

컴퓨터 제작 홀로그램 (CGH)을 이용한 비구면의 측정

송재봉

한국표준과학연구원 우주광학연구단

jsong@kriss.re.kr

비구면 가공기술의 발달에 따라 이제 광학계에서 비구면 광학소자의 사용은 일상적인 것이 되고 있다. 그러나 정밀한 비구면 소자를 제작하는 것은 정밀한 비구면 측정과 밀접하게 관련되어 있으며 비구면을 정확하게 측정하는 것은 항상 쉽지 않다. 이런 점에서 A. W. Lohmann⁽¹⁾에 의해 발명된 컴퓨터 제작 홀로그램(Computer generated hologram : CGH)은 다양한 비구면 측정을 보다 쉽게 할 수 있는 수단을 제공한다.

일반적으로 측정파면과 기준파면의 차이만을 비교하는 null test가 가장 정밀한 측정방법인데 비구면의 경우 비구면 파면을 구면 또는 평면인 기준파면으로 바꾸어 주는 null optics가 필요하다. 여러 개의 구면렌즈로 구성된 기존의 null optics에 비하여 null CGH는 하나의 substrate로 제작이 가능하기 때문에 오차요인이 상대적으로 적고 정렬이 쉽다. CGH substrate에는 측정 비구면을 평가하기 위한 main CGH 이외에도 간섭계, CGH 그리고 측정비구면의 상호 정렬에 필요한 다수의 정렬용 CGH pattern이 새겨져 있다. 또한 CGH는 제작시 광학가공이 필요하지 않으며 null optics에 비해 정렬이 쉽고 모든 파면을 수식으로만 다루기 때문에 비구면과 구면이 제작상의 차이가 없으며 diverger와 같은 다른 광학소자에 의한 수차도 보정이 가능하다.

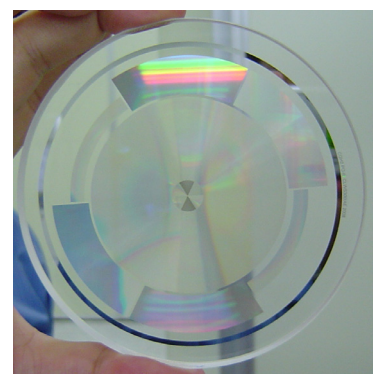
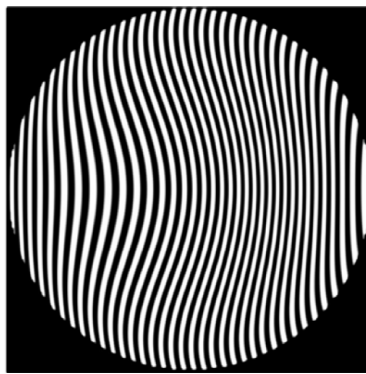
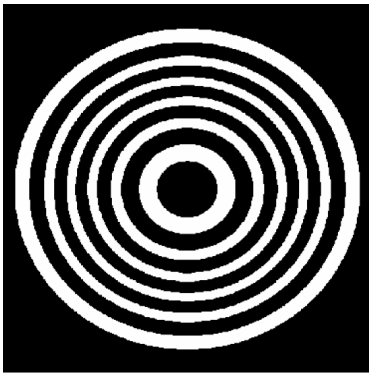


그림 1. On-axis type CGH 패턴 그림 2 Off-axis type CGH 패턴 그림 3 제작한 CGH의 예

Null CGH는 on-axis type과 off-axis type, 진폭형과 위상형, 투과형과 반사형 등으로 나눌 수 있으며 측정 비구면에 따라 적절한 평가방법 및 CGH 종류를 선택하여 사용한다. 비구면 정도가 심하여 CGH만으로 어려운 경우에는 다른 광학소자와 함께 사용할 수 있다. 대형 null CGH가 필요한 대형 볼록 비구면의 평가에서는 test plate에 CGH pattern을 새겨 사용할 수도 있으며 정렬 및 평가가 어려운 null optics를 평가하기 위해 null CGH를 사용하기도 한다.

비구면 측정용 CGH는 재생 파면의 정확도가 가장 중요하므로 파면의 이론적인 재생 오차가 없는 binary interferogram type⁽²⁾으로 coding하여 사용하며 회절효율은 간섭무늬 관측이 가능하지만 하면 되므로 제작시 위상의 양자화 단계는 재생 파면의 오차를 줄이기 위해 2-level 만을 사용한다. 비구면 평가방법에 따라 double pass 방식에서는 위상형을 사용하고 one pass 또는 반사형 방식에서는 진폭형을 사용한다. 또한 고차회절차수 빔의 제거 방법에 따라 on-axis type 또는 off-axis type을 선택할 수 있는데 대형 망원경의 주경과 같이 중심이 비어있는 경우에는 on-axis type을 사용할 수 있으며 off-axis

type의 경우 1차회절빔과 2차회절빔을 분리하기 위해 on-axis type에 비해 3배의 반송주파수가 필요하다.

