

## 반사형 디지털 홀로그래피 현미경 시스템에서의 조사면적 및 재생면적의 확대기록

최규환 · 김성규<sup>†</sup>

한국과학기술연구원 영상미디어연구센터  
⑧ 130-650 서울시 성북구 하월곡동 39-1

### 조동현

고려대학교 물리학과 레이저 분광학 연구실  
⑧ 136-713 서울시 성북구 안암동 5가

### 윤선규

제주대학교 물리학과 비선형 광학 연구실  
⑧ 690-756 제주도 제주시 제주대학로 66

(2006년 6월 19일 받음, 2006년 8월 8일 수정본 받음)

マイケルソン干渉計システムに二つの凸レンズを追加することで、干渉光を維持する。物体内で調査される物体内の調査面積を最大化するためには、変形されたマイケルソン干渉計を作成した。変形されたマイケルソン干渉計を反射型デジタルホログラフィー顕微鏡システム(Digital Holography Microscope System)に適用した結果、二つの凸レンズを追加しない古いマイケルソン干渉計を使用したデジタルホログラフィー顕微鏡システムよりも、広い範囲にわたって物質を記録することができる。また、それを用いても、さらに広い範囲を再生することができる。

주제어 : Digital holography, Microscopy system, Michelson interferometer, Numerical reconstruction.

## I 서 론

홀로그래피를 사용한 현미경 시스템은 1940년대 영국의 과학자 Dennis Gabor<sup>[1,2]</sup>에 의해 제안 되었으며, 홀로그램의 수치적 재생 방법은 Goodman과 Laurence<sup>[3]</sup>에 의해서 30년 이상 이전에 제안된 것으로 이러한 수치적 재생은 Kronrod 등에 의하여<sup>[4]</sup> 실현되었다. 이러한 방법은 디지털 데이터로 기록된 홀로그램을 수치적으로 재생하는 것이다. 홀로그래피 플레이트(Holographic Plate)를 사용하는 고전적인 홀로그래피와 비교하면, 디지털 홀로그래피(Digital Holography)에 있어서는 화학적 홀로그램 생성 과정을 생략할 수 있고 이로 인한 빠른 결과를 볼 수 있다. 컴퓨터의 연산속도와 전자적 홀로그래피 영상(Holographic Image)의 획득 장치의 발전은 다수의 응용 분야에 매우 매력적인 도구가 되었다.

디지털 홀로그래피 현미경에 대한 연구는 Haddad<sup>[5]</sup>, Kreuzer와 Pawlitzek<sup>[6]</sup>, Kebbel, Hartmann 그리고 Juptner<sup>[7]</sup>와 Coppola<sup>[8]</sup> 등에 의해 연구되어 왔다.

디지털 홀로그래피의 응용을 고려할 때 CCD(Charge Coupled Device)의 각 픽셀의 크기(>5 micro meter)는 제약 요소로 작용한다. 실버 할라이드(Silver Halide)에서의 에멀전(Emulsion)을 사용하는 고전적 홀로그래피에서는 그 공간 주파수가 5000 lines/mm 정도이다. 이러한 에멀전의 경우에는

참조광과 물체광 사이의 각도에 있어서 기록과 재생에 있어 거의 제한이 없다. 그러나 CCD 카메라의 경우에는 의미가 있는 기록 가능한 공간 주파수가 <100 lines/mm 이므로 간섭하는 물체광과 참조광 파동의 사잇각은 수도 정도로 한정된다. 이러한 경우에 특별한 방법을 사용하지 않는 한도에서는 기록 대상체의 크기가 상대적으로 작고 먼 거리에 있어야 그 간섭패턴을 기록할 수 있어 그 응용에는 한계가 있으며 이를 극복하려는 논문들이 있다.<sup>[9,10]</sup> 이러한 극복 이외에도 응용에 있어 반사형 디지털 홀로그래피 현미경 시스템(Digital Holography Microscope System) 구현 시 물체의 기록 및 재생에 있어 기록 가능한 영역이 대물렌즈를 통과하여 물체로 입사하는 경우 광의 조사면적이 제한되는 문제점을 가지고 있다.

이러한 문제를 해결하고자 구조가 마하젠더 간섭계(Mach Zehnder Interferometer) 방식에 비하여 단순하며 구성하기가 편리한 마이케르슨 간섭계(Michelson Interferometer) 방식을 사용하여 새로운 반사형 디지털 홀로그래피 현미경 시스템을 제작하였다. 반사형 마이케르슨 간섭계 시스템이 갖는 대물렌즈의 광학적 성능에 의한 조사면적이 제한되는 문제점을 극복하기 위하여 마이케르슨 간섭계 시스템에 두개의 Convex Lens를 추가한 변형된 반사형 디지털 홀로그래피 현미경 시스템을 제작함으로서 참조광의 평행성을 유지 시키고, 물체에 조사되는 물체광의 조사면적을 확대시킴으로서 기존의 반사형 디지털 홀로그래피 현미경 시스템이 갖는 물체광의

