

# Bragg type 음향광변조기를 채택한 Electro-holographic system 에서의 computer generated Fresnel hologram의 구현 The CGH in the Electro-holographic system using the Bragg type AOSLM

최현희, 김성규, 손정영, 우정원\*, Tran Thi Van Anh

KIST 3D Imaging Media Lab, \*이화여자대학교 물리학과  
bluesky\_hchoi@kist.re.kr

KIST에서는 Pulsed Laser를 사용하여 3차원 image를 재생할 수 있는 Electro-Holographic System<sup>1</sup>을 만들어 CGH이미지를 구현하였다. CGH 이미지를 구현하기 위한 SLM (Spatial Light Modulator)으로 TeO<sub>2</sub> 결정의 Shear Mode 에서 동작하는 Bragg type의 다채널 AOSLM(Acousto-optic Spatial Light Modulator)이 사용되었다. 이 Bragg type 다채널 AOSLM<sup>2</sup>에서는 광원이 특정 Bragg 각도로 입사하였을 때 다른 고위 차수는 억압되고 +나 -의 첫번째 차수의 회절 빔만이 형성된다. AOSLM의 type을 결정하는데 사용되는 Q값은 11정도로 Bragg type임을 말해주고 있다

off-axis 방식으로 CGH를 계산했을 경우 AOSLM면에 최대 기울어 들어갈 수 있는 참조광의 각도는 2° 에 지나지 않는다. 입사각  $\theta$ 가 작다 하여도 물체광의 최대 공간주파수가 매우 낮다면 실상과 허상은 분리될 가능성이 있다. 그러므로 공간 주파수가 낮은 홀로그램으로부터 멀리 떨어져 있는 영상은 어느 정도의 허상과 실상의 분리가 일어나 off-axis의 효과를 보일 수도 있다. 그러나 이러한 경우 AOSLM의 특성 상 영상의 질에 영향을 미치게 된다. 또한 AOSLM에 입사한 빛은 Bragg조건에 의해 다음과 같은  $k_d \pm k_s = K$  위상정합 조건이 만족되어야 한다. 그림 1과 2에서 볼 수 있듯이 이러한 위상 정합조건을 만족하기 위해서는 +1나 -1차수가 구현될 때 위상정합에 위배되는 방향의 실상이나 허상 쪽의 회절은 일어날 수 없게 된다. 결과적으로 온전한 시야각의 형성은 불가능하게 되고 한쪽 회절 차수를 택하였을 경우 그림 2에서와 같이 각각 다른 방향의 시야각을 구성하는 실상과 허상의 영상을 얻게 된다. 이러한 경우 영상에서는 실상과 허상을 모두 볼 수 있으며 서로 대칭적으로 움직이는 운동 시차를 가지게 된다. 따라서 single-side band<sup>3</sup> 방법을 사용하여 한쪽 band를 모두 사용하지 않으면 실상이나 허상 둘 중에 하나만을 선택 가능하다.

Fresnel 홀로그램을 구현하기 위해서 물체들을 점광원의 집합이라고 가정하고 다음과 같이 기술한다.

$$E_o(x, z) = \sum_{p=1}^N \text{rect}[\Delta x] a_p(x_p, z_p) \frac{\exp(ik\sqrt{(x-x_p)^2 + z_p^2})}{\sqrt{(x-x_p)^2 + z_p^2}} \text{comb}\left(\frac{x}{\delta x}\right) \quad (1)$$

이 Electro-holography system은 수평방향의 시차만을 느낄 수 있으므로 수평방향의 시차를 나타내는 수평방향( $x$ ), 깊이방향( $z$ ) 좌표 값만 사용하며  $\text{rect}[\Delta x]$ 는 window함수를 나타내고  $x_p, z_p$ 는 기록 물체 좌표계를  $\text{comb}$  함수는 sampling 함수를  $\delta x$ 는 홀로그램 면에서의 sampling 간격을,

