

# 디지털 홀로그래피 기술 개요 및 표준화 동향

남제호 \_ ETRI 디지털홀로그래피연구실 책임연구원

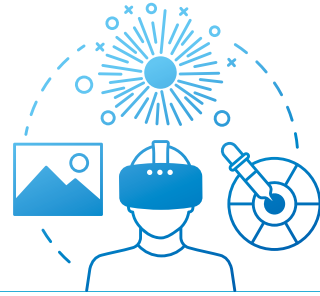
김하얀 \_ ETRI 디지털홀로그래피연구실 연구원

오관정 \_ ETRI 디지털홀로그래피연구실 선임연구원

임용준 \_ ETRI 디지털홀로그래피연구실 선임연구원

홍기훈 \_ ETRI 디지털홀로그래피연구실 선임연구원

김진웅 \_ ETRI 디지털홀로그래피연구실 책임연구원



## 1. 머리말

영화나 TV에서만 보던 홀로그램은 가상·증강현실(VR·AR) 기술의 빠른 보급과 함께 다시 주목받고 있다. 특히 초고속 및 초저지연 특성을 갖는 5G 이동통신 시대로의 돌입은 대용량 홀로그램 데이터의 실시간 처리와 응용 서비스의 지속적인 발전과 보급을 촉진함으로써 바야흐로 6G 시대에 이르러서는 더 이상 공상과학 속의 미래기술이 아닌 일상생활 속의 홀로그램으로 마주하게 될 것이다. 홀로그래피 기술 수준이 향상되고 발전이 가속화될수록 홀로그래픽 디스플레이는 평판형, 모바일 및 테이블탑형 등 그 특성과 종류가 다양해지며 홀로그래픽 디스플레이의 화질평가에 대한 중요성 역시 대두된다. 그러나 홀로그래픽 디스플레이의 성능과 콘텐츠 화질에 대한 객관적, 정량적 측정 기준과 평가 방법에 대한 체계적인 연구 개발은 미미한 상황이다.

본고에서는 디지털 홀로그래피 기술 개요와 홀로그래픽 디스플레이 및 홀로그래피 콘텐츠의 기술 동향을 살펴본다. 또한 홀로그래피 핵심기술의 체계적인 성능개선과 지속적인 서비스 품질 향상에 필수적

인 홀로그래픽 디스플레이의 측정 및 평가 기술에 대해 설명하고 현재 진행 중인 국내외 홀로그래피 표준화의 최신 동향을 살펴보고자 한다.

## 2. 디지털 홀로그래피 기술 동향

### 2.1 디지털 홀로그래피 기술 개요

홀로그래피는 빛의 진폭과 위상 정보를 다루어 기존의 스테레오 방식이 가지고 있는 초점-수렴거리 불일치(vergence-accommodation conflict) 문제를 해결함으로써 완전한 3차원 영상을 재현하는 기술이다. 피사체에서 반사된 물체광과 참조광이 서로 간섭하여 생성된 간섭무늬를 기록하여 홀로그램을 획득하고, 생성된 홀로그램에 참조광을 비추어 입체 공간상에 3차원 영상을 재현한다. 즉 홀로그래피 기술에 의해 생성된 홀로그램은 3차원 영상 재생에 필요한 모든 정보를 담고 있어 스테레오 입체 영상 생성 방식에서 야기되는 시각 피로와 어지럼증 문제를 해결할 수 있다. 디지털 홀로그래피 기술은 이러한 홀로그래피 원리를 이용하여 전하결합소자(CCD, Charge Coupled Device) 카메라와 같은 영상 획득

장치로 3차원 영상 데이터를 획득하고 공간 광 변조기(SLM, Spatial Light Modulator)와 같은 디스플레이 소자로 홀로그램 영상을 재현하는 것을 말한다. 홀로그램 영상을 획득하는 기술은 실제 물체의 3차원 정보를 획득하는 방법과 컴퓨터 그래픽으로부터 영상을 획득하는 방법으로 구분된다. 실제 물체를 직접적으로 획득할 수 있는 기술로는 대표적으로 자가 간섭계(Self-interference) 기술과 광 스캐닝 홀로그래피(Optical Scanning Holography)가 있으며, 최근에는 컴퓨팅 기술의 발달을 통해 컴퓨터 생성 홀로그램(CGH, Computer Generated Hologram)으로 실사 영상 및 3차원 객체를 생성하여 완벽하게 재현할 수 있는 다양한 기술이 개발되고 있다[1].

