

# JPEG Pleno 홀로그래피 표준화 기술 동향

□ 오관정 / 한국전자통신연구원

## 요약

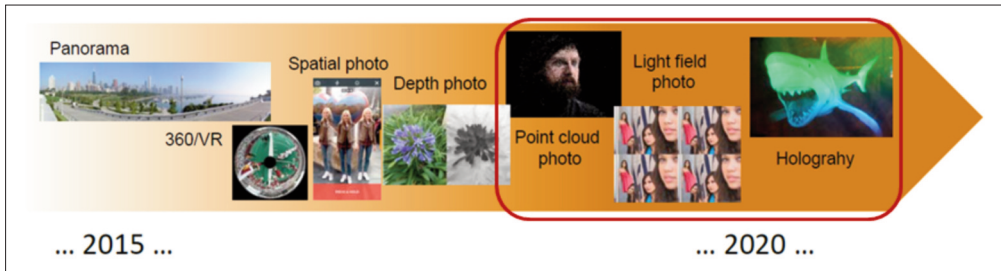
국제 표준화 기구 ISO/IEC JCT1/SC29/WG1 JPEG(Joint Photographic Experts Group)에서는 지난 30여년간 JPEG, JPEG 2000, JPEG XR, JPEG XT, JPEG XS 등 다양한 2D 이미지 압축 관련 표준을 제정해왔다. 지난 2014년 10월에는 JPEG Pleno라는 이름으로 2D 이미지가 아닌 3차원 영상 정보 압축을 위한 새로운 표준화 과제를 시작했다. JPEG Pleno에서 다루는 3차원 영상 정보는 라이트 필드, 포인트 클라우드, 홀로그래프이다. 본 원고에서는 현재 JPEG Pleno 홀로그래피에서 다루는 디지털 홀로그래프 영상 압축에 대한 국제 표준화 현황을 소개하고, 향후 나아갈 방향을 전망해 본다.

## I. 서론

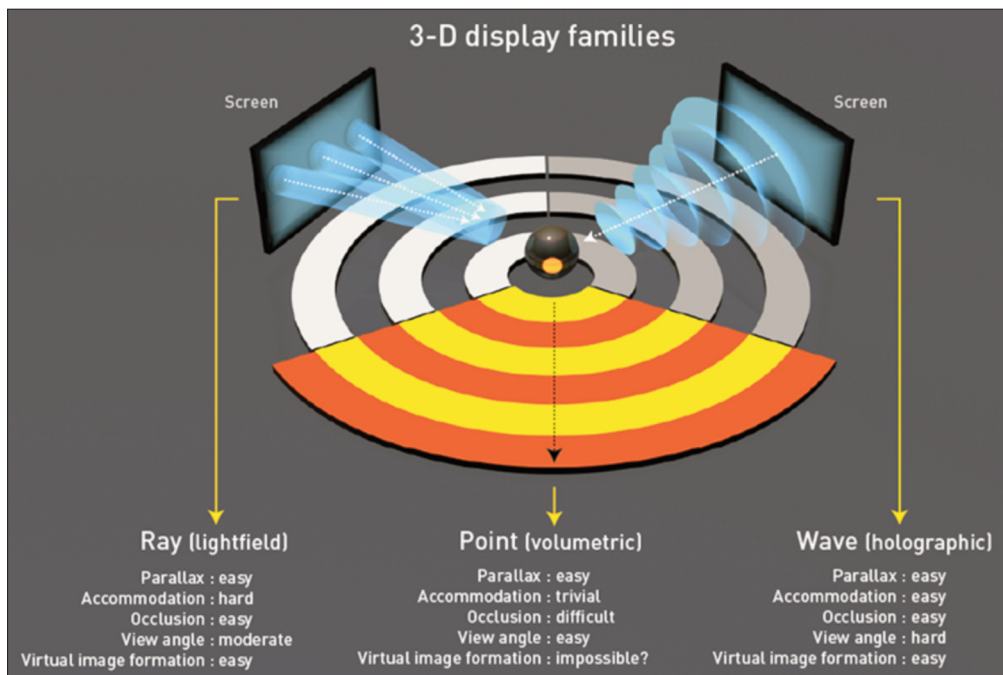
JPEG Pleno의 Pleno는 full을 의미하는 라틴어 plenus와 vision을 의미하는 optic의 합성어인 plenoptic에서 따온 표현으로, 보여지는 모든 것이

라는 의미를 지닌다. 결국 JPEG Pleno는 3차원 공간상에 표현되는 모든 영상 정보를 표현하고자 하는 방법과 이를 위한 데이터 압축을 다루는 표준이다. <그림 1>은 JPEG Pleno 표준을 준비하던 2015년에 JPEG에서 전망한 향후 3차원 영상 기술의 발전 방향이다[1].