$a_p(x_p, z_p)$  sampling 뒤의 물체광의 intensity를 나타낸다. 사용된 다 채널 AOSLM의 bandwidth 는 40 MHz 로 한 채널 당 약 1600 cycles/12 mm 의 기록이 가능하며 이 때의 회절각이 약  $2^\circ$  도가 된다. 재생하고자 하는 신호의 최대 공간 주파수의 2배 이상 sampling을 해주어야 Aliasing을 막을 수 있다는 sampling을 이론을 적용하면 제한된 resolution 에 의해서 고주파수의 fringe는 기록될 수 없고 이러한 을바르지 않은 계산 값들을 취했을 경우에는 영상의 심각한 왜곡이 발생하게 된다. 따라서 제한된 resolution이 하나의 window 함수의 역할을 하며 window 함수를 도입하여 resolution 제한 밖의 고주파수들은 영상에 기여 할 수 없도록 한다. 위에서  $\Delta x$ 는 window 함수의 직경을 말하고 다음 조건,  $\phi(\Delta x/2 + \delta x) - \phi(\Delta x/2) \leq \pi$  을 만족하여야 한다.  $\phi$ 는 식(1)의 exp 함수의 위상항으로 물체광의 깊이  $z_p$  크기와는 반비례하여 홀로그램과 가까이 있는 물체광에 대한 window 함수의 폭은 좁아지고 멀리 있는 물체광에 대한 window 함수의 폭은 넓어지고 된다. 넓은 폭의 window 함수는 많은 fringe 갯수를 의미하기도 하며 각각의 fringe는 입사되는 레이저 빛을 회절시킴을 의미하므로 gray scale이 적용되지 않는 system에서는 window 함수의 폭이 좁은 홀로그램에 가까이 있는 물체광에 의한 fringe의 회절 효율보다 그 효율이 좋아짐으로 밝기의 역전현상을 경험할 수도 있다. 이러한 window 함수의 사용은 digital 홀로그램에서 중요한 문제인 계산 시간 단축을 의미한다. 즉 AOSLM에 의한 hologram 구성은 Fresnel 홀로그램이나 근거리 홀로그램인 image 홀로그램이 계산 시간의 단축이나 bandwidth 절약 면에서 더 유리함을 말한다.

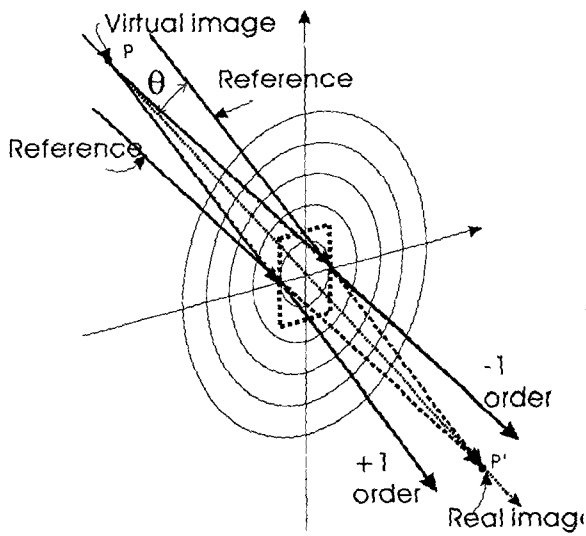


그림 1. Fresnel zone plate

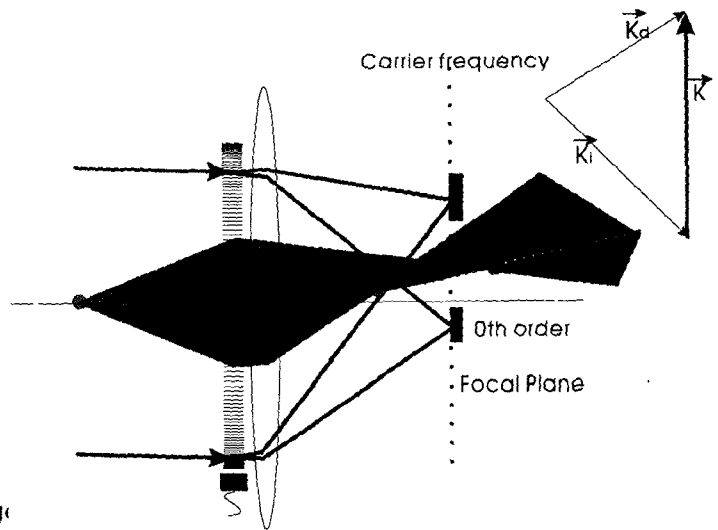


그림 2. AOSLM에 의한 실상과 허상의 형성

1. H. S. Oh, H. W. Jeon, S. A. Shestak, S. K. Kim, J. Y. Son, H. Y. Lee, Y. J. Choi, and C. E. Kang, "Holographic Video System with a Pulse Laser," Japanese Journal of Applied Physics, 37, 4, 1877-1881 (1998)
2. J. Y. Son, S. A. Shestak, V. Epikhin, and S. K. Kim, "A Multi-Channel AOM for Real Time Electro-Holography," Applied Optics, 38, 14, 3101-3104 (1999)
3. O. Bryndahl and A. Lohnmann, "Single-sideband holography", J. Opt. Soc. Am., 58, 620-624 (1968)