홀로그램 영상을 디스플레이하는 기술은 빛의 회절 현상을 이용하는 것으로 이를 구현하기 위하여 공간 광 변조기의 성능이 가장 중요하다. SLM의 물리적인 구성 요소들 가운데 특히 픽셀 간격의 크기는 홀로그램 영상을 관찰할 수 있는 시야각을 결정짓는 요인이다. 충분한 시야각을 갖는 홀로그램 영상을 재현하기에는 현재 상용화된 SLM의 픽셀 간격 크기는 적절하지 않다. 이에 SLM의 성능 한계를 극복하기 위하여 시간 다중화(Temporal multiplexing) 방법, 여러 SLM을 사용하여 홀로그램을 재현하는 공간 다중화(Spatial multiplexing) 방법, 이를 동시에 적용하는 시공간 다중화(spatial-temporal multiplexing) 방법 등 다양한 홀로그래픽 디스플레이 방식에 대한 연구개발이 활발히 진행 중이다.

## 2.2 홀로그래픽 디스플레이 기술 동향

디지털 홀로그래피 디스플레이 기술의 주요 연구 동향으로 먼저 다중화 기술 기반의 홀로그래픽 디스플레이 시스템을 살펴본다. 일본의 동경대에서는 녹색의 레이저 광원을 사용하여 4인치 크기의 단

색 디지털 홀로그램 영상을 관찰할 수 있는 홀로그래픽 디스플레이 시스템을 구축하였다[2]. 고속으로 동작이 가능한 DMD(Digital Micromirror Device)를 SLM으로 활용한 시간 다중화 방법을 통해 수평 360도에서 홀로그램 영상을 재현하였다. 영국의 QinetiQ사에서 개발한 홀로그래픽 디스플레이 시스템은 공간 다중화 방법을 통해 Active Tiling 모듈을 여러 개로 중첩하여 10억 개 이상의 SLM 픽셀을 극대화하는 구조이다. 독일의 SeeReal사에서 개발한 VISIO20 디스플레이 시스템은 액정표시장치(LCD, Liquid Crystal Device)를 SLM으로 이용한 20인치 크기의 실시간 영상 재생이 가능하다[4]. 관찰자가 바라보는 위치에 시야창을 형성하여 관찰자의 동공을 추적하는 알고리즘을 통해 관찰자의 동공 위치에서 홀로그램 영상을 시청하게 하였다. 또한 레이저 광원의 콜리메이션(collimation) 기능을 구현한 홀로그래픽 광학 소자(HOE, Holographic Optical Element)가 적용된 홀로그래픽 디스플레이 시스템을 구현하였다[5].

국내의 경우 한국전자통신연구원(ETRI)은 관찰자의 위치에 시야창을 형성하는 시야창 방식의 테이블탑형 홀로그래픽 디스플레이 시스템을 개발하였다[3]. 회전체를 사용하여 수평 360도 방향에서 다수의 시청자가 홀로그램 영상을 시청할 수 있을 뿐만 아니라 공간 다중화를 통하여 홀로그램 영상 크기를 증대하였다. 또한 수직 방향의 시야각 확대를 위해 렌티큘라(lenticular) 렌즈를 적용하여 15도 이상의 수직 시야각을 갖는 홀로그램 영상을 시청할 수 있도록 구현하였다.