기존의 2차원 영상 정보를 확장한 개념인 파노라마와 360/VR에서부터 포인트 클라우드, 라이트 필드, 궁극적으로는 홀로그래피로 기술이 발전할 것으로 전망하고 있다. 그 중에서 JPEG Pleno에서 다루는 대표적인 3차원 영상 정보 표현 방식인 포인트 클라우드, 라이트 필드, 홀로그래피 기술에 대해 좀 더 살펴보기로 한다. <그림 2>는 앞서 소개한 3가지 영상 기술의 차이점을 보기 쉽게 표현한 그림[2]으로, 포인트 클라우드는 3차원 공간상의 빛 정보를 수많은 점(point)들의 집합으로 표현하고, 각 점 단위로 영상 정보를 가지고 있다. 이에 반해



〈그림 1〉 JPEG에서 바라보는 3차원 영상 기술의 발전 방향



〈그림 2〉 대표적인 3차원 영상 기술의 비교

라이트 필드는 이러한 빛을 방향성을 가지는 광선들의 집합으로 표현하고자 하는 방식이다. 마지막으로 홀로그래피는 여러 파동(wave)들의 조합으로 영상 정보를 표현하는 방식으로, 빛이 파동으로써 가지는 크기와 위상을 모두 표현하기 때문에 궁극적인 3차원 영상 기술로 각광받고 있다.

JPEG Pleno에서는 홀로그래피 기술을 이용한 현미경, 토모그래피, 간섭계, 디스플레이, 프린팅에

서 사용되는 디지털 홀로그램에 대한 효과적인 저장 및 전송을 위한 압축 표준을 만들하고자 한다. 이를 위해서는 기존의 2차원 영상과 상이한 특성을 갖는 홀로그램 데이터에 대한 이해와 보다 다양한 관점에서의 표준화 준비가 필요하다. 본 원고에서는 현재 JPEG Pleno 홀로그래피에서 다루지고 있는 표준화 현황에 대해 소개하고, 향후 표준화 방향을 전망해본다.

## II. JPEG Pleno 홀로그래피 표준화 동향

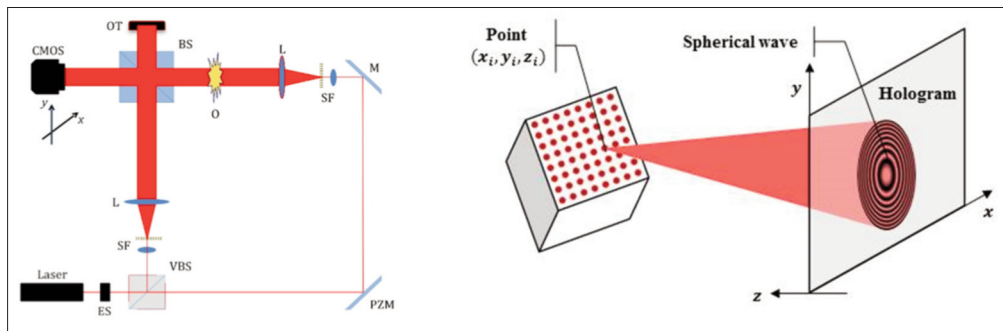
홀로그램 영상 압축을 위한 표준화를 위해서는 실험 영상 모집, 홀로그램 데이터 포맷 정의, 압축 관련 사전 실험, 화질 평가, 요구 사항 정의 등 다양한 표준화 준비 단계가 필요하다. 본 장에서는 이와 관련한 JPEG Pleno 홀로그래피의 표준화 현황을 좀 더 상세하게 소개한다.

### 1. JPEG Pleno 홀로그램 실험 영상

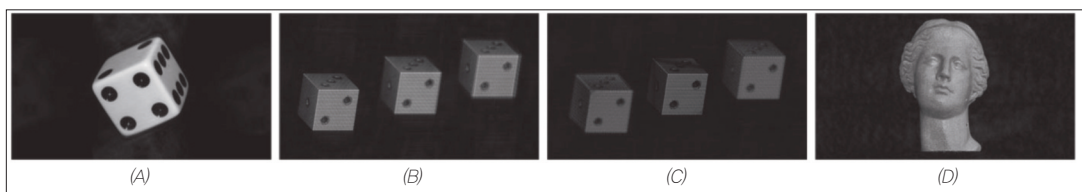
디지털 홀로그램은 객체에서 발생하는 객체 빛과 참조 빛이 만나서 일으키는 간섭 현상을 디지털적으로 기록하거나 이를 모사하는 방법으로 획득이 가능하다. <그림 3>은 간섭계를 구축하고 디지털

이미지 센서를 통해 홀로그램을 직접 획득하는 방식과 3차원 객체를 포인트 클라우드로 표현한 경우 각 점마다의 간섭 현상을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 모사하고, 여러 점의 간섭 무늬를 중첩하여 홀로그램을 간접적으로 획득하는 방식인 CGH(Computer Generated Hologram)에 대한 개념도이다. CGH는 포인트 클라우드뿐만 아니라 RGBD(texture + depth) 데이터나 3D 메쉬, 라이트 필드 등 다양한 3차원 영상정보를 이용해서도 생성이 가능하다.