<sup>†</sup> E-mail: kkk@kist.re.kr

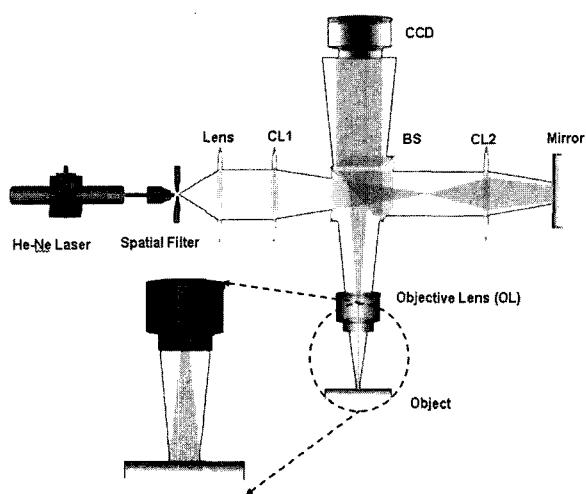


그림 1. 두 개의 Convex Lens를 사용한 새롭게 제작된 반사형 디지털 홀로그래피 현미경 시스템.

조사면적이 제한되는 문제점을 극복할 수 있다.

즉 그림 1과 같이 Lens를 지나 평행광으로 광강도 분포가 형성이 된 광이 하나의 Convex Lens를 지나 공간 광 분할기를 거쳐 현미경 대물렌즈에 입사를 하게 된다. 이 경우 현미경 대물렌즈의 위치를 조절함으로써 물체에 조사되어지는 영역을 조절 할 수 있다. 또한 새롭게 제작된 반사형 디지털 홀로그래피 현미경 시스템을 통한 물체광의 조사면적의 확대는 현미경 대물렌즈를 적용한 기존의 반사형 디지털 홀로그래피 현미경 시스템의 방식에 비하여 보다 넓은 물체 영역을 조사하며 이러한 방법으로 간접무늬를 기록하면 보다 넓은 물체를 수치적으로 재생을 할 수가 있다.

## II. 조사영역의 변화

보다 넓은 영역의 간접 패턴을 유효하게 CCD에 기록하기 위하여 두 개의 Convex Lens(CL)를 사용하여 변형된 반사형 디지털 홀로그래피 현미경 시스템을 구성하였다. 그림 1에 그 실험 장치의 개요도를 나타내었다. 평면파는 핀홀을 사용하는 공간 필터를 사용하여 생성시키고, 광원으로는 30mW의 He-Ne 레이저를 사용하고, ND 필터(Neutral Density Filter)를 사용하여 기록에 사용되는 광량을 조절하였다. 여기서 CCD 카메라는 참조광과 물체광 사이에 발생하는 간접 패턴을 기록한다. 사용한 CCD 카메라는 REDLAKE MASD Model ES4020을 사용하였다. 이 모델의 사용 가능한 해상도는 2048(H)×2048(V)이다. 각각의 셀 간격 (Pixel Spacing)은 수평 수직 모두  $7.4\mu\text{m}$ 이며, CCD 전체 감광면적 (Photosensitive area)은  $15.1\text{mm}(\text{H})\times15.1\text{mm}(\text{V})$ 이다. 사용한 현미경 대물렌즈(Objective Lens)는 Numerical Aperture 0.25, Working Distance  $6.3\text{mm}$ 인 Motic사의 CCIS E Plan Objective를 사용하였다.

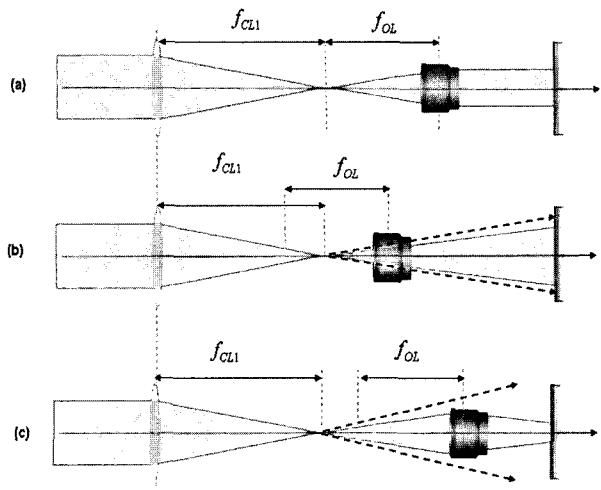


그림 2. CL1과 대물렌즈의 위치와 조사면적의 변화 관계.

제작된 반사형 홀로그래피 현미경 시스템에서 렌즈 CL1은 평행광 생성을 위한 Lens와 공간 광분할기(BS) 사이에 위치한다. 또 다른 렌즈 CL2는 공간 광분할기(BS)와 반사경(Mirror) 사이에 놓여진다. 공간 필터와 Lens 및 렌즈 CL1를 통한 빛은 공간 광 분할기(BS)를 지나 참조광과 물체광 두 개의 광으로 분할이 된다. 참조광은 렌즈 CL2를 지나 반사경(Mirror)에 반사되어 다시 렌즈 CL2를 통과함으로서 평행광으로 되어 CCD에 기록되며, 물체광은 대물렌즈를 지나 물체에 조사하게 된다. 이때 렌즈 CL1과 대물렌즈의 초점거리를 각각  $f_{CL1}$ 과  $f_{OL}$ 이라 하면, 물체에 조사되는 조사영역의 변화는 렌즈 CL1과 대물렌즈의 각 초점거리에 해당하는 위치로서 해석 할 수가 있다. 이를 그림 2에 나타내었다.