## 2.3 홀로그래피 콘텐츠 기술 동향

홀로그래피 콘텐츠 분야에서는 컴퓨터 생성 홀로그램 처리를 고속화하고 수치적 및 광학적으로 검



[그림 1] 한국전자통신연구원(ETRI)의 360도 테이블탑형 홀로그래픽 디스플레이 시스템

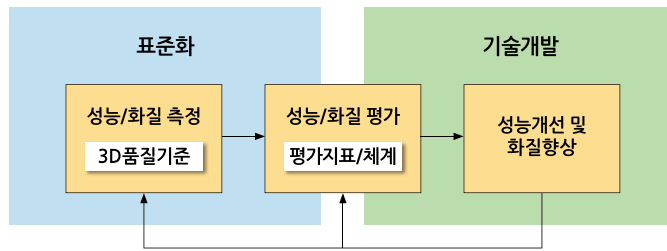
증하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 일본의 치바 대에서는 FPGA(Field Programmable Gate Array) 기술을 이용한 디지털 홀로그램 생성에 요구되는 계산상의 문제를 해결하기 위한 디지털 홀로그램 고속 계산용 컴퓨터인 HORN(HOlo-graphic Reconstruction)을 개발해왔다[6]. 2009년에 개발된 HORN-6에 이어 최근에 개발된 HORN-8은 8개의 FPGA 칩들로 구성되어 있다. 3D 이미지 계산을 위한 7개의 FPGA 칩들과 각각의 FPGA 칩들을 연결하는 1개의 FPGA 칩으로 이루어져 있으며 10frame/sec의 속도로 홀로그램 영상을 생성할 수 있다. 고속 처리된 홀로그램 영상을 재현하기 위하여 액정 기반의 위상 변조 SLM를 사용하였고, 동작 센서를 장착하여 영상 시청자와 상호작용이 가능한 디스플레이 시스템을 개발하였다. 일본의 NICT(National Institute of Information and Communications Technologies)에서는 집적영상 카메라와 마이크로 렌즈를 이용하여 디지털 홀로그램을 생성한 후 3개의 고해상도 마이크로 LCD를 이용하여 실시간으로 재현하였다. 미국의 MIT 미디어랩에서는 마이크로소프트의 Kinect 카메라를 이용하여 디지털 홀로그램을 실시간으로 생성하고 복원하는 연구를 수행하였다. 또한 햅틱 기술을 이용한 홀로그램 인터랙션 연구를 진행 중에 있다.

### 3. 홀로그래피 화질 평가 및 표준화 동향

#### 3.1 홀로그래피 화질 측정 평가

홀로그래피 성능 측정과 화질 평가는 세계적으로 미진한 연구 분야로서 홀로그래픽 디스플레이뿐만 아니라 홀로그래피 기술 전반에서 홀로그램 화질의 정량화 지표를 정의하고 평가 체계를 구축하는 것이 필요하다. ETRI는 2010년부터 국책과제로서 20인치급 평판형 홀로그래픽 디스플레이 원천기술 개발에 이어 360도 테이블탑형 홀로그래픽 디스플레이 기술 개발을 수행해오며 홀로그래픽 디스플레이의 화질 개선을 목적으로 해상도/선명도, 시야각, 컬러, 휘도, 스펙클 등의 홀로그래픽 디스플레이의 성능 측정과 화질 평가의 주요 항목을 도출하였다. 이를 통하여 [그림 2]와 같은 홀로그래피 측정/평가 과정과 화질개선 과정의 연구개발이 체계적으로 반복되는 선순환적 구조를 갖추었다[7].

홀로그래픽 디스플레이의 성능 측정과 화질 평가에 대한 개념을 정의하면, 측정(measurement)은 측정 장비를 이용하여 디스플레이의 휘도, 해상도, 시야각뿐만 아니라 디스플레이가 재현하는 홀로그램 영상의 컬러, 스펙클, 선명도 등과 같은 주요 성능 요소를 광학적으로 측정한 측정값이다. 이러한 정량적 측정치를 바탕으로 수학적 논리적 방법을 통해 디스플레이의 화질 개선 정도를 확인하고 화질 특성을



[그림 2] 홀로그래피 측정평가 및 화질개선

종합적으로 감정하는 단계를 평가(evaluation 또는 assessment) 과정으로 구분할 수 있다.