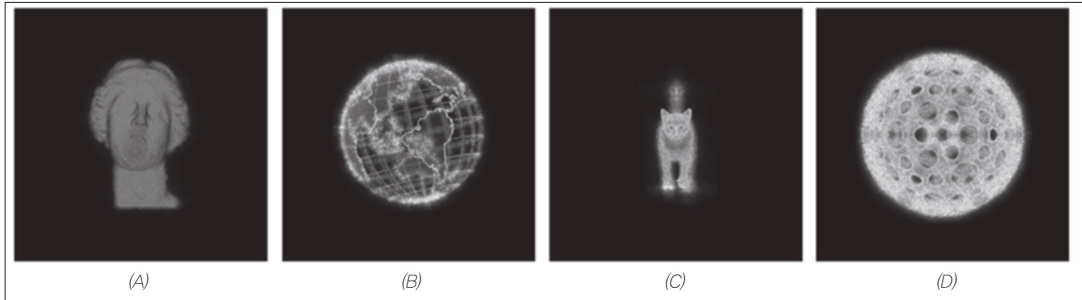
현재 JPEG Pleno 홀로그래피에는 다양한 실험 영상들이 모집되었는데, 그 중 대표적인 3개의 실험 영상 데이터베이스를 소개한다. 먼저, Interfere database[3]는 JPEG Pleno에 가장 먼저 기고된 실험 영상으로 다양한 2D/3D 객체에 대해 CGH를 통해 생성된 모노 및 컬러 홀로그램 데이터를 mat파일 형태로, 이미지로 양자화되기 전의 복소 홀로그



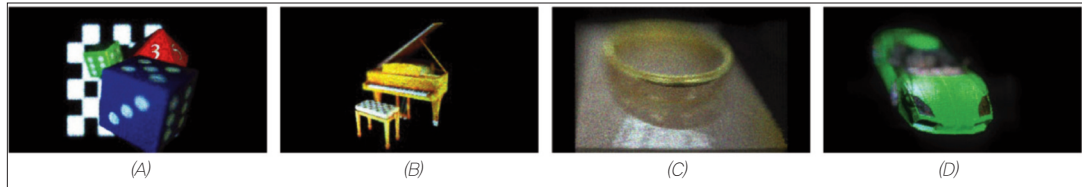
<그림 3> 홀로그램 획득 방법 (좌) 간섭계를 통한 직접 획득, (우) CGH를 통한 간접 획득



<그림 4> Interfere-의 실험 영상 (A) 2D dice, (b) 2Dmulti, (c) 3Dmulti, (d) 3Dvenus



〈그림 5〉 Interfero-II의 실험 영상 (A) Venus8KS, (B) Earth 8KS, (C) Cat8KS, (D) Ball8KS



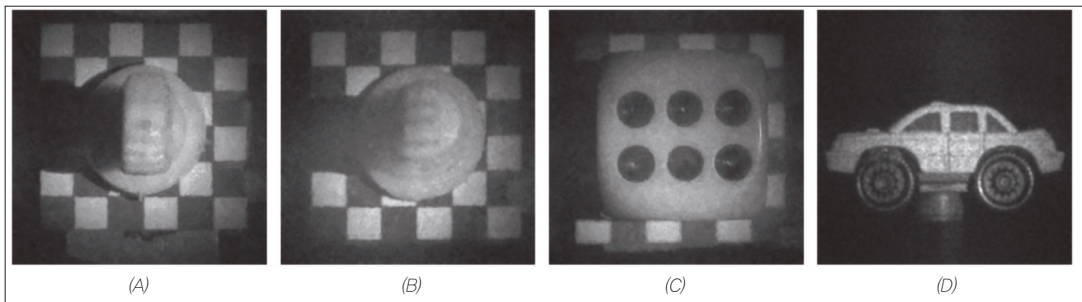
〈그림 6〉 b(<)com의 실험 영상 (A) Dices8K, (B) Piano8K, (C) Ring8K, (D) Specularcar16K

램 정보를 제공하고 있다. 실험 데이터들은  $8\mu\text{m}$ 의 픽셀 피치 홀로그램의 해상도는 2K이고,  $1\mu\text{m}$ 의 픽셀 피치를 갖는 홀로그램은 8K 해상도이다. 〈그림 4〉와 〈그림 5〉는 대표적인 실험 데이터의 수치적 복원 영상을 보여주고 있다.

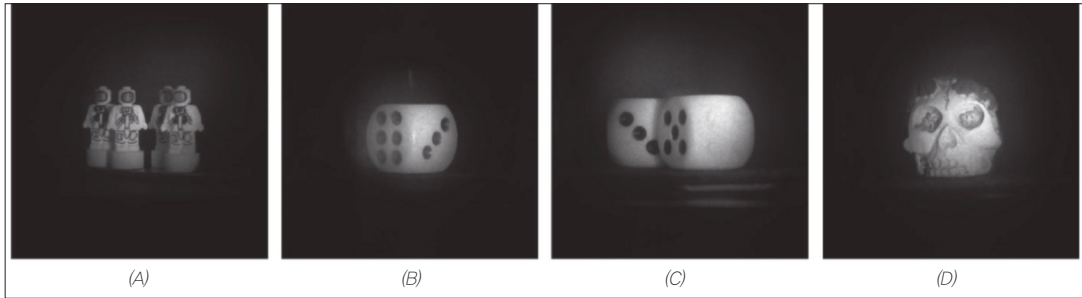
b(<)com에서도 CGH 기술을 통해 생성된 컬러 홀로그램을 제공했고, 픽셀 피치는  $0.4\mu\text{m}$ 이고 해상도가 16K인 홀로그램 실험 영상까지 제공했다[4].