즉 렌즈 CL1의 위치가 렌즈 CL1의 초점거리  $f_{CL1}$ 에 해당하는 거리만큼 왼쪽에 위치하고, 역시 대물렌즈가 대물렌즈의 초점거리  $f_{OL}$ 에 해당하는 거리만큼 오른쪽에 위치를 한다면 대물렌즈를 지나는 광은 최종적으로 평행광이 되어 물체에 조사하게 될 것이다.(그림 2(a)) 만약 대물렌즈의 위치와 렌즈 CL1의 위치가 각각의 초점거리에 해당하는 거리보다 안쪽에 위치한다면 대물렌즈를 통해서 나오는 광의 물체에 조사되는 영역은 증가하게 될 것이다.(그림 2(b)) 또한 대물렌즈의 위치와 렌즈 CL1의 위치가 각각의 초점거리에 해당하는 거리보다 더 먼 거리에 위치하게 된다면 대물렌즈를 통해서 나오는 빛의 물체에 조사되는 영역은 감소하게 될 것이다.(그림 2(c)) 따라서 제작된 마이켈슨 간접계의 렌즈 CL1과 대물렌즈의 상대적 위치를 조절함으로서 기존의 마이켈슨 간접계에서는 할 수 없었던 조사영역의 변화를 조절 할 수 있다. 본 실험의 경우 그림 2(b)와 같이 렌즈 CL1과 대물렌즈의 위치를 각각의 초점거리 안쪽에 위치시킴으로서 물체에 입사하는 조사면적의 확대를 통해 재생상의 영역 확대를 시킬 수 있었다.

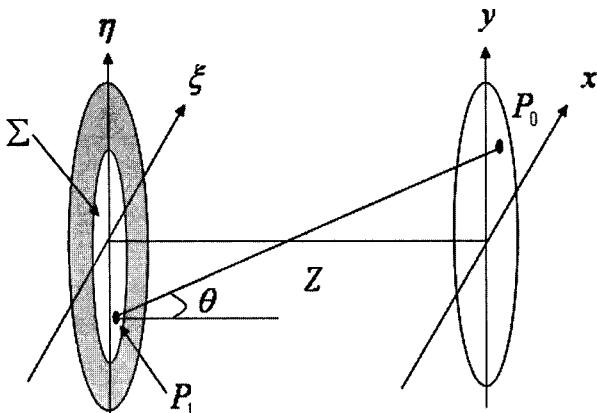


그림 3. 회절의 기하배치.

### III. 수치적 재생

회절 개구가  $(\xi, \eta)$  평면에 놓여 있고, 양의  $Z$  방향으로 빛이 조사되어 진다고 가정하면,  $(x, y)$  평면에 걸쳐서 전기장을 계산한다. 이 평면은  $(\xi, \eta)$  평면과 평행하며 수직거리  $Z$  만큼 떨어져 있다. 그림 3은 고려하는 상황을 나타내고 있다.  $Z$  축은  $(\xi, \eta)$  평면과  $(x, y)$  평면의 원점을 통과한다. 따라서, Huygens-Fresnel 원리에 의하여 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$U(P_0) = \frac{1}{i\lambda} \int \int_{\Sigma} U(P_1) \frac{\exp(ikr_{01})}{r_{01}} \cos\theta ds \quad (1)$$

여기서  $\theta$ 는 밖으로 향하는 법선 벡터  $\hat{n}$ 과  $P_0$ 와  $P_1$ 을 연결하는 벡터  $r_{01}$  사이의 각이다. 또한  $\cos\theta$ 항은  $\cos\theta = (z/r_{01})$ 과 같이 주어진다.

그러므로, Huygens-Fresnel 원리는 다음과 같이 쓰여질 수 있다.

$$U(x, y) = \frac{z}{i\lambda} \int \int_{\Sigma} U(\xi, \eta) \frac{\exp(ikr_{01})}{r^{2_{01}}} d\xi d\eta \quad (2)$$

식 (2)에서 거리  $r_{01}$ 은 다음과 같다.

$$r_{01} = \sqrt{z^2 + (x - \xi)^2 + (y - \eta)^2} \quad (3)$$

여기서 Huygens-Fresnel 원리를 좀 더 간단하고 유용한 표현식을 얻기 위해 식 (4)와 같이 근사를 적용하면, 퓨리어 적분 꼴인 적분식 식 (5)을 얻을 수 있다.

$$z^3 \gg \frac{\pi}{4\lambda} [(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2]_{\max}^2 \quad (4)$$

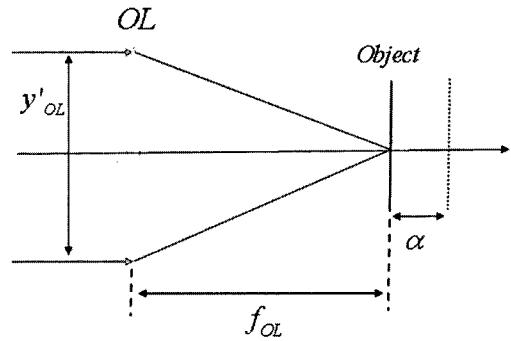


그림 4. 기존 반사형 홀로그래피 현미경 시스템에서의 조사면적의 변화 개요도.

$$U(x, y) = \frac{e^{ikz}}{i\lambda z} e^{i\frac{k}{2z}(x^2 + y^2)} \int_{-\infty}^{\infty} \int [U(\xi, \eta) e^{i\frac{k}{2z}(\xi^2 + \eta^2)}] e^{-i\frac{k}{2z}(x\xi + y\eta)} d\xi d\eta \quad (5)$$

수치적 적분에서 실상은 식 (6)에 의해서 계산할 수 있다.

$$I(x, y) = |U(x, y)|^2 \quad (6)$$

그리고, 식 (5)로 수치적 재생을 하면, 실상의 영상을 계산되어지고, 퓨리어 역변환 꼴의 적분을 이용하면, 실상을 계산한  $z$ 축의 값으로 허상의 영상을 계산할 수 있다.

