

스피닝 미러를 이용한 광학장치의 오차보정 Error compensation a spinning mirror for optics system

*방한석¹, #최우천²

*H. S. Bang¹, #W. C. Choi(wcchoi@korea.ac.kr)²

¹ 고려대학교 기계공학과 대학원, ² 고려대학교 기계공학부

Key words : Error Identification, Optical Measurement, Spinning Mirror, Error Compensation

1. 서론

디지털 홀로그래피(digital holography) 기술은 30 여년 전부터 개발되어온 기술이다. 기존의 홀로그래피에서 필요한 화학적 홀로그램 생선과정을 생략할 수 있어서 측정결과를 신속히 얻을 수 있다. 그리고 컴퓨터 연산 속도가 증가하고 홀로그래피 영상 획득 장치의 발전으로 인해 디지털 홀로그래피 기술은 여러 분야에 매우 유용한 측정도구가 되었다. [1-4]

해외에서 디지털 홀로그래피에 관한 연구가 많이 진행되고 있다. 반사형 홀로그래피 현미경에서 물체광의 조사면적이 제한되는 한계성을 극복하려는 연구[5]와, 홀로그램의 문제 중에서 0 차 회절광과 허상을 효과적으로 제거하는 위상천이 방식을 적용한 디지털 홀로그래피에 관한 연구[6]가 진행되고 있고 물체에 입사하는 빔의 정밀히 제어하기 위해 PZT 를 이용하여 참조광의 위상을 90° 씩 변화시키면서 4 개의 간섭패턴을 얻어, 오차를 줄이는 연구[7]가 진행되었다.

측정을 위해 광학 장비를 설치할 때 광학요소를 제 위치에 설치하는데 많은 노력과 시간이 든다. 그럼에도 불구하고 광학요소들은 이상적인 위치에 설치되지 못하므로 설치 위치나 각도에 오차가 포함되어 있다. 이러한 오차들을 알아낼 수 있다면 측정정밀도를 크게 향상시킬 수 있다.

본 연구는 홀로그래피 시스템에서 광학장비 설치 시 발생하는 여러 오차들, 예를 들면 물체광의 입사각도, 렌즈위치, 틸팅각 등에 포함된 설치 오차를 물체광 쪽의 레이저의 경로를 미러를 이용하여 여러 데이터를 얻어 설치 오차를 판별함으로써 더 정밀한 측정이 가능 하도록 한다.

2. 장치구성

본 연구에서 구성하고자 하는 장치의 전체 시스템은 Fig. 1 에 나타나 있다. 레이저 공진기에서 나온 빔을 빔분할기로 두 개의 빔, 즉 참조광과 물체광으로 나누고 참조광은 미러, 렌즈를 거쳐 polarizing cube 빔분할기에 반사되어 CCD 에 다다른다. 이에 반해 물체광은 스피닝 미러(spining mirror)를 거치고 렌즈를 통과한 후 물체를 비추고, 물체에서 반사된 빛이 polarizing cube 빔분할기를 통과하여 CCD 에 도착한다. 두 빛이 합쳐져서 간섭무늬에 해당하는 홀로그램을 만들고, 이 CCD 이미지가 컴퓨터로 전달되어 분석된다.