이 경우 32bit 형태로 제공된 real & im-aginary의 홀로그램 영상의 데이터량은 대략 6GB이다. 〈그림 6〉은 b(<)com의 대표적인 실험 영상을 보여주고 있다.

마지막으로 소개할 실험 영상들은 UBI의 EmergImg 실험 영상들이다[5]. 이 실험 영상들은 앞선 실험 영상들과 달리 CGH 방식이 아닌 간섭계 구축을 통해 직접 획득된 홀로그램들이다. 실험에



〈그림 7〉 UBI EmergImg-v1의 실험 영상 (A) Horse, (B) King, (C) Cube, and (D) Car Sequence



〈그림 8〉 UBI EmergImg-v2의 실험 영상 (A) Astronaut, (B) Dice1, (C) Dice 2, (D) Skull

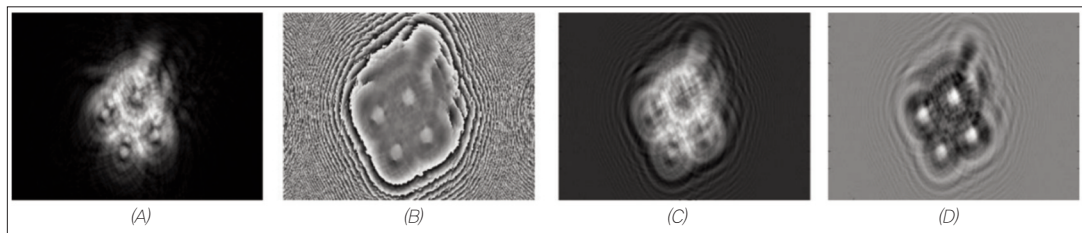
는 Mach-Zehnder 간섭계가 이용되었다. 픽셀 피치  $2.2\mu\text{m}$ 에 해상도는 2K급인 홀로그램과  $4.4\mu\text{m}$ 에 1K급인 홀로그램들에 대해 인터페로그램과 이로부터 얻어진 복소 홀로그램을 제공하고 있다. 〈그림 7〉과 〈그림 8〉은 UBI EmergImg의 대표 홀로그램들로, 직접 획득된 홀로그램임에도 불구하고 화질이 우수함을 확인할 수 있다.

이외에도 최근에는 홀로그래픽 현미경과 토모그래피에 대한 실험 영상들도 지속적으로 모집 중이다. 이렇게 다양한 홀로그램 실험 영상들을 다양한 관점에서 분석하여 향후 표준화 단계에서 사용될 대표 실험 영상들을 선정할 예정이다.

## 2. 홀로그램 데이터 표현과 사전 압축 실험

앞서 소개된 홀로그램 실험 데이터들은 인터페로

그램 혹은 복소 홀로그램으로 표현되어 있다. 홀로그램 관점에서 인터페로그램이란 간섭 현상을 밝기만을 이용해 기록한 정보를 의미한다. 이 경우 DC와 twin 정보도 모두 함께 기록되어 있어, 이에 대해서는 수치적 혹은 광학적인 분리 작업이 필요하다. 이에 반해 복소 홀로그램은 이상적인 홀로그램 정보로 DC와 twin이 존재하지 않는다. 대체적으로 직접 획득하는 홀로그램은 인터페로그램 홀로그램이고, CGH를 통해 생성되는 홀로그램은 복소 홀로그램 정보를 가진다. 물론 직접 획득하는 홀로그램에 대해서도 위상차를 가지는 여러장의 인터페로그램으로부터 복소 홀로그램을 얻어낼 수 있고, CGH의 경우에도 인터페로그램을 만들 수 있다. 복소 홀로그램의 경우 〈그림 9〉와 같이 진폭(amplitude)과 위상(phase) 조합이나 실수(real)와 허수(imaginary) 조합으로 표현될 수 있다. 홀로그램 데이터에 대한