고속 연산 알고리즘인 FFT (Fast Fourier Transform)을 식 (5)에 적용하기 위하여 아래의 식을 사용한다.

$$\Delta x \Delta \xi = \frac{\lambda z}{N}, \quad \Delta y \Delta \eta = \frac{\lambda z}{N} \quad (7)$$

여기서 사용되는  $N$ 은 CCD의 각 방향의 해상도이다. 또한  $\Delta\xi$ 와  $\Delta\eta$ 는 CCD의 단위 셀의 수평, 수직 방향의 크기이고,  $\Delta x$ 와  $\Delta y$ 는 수치적 재생에서, 수평과 수직 방향의 단위 거리이다.

### IV. 조사영역에 대한 고찰

기존의 반사형 홀로그래피 현미경 시스템에서는 공간 필터를 통과 한 광이 Lens를 지나 평행광으로 되어 공간 광 분할기를 지나 참조광과 물체광 두 개의 광으로 분할이 된다. 참조광은 반사경에 의해 반사되어 CCD로 입사하게 되고 물체광은 공간 광 분할기를 지나 평행광의 형태로 물체에 조사되어 진 후 CCD에 입사하게 된다.

그림 4는 기존의 반사형 홀로그래피 현미경 시스템에서 공간 광 분할기를 통과 한 광이 평행광의 형태로 대물렌즈를 지나 물체에 조사되는 조사영역의 개략도를 나타낸다.

여기서  $y'_{OL}$ 는 대물렌즈로 입사하는 광의 수직 방향 직경을 나타내고,  $\alpha$ 는 물체(Object)가 놓이는 위치의 변화를 나

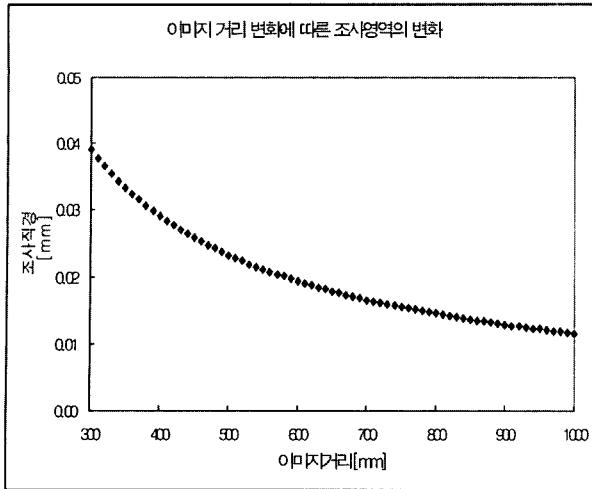


그림 5. 이미지 거리에 따른 물체에 조사되어 지는 광의 영역 크기 변화.

타낸다.

그림 5는 이미지 거리의 변화에 따른 조사영역의 변화를 나타낸 것으로 수치적 재생상의 거리 변화를 300mm에서 1000mm 까지 고려했을 경우 물체에 조사되어지는 영역을 나타내었다.

이 경우 이미지 거리의 변화에 따른 조사영역의 변화는 0.039mm~0.016mm로 변화한다. 본 실험에서는 CCD와 물체 사이의 거리 그리고 올바른 이미지가 형성되는 실험조건을 고려하여 재생 이미지 거리를 400mm로 하였다. 이 경우 물체에 조사되어지는 영역은 수치적 이론값의 계산으로부터 0.020mm이다.

물체에 조사되어지는 광의 총 영역은 이미지 거리에 따른 조사면적 및 회절 영역의 합으로 나타내어진다. 물체의 위치가 그림 4에서와 같이 초점거리를 기준으로  $0 \sim +\alpha$  값만큼 이동하였을 경우 회절영역의 변화는 식(8)과 같이 계산된다.

$$L = 1.22(f_{OL} + \alpha)\lambda/D \quad (8)$$

여기서  $f_{OL}$ 은 현미경 대물렌즈의 초점거리,  $\lambda$  사용 광원의 파장,  $D$ 는 조리개의 직경이다.

회절영역의 변화를 알아보기 위해 물체의 위치를 0mm~20mm 까지 변화시켰을 경우 회절영역의 변화는 0~6.4μm로 변한다. 본 실험에서는 물체의 위치  $\alpha$  값을 본 실험 구성에서 적절한 이미지가 형성이 되는 지점에 위치시켰다. 이 경우 회절영역의 크기는 1.6μm 정도로 회절에 의한 조사영역의 확대가 전체 조사면적에 기여하는 바는 무시할 만한 정도로 매우 작다.

