KRISS profilometer for large optics measurement

*이혁교 [1], 박원현 [2], #양호순 [1], 이재협 [1], 전병혁 [1], #이윤우 [1], 이인원 [1], 김석환 [2]
[1] 한국표준과학연구원 우주광학연구단, [2] 연세대학교 우주과학연구소

Key words : large optics, profilometer

1. 서론

한국표준과학연구원 우주광학연구단에서는 직경 100 mm 부터 1,000 mm 크기의 대구경광학계의 제작, 조립, 측정, 성능검사와 관련한 다양한 연구를 수행 중이다 [1]. 이와 관련해서 최근에는 CNC 를 이용한 대구경 거울 전용 가공기를 제작했으며, 자동으로 측정하고 연마하기 위한 설비들을 Fig. 1 과 같이 한 장비 내에 결합했다.

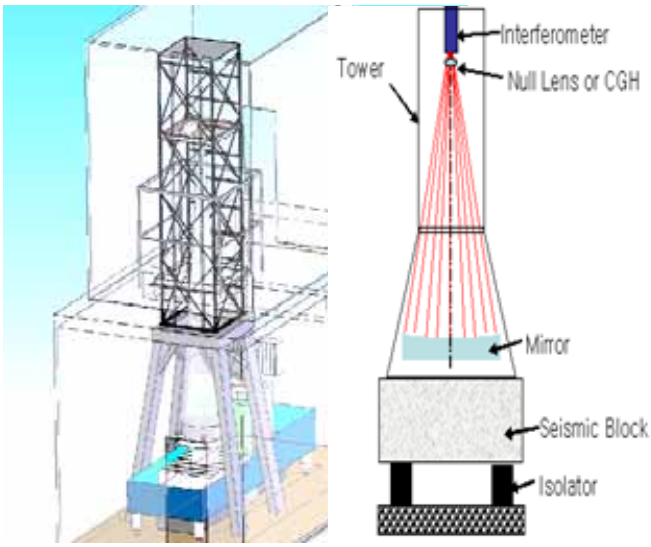

Fig. 1. Complex machine shop for fabrication of large optics.

Figure 1 에서 보듯, 가공된 대구경 거울의 최종 형상은 Hartmann sensor [2]와 4D 사의 무진동간섭계 [3]를 이용해서 측정/평가한다. Hartmann sensor 나 무진동간섭계는 극히 정밀한 수준 (무진동간섭계의 경우 나노미터 수준)으로 형상을 측정할 수 있다는 장점을 가진 반면, 측정대상이 형상 설계치에 거의 근접했을 때만 측정할 수 있다는 단점이 있다. 즉, Hartmann sensor 나 무진동간섭계는 초정밀 polishing 까지 모두 마친 최종 거울면의 측정/평가에만 적용한다. 따라서 만약 가공 중에 대구경 거울면의 형상이 얼마나 설계치에 근접했는지 확인하려면, 혹은 어느 부위를 추가로 집중 가공할 지 판단하려면 위의 두 가지 측정기 외에 접촉측정기가 추가로 필요하다. 이미 잘 알려진 바와 같이, 접촉식측정기는 가공면이 설계치와 많이 벗어난 경우에도 무난하게 측정할 수 있으며, 특히 표면조도가 다소 거친 경우에도(예를 들어 황삭 직후) 신뢰할만한 측정값을 제공한다는 장점이 있다.

2. Profilometer 의 요구조건

위 서론에서 밝힌 필요에 의해 본 연구단에서는 초정밀 접촉식측정기인 KRISS profilometer 를 개발했다. 일반적인 접촉식측정기와 달리, 대구경 거울의 평가를 위한 접촉식 측정기는 다음과 같은 요구조건을 만족해야 한다.

1. 측정영역은 길이방향으로 1,000 mm 이상, 높이방향으로는 100 mm 이상이 필요하다. 이 정도 영역을 측정할 수 있어야 대구경 거울의 측정/평가가 가능하다.
2. 측정불확도(Uncertainty)는 전체 1,000 mm 영역 내에서 1 μm 이하를 요구한다.
3. 측정시간은 그렇게 중요한 요소는 아니다. 물론 가급적 빠르면 빠를수록 좋다.
4. CNC 나 Hartman sensor, 무진동간섭계와 함께 조합해서 측정->가공->평가가 이루어져야 하므로 한 컴퓨터에서 통합제어할 수 있어야 한다. 따라서 KRISS profilometer 를 구동할 수 있는 전용 소프트웨어가 필요하다.

이상의 필요조건 가운데 특히 난이도가 높은 것이 1 번과 2 번이다. 대개 3 차원 측정기의 경우 1,000 mm 영역에서 1 μm 이하의 측정불확도를 구현하기란 지극히 어렵다.

따라서 본 연구에서는 기존의 3 차원 측정기의 개념에서 벗어난 새로운 형태의 접촉식측정기를 개발했다. 그 원리는 Fig. 2 와 같다.