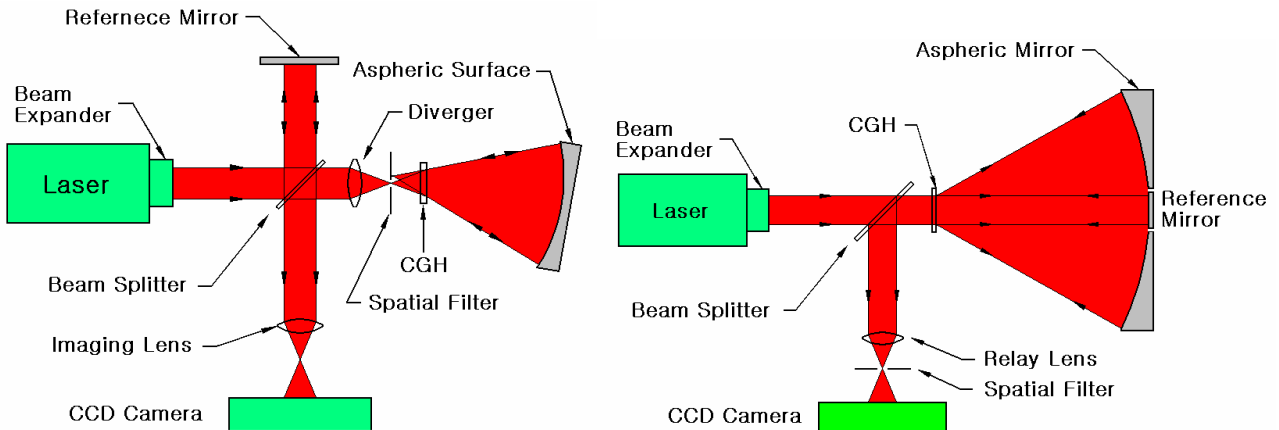


그림 4. Off-axis type CGH를 이용한 평가방법 예 그림 5. On-axis type CGH를 이용한 평가방법 예

비구면 평가용 null CGH는 e-beam writer 또는 laser beam writer로 제작한다. E-beam writer는 반도체 제작에 최적화된 직교좌표계 장치로 off-axis type CGH 제작에 유리하며 회전대칭인 on-axis type CGH는 극좌표계 laser beam writer로 제작하는 것이 유리하다. 현재 제작 가능한 CGH의 최대공간주파수는 최소선폭이 대략 1 μm이며 line distortion에 의한 파면수차는 line spacing에 반비례하므로 가능한 공간주파수가 작아지도록 CGH를 설계한다. 한국표준연구소에서는 직경 300 mm 이하의 null CGH를 비롯한 회절광학소자 제작용 극좌표계 laser beam writer를 제작하여 사용하고 있다.

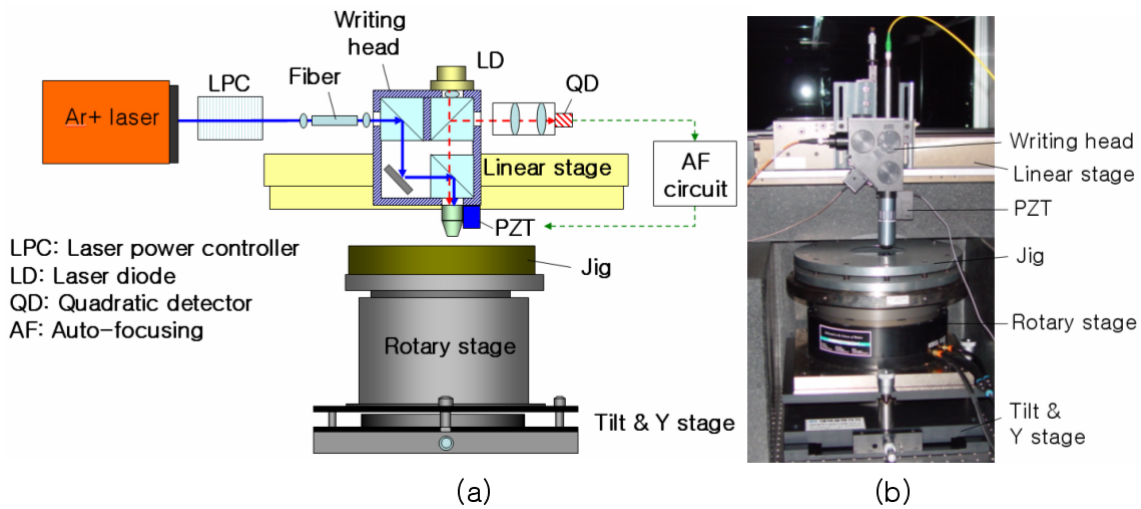


그림 6. KRISS laser beam writer

참고문헌

1. B. R. Brown and A. W. Lohmann, "Complex spatial filtering with binary masks," Applied Optics 5, 967-969 (1966)
2. W. H. Lee, "Binary Synthetic Hologram," Applied Optics 13, 1677-1682 (1974)