그림 6은 본 실험에서 개발한 새로운 반사형 홀로그래피 현미경 시스템에서의 조사면적의 변화를 나타낸 개요도이다. 위 개요도에서 입사광이 렌즈 CL1을 지나 대물렌즈(OL)로 입사하는 경우로  $\phi_{CL1}$ 과  $\phi_{OL}$ 는 렌즈 CL1과 대물렌즈의 광

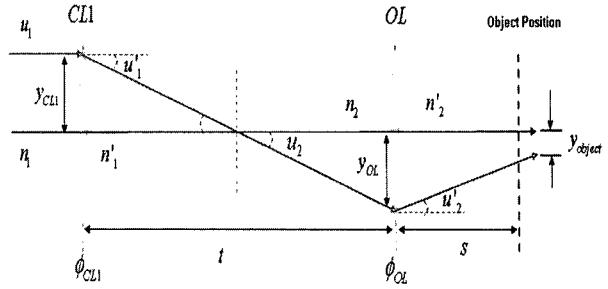


그림 5. 이미지 거리에 따른 물체에 조사되어 지는 광의 영역 크기 변화.

굴절능을 나타낸다. 광이 렌즈 CL1를 지나 대물렌즈로 입사하는 경우 광 굴절능에 의한 광의 굴절 각도를  $u'_1$ 으로 나타내고 역시 대물렌즈를 지나 물체에 입사하는 광의 광 굴절능에 의한 굴절 각도를  $u'_2$ 로 나타내었다.  $n_1, n'_1$  및  $n_2, n'_2$ 은 두 렌즈 사이의 굴절률로서 본 실험의 경우 같은 실험 환경이므로 모든 굴절률의 값은 같다.  $t$ 는 렌즈 CL1 와 대물렌즈 사이의 거리를 나타내고,  $s$ 는 대물렌즈로 부터 물체까지 거리를 나타내며,  $y_{CL1}$ 과  $y_{OL}$ 는 각각 렌즈 CL1 와 대물렌즈의 반지름을 나타낸다.

이 경우 렌즈 CL1에 입사되어 대물렌즈로 진행하는 광으로부터 식(9)을 얻을 수 있다.

$$n_1 u'_1 = n_1 u_1 - y_{CL1} \phi_{CL1} \quad (9)$$

식(9)에서 렌즈 CL1에 입사되어 지는 광은 평행광 이므로 렌즈 CL1를 지나는 광은 다음과 같이 기술되어진다.

$$u'_1 = u_1 - y_{CL1} \phi_{CL1} \quad (10)$$

대물렌즈로 조사되어지는 영역  $y_{OL}$ 는 렌즈 CL1 와 대물렌즈 사이의 거리  $t$  및 식(10) 으로부터 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$y_{OL} = y_{CL1} (1 - \phi_{OL} t) \quad (11)$$

최종적으로 물체에 조사되어지는 영역  $y_{object}$ 는 다음과 같이 나타내어진다.

$$y_{object} = y_{CL1} [1 - s(\phi_{CL1} + \phi_{OL} - t\phi_{CL1}\phi_{OL}) - \phi_{CL1}t] \quad (12)$$

본 실험의 경우 대물렌즈로부터 물체 사이의 거리는 기준의 반사형 디지털 홀로그래피 실험과 같은 실험 조건을 만들었으며, 이 경우 물체에 조사되는 광의 직경은 수치적 이론값의 계산으로부터 1.122mm로서 동일한 조건하에서 실험을 한 기준의 반사형 디지털 홀로그래피 시스템에서 보다 물체에 조사되어 지는 물체광의 직경이 넓어짐을 알 수 있다.

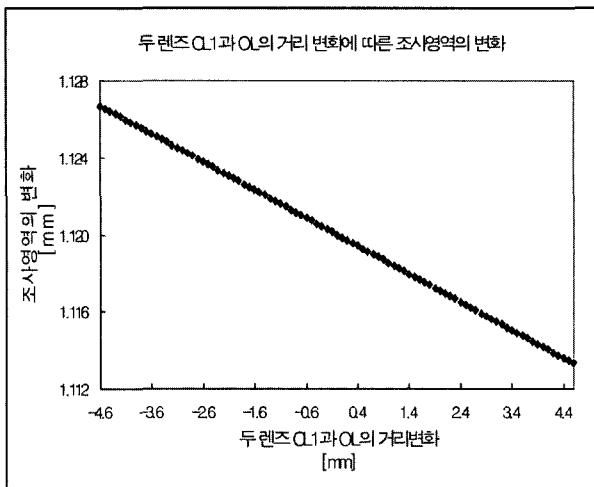


그림 7. 두 렌즈 CL1과 OL의 거리 변화에 따른 조사영역의 변화.

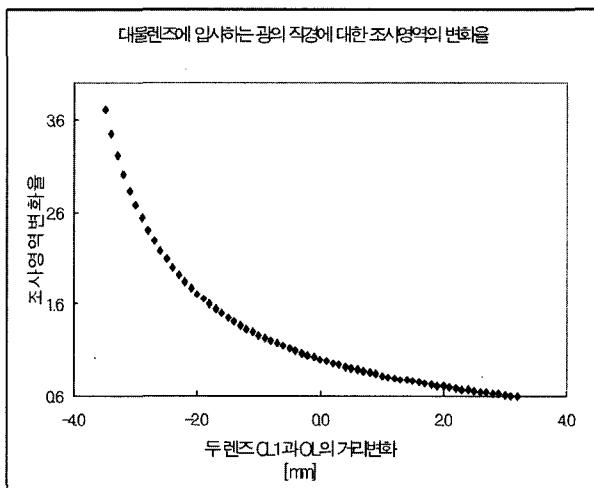


그림 8. 대물렌즈(OL)에 입사하는 광의 직경에 대한 조사영역의 크기 변화의 비율.