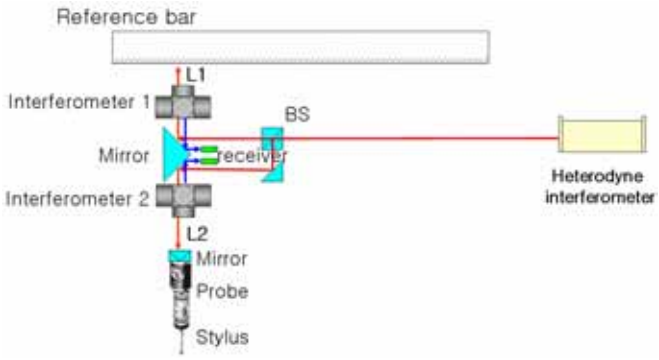

Fig. 2. Concept of the proposed profilometer

Figure 2 에서 보듯, 헤테로다인 레이저간섭계 [4]에서 출발한 광원은 Beam splitter (BS)를 거쳐서 두 개로 분할된다. 그런 다음 각각 interferometer 1 과 2 를 통해 L1 과 L2 를 0.3 nm 분해능(resolution)으로 측정한다. 이상과 같은 측정방법을 사용하면 전체 측정영역(1,000 mm)을 reference bar 의 정밀도로 측정할 수 있다. 즉, 기존의 3 차원 측정기는 기계오차, 구동오차의 영향을 직접적으로 받지만, KRISS profilometer 는 측정정밀도를 reference bar 의 정밀도와 연동시킬 수 있다. 결국 reference bar 만 정밀하게 제작하면 1,000 mm 영역에서 1 μm 이하의 불확도 구현이 가능하다.

2. Profilometer 개발

Figure 3 은 본 연구단에서 직접 제작한 reference bar 를 지그에 장착한 모습을 보여준다. 이 때 고려해야 할 사항은, reference bar 를 아무리 정밀하게 만들었어도 이것을 profilometer 에 장착할 때 휘거나 뒤틀릴 수 있다는 점이다. 이를 최소화하기 위해서 kinematic design 이 필요하며, 이에 대해서는 이미 선행연구를 통해 성공적으로 설계와 제작을 마쳤다 [5].

Figure 4 는 최종 조립된 profilometer 의 모습이고, Fig. 5 는 측정을 위한 소프트웨어다. Figure 5 에서 보듯이 KRISS profilometer 전용 소프트웨어를 통해 profilometer 의 구동,

측정, 측정방향 결정, 헤테로다인 간섭계 측정결과의 실시간 관찰, 측정된 profile 저장, 비구면 거울 측정모드 등이 가능하다.

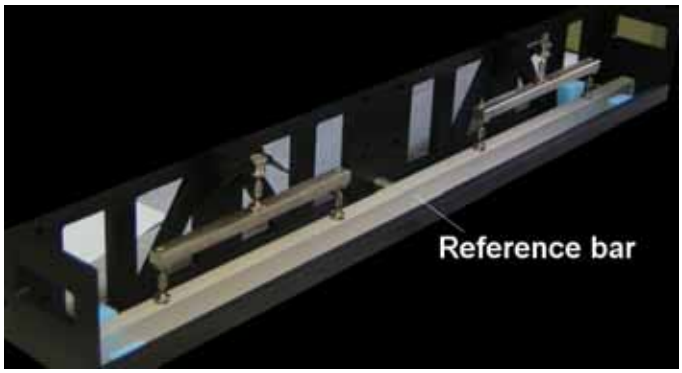

Fig. 3. Reference bar installed in the jig.

Fig. 4. Photographic view of the proposed profilometer.

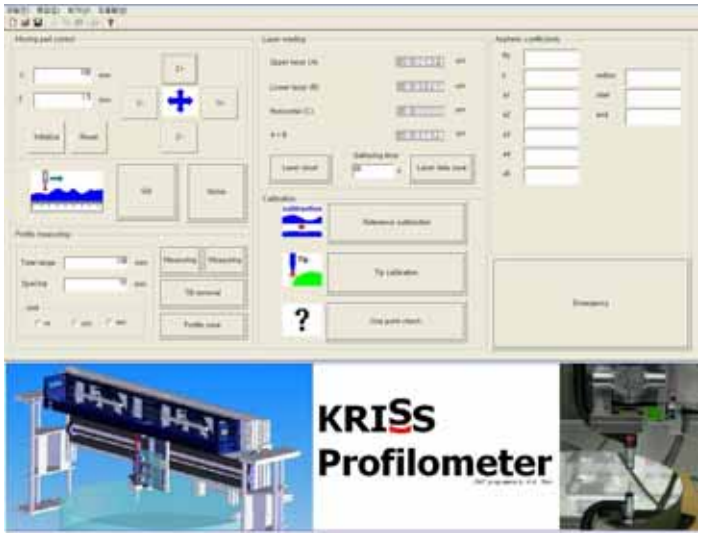

Fig. 5. Main page of the measurement and control program developed by Visual C++.

참고문헌

1. 이윤우, 양호순, 송재봉, 이혁교, 이인원, “초정밀 결상광학기술,” 물리학과 첨단기술 15(9), 9-15 (2006).
2. I. Ghozeil, “Hartmann and other screen test,” *in Optical shop testing* 2nd Ed. (Ed. by D. Malacara, John Wiley & Sons, Inc. New York, 1992) chap. 10.
3. http://www.4dtechnology.com/4D%20PhaseCam%20Products.htm, or http://www.4dtechnology.com.
4. http://www.home.agilent.com/USeng/nav/-536900395.0/pc.html, or http://www.home.agilent.com.
5. 박원현, 김석환, 이재협, 강명석, 양호순, 이혁교, 이윤우, 이인원, “대형 광학 거울 형상 측정용 정밀 형상 측정기의 막대형 기준 거울 운동학적 지지 구조물 설계,” 한국광학회 2007 동계학술대회논문집, 305-306 (2007).