

렌즈어레이 픽업 결상계의 paraxial 및 non-paraxial 기하광학 분석

Paraxial and non-paraxial analyses of lens array pickup imaging optical system

이호원*, 김 휘, 이병호
 서울대학교 공과대학 전기공학부
 E-mail: byoungho@snu.ac.kr

삼차원 집적영상기술(integral imaging)⁽¹⁾에서는 삼차원 물체의 입체 정보를 렌즈어레이를 통하여 픽업하여 기초영상을 만들고 이를 다시 동일한 렌즈어레이를 통해 디스플레이하여 관찰자로 하여금 초점 평면을 중심으로 한 일정 깊이의 공간상에서 삼차원 물체를 볼 수 있게 한다. 단일 렌즈의 배열로 이루어진 일반 렌즈어레이 픽업 결상은 근축근사영역 결상이론을 통해 이해된다. 그러나 삼차원 물체가 렌즈어레이에 가까이 놓여있는 경우 렌즈어레이의 중심으로 멀리 떨어져 있는 렌즈들에 의해 결상되는 이미지들은 근축근사 결상이라고 보기 어렵고 실제로 단일 렌즈의 비근축효과, 즉 고차 수차의 영향들로 인하여 왜곡된 이미지를 결상하게 된다. 본 논문에서는 paraxial 기하광학 분석과 non-paraxial 기하광학 분석의 비교 분석을 통하여 이러한 렌즈어레이의 non-paraxial 결상 현상을 분석해 보고자 한다.

그림 1은 간단한 렌즈어레이 픽업 결상계를 보여주고 있다. 가우시안 ABCD 행렬 기하광학⁽²⁾을 사용하여 시스템의 paraxial 결상 특성을 분석 하고 렌즈어레이의 각각의 렌즈를 구면으로 모델링하여 스넬의 법칙에 따라 정교한 광선추적기법을 통해 non-paraxial 결상 특성을 분석하였다. 두 방법의 비교 분석을 통해 전체 렌즈어레이의 영역 중 paraxial 결상 영역과 non-paraxial 결상 영역을 구분해 보고 각각의 결상 특성을 비교해 보았다.

그림 2는 실제 렌즈 어레이를 사용하여 물체의 이미지를 실험적으로 결상하여 얻은 기초영상을 보여준다. 본 실험에서는 각각의 렌즈의 초점거리가 2.2cm이고 각 렌즈의 한 변의 길이는 1cm인 렌즈어레이를 사용하였다. 렌즈어레이와 물체와의 거리는 8cm로 하였다.

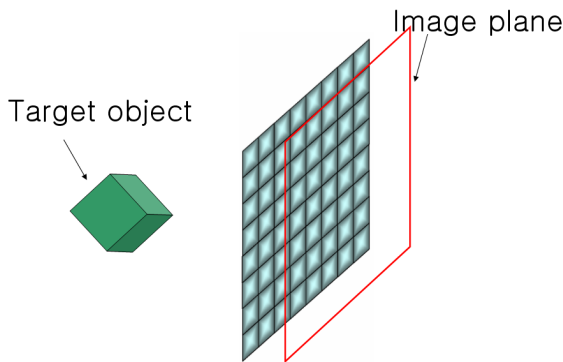


그림 1. 렌즈 어레이 픽업 결상계

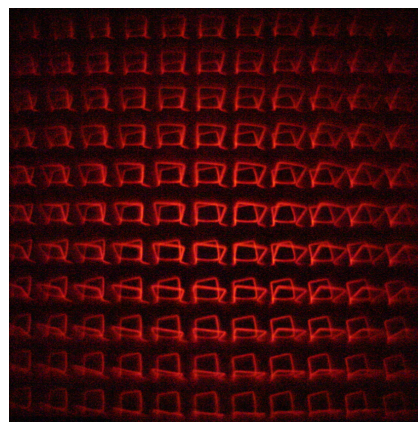


그림 2. 픽업 결상 실험을 통해 얻은 기초영상

그림 3에서는 실제 실험에서 (0,0)번째 렌즈를 통해 결상된 이미지를 ABCD 행렬을 통해 얻어진 이미지와 광선추적을 통해 얻어진 이미지와 비교하였다. 결과에서 알 수 있는 바와 같이 (0,0)번째 렌즈를 통해 결상되는