그림 7은 두 렌즈 CL1과 OL의 거리변화에 따른 최종적 물체에 조사되어지는 영역의 변화를 나타낸 것이다. 즉 렌즈 CL1의 초점거리  $f_{CL1}$ 과 대물렌즈 초점거리  $f_{OL}$ 의 초점거리 안쪽에 두 렌즈가 위치하게 된다면 물체에 조사되는 광의 조사 영역은 넓어지고, 반대로 두 렌즈의 초점거리 보다 큰 거리에 각각의 렌즈가 위치하게 된다면 물체에 조사되어지는 영역은 두 렌즈가 각각의 초점거리 보다 가까운 거리에 위치했을 경우 보다 작아진다. 그림 8과 같이 두 렌즈의 위치의 변화를 초점거리를 기준으로 가까운 경우  $-4.6\text{mm}$ 에서 먼 경우  $+4.6\text{mm}$ 일 때 까지 계산을 해보았다. 계산으로부터 알 수 있는 조사영역의 변화는  $1.127\text{mm} \sim 1.113\text{mm}$ 로 됨을 알 수 있다.

그림 8은 대물렌즈에 입사하는 광의 직경에 대한 조사영역 변화 비율을 렌즈 CL1과 대물렌즈(OL) 사이의 상대적 위치 변화에 따라 나타낸 계산 값이다. 즉 렌즈 CL1의 초점거리  $f_{CL1}$ 과 대물렌즈 초점거리  $f_{OL}$ 의 초점거리 안쪽에 두 렌즈

가 위치하게 된다면 현미경 대물렌즈로 입사하는 광의 조사 직경은 작지만 물체에 조사되어지는 영역은 넓어지고, 또 두 렌즈의 위치가 두 렌즈의 초점거리 보다 더 먼 거리에 위치를 하게 된다면 대물렌즈에 입사하는 광의 조사 직경은 넓어지지만 물체에 조사되는 광의 조사 영역은 작아질 것이다. 여기에서 두 렌즈의 위치를 렌즈 CL1과 대물렌즈의 초점거리에 맞게 위치하는 지점을 '0'으로 기준 잡았을 경우 두 렌즈의 위치가 두 렌즈의 초점거리 안쪽  $-4.0\text{mm}$ 에서 두 렌즈의 초점거리 바깥쪽  $+4.0\text{mm}$ 에 위치하였을 경우 대물렌즈에 입사하는 광의 직경에 대한 물체에 조사되는 조사영역의 비를 순차적으로 계산한 것이다. 위 계산 결과로부터 렌즈 CL1과 대물렌즈가 위치하는 지점이 두 렌즈의 초점거리 보다 가까운 거리에 있을 때 렌즈 CL1으로 입사하는 광의 조사 직경은 작고 반대로 대물렌즈를 지나 형성이 되는 조사 직경의 크기가 커지는 관계에 있는 것을 알 수 있다.

## V. 간섭무늬의 획득 및 수치적 재생

조사영역의 연구에 사용된 물체는 Edmund 사에서 제작된 1951 USAF Targets을 사용하였다. 본 실험에서 주된 측정 영역은 USAF 1951 Group number 4, Elemental number 1 ~ 3에 속하는 영역으로 Line Width의 값은  $31.3\mu\text{m} \sim 24.8\mu\text{m}$ 에 해당이 된다.

그림 9는 새롭게 제작된 반사형 디지털 홀로그래피 현미경 시스템을 적용하여 얻은 간섭무늬와 기존의 반사형 디지털 홀로그래피 현미경 시스템에서의 간섭무늬이다. 기록하는 물체의 영역은 USAF Group Number 4이다. 새롭게 제작된 반사형 디지털 홀로그래피 현미경 시스템을 적용하여 얻은 간섭무늬(그림 9(a))는 USAF의 Group number 4의 Elemental number 1 ~ 3의 간섭무늬가 기록이 되므로 기존의 시스템에 적용하여 얻은 간섭무늬(그림 9(b)), USAF의 Group number 4의 Elemental number 1, 보다 물체광의 조사영역이 넓으므로 측정되어지는 간섭무늬의 영역 또한 넓은 형태를 타나내고 있다.

제작된 반사형 디지털 홀로그래피 현미경 시스템과 기존의 반사형 디지털 홀로그래피 현미경 시스템을 수치적 재생에 적용한 경우를 그림 10에 나타내었다. 그림 10(a)는 수치적 재생 거리가  $400\text{mm}$ 인 경우, 새롭게 제작된 반사형 디지털 홀로그래피 현미경 시스템에서의 수치적 재생 결과이며 그림 10(b)는 수치적 재생 거리가  $400\text{mm}$ 인 경우, 기존의 시스템에 적용하여 얻은 수치적 재생의 결과이다.