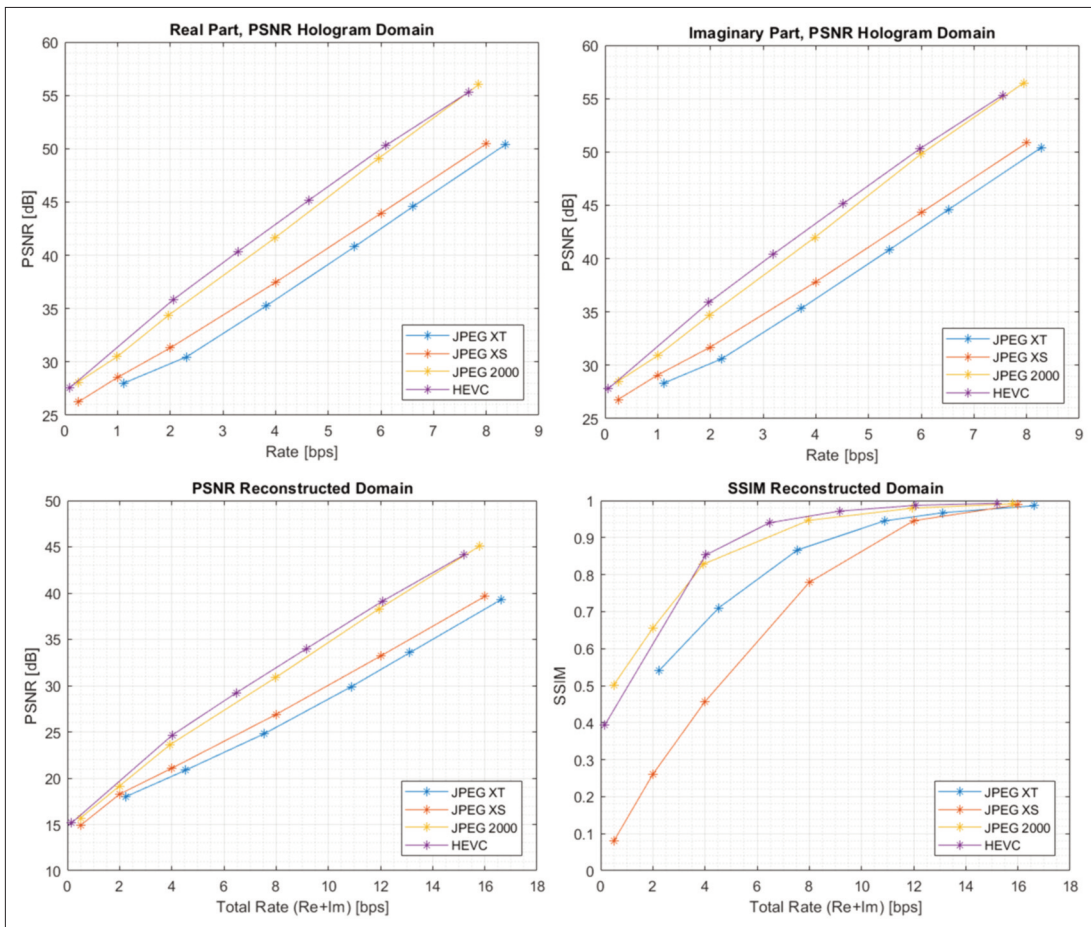


〈그림 9〉 2D Dice 홀로그램의 데이터 표현 (A) Amplitude, (B) Phase, (C) Real, (D) Imaginary

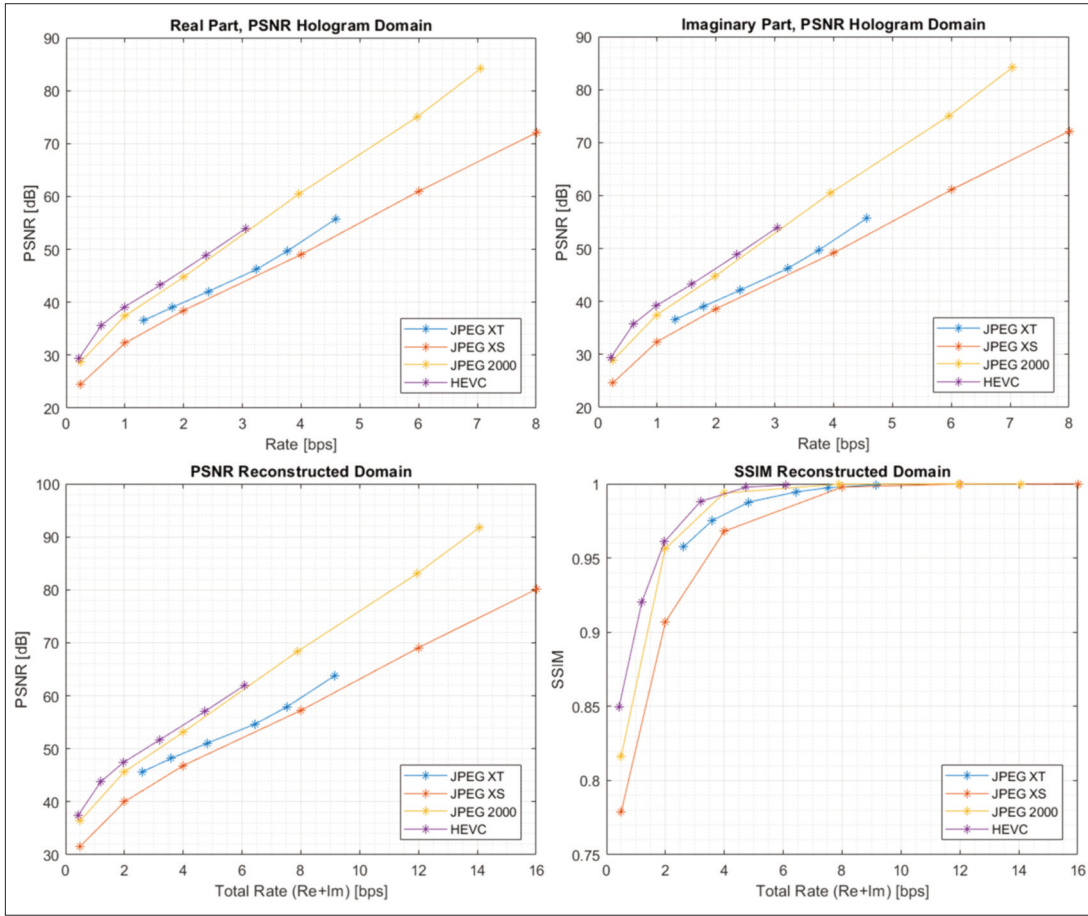
다양한 표현 방법은 홀로그램 압축 코덱의 입력 데이터 포맷을 결정하는 일과 연관되어 표현 방법에 따라 데이터의 중복성과 압축 특성이 달라질 수 있으므로 코덱 디자인에 중요한 부분이다.