한편 홀로그래픽 디스플레이의 성능 측정과는 별개로 홀로그램 콘텐츠에 대한 화질 평가도 반드시 필요하다. 홀로그램 콘텐츠가 CCD 센서 등에 간섭 무늬 형태로 직접 획득되는 경우 사용된 광학 장비 특성에 의하여 기록된 홀로그램의 품질 차이가 발생하게 된다. 컴퓨터 알고리즘의 수치적 처리를 통해 3D 데이터로부터 계산된 홀로그램(CGH) 또한 적용된 CGH 알고리즘의 성능과 특성에 따른 홀로그램 콘텐츠 화질 특성의 차이를 보이게 된다. 이와 같이 홀로그래픽 디스플레이의 성능 특성에 영향 받지 않고 홀로그램 콘텐츠만의 화질에 대한 평가는 수치적 복원(numerical reconstruction) 또는 표준화된 디스플레이 장치 및 테스트 패턴 등을 통해서만 객관적인 화질 비교가 가능하다. 홀로그램 콘텐츠의 화질평가는 특히 홀로그램 생성(CGH), 홀로그램 압축 및 변환 처리를 위한 알고리즘의 성능 평가 기준으로서 필수적인 요소이다.

[그림 2]와 같은 홀로그래피 측정 평가와 화질 개선 작업은 핵심 기술개발과 표준화 과정으로서 연결되어 있다. 현재 국내외적으로 진행되고 있는 홀로그래피 표준화 작업은 대부분 홀로그램을 재현하는 디스플레이와 기록 매질의 성능 측정과 평가 방법, 그리고 홀로그램 콘텐츠의 화질 평가와 같이 개발된

홀로그래피 기술의 활용에 있어서 상호운용성 확보가 필수적인 응용 분야에서 집중적으로 이루어지고 있다. 다음 절에서는 홀로그래피 표준화 현황을 상세히 살펴보고자 한다.

### 3.2 표준화 동향

#### 3.2.1 IEC TC110 (Electronic Displays)

IEC(International Electrotechnical Commission) 산하의 TC110 기술위원회는 전자 디스플레이와 관련된 국제표준을 심의한다. TC110은 다양한 종류의 디스플레이에 대한 표준화 실무 작업을 담당하는 작업반들로 구성되며, WG6(3DD, 3D display devices) 분과는 3차원 디스플레이의 성능 측정과 화질 요소에 대한 평가를 다룬다. 또한 WG10(LDD, Laser displays devices) 분과에서는 레이저 광원을 이용한 프로젝션 디스플레이의 성능 측정에 대한 표준화를 다루고 있고, WG12(EWD, Eye-wear displays) 분과에서는 가상·증강현실(VR·AR)을 위한 HMD 등의 안경형 디스플레이의 광학적 성능 측정과 화질 평가에 대한 표준화 작업이 활발히 진행되고 있다.

WG6는 2017년 말부터 디지털 홀로그래피 표준화에 대한 논의를 시작하여 2019년 초에는 3차원 영상의 복소진폭에 대한 SLM에 의한 복원, SLM

의 시공간적 다중화, 시야창(viewing-window) 방식과 같은 기술적 원리와 용어, 분류 등 홀로그래픽 디스플레이의 일반적 개요를 다룬 기술보고서(IEC TR 62629-41-1:2019 Generic introduction of holographic display)를 채택하였다. 2019년 상반기부터 본격적인 홀로그래피 표준화 작업의 일환으로써(IEC 62629-41-2 예정) 홀로그래픽 디스플레이의 광학적 측정 방법을 다루는 기술표준(PWI110-17 Measurement method of holographic display-optical)에 대한 논의를 시작하였고 제출된 기술보고서 검토를 통하여 IEC 62629-41-2 표준초안 작업을 진행하고 있다. IEC 62629-41-2의 표준초안 문서(PWI110-17)는 표준화된 측정 조건, 측정 좌표체계 및 측정 장비를 정의하고 홀로그래픽 디스플레이 성능 측정 항목으로는 해상도, MTF(Modulation Transfer Function), 스펙클, 컬러, 휘도, 시야각, 깊이(depth) 재현도 등이 현재 검토 중이다.