두개의 Convex Lens를 추가한 새롭게 제작된 반사형 디지털 홀로그래피 현미경 시스템을 통하여 재생면적을 본 결과 동일한 연구 조건에서 기존의 방법으로는 USAF 1951의 Group number 4, Element number 1의 일부 항만을 재생하는데 비해 새롭게 제작된 반사형 디지털 홀로그래피 현미경 시스템으로는 USAF 1951 Group number 4, Elemental number 1 영역에서 Elemental number 3 영역까지, 물체의 보다 넓은

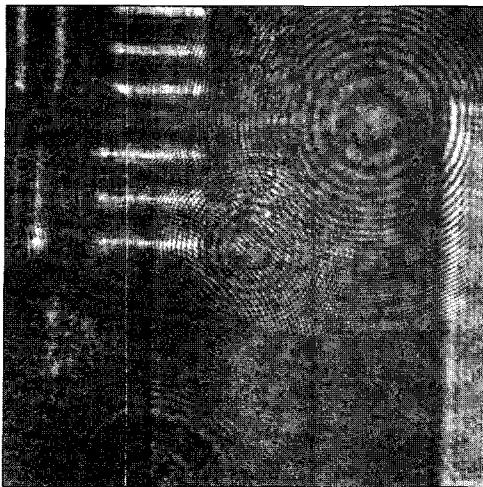


그림 9. (a)

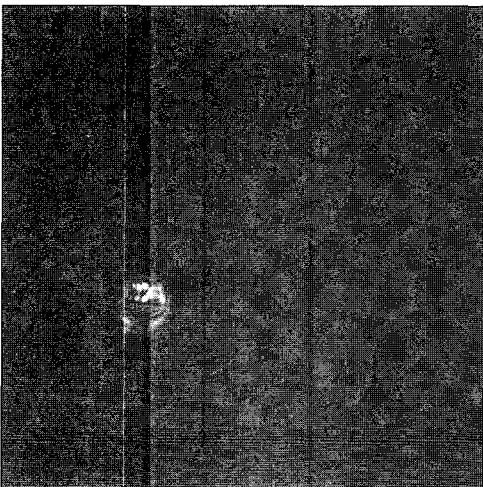


그림 9. (b)

그림 9. 광학적 방법에 의한 간섭무늬의 획득.

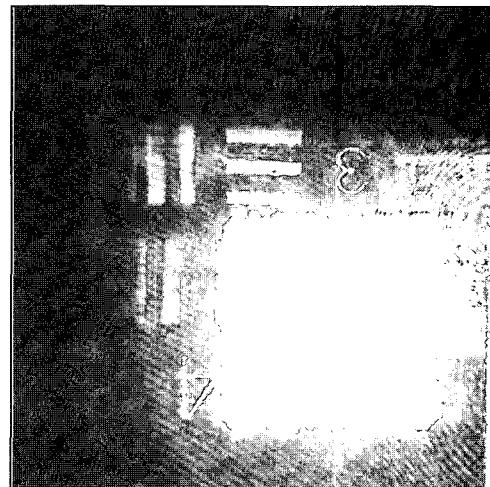


그림 10. (a)

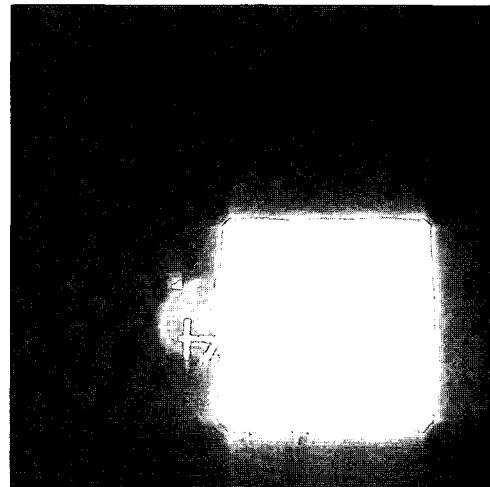


그림 10. (b)

그림 10. 수치적 재생에 의한 결과.

영역을 재생 할 수 있었다.

기존의 방법과 새롭게 제작된 반사형 디지털 홀로그래피 현미경 시스템에 있어 물체의 재생 거리는 400mm로 동일하게 위치시켰다. 또한 대물렌즈로부터 물체사이의 이격 거리 또한 동일하게 위치시켜 조사를 해본 결과 물체에 조사되는 광의 직경은 이론적으로 기존 시스템의 경우 0.038mm이 되었고, 새롭게 제작된 시스템에 있어서는 물체에 조사되는 광의 직경이 1.122mm로 증가됨을 알 수 있었다.

홀로그램의 수치적 재생을 적용하기 위한 식(7)과 실제 재생되어진 이미지(그림 10의 (a)와 (b))를 이용하여 실제적으로 물체에 조사되어진 영역을 실측해본 결과 기존의 시스템을 사용한 반사형 디지털 홀로그래피 시스템에서의 조사영역은 0.020mm가 되었으며 새로운 시스템을 반사형 디지털 홀로그래피 시스템에 적용한 결과 물체에 조사되어진 실제영역은 본 연구의 조건에서 0.806mm로 실측됨을 확인하였다. 물체에 조사되어지는 영역의 이론값과 실측값의 차이는 기

존의 시스템을 사용한 경우 0.018mm였고, 새롭게 제작된 시스템을 사용한 경우 차이는 0.316mm 발생을 하였다. 이러한 차이의 원인은 광학 소자의 배치에 있어 정확한 상호 거리의 제어에 대한 문제로부터 기인한 것으로 생각된다. 이러한 차이는 정밀 자동 스테이지 등을 연구에 사용함으로서 줄일 수 있으리라 기대한다. 위의 결론으로부터 기존의 시스템을 사용한 반사형 디지털 홀로그래피 시스템 보다 새롭게 제작된 반사형 디지털 홀로그래피 시스템을 사용함으로써 조사영역 및 재생영역의 범위를 넓힐 수 있음을 확인 하였다.

