

이진 컴퓨터형성 홀로그램을 이용한 비구면 형상 측정 Null Test of Aspheric Surfaces Using Binary CGH

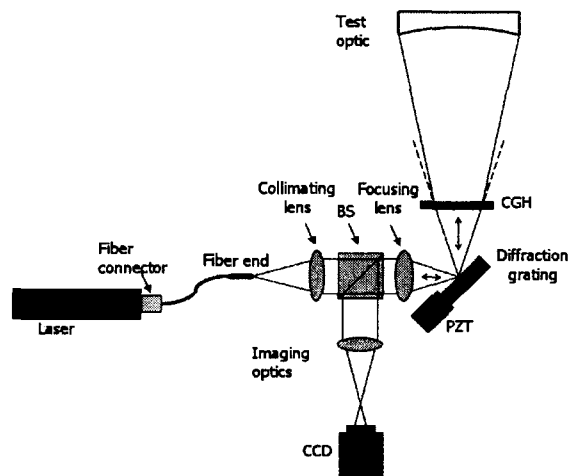
황태준*, 김승우

한국과학기술원 기계공학과

joon@pem.kaist.ac.kr*

비구면은 점광원에서 출발한 광이 측정면에서 반사한 후 다시 한 점으로 모이지 않아 일반적인 간섭계로 측정하는데 어려움이 있다. 이 때 비구면이 만들어내는 파면과 반대되는 파면을 생성하는 null compensator를 설치하여 null test를 수행할 수 있다. CGH는 렌즈나 거울과 같은 기계적인 가공을 하지 않고, 이론상 수식적으로 표현이 가능한 모든 파면을 만들 수 있으므로 많이 사용되어 왔다. 뿐만 아니라, 최근 급성장한 반도체 제조 기술을 CGH 제작에 도입함으로써 CGH제작 기술과 성능이 획기적으로 발달하였다. 본 논문에서는 e-beam lithography 장비를 이용하여 CGH를 제작하고 위상천이 회절격자 간섭계를 이용하여 비구면을 측정하는 방식을 제시한다.

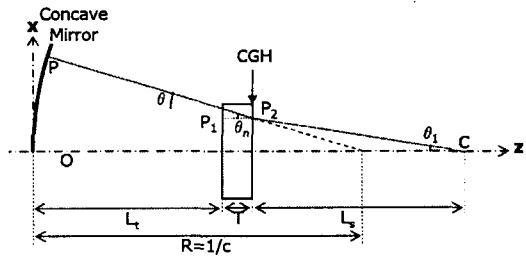
그림 1은 CGH를 간섭계의 test arm에 적용하여 auto-stigmatic 방식으로 측정하는 방식을 나타낸다.⁽¹⁾ 회절격자의 기준점 C에서 출발한 구면파는 CGH에 입사하여 비구면파로 변하고 측정대상물에 수직으로 입사하게 된다. 측정대상물에 수직으로 반사한 파는 같은 경로로 기준점 C로 향한다. 측정광만이 binary CGH를 두 번 통과하므로 측정광의 광량이 기준광에 비해 100배정도 작아지므로, 기준광의 광량을 줄여서 높은 가시도를 유지해야 한다. 그림 1의 간섭계는 측정광의 광량을 기준광의 광량보다 상대적으로 크게 하여 CGH로 인하여 발생할 수 있는 광량손실을 보상하기 위하여 설계된 위상천이 회절격자 간섭계의 한 실례이다. 회절격자는 광원의 방향에 대하여 r차 회절성분이 광원으로 다시 돌아가게 Littrow설치되어 있다. 광원에서 나온 광은 단일모드 광섬유, 시준렌즈 집속렌즈를 통하여 회절격자 위에 집속된다. 회절격자 위에서 회절되는 성분들 중 0차 회절성분은 그대로 반사하여 CGH와 측정대상물을 향하고, r차 회절성분은 기준광으로 집속렌즈로 향한다. 측정대상물에서 반사한 광은 다시 CGH를 지나 회절격자로 집속되어 0차로 회절되고, 기준광과 간섭하여 간섭무늬를 생성한다. 시준렌즈와 집속렌즈 사이에 광선분할기를 설치하고, 결상렌즈를 통하여 간섭무늬를 CCD에서 획득한다. 측정광은 회절격자에서 두 번 0차 회절한 것이고, 기준광은 2차 회절한 것이므로, 회절격자의 형상을 조절해서 측정광의 광량이 기준광에 비해 상대적으로 큰 100배 이상의 값을 얻을 수 있다. 회절격자를 격자평면의 방향으로 일정하게 이송함으로써 간섭무늬



< 그림 1 >

전영역에 동일하게 위상천이를 수행할 수 있다.