JPEG Pleno 홀로그램 그래픽에서는 기존의 영상 압축 표준들을 이용하여 다양한 실험 영상들에 대한 사전 압축 실험도 수행했다[6]. 실험에는 JPEG XT, JPEG XS, JPEG 2000, HEVC가 사용되었고, 복소 홀로그램 데이터를 real & imaginary 표

현 방식으로 16bit로 양자화된 이미지로 표현하여 압축 실험을 수행했다. 실험 영상에 대한 화질 평가는 해당 홀로그램 자체와 대표 깊이에서 수치적 복원된 영상에 대해 압축 전 후의 PSNR 값과 SSIM 값을 비교했다. <그림 10>과 <그림 11>은 CGH 방식과 직접 획득 방식으로 획득된 두 홀로그램에 대한 대표 압축 실험 결과를 보여주고 있다. 다른 실험 영상들도 대략 비슷한 성능을 보였다. 실험 결과 현존하는 영상 코덱 중에는 HEVC



<그림 10> b(>com의 Dices8K 영상에 대한 압축 실험 결과

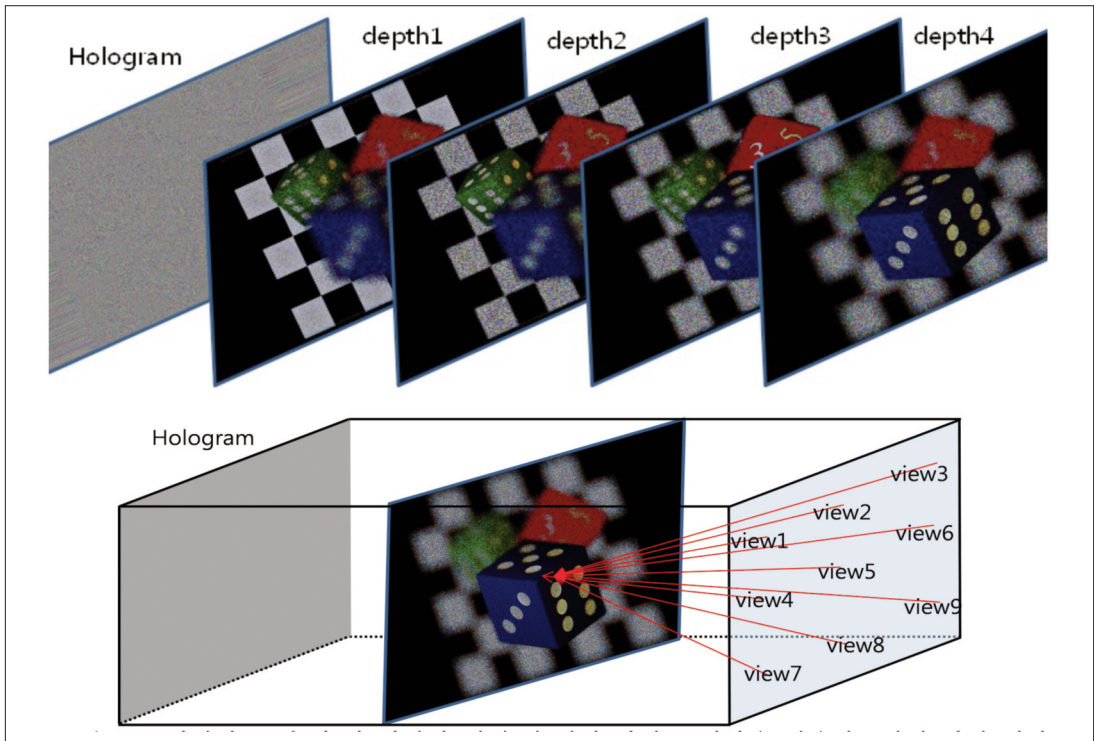


(그림 11) UBl EmergImg-v2의 Astronaut 영상에 대한 압축 실험 결과

가 가장 좋은 성능을 보였고, CGH보다 직접 획득된 홀로그램이 더 압축이 잘 되는 특성을 보였고, 이는 홀로그램의 생성 및 획득 조건뿐만 아니라 스펙클 정도에 대한 민감한 특성들이 상이하므로 선부른 결론을 내기는 어렵고 보다 많은 실험과 분석이 필요할 것으로 보인다. 또한 화질 평가의 경우 홀로그램 도메인과 수치적 복원 도메인의 경향성은 유사하나, 그 특성이 상이한 경우도 관찰되어 이에 대한 추가적인 분석과 실험이 더 필요할 것으로 생각된다.