### 3.2.2 ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 1(JPEG PLENO)

JPEG(Joint Photographic Experts Group)에서는 2014년 10월부터 JPEG Pleno라는 이름으로 라이트 필드, 포인트 클라우드, 홀로그램을 아우르는 3차원 정지 영상에 대한 표준화를 진행하고 있다[8]. JPEG Pleno의 홀로그래피 표준화는 아직 준비 단계로 실험 영상 모집, 홀로그램 데이터 포맷 정의, 압축 관련 사전 실험, 화질 평가, 요구사항 등에 대해 논의하고 있다. 홀로그램 실험 영상은 3차원 영상으로부

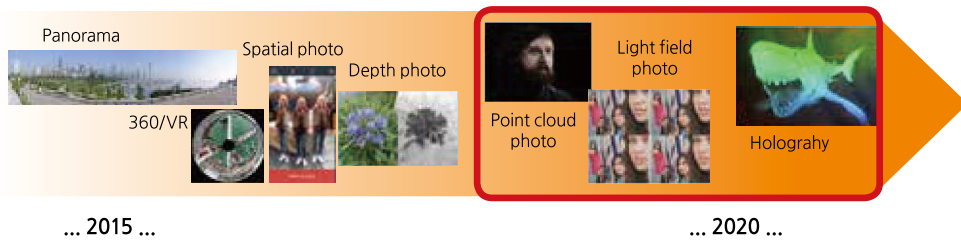
터 CGH를 통해 생성된 홀로그램이나 간섭계를 통해 직접 획득된 홀로그램 데이터를 모집하였고, 최근에는 여기에 홀로그래픽 마이크로스코피와 토모그래피 데이터를 추가로 모집하고 있다. 홀로그램 데이터의 픽셀 간격 크기는 8 $\mu$ m에서 0.4 $\mu$ m까지 다양하고, 해상도는 16K급 실험 영상까지 모집되었다. 홀로그램 데이터는 인터페로그램이나 복소 홀로그램 형태로 제공되고 있다.

홀로그램 압축 분야에서는 기존의 영상 코덱인 JPEG2000이나 HEVC 등을 이용한 압축 실험을 통해 홀로그램의 압축을 위한 비트율 분석 및 화질 평가 등에 대한 논의를 함께 진행하고 있다. 특히, 홀로그램 화질 평가는 압축 성능 비교를 목적으로 연구되고 있고, 기존의 2D 영상과 다른 홀로그램의 공간 재현성을 고려하여 여러 깊이 및 여러 시점에서 화질을 평가하는 방법이 논의 중이다. 또한, 홀로그래픽 디스플레이가 없는 환경에서 화질 평가를 수행해야 하므로 홀로그램에 대한 수치 복원이 중요한 이슈이다. 이를 위해 표준화 그룹에서는 수치 복원을 위한 참조 소프트웨어인 NRSH(Numerical Reconstruction Software for Holography)를 만들었고, 최근 NRSH 1.1이 배포되었다.

표준 준비 단계에서 수행 중인 ES(Exploration Studies)에서는 앞서 언급한 수치 복원, 압축 실험, 실험 영상 선정, 화질 평가 등의 이슈를 논의하고 있다. 최근에는 ‘Use cases and Requirements’ 문서 작업을 통해 홀로그램 압축에 대한 요구사항 등을

<표 1> 홀로그래피 기술과 관련된 IEC TC110 표준

표준번호	표준명	제정일
IEC TR 62629-41-1	Part 41-1: Holographic display - General information	2019. 2.
IEC TR 62629-41-2	Part 41-2: Measurement method of holographic display- optical	진행 중



[그림 3] JPEG에서 전망한 향후 3차원 영상 기술의 발전 방향[8]

<표 2> 홀로그래피 기술과 관련된 ISO 17901 표준

표준번호	표준명	제정일
ISO 17901-1	Part 1: Methods of measuring diffraction efficiency and associated optical characteristics of holograms	2015. 7.
ISO 17901-2	Part 2: Methods for measurement of hologram recording characteristics	2015. 7.