한국광학회 하계학술발표회

이미지는 paraxial 결상을 통해 설명할 수 있음을 알 수 있다. ABCD 행렬을 통해 얻어진 이미지와 광선추적을 통해 얻어진 이미지가 서로 일치함을 볼 수 있다. 그림 4에서는 실제 실험에서 렌즈어레이의 중심으로부터 떨어져 있는 (4,4)번째 렌즈를 통해 결상된 이미지를 ABCD 행렬을 통해 얻어진 이미지와 광선추적을 통해 얻어진 이미지와 비교하였다. 이 경우에는 ABCD 행렬을 통해 얻어진 이미지와 광선추적을 통해 얻어진 이미지가 상당한 차이를 보임을 알 수 있는데 광선추적을 통해 얻어진 이미지에서 수차에 의한 왜곡이 있음을 관찰할 수 있다. 실제 실험 결과에서도 이와 같은 이미지의 왜곡을 볼 수 있다. 그리고 그림 4(a)의 실험 결과에서 상 근방에 붉은 점들이 잡음처럼 분포하고 있는 것을 볼 수 있는데 그림 4(c)의 결과와 비교해 볼 때 이러한 잡음의 상당 부분이 렌즈의 수차에 의해 유발된 것으로 생각할 수 있다. 이와 같은 분석을 통해 렌즈어레이에서 중심으로 멀리 떨어진 부분에 위치한 렌즈를 통한 이미지 결상에서의 non-paraxial 효과를 분석해 보았고 렌즈어레이의 paraxial 이미징 영역을 이론적으로 확인하여 보았다. 지금까지 렌즈어레이를 사용한 응용들에서는 렌즈어레이의 결상을 단순한 paraxial 이미징으로 보고 있는데 본 논문에서 분석한 바와 같이 렌즈 어레이 이미징에서 non-paraxial 효과를 무시할 수 없음을 알 수 있다. 집적영상기술의 구현에 있어서도 이와 같은 효과를 고려하는 것이 중요할 것이라고 생각된다.

또한 최근 저자들에 의해 삼차원 이미지 합성을 위한 computer generated hologram(CGH)의 설계 개념이 제안된 바 있는데 이를 실현하기 위해서는 우선적으로 렌즈어레이 픽업 결상계의 파동 광학적 적분 변환 공식이 요구되고 있다.⁽³⁾ 파동광학은 일반적으로 paraxial 영역에서 논의되고 있는 바 본 논문에서 분석한 paraxial 영역 및 non-paraxial 영역의 결상 특성 분석은 차후의 작업을 위해 매우 중요한 분석이라고 할 수 있겠다.

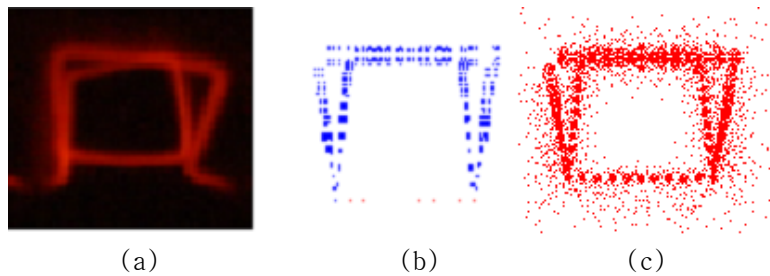


그림 3. (0,0)렌즈의 결상 이미지 (a) 실험 결과 (b) ABCD 행렬 분석결과 (c) 광선추적 분석결과

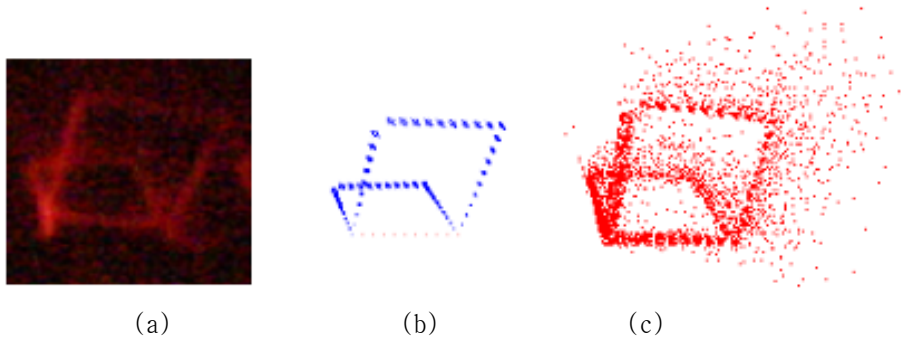


그림 4. (4,4)렌즈의 결상 이미지 (a) 실험 결과 (b) ABCD 행렬 분석 결과 (c) 광선추적 분석결과

*본 연구는 차세대정보디스플레이 사업단을 통한 산업자원부의 21C 프린터 사업의 지원에 의하여 이루어졌습니다.

1. 박재형, 렌즈 어레이를 이용한 광선 방향성 분포의 획득 및 재생에 기반한 3차원 정보의 획득, 상관 연산 및 디스플레이에 관한 연구, 박사학위논문, (서울대학교 2005).
2. H. Kim and B. Lee, "Analytic design of an anamorphic optical system for generating anisotropic partially coherent Gaussian Schell-model beams," Optics Communications 260, 383-397 (2006).
3. H. Kim, K. Choi, and B. Lee, "Diffractive optic synthesis and analysis of light fields and recent applications," Japanese Journal of Applied Physics (accepted for publication).