

# Table-top holographic 3D display를 위한 광학계 및 CGH 콘텐츠 생성 연구

김휘,<sup>1\*</sup> 권재범,<sup>1</sup> 한준구<sup>2</sup>

<sup>1</sup>고려대학교 세종캠퍼스 전자및정보공학과

<sup>2</sup>경북대학교 전자공학부

e-mail: [hwikim@korea.ac.kr](mailto:hwikim@korea.ac.kr)

최근 홀로그램 디스플레이에 관한 연구가 활성화 되면서 홀로그램 디스플레이 실현을 위한 다양한 기술적 이슈들이 발굴되고 있고, 새로운 아이디어들과 기술들이 활발히 융합되어 그 해법을 모색하고 있다. Table-top holographic 3D display는 원탁(table) 주변의 사람들이 원탁 중앙에서 생성되는 홀로그램 영상을 관측하는 시스템으로써 앞서 언급한 현대의 요구사항을 잘 반영한 시스템이라고 할 수 있다. 해당 시스템의 핵심은 다수의 관측자가 홀로그램 영상을 정면이 아닌 주변부에서 관측한다는 것이므로 적절한 이미지 영상을 재생하기 위해서는 몇 가지 고려해야할 점이 있다. 첫째는 관측자가 홀로그램 영상을 볼 수 있으려면 이미지 정보가 충분히 동공 안으로 들어와야 하므로, 관측자의 동공에 광파를 왜곡 없이 보내줄 수 있어야 한다는 것이다. 이를 위해 관측자 위치에 맞는 비대칭 이미징 시스템 (non-symmetric imaging optical system)이 필요하다. 둘째는 사입사에 의한 왜곡을 정량화하여 이를 보상할 수 있는 CGH 콘텐츠를 생성해야 한다는 점이다. 그림1(a)에서 보는 바와 같이 언급한 과정에 의해 광원이 꺾여서 SLM에 비스듬하게 입사될 때, 수직 입사와 똑같은 방법으로 CGH 콘텐츠를 생성해주게 되면 반드시 왜곡이 발생하게 된다. 따라서 사입사에 대한 왜곡이 보상된 CGH 콘텐츠를 생성해주어야 한다.

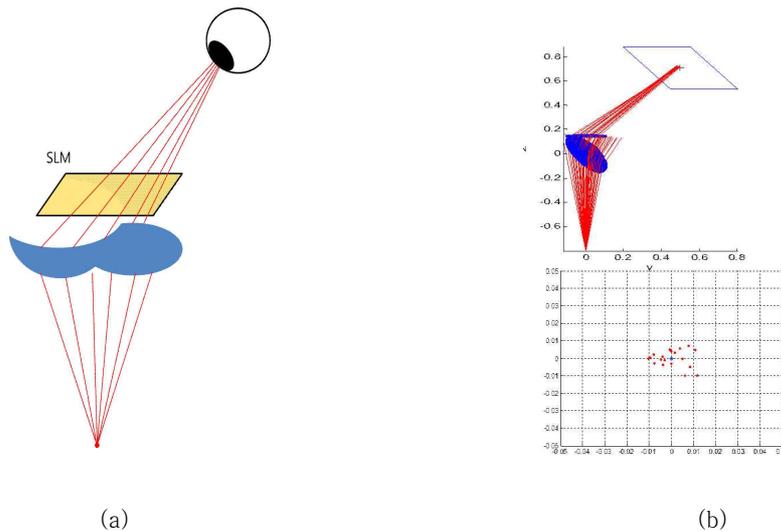


그림1. (a) Table-top holographic 3D display 시스템의 전체적인 모식도 (b) 최적화 과정을 통해 도출한 자유곡면렌즈와 spot diagram

본 논문에서는 위의 두 가지 이슈를 해결하기 위해 다음의 두 가지 접근 방법을 연구를 소개하고자 한다.

- 1) Zernike polynomial을 활용한 자유곡면렌즈 설계, 유전 알고리즘을 통해 렌즈 구조 최적화
- 2) Angular spectrum과 carrier wave를 활용한 경사 왜곡 보상 CGH 생성 알고리즘

자유곡면 비대칭 이미징 광학계의 렌즈곡면을 모델링하는데 있어 가장 일반적인 방법이 Zernike polynomial 모델링이다 [1]. Zernike polynomial은 일련의 직교 다항식 집합으로 각각의 다항식 요소는 일정 크기의

circular aperture 테두리에서 그 진폭값이 노말라이즈되어 있어, 안정적이고 효율적인 자유곡면렌즈 설계 알고리즘의 구성에 적합하다 [2, 3]. 그림1(b)에서는 하나의 점광원에서 뿔어나가는 광선들이 자유곡면렌즈를 거쳐서 동공으로 입사되도록 하는 비대칭 렌즈 시스템의 설계 예를 보여준다. 이를 위해 최적화 알고리즘 중 하나인 유전알고리즘(Genetic algorithm)을 사용하여 다항식의 차수에 따른 파면 오차 및 렌즈의 굴절률 등을 최적화하였다. 최적화를 위해 최적의 cost function과 파라미터들의 변화 범위등이 적절히 운용되어야 하며, 일련의 반복적이고 경험적인 관측이 필요하다.