논의하고 있으며, 또한 홀로그램 영상 압축 실험을 위한 CTC(Common Test Conditions) 문서 작업도 시작했다. 이를 바탕으로 2020년 상반기에 CFP(Call for Proposals)를 배포하고, 본격적인 홀로그램 압축을 위한 표준 기술 논의가 시작될 것으로 전망된다.

### 3.2.3 ISO 17901(Optics and Photonics – Holography)

ISO(International Organization for Standardization)가 2015년에 제정한 홀로그래피 표준은 광학 및 광전자 기술을 이용하여 은염(silver halide) 또는 포토폴리머(photo-polymer)와 같은 감광 매질에 간섭 패턴을 형성하는 홀로그램 기록 기술을 다룬다. 그러나 표준에서는 회절 패턴을 산출하는 홀로그램은 제외되며 또한 홀로그램을 형성하는 데 사용되는 특정 물질 및 재료 또는 제조 공정에는 제한을 두지 않는다.

ISO 17901-1 표준은 홀로그램의 광학 특성, 그 회절 효율을 측정하는 방법, 각도와 파장 선택성 측정 방법과 관련된 용어를 명시한다. 이러한 측정 방법은

홀로그램이 간단한 회절 패턴을 만들어낼 경우 어떤 형태의 홀로그램에도 적용할 수 있으며, 이는 복원된 파형이 다른 회절이 되거나 회절되지 않은 빛들로부터 명확하게 분리될 수 있음을 의미한다. 또한, 홀로그램 기록 특성의 측정 방법을 다루는 ISO 17901-2 표준은 두 빛의 간섭(double-beam interference)에 의해 기록된 홀로그램에 대한 노출 특성 곡선, 반치(half-maximum)에서의 노출, 굴절 지수 변조의 진폭 등과 같은 노출 특성에 관한 용어 및 측정 방법을 명시한다.

### 3.2.4 TTA TC6/PG610

2012년부터 TTA 소프트웨어/콘텐츠기술위원회(TC6) 산하의 디지털콘텐츠프로젝트그룹(PG610)에서는 홀로그래피 콘텐츠 기술의 표준화 작업을 꾸준히 진행해오고 있다. 특히 2014년 하반기에는 PG610 내에서 디지털홀로그래피실무반(WG6102)이 구성되어 홀로그래피 콘텐츠 포맷, 콘텐츠 서비스 모델, 디스플레이, 인터페이스, 프린터, 상호운용 및



<표 3> 홀로그래피 기술과 관련된 TTA 표준

표준번호	표준명	제정일
TTAK.KO-10.0629	디지털 홀로그램 데이터 포맷	2012. 12.
TTAK.KO-10.0630	디지털 홀로그래픽 콘텐츠 제작 지침	2012. 12.
TTAR-10.0050	홀로그램 화질 평가(기술보고서)	2015. 11.
TTAK.KO-10.0862	디지털 홀로그램 콘텐츠 참조 모델	2015. 12.
TTAK.KO-10.0871	디지털 홀로그래피 용어 정의	2015. 12.
TTAK.KO-10.0872	디지털 요철방식을 이용한 홀로그램의 시야각 측정 방법	2015. 12.
TTAK.KO-10.1022	컬러 홀로그램의 복셀 크기 및 색상 측정 절차	2017. 12.
TTAK.KO-10.1025	3차원 영상 관찰 시의 조절력 측정 및 비교 방법	2017. 12.
TTAK.KO-10.XXXX	오픈홀로 라이브러리 기반 홀로그램 데이터의 파일 포맷	2019. 12.
TTAK.KO-10.XXXX	디지털 홀로그래픽 테ابل탑형 디스플레이 성능 측정 및 평가	2019. 12.
TTAK.KO-10.XXXX	디지털 홀로그램 객관적 화질 평가 방법	2019. 12.


측정, 검증 등 홀로그래피와 관련된 광범위한 주제들을 대상으로 집중적인 표준화 작업이 이루어졌다.

