

## 대형 광학 거울 형상 측정용 정밀 형상 측정기의 막대형 기준 거울 운동학적 지지 구조물 설계

### Kinematic mount design of bar type reference mirror for precision profilometer for measuring large optical surface

박원현\*,\*\*, 김석환\*, 이재협\*\*, 강명석\*\*\*, 양호순\*\*, 이혁교\*\*, 이윤우\*\*, 이인원\*\*

\*연세대학교 우주과학연구소, \*\*한국표준과학연구원 우주광학연구단, \*\*\*(주)셋트렉 아이

nova8028@gmail.com

국내 대형 우주 광학 거울의 제작은 수작업에 의하여 이루어지고 있어 수개월의 가공시간이 소요된다. 특히 연마 공정에 대부분의 시간이 소요되므로 연삭 작업에서 최대한 정밀한 형상으로 가공하는 것이 연마 공정의 시간을 단축하는데 매우 중요한 요소이다. 이를 위해서는 연삭 단계에서 정밀한 측정이 이루어져야 한다. 연삭 단계에서 사용할 수 있는 3차원 측정기<sup>(1)</sup>는 측정을 위해 무거운 가공물을 이동시켜야하는 단점이 있으며 큰 측정 장비를 연삭 장비 위에 설치하기도 쉽지 않다. 반면 비교적 간단하고 가벼운 구조의 광학 기준면 형상 측정기(optical reference profilometer)<sup>(2)</sup>는 연삭 장비 위에 설치하여 면의 형상을 측정하는 것이 가능하다.

이와 같은 형상 측정기의 기준면은 그림 1과 같이 시스템 상단에 설치된 막대형 거울이며 본 연구에서는 기준면의 중력에 의한 변형을 최소화하기 위한 지지 구조물 설계 및 해석을 행하였다.

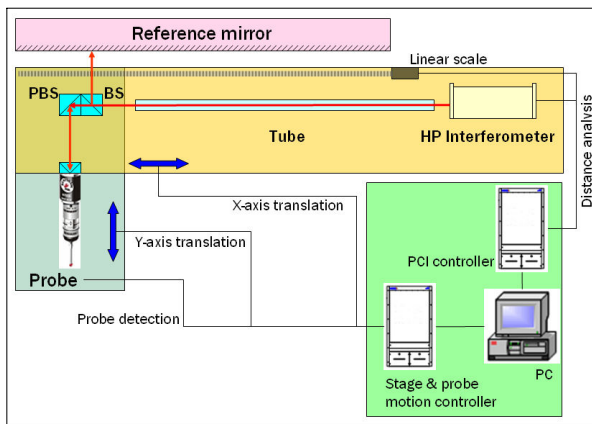


그림 1 profilometer 개념도

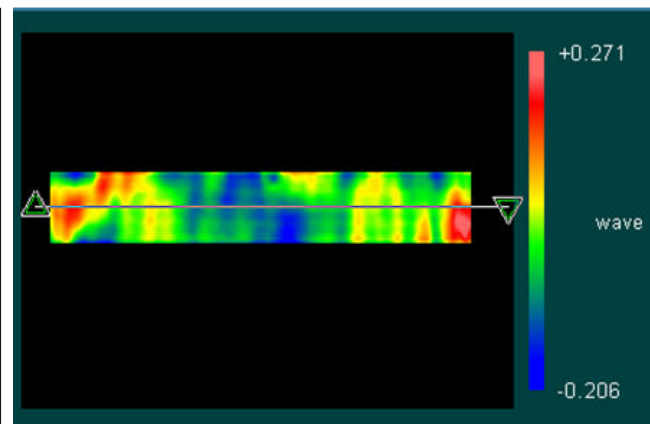


그림 2 기준 거울의 최종 가공 후 형상오차

기준 거울의 재질은 Fused silica이며 그 크기는 25(폭)×50(높이)×1200(길이) mm이다. 기준면의 성능 측정 결과 최종 가공 후 형상오차는 PV 0.3  $\mu\text{m}$ 이다<sup>(3)</sup>. 결국 profilometer의 측정 정밀도 1  $\mu\text{m}$ 를 구현하기 위하여 거울의 외적 영향에 의한 변형은 0.7  $\mu\text{m}$  미만으로 최소화되어야 한다. 이러한 변형을 구현하기 위하여 최적화된 운동학적 지지 구조물을 그림 3과 같이 설계하였다.