다음으로 사입사에 대한 왜곡을 보상된 CGH 콘텐츠 생성 방법은 다음과 같다. 일반적인 광학시스템은 망막 평면(output plane)과 SLM 평면(input plane)이 서로 평행하지만 그림1(a)와 같이 자유곡면렌즈에 광파가 SLM에 사입사를 하는 경우, 해당 시스템은 SLM 평면이 상대적으로 경사진 평면에 위치하게 된다. 따라서 망막에서 SLM평면까지 단순히 역프레넬 변환을 통해서만 올바른 CGH 콘텐츠를 생성할 수 없다 [4]. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 아래의 3단계 과정으로 나누어 진행하였다. 1) 망막에 맺혀진 올바른 홀로그램 영상을 SLM 평면과 무게중심을 공유하며 망막 평면과 서로 평행한 임의의 평면으로 역프레넬 변환을 해준다. 2) 임의의 평면에 구해진 광파분포는 다시 원래 우리가 구하고자하는 SLM 평면으로 mapping을 해주어야 한다. 이를 위해 먼저 임의의 평면의 광파분포를 국소좌표계에서 angular spectrum representation으로 표현한다. SLM 평면을 대역좌표계로 설정한 뒤 대역좌표계와 국소좌표계의 회전변환 관계에 따라 국소좌표계에서의 angular spectrum representation을 대역좌표계 형식으로 바꾸어 표현한다. 이때 carrier wave의 방향은 SLM 평면의 법선벡터 방향이다. 3) 위의 일련의 과정을 통해 구해진 광파분포는 carrier wave에 의해 고주파 영역에서 표현되고 있다. 이미지의 정보를 가지고 있는 signal 영역만 필요로 하므로 carrier wave에 의해 shifting 되었던 크기만큼 역으로 다시 shifting 해주는 과정을 통해 이미지 광파의 angular spectrum을 왜곡 없이 저주파 영역으로 가지고 올 수 있다. 1),2),3)번의 과정에 따라 최종적으로 SLM 평면에 mapping된 이미지 광파정보를 구할 수 있다. 아래의 시뮬레이션 결과는 longitudinal angle이 45도로 고정되고 azimuth angle이 변하고 있는 경사면에 대해서 왜곡이 보상된 CGH와 홀로그램 영상을 나타낸다.

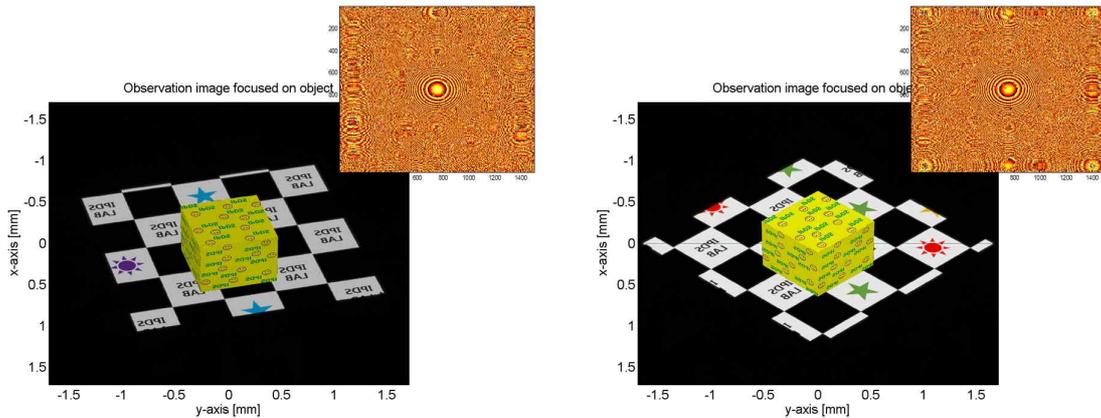


그림3. Azimuth angle이 15도(왼쪽)일 때와 45도 일 때(오른쪽) 망막에서 관측되는 이미지와 왜곡이 보상된 CGH

본 연구는 Giga Korea 사업의 디지털 홀로그래픽 테이블탑형 단말 기술 개발 사업 [GK13D0100]의 지원에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. M. Born, and E. Wolf, Principle of Optics 2<sup>nd</sup> ed. (Pergamon Press, )464 (1989).
2. I.Kaya, Kevin P. Thompson and J.P.Rolland "Comparative assessment of freeform polynomials as optical surface descriptions" Opt. Express 20, 22683-22691 (2012)
3. G.W.Forbes "Robust and fast computation for the polynomials of optics", Opt. Express 18, 13851-13862 (2010)
4. H. Kim, J. Hahn, and B. Lee, "Mathematical modeling of triangle-mesh-modeled three-dimensional surface objects for digital holography," Appl. Opt. 47, D117-D127 (2008)