## VI. 결 론

디지털 홀로그래피는 고전적 홀로그래피와 홀로그래피 간섭계에서의 새로운 가능성을 가지고 있다. 이러한 디지털 홀로그래피 방식을 현미경에 응용하여 반사형 홀로그래피 현미경 시스템을 제작 하였다. 마하젠더 간섭계(MachZehnder

Interferometer) 방식에 비하여 마이켈슨 간섭계 (Michelson Interferometer)방식은 그 구조가 단순하며 구성하기가 편리한 장점을 가지고 있다. 그러나 마이켈슨 간섭계를 사용한 반사형 디지털 홀로그래피 현미경 시스템의 단점은 대물렌즈를 통하여 물체로 입사하는 광의 조사면적의 한계로 인해 기록 가능한 물체의 영역이 한정적이라는 문제점을 갖고 있다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 마이켈슨 간섭계에 두개의 Convex Lens를 추가하여, 참조광의 평행성을 유지 시키며, 물체에 조사되는 물체광의 조사면적을 증대시킬 수 있는 새로운 반사형 디지털 홀로그래피 현미경 시스템을 제작하였다. 이 결과로 기존의 마이켈슨 간섭계를 사용한 디지털 홀로그래피 현미경 시스템 보다 기록 가능한 물체의 영역을 증가 시켰으며 또한 기록된 간섭무늬를 통하여 물체의 보다 넓은 영역을 재생하였다.

### 참고문헌

- [1] Gabor, D., "A New Microscopic Principles", Nature 161, No. 4098, pp.777-778, 1948.
- [2] Gabor, D., "Microscopy by Reconstructed Wavefronts", Proc. Roy. Soc. (London) A 197, pp.454-487, 1949.
- [3] J. W. Goodman and R. W. Lawrence, "Digital image formation from electronically detected holograms", Appl. Phys. Lett., vol. 11, pp.77-79, 1967.
- [4] M. A. Kronrod, N. S. Merzlyakov, and L. P. Yaroslavskii, "Reconstruction of a hologram with a com-

- puter", Sov. Phys. Tech. Phys., vol. 17, pp. 444-334, 1972.
- [5] Haddad W, Cullen D, Solem J, Longworth J, McPhereson A, Boyer K, Rhodes K Fourier-transform holographic microscope. Appl Opt 31(24), pp.4973-4978, 1992.
- [6] Kreuzer HJ, Pawlitzek RA, "Numerical Reconstruction for in-line Holography in Reflection and under glancing Incidence", In: Juptner W, Osten W (eds) Proc 3rd International Workshop on Automatic Processing of Fringe Patterns. Akademie, Berlin, pp364-367, 1997.
- [7] Kebbel V, Hartmann HJ, Juptner W, "Application of digital holographic microscopy for inspection of micro-optical components". In: Proc SPIE vol 4398. pp 189-98, 2001.
- [8] Coppola G, De Nicola S, Ferraro P, Finizio A, Grilli S, Iodice M, Magro C, Pierattini G, "Evaluation of residual stress in MEMS structures by means of digital holography", In: Proc. SPIE vol 4933, pp226-31, 2003.
- [9] U. Schnars, T. Kreis, and W. Juptner , "Digital recording and numerical reconstruction of holograms reduction of the spatial frequency spectrum", Opt. Eng., vol. 35, no. 4, pp977-982, 1998.
- [10] 김성규, 최현희, 손정영, "디지털 홀로그래피에서의 공초점 렌즈계를 이용한 보다 큰 물체의 기록." 한국광학회지, 제 14권 3호, pp. 244-248, 2003.

### Recording and Reconstruction of large object area by using Reflection type Digital Holography Microscope System

Kyu-Hwan Choi, and Sung-Kyu Kim<sup>†</sup>

*Imaging Media Research Center, Korea Institute of Science and Technology, P.O.Box 131, Cheongryang, Seoul 130-650, Korea*

<sup>†</sup>E-mail : kkk@kist.re.kr

D. Cho

*Laser Spectroscopy Lab., Department of Physics, Korea University, Anam-dong Seongbuk-Gu, Seoul, 136-701 Korea*

Seon-Kyu Yoon

*Nonlinear Lab., Department of Physics, Cheju national university, Jeju City, 690-756*

(Received June 19, 2006, Revised manuscript August 8, 2006)

A modified Michelson interferometer type digital holography microscopy system is developed. There is a problem about recording and numerical reconstruction area at the microscopy application of Michelson type interferometer structure in the digital holography field. In this paper, to overcome this problem, we developed a new reflection type digital holography microscope system and increased recording and numerical reconstruction area of target object.

OCIS code : 090.0090, 090.2880, 180.0180, 180.3170.