그림 2은 측정대상물의 임의의 한 점 P에서 측정대상물의 수직인 방향으로 출발한 광의 광경로를 추적한 그림이다. CGH의 설계는 CGH 위의 점 P₂에서의 원형 회절격자의 주기 d를 구하는 문제로 국한된다. 이 문제는 회절광경로와 광축의 광경로를 비교하는 방식으로 쉽게 해결할 수 있다. 광축의 광경로와 점 P에 대응하는 회절광경로를 구한 후, 두 광경로의 차를 회절차수와 파장의 곱으로 나누면 점 P에 대응하는 CGH 위의 점 P₂에서의 위상을 구할 수 있다. CGH의 투과함수는 이산진폭변조인 경우 식 1과 같이 구분하여 표현할 수 있다.

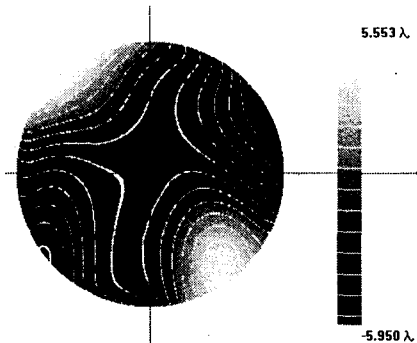


< 그림 2 >

$$t(x_2) = \begin{cases} 1, & 2n\pi \leq \Phi(x_2) < 2n\pi + 1 \\ 0, & 2n\pi - 1 \leq \Phi(x_2) < 2n\pi \end{cases} \quad (1)$$

측정대상물은 알루미늄을 다이아몬드 터닝머신으로 가공하여 제작한 것으로 곡률반경이 1800 mm, 크기가 600 mm이고, 원뿔상수 값이 -1.040인 쌍곡면이다. CGH는 e-beam lithography를 이용하여, 크기가 5" x 5", 두께가 90 mil인 quartz 판 위에 제작하였다. CGH 설치위치를 간섭계에서부터 200 mm 떨어진 곳으로 정한 후, 광선추적과정을 통해 CGH의 투과함수를 계산하였다. 이 때 측정대상물은 CGH로부터 약 1704 mm 뒤에 놓여진다.

그림 3은 측정대상물을 측정한 결과를 2D로 나타낸 그래프이고, Zernike polynomial fitting을 통하여 오차성분을 분석해 보았다. Astigmatism 수차가 크게 작용하여 전체적으로 11.503 λ 크기의 말안장 형태의 모양이 나타남을 알 수 있었다. 측정결과에 CGH의 형상과 quartz판의 형상 등으로 인한 오차가 실릴 수 있으므로 따로 보정과정을 거쳐서 CGH 오차성분을 제거해 주어야 한다. 기준이 되는 CGH가 따로 존재하지 않으므로, CGH를 (360/N)도씩 등간격으로 회전하여 얻은 측정결과를 모두 더한 후 회전 회수인 N으로 나누어 CGH의 오차를 제거하는 자가 보정법⁽²⁾을 도입하여 CGH 오차성분을 제거하였다.



< 그림 3 >

본 논문에서는 null compensator로 binary CGH를 사용하고 그로 인한 광량손실을 보상하기 위하여 설계된 측정광이 기준광보다 상대적으로 큰 위상천이 회절격자간섭계를 사용한 비구면 측정방식을 제안하였다. Binary CGH는 측정대상물로부터의 광선추적과 투과함수의 이진화로 간단히 설계하였고, e-beam lithography 장비를 통하여 제작하였다. 600 mm의 대구경거울을 측정함으로써 전체 시스템을 검증하였다.

1. Steven M. Arnold, Figure metrology of deep general aspherics using a conventional interferometer with CGH null, Proc. SPIE 2536 106-226 (1995)
2. Chris J. Evans and Robert N. Kestner, Test optics error removal, Appl. Opt. 35(7) 1015-1020 (1996)