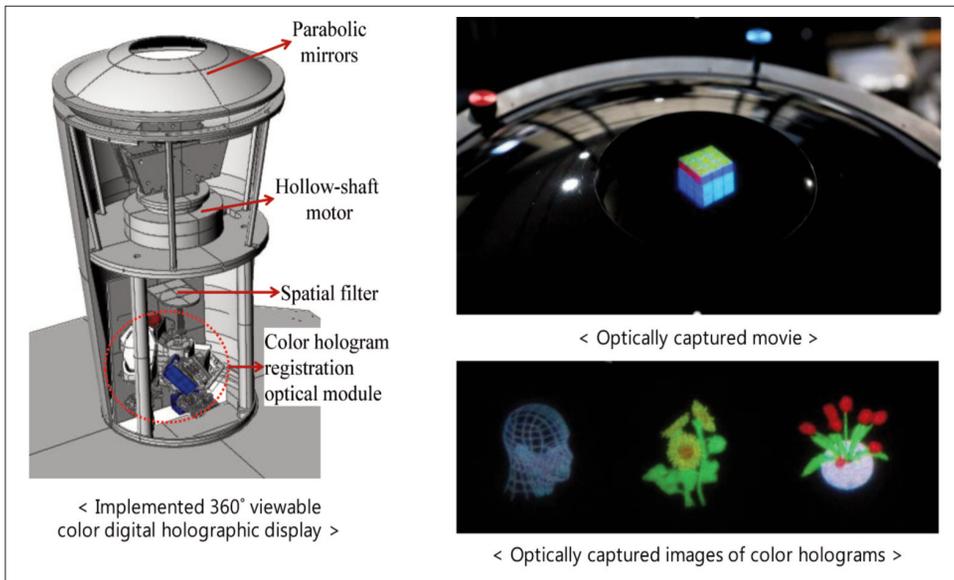


<그림 4> 한국전자통신연구원의 단색 360도 디지털 홀로그래픽 디스플레이 시스템[17]

단색의 테이블탑형 홀로그래픽 디스플레이 구현에 이어서, 컬러 홀로그램을 구현할 수 있는 테이블탑형 디지털 홀로그래픽 디스플레이 시스템을 개발하였다[18]. 개발한 컬러 디지털 홀로그래픽 디스플레이 시스템의 개략도와 구현된 홀로그램 영상이 <그림 5>에 나타나 있다.

컬러 디지털 홀로그래픽 디스플레이 구현을 위해

3개의 DMD와, 적색, 녹색 및 청색 레이저 광원을 사용하였다. 파장 660, 532 및 473 nm의 광 섬유 기반의 레이저 결합체를 적용하여 백색 광원을 생성하였으며, 빛의 삼원색을 분리 및 재결합할 수 있는 프리즘과 DMD를 조명하는 전반사 프리즘을 이용하여 컬러 홀로그램을 사용하였다[18]. 이러한 요소기술들을 바탕으로 개발한 3종류의 360도 테이블



<그림 5> 한국전자통신연구원의 컬러 360도 디지털 홀로그래픽 디스플레이 시스템[18]

<표 3> 국내 한국전자통신연구원의 디지털 홀로그래픽 디스플레이 시스템 및 주요 특징[18]

구분	System 1	System 2	System 3
적용 SLM, 픽셀 크기, 픽셀 수	DMD, 13.68 $\mu\text{m}$ , 1024 $\times$ 768		
SLM의 공간 타일링	2 $\times$ 2	1 $\times$ 1	2 $\times$ 1
공간 타일링 적용후 픽셀 수	1,536 $\times$ 1,536	768 $\times$ 768	1,024 $\times$ 1,024
컬러	단색	적색, 녹색, 청색	적색, 녹색, 청색
광학 배율	2.7	5.1	5.1
영상크기	3.2 인치	3 인치	4인치
영상 시점수	434	1024	1024

블탑형 디지털 홀로그래픽 디스플레이 시스템에 대한 주요 사항을 <표 3>에 나타내었다.

### III. 결론

본 고에서는 360도 모든 방향에서 관찰 가능한 디지털 홀로그래픽 디스플레이 시스템의 최근 기술 동향을 소개하였다. 디지털 홀로그래픽 디스플레이

시스템을 구현하기 위한 기본 소자인 SLM의 구조적인 제약 사항을 극복하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있으며, 기존의 3차원 디스플레이와는 차별성을 갖는 디스플레이 시스템 개발 연구가 병행되고 있다. 향후 보다 더 개선된 형태의 디지털 홀로그래픽 디스플레이 시스템 관련 연구결과를 바탕으로 현실감이 강화된 다양한 형태의 360도 테이블탑형 디지털 홀로그래픽 디스플레이가 개발될 것으로 보인다.