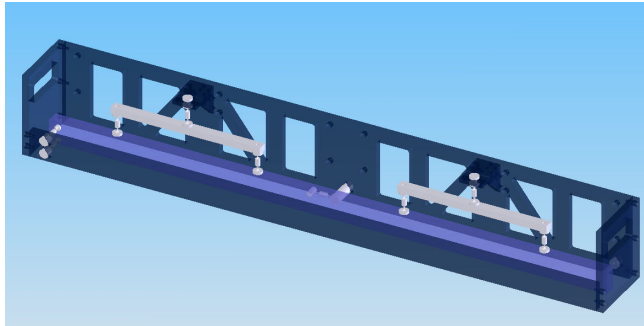


그림 3 기준 거울의 변형을 최소화하는 지지 구조물 설계

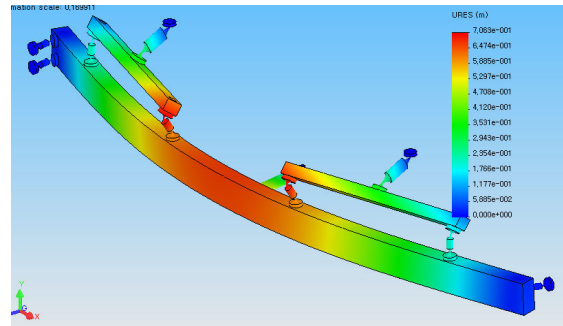


그림 4 기준 거울의 지지구조물의 제 1 공진 모드

본 설계안은 중력의 영향으로 변형되어진 기준면의 최고저차(PV)가  $0.144 \mu\text{m}$ 이 되도록 하여 설계 요구사항인  $0.2 \mu\text{m}$ 미만에 적합하다. 또한 모드(mode) 해석 결과 제 1 진동 모드는  $52.16\text{Hz}$ 의 공진 주파수를 갖으며 그림 4와 같이 기준 거울 길이방향에 수직으로 휘어지는 모드이다. 제 2 진동 모드 이상의 공진 주파수에서는 기준 거울 외의 구조물들의 휘어짐으로 해석되었다. 온도의 변화에 따라 각 구조물들이 팽창, 수축을 하므로 기준면의 변형에 큰 영향을 미치게 된다. 측정시 최대 온도변화  $1^\circ\text{C}$ 를 가정하여 열적 해석을 한 결과 기준면의 최고저차  $0.8 \mu\text{m}$ 가 될 것으로 예상되었다.

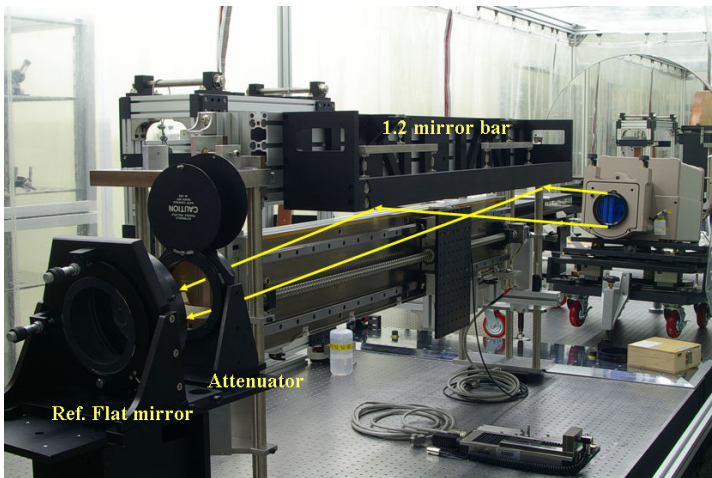


그림 5 지지 구조물이 부착 완료된 기준면의 측정

그림 5와 같이 위상변화 간섭계<sup>(3)</sup>를 이용하여 지지 구조물의 부착이 완료된 기준면을 측정 한 결과  $20.93^\circ\text{C}$ 에서 PV  $0.398 \mu\text{m}$ 이다. 만약 측정실의 온도가  $1^\circ\text{C}$  상승한다면 예상되는 기준면의 형상 오차는 PV  $1.198 \mu\text{m}$ 가 될 것이다.

설치 완료된 거울이 설계된 운동학적 지지 구조물에 의하여 정역학적 평형상태에서 그 변형을 최소화하며 그 변형을 유지 하고 있다는 사실을 위 실험결과로부터 알 수 있다. 한편 온도의 증감에 따른 변형은 앞으로 실험을 통해 그 경향에 대한 자료를 갖추어 보정한다면 측정 시스템 전체의 성능에는 크게 영향을 미치지 않을 것으로 예상된다.

### 참고문헌

1. H. Shiozawa, Y. Fukutomi, T. Ushido, and S. Yoshimura, "Development of ultra-precision 3D-CMM based on 3-D metrology frame", in proc. ASPE Annual Meeting, pp 15-18 (1988).
2. Stephan R. Clark, John E. Greivenkamp, "Optical reference profilometry", Opt. Eng. 40, 2845-2851 (2001).
3. D. Malacara, "Phase shifting interferometry", Chap. 14 in Optical Shop Testing, 2nd. Ed., John Wiley & Sons, New York (1992).