### 3. 홀로그램 영상 화질 평가

2차원 영상에 대한 화질 평가는 보통 공인된 2차원 디스플레이를 통해 주관적 화질 평가를 수행하고, PSNR과 SSIM을 이용하여 영상 처리나 압축 전후의 객관적 화질을 비교한다. 홀로그램 영상의 경우 이러한 화질 평가 방법이 직접적으로 활용되기 어렵다. 우선 현재 상용화되고 공인된 홀로그래픽 디스플레이가 없고, 3차원 공간을 표현하는 홀로그램에 대한 공인된 객관적 화질 평가 방법도

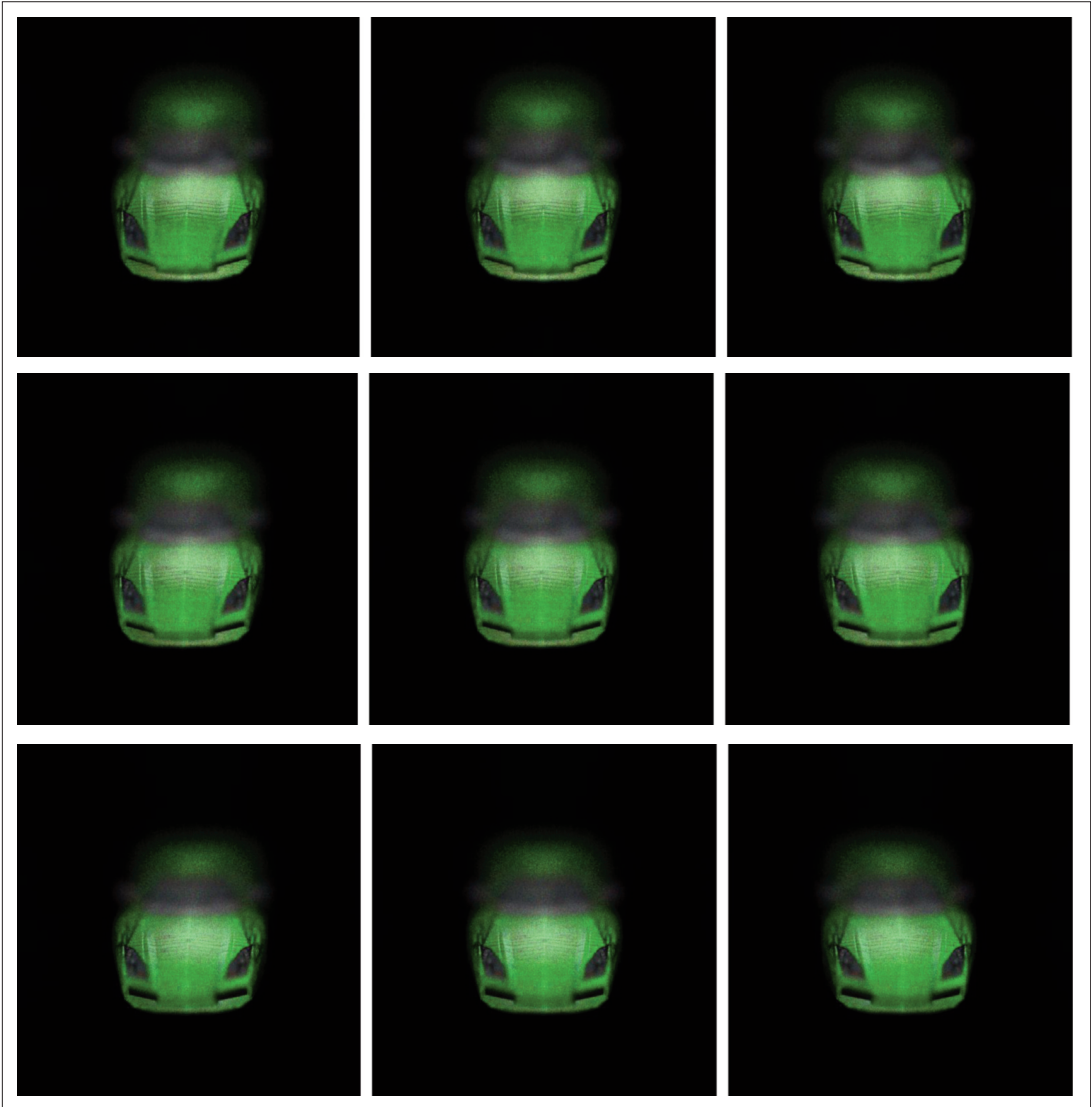


〈그림 12〉 다양한 깊이(상)와 다양한 시점(하)에서 복원된 영상을 이용한 3차원 화질 평가

전무하다. 이에 JPEG에서는 수치적 복원 영상을 이용한 3D 공간 화질 평가 방법을 고민하고 있다 [7]. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 홀로그램 생성이 가능하듯이, 광학적 복원 또한 시뮬레이션이 가능하다. 이를 통해 홀로그램으로부터 특정 깊이 및 시점에 대한 수치적 복원 영상 생성이 가능하다. 홀로그램은 3차원 공간을 표현할 수 있는 이미징 기술이므로 화질 평가에도 이러한 공간성이 고려되어야 한다. 따라서, 여러 깊이 및 여러 시점에서 수치적 복원된 영상을 이용하여 이러한 평가가 가능할 것으로 예상된다. 〈그림 12〉는 하나의 홀로그램으로부터 여러 깊이와 시점을 복원하는 3차원 공간 화질 평가에 대한 개념을 소개하고 있다.