2019년 현재까지 총 7건의 표준이 제정되었고 1건의 기술보고서가 채택되었다. 또한 2019년 12월에는 3건의 기술 표준이 제정될 것으로 예상된다. 표준이 만들어진 주된 기술 내용은 홀로그래피 용어 정의, 홀로그램 콘텐츠의 데이터 및 파일의 포맷, 홀로그래픽 콘텐츠 제작에 필요한 참조모델, 그리고 홀로그램 콘텐츠의 화질 평가 및 시야각, 색상 및 조절력 등의 홀로그래픽 디스플레이의 성능 측정 및 평가 방법 등이다.

#### 4. 맺음말

본고에서는 디지털 홀로그래피 기술 개요와 디지털 홀로그래피의 핵심기술인 홀로그래픽 디스플레이와 홀로그래피 콘텐츠의 최신 기술 동향을 살펴보았다. 또한 홀로그래픽 디스플레이의 성능 측정과 홀

로그램 화질 평가에 대한 기술 개념을 설명하였고, 홀로그래피 표준화 동향으로서 2019년 9월 현재까지 진행된 IEC, ISO/IEC, ISO의 국제표준화 현황과 TTA의 국내 표준화 활동에 대한 최신 동향을 정리하였다.

더 이상의 미래기술이 아닌 오늘의 5G 시대에서 이용될 수 있는 홀로그램 실감콘텐츠 서비스가 이루어지기 위해서는 대화면 광시야각의 홀로그래픽 디스플레이의 구현과 대용량 초고화질 홀로그램 콘텐츠의 실시간 생성 처리 기술이 필요하다. 디지털 홀로그래피의 지속적인 기술 수준 향상과 서비스 품질 개선을 통한 홀로그래픽 디스플레이의 성능 측정 및 콘텐츠 화질 평가 기술과 관련 장비의 개발뿐 아니라 상호운용성이 보장된 표준 기반의 시스템 구축을 통하여 홀로그래피 산업 육성 발전이 앞당겨질 것으로 기대된다. 

※ 본 연구는 Giga Korea 사업의 디지털 홀로그래픽 테ابل탑형 단말 기술 개발 사업(GK19D0100)의 지원에 의해 수행됨.

## [참고문헌]

- [1] P. W. Tsang and T.-C. Poon, 'Review on the state-of-the-art technologies for acquisition and display of digital holograms', IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 12, no. 3, pp. 886-901, 2016.
- [2] T. Inoue and Y. Takaki, 'Table screen 360-degree holographic display using circular viewing-zone scanning', Optics Express, vol. 23, Issue 5, pp. 6533-6542, 2015.
- [3] Y. Lim et al., '360-degree tabletop electronic holographic display', Optics Express, vol. 24, no. 22, pp. 24999-25009, 2016.
- [4] R. Häussler et al., 'Large real-time holographic displays: from prototypes to a consumer product', Proceedings of SPIE, 72370S, 2009.
- [5] R. Häussler et al., 'Large real-time holographic 3D displays: enabling components and results', Applied Optics, vol. 56, pp. F45-F52, 2017.
- [6] T. Sugie et al., 'High-performance parallel computing for next-generation holographic imaging', Nature Electronics, vol. 1, pp. 254-259, 2018.
- [7] '홀로그래픽 디스플레이 화질 평가 및 표준화 연구 동향', 전자통신동향분석 제32권 5호(통권 167), pp. 65-73, 2017. 10. 1.
- [8] Overview of JPEG Pleno, <https://jpeg.org/jpegpleno>

## [주요 용어 풀이]

- Holography: 빛의 진폭과 위상을 획득 또는 생성하여 공간상에 빛의 분포를 재현하는 기술 또는 광원의 간섭성을 이용하여 물체광과 참조광의 간섭 패턴을 기록·재현하는 기술
- CGH(Computer-Generated-Hologram): 물체광의 빛의 분포나 물체광과 참조광의 간섭패턴을 계산하여 컴퓨터로 생성한 디지털 홀로그램
- SLM(Spatial Light Modulator): 입사광의 광학적 특성을 공간적으로 변조시킬 수 있는 기기
- DMD(Digital Micromirror Device): 고효율의 안정적인 공간 광 변조가 가능한 반사율이 높은 알루미늄의 마이크로미러 기기