Fig. 1 Experimental setup for digital holography

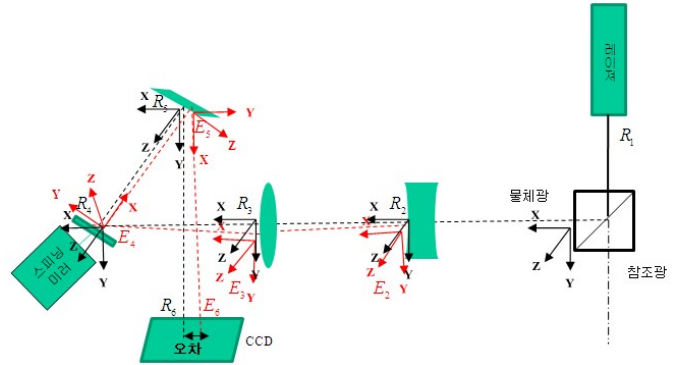


Fig. 2 Object beam paths with and without errors

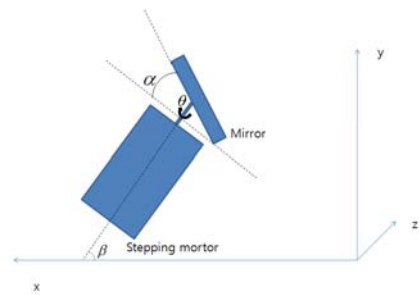


Fig. 3 Tilted spinning mirror

Fig. 2 에 물체광 경로가 나타나 있다. 본 연구가 기존의 홀로그래피 방법과 다른 점은 스피닝 미러를 사용한다는 점이다

Fig. 3 에 나타난 스피닝 미러 평면이 스텝핑 모터(steping motor)의 축에 수직인 평면과 만큼 기울어지게 설치되어 있다. 이로 인해 스텝핑 모터의 회전에 따라 미러 평면의 각도가 변한다. 스텝핑 모터로 일정한 각도 간격으로 회전한 후 정지하고 측정을 하며 이 과정을 반복한다. 예를 들어 10° 간격으로 회전시킨다면 모터축 1 회전 동안 36 번 측정이 이루어진다. 미러의 기울어진 각도는 여러 실험을 하여 적절한 값을 결정한다. 이렇게 각도가 달라진 미러에 물체광이 입사되면 각도에 따라 반사각이 달라진다. 반사된 물체광은 물체에 비추지며 물체로부터 반사된 빛이 참조광과 합쳐진다. 이렇게 하여 수많은 정보를 얻을 수 있고, 이 정보로부터 광학요소의 설치오차를 판별할 수 있다.

3. 오차 판별 알고리즘 및 보정

모든 광학기계에서는 6 자유도를 가지고 있고 각각의 오차의 영향을 미치는 요소성분만을 고려한다.

레이저의 경로를 기준좌표에서 렌즈의 특성에 의해 좌표가 결정되지만 오차성분을 포함하면 다른 경로의 특성이 발생한다. 장치 구성 중 물체광 쪽의 오목렌즈와 볼록렌즈, 그리고 스피닝 미러의 각각의 오차를 변수로 넣은 평면 방정식을 구하여 레이저의 직선방정식과의 교점을 구해 가면서 최종적으로 CCD 화면에 도달하는 기구학적인 알고리즘을 구현한다. 자세한 식은 참고문헌[8]에 나타나있다.

여러 데이터를 얻을 수 있는 스피닝 미러의 평면 방정식은 식 (1)과 같다.

$$y = \left(\tan \left(\frac{\pi}{2} - \beta - \alpha \cos(\theta) \right) \right) x + \left(\tan(\alpha) \sin(\theta) \right) z \dots \dots$$

$$-x_{mirror} \tan \left(\frac{\pi}{2} - \beta - \alpha \cos(\theta) \right) \quad (1)$$

여기서 α : 미러의 틸팅각도, β : 모터 중심축 각도, θ : 스피닝 미러 회전각도이다.

물체광의 장치만을 Fig. 4 와 같이 구성 하여 실험을 수행하였다. Fig. 5 는 최종적으로 CCD 에 들어온 데이터와 오차를 포함하지 않는 알고리즘 데이터를 보여주고 있다. 알고리즘을 통하여 각각의 광학 요소의 선형오차를 판별하였다. 오목렌즈와 볼록렌즈의 장치에 선형오차를 보정 할 수 있는 Fig. 6 와 같은 장치를 두고 판별해낸 오차를 보정하여 다시 알고리즘을 통해 각각의 오차를 찾아내었다. Table 1 과 Table 2 는 알고리즘을 통해 오차 보정 전후의 데이터를 보여주고 있다. 데이터를 통해 알고리즘으로 판별해낸 오차를 보정함으로써 장치 설치 중 발생하는 오차가 줄어드는 것을 보았다.