이를 위해서는 홀로그램 영상에 대한 자유로운 수치적 복원이 가능해야 한다. JPEG에서는 최근에 NRSH(Numerical Reconstruction Software for Holography)라는 이름으로 수치적 복원 소프트웨어를 배포했다[8]. 이는 표준화 그룹에서 공정한 화질 평가를 위해 동일한 수치적 복원 소프트웨어를 이용하자는 취지에서 지난 몇 번의 회의를 통해 각 기관의 수치적 복원 소프트웨어 방식을 통합하였다. 현재는 해당 홀로그램이 재현 가능한 3차원 공간상에서 원하는 깊이 및 원하는 시점에서 수치적 복원이 가능한 기능이 구현되어 있고, 향후에도 추가적인 기능들이 수정 및 보완될 예정이다. 〈그림 13〉은 NRSH를 통해 여러 시점에서 수치적 복원된 실험 결과를 보여주고 있다.





〈그림 13〉 9개 시점에서 수치적 복원된 영상 (SpecularcarBK)

### III. JPEG Pleno 홀로그래피 표준화 향후 전망

II 장의 표준화 현황에서 살펴보았듯이 홀로그래피 압축에 대한 표준을 만들기 위해서는 준비되어야 할 부분이 많다. 지난 2년여간 이러한 표준화 준비

에 대한 활동들이 활발히 진행되고 있다. 2019년 3월에 열린 83차 JPEG 회의에서는 다양한 응용 분야의 전문가들을 초청한 JPEG Pleno Holography 워크숍 행사가 있었다. 이 행사를 통해 다양한 응용 분야 관점에서 다루지는 홀로그래피 데이터와 이에 대한 압축 표준에 대한 필요성과 요구 사항들에 대

해 함께 논의했고, 이를 바탕으로 향후 JPEG Pleno에서 만들어질 홀로그램 압축 표준이 이용될 수 있는 응용 분야의 요구사항에 대한 공식 문서 작업을 시작했다. 또한, 2019년까지 표준 압축 코덱 개발을 위한 실험 영상 최종 선정, 압축 실험을 위한 실험 조건 설정 및 화질 평가 방법 선정 등에 대한 논의가 진행될 예정이다. 이를 바탕으로 2020년에는 홀로그램 압축 표준을 위한 CfP(Call for Proposals)를 통해 다양한 홀로그램 압축 기술을 모집하여, 최초의 홀로그램 압축 표준을 만드는 작업이 본격적으로 시작될 것으로 예상된다.

## IV. 결론

지금까지 JPEG Pleno에서 진행되고 있는 홀로그램 압축과 관련한 표준화 기술 동향에 대해 소개했다. 홀로그램은 자연스러운 공간 영상 재현이 가능한 궁극적인 3차원 영상 기술로 기존의 2차원 영상에 비해 방대한 데이터량과 상이한 데이터 특성들로 인해 새로운 압축 기술이 필요로 된다. JPEG Pleno에서 만들어질 홀로그램에 대한 새로운 압축 표준이 향후 홀로그램 영상 서비스의 압축 전송을 위한 근간이 될 것으로 기대한다.

### 참고 문헌

- [1] ISO/IEC JTC1/SC29/WG1, JPEG PLENO Abstract and Executive Summary, WG1N6922, 68th JPEG Meeting, Sydney, Australia, February 2015.
- [2] D. Smalley, T.-C. Poon, H. Gao, J. Kvalve, K. Qaderi, *Volumetric Displays: Turning 3-D Inside-Out*, *Optics & Photonics News* 29 (2018), pp. 26-33.
- [3] D. Blinder et al., Open access database for experimental validations of holographic compression engines, Int. Quality Multimedia Experience (QoMEX), Pylos-Nestoras, Greece, May 26-29, 2015, pp. 1-6.
- [4] A. Gilles et al., Hybrid approach for fast occlusion processing in computer-generated hologram calculation, *Appl. Opt.* 55 (2016), no. 20, 5459-5470.
- [5] M. V. Bernardo et al., Holographic representation: hologram plane vs. object plane, *Signal Proces. Image Commun.* 68 (2018), 193-206.
- [6] "JPEG Pleno Holography Exploration Studies 1.0: ES1.2 Evaluation of holographic test data," Doc. ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG1 M81027, Vancouver, Canada, Oct. 2018.
- [7] "JPEG Pleno-Digital Hologram Quality Assessment," ISO/IEC JTC1/SC29/WG1, M76044, 2017.
- [8] "JPEG Pleno Holography Exploration Studies 1.0: ES1.2 Evaluation of holographic test data," Doc. ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG1 M81027, Vancouver, Canada, Oct. 2018.

### 필자소개



#### 오관정

- 2002년 : 전남대학교 정보통신공학과 학사
- 2005년 : 광주과학기술원 정보통신공학과 석사
- 2010년 : 광주과학기술원 정보통신공학과 박사
- 2010년 ~ 2013년 : 삼성전자 종합기술원 전문연구원
- 2013년 ~ : 한국전자통신연구원 방송·미디어연구소 선임연구원
- 주관심분야 : 홀로그래피, 2D/3D 영상 처리 및 압축, 이머시브 미디어, JPEG/MPEG 표준화