#### 참고 문헌

- [1] Goldman Sachs, "Profiles in innovation of virtual & augmented reality," 2016. 1. 13.
- [2] Advanced Optics and Photonics, "Three-dimensional display technologies," Vol.5, 2013, pp.456-535.
- [3] 임용준, "디지털 홀로그래픽 디스플레이 기술 동향", ETRI 전자통신동향분석, 2017. 10. 1.
- [4] D. E. Smalley, Q. Y. Smithwick, V. M. Bove, J. Barabas, and S. Jolly, "Anisotropic leaky-mode modulator for holographic video displays," Nature 498, 313-317 (2013).
- [5] H. Sasaki, K. Yamamoto, K. Wakunami, Y. Ichihashi, R. Oi, and T. Senoh, "Large size three-dimensional video by electronic holography using multiple spatial light modulators," Sci. Rep. 4, 6177 (2014).
- [6] Y. Takaki, Y. Matsumoto, and T. Nakajima, "Color image generation for screen-scanning holographic display," Opt. Express 23, 26986-26998 (2015).
- [7] M. Park, B. Chae, H. Kim, J. Hahn, H. Kim, C. Park, K. Moon, and J. Kim, "Digital Holographic Display System with Large Screen Based on Viewing Window Movement for 3D Video Service," ETRI J., 36, 232-241 (2014).
- [8] 한준구, "디지털 홀로그래피의 공간 대역폭", 방송과 미디어, 제16권 제2호, 2011. 6, pp. 63-72.
- [9] D. Teng, L. Liu, Z. Wang, B. Sun, and B. Wang, "All-around holographic three-dimensional light field display," Opt. Commun. 285(2122), 4235-4240 (2012).
- [10] Y. Sando, D. Barada, and T. Yatagai, "Holographic 3D display observable for multiple simultaneous viewers from all horizontal directions by using a time division method," Opt. Lett. 39(19), 5555-5557 (2014).
- [11] Y. Takaki and S. Uchida, "Table Screen 360-Degree Three-Dimensional Display Using a Small Array of High-Speed Projectors," Opt. Express, vol. 20, no. 8, 2012, pp. 8848-8861.
- [12] J. Jia, et al., "A Scalable Diffraction-Based Scanning 3D Colour Video Display as Demonstrated by Using Tiled Gratings and a Vertical Diffuser," Sci. Rep., vol. 7, 2017, p. 44656.
- [13] R. H?ussler et al., "Large real-time holographic displays: from prototypes to a consumer product," Proceedings of SPIE, 72370S, 2009.
- [14] R. H?ussler et al., "Large Real-Time Holographic 3D Displays: Enabling Components and Results," Appl. Opt., vol. 56, no. 13, 2017, pp. F45-F52.
- [15] K. Kumagai, S. hasegawa, and Y. Hayasaki, "Volumetric Bubble Display," Optica, vol. 4, no. 3, 2017, pp. 298-302.

- [16] T. Kakue et al., "Aerial Projection of Three-Dimensional Motion Pictures by Electro-Holography and Parabolic Mirrors," Sci. Rep., vol. 5, 2015, p.11750.
- [17] Y. Lim et al., "360-Degree Tabletop Electronic Holographic Display," Opt. Express, vol. 24, no. 22, 2016, pp. 24999-25009.
- [18] J. Kim et al., "360-Degree Tabletop Color Holographic Display," in Digital Holography Three-Dimensional Imag., Jeju Island, Rep. of Korea, May 29-June 1, 2017.

## 필자소개



### 임용준

- 2004년 : 부산대학교 전자전기통신공학부 학사
- 2006년 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석사
- 2010년 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사
- 2011년 ~ 2014년 : 삼성전자 메모리사업부 책임연구원
- 2014년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송·미디어연구소 선임연구원
- 주관심분야 : 디지털 홀로그래픽 디스플레이, 홀로그래픽 마이크로스코피, 홀로그래픽 광학 소자, 근접장 광학, 플라스모닉스, 메타물질



### 김진웅

- 1981년 : 서울대학교 전자공학과 학사
- 1983년 : 서울대학교 전자공학과 석사
- 1993년 : Texas A&M대학교 전기공학과 박사
- 1983년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송·미디어연구소 책임연구원, 실감방송미디어연구부 부장 및 방송·미디어연구소 소장 역임
- 주관심분야 : 디지털방송, 멀티미디어 및 실감미디어, 오디오/비디오 데이터 압축 코덱, 3D 및 디지털 홀로그래픽 영상 시스템