Fig. 4 Experimental setup for error identification of object beam

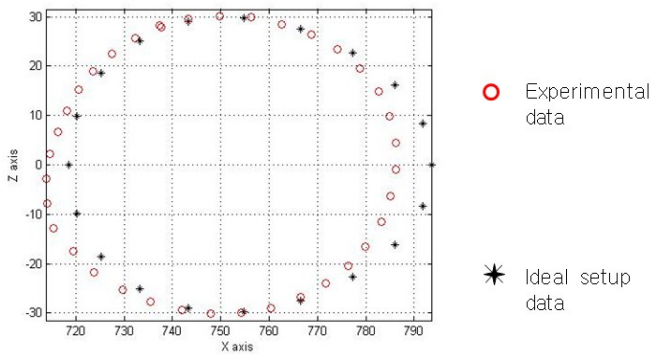


Fig. 5 Trajectories of experiment and algorithm data on CCD display

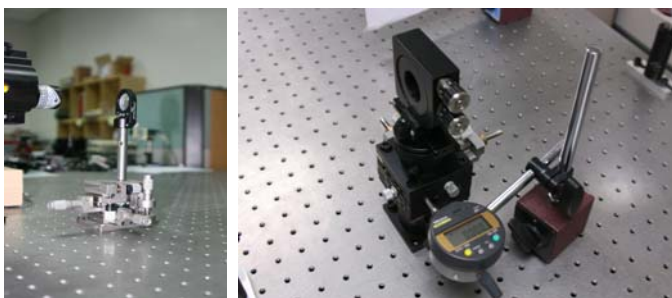


Fig. 6 Concave and convex lens for error compensation using stage

Table 1 Parameter values identified

Errors	δ_x	δ_y	δ_z
Concave lens	3.272	0.421	0.211
Convex lens	1.118	-0.102	0.024
Spinning mirror	-0.822	0.426	-0.010

Table 2 Parameter values identified after compensation

Errors	δ_x	δ_y	δ_z
Concave lens	0.028	-0.012	-0.002
Convex lens	0.036	0.003	0.001
Spinning mirror	-0.822	0.426	-0.010

4. 결론

오차를 판별하는 알고리즘을 개발하였고, 이 알고리즘에 의해 설치오차를 적은 반복 횟수만에 판별할 수 있었다. 광학장치에서 존재하는 설치오차를 판별함으로써, 다소 부정확한 설치라도 설치오차를 보정하는 방식을 이용하여 정확한 측정을 할 수 있다. 실험을 통하여 알고리즘에서 구한 설치 오차들을 보정하여 다시 알고리즘을 통해 구해낸 오차들이 0 에 가까워지는 것을 보았다. 하지만 아직도 오차가 존재하는 것은 선형오차들만 고려하였기 때문이다. 기존의 홀로그래피 측정에 본 연구에서 개발한 방법을 적용하여 선명한 홀로그래피 구현을 하는데 기여할 수 있다.

참고문헌

1. Schnars, U., "Direct phase determination in hologram interferometry with use of digitally recorded holograms," J. Opt. Soc. Am. A., **11**, 2011–2015, 1994
2. Pomarico, J., Schnars, U., Hartmann, H.-J. and Juptner, W., "Digital recording and numerical reconstruction of holograms: a new method for displaying light in flight," Appl. Opt., **34**, 8095–8099, 2005
3. Wagner, C., Seebacher, S., Osten, W., and Juptner, W., "Digital recording and numerical reconstruction of lensless Fourier holograms in optical metrology," Appl. Opt., **38**, 4812–4820, 1999
4. Takaki, Y., and Ohzu, H., "Fast numerical reconstruction technique for high-resolution hybrid holographic microscopy," Appl. Opt., **38**, 2204–2211, 1999
5. Schnars, U., Kreis, T., and Juptner, W., "Digital recording and numerical reconstruction of holograms: reduction of the spital frequency spectrum," Opt. Eng., **35**, 977–982, 1998
6. Guo, C., S., Rong, Z., Y., Wang, H., T., Wang Y., and Cai, L., Z., "Phase-shifting with computer-generated holograms written on a spatial light modulator," Appl. Opt., **42**, 6975–6979, 2003
7. Cai, L., Z., Liu, Q., Wang, Y., R., Meng, X., F., and He, M., Z., "Experimental demonstrations of the digital correction of complex wave errors caused by arbitrary phase-shift errors in phase-shifting interferometry," Appl. Opt., **45**, 1193–1202, 2006
8. 이성훈, 최우천, "디지털 홀로그래피를 위한 정밀측정에서 광학장치의 오차보정," 한국정밀공학회 춘계 학술대회 논문집, 471-472, 2008.