

자동 가공 시스템을 위한 측정 타워 개발

Testing tower for Computer controlled fabrication system

류용학^{1),2)}, 전민용¹⁾, 양호순²⁾, 이운우²⁾, 이인원²⁾, 김홍배³⁾

충남대학교 물리학과¹⁾, 한국표준과학연구원²⁾, 한국항공우주연구원³⁾

E-mail : shadyuncle@cnu.ac.kr

현재 국내 최대 망원경은 보현산 천문대에 설치된 1.8 m 망원경이다. 그러나 이를 뒷받침하는 1 m 급 이하의 망원경은 많지 않다. 이를 보완하기 위해서 한국천문연구원에서는 시민천문대 망원경용으로 60 cm이내의 반사경 여러 개를 제작하려고 한다. 또한 세계적으로 계획되고 있는 대형 망원경들은 여러 개의 미러 조합으로 제작되는데 이 분할 미러의 크기는 1~2 m이 가장 적합하다고 알려져 있다.^[1] 이러한 이유로 대구경 반사경의 수요가 늘어남에 따라 가공시간의 단축은 불가피하게 될 전망이다. 따라서 이러한 1 m급의 대구경 반사경 가공을 하기 위해 경험에 의존하여 가공하던 수작업 기술에서 수치화된 모형을 기초로 한 자동가공기술로의 시스템 전환이 필요하게 되었다. 이러한 자동 가공 시스템은 자동연마기, 방진장치, 측정 타워, 측정 장치로 구성되며 본 연구에서는 정밀 측정을 하는데 매우 중요한 요소인 측정 타워의 설계 및 제작에 대해 소개하고자 한다.

자동 가공 시스템은 컴퓨터에 의해 제어되는 정밀 가공 과정을 거쳐 측정 과정까지 자동으로 이루어지게 한다. 수차례의 시험 가공을 통하여 가공 조건에 따른 가공률을 수치화 하면 자동화 가공이 가능하다. 이렇게 계산된 수치를 자동 연마기(CNC machine)로 보내고 자동연마기는 그 수치대로 반사경의 형상을 가공한다. 이때 가공하고 있는 반사경의 형상이 제대로 가공되고 있는지 확인하기 위해 형상 측정이 이루어져야 한다. 그러나 대구경 반사경은 큰 부피와 무거운 무게로 인해 쉽게 이동시키기 어렵다. 따라서 이상적인 측정방법은 가공물의 가공 상태를 유지한 상태에서 측정하는 것이기 때문에 이런 상태를 유지하기 위해 가공 중인 반사경은 가공 테이블위에서 바로 수직으로 설치된 측정 장치에 의해 형상 측정이 이루어지는 시스템을 취하였다. 이렇게 측정된 형상은 기준형상과 비교하여 다시 반복적인 가공을 시행해 완전한 형상가공을 하는 것이 자동 가공 시스템의 목표이다.

바닥으로부터 전달되는 진동과 유동공기의 영향은 측정 시 형상오차의 요인이 된다. 지상 및 우주용 망원경의 일반적 가공 형상오차는 $\lambda/30$ rms 이하로서, 가시광선 영역에서는 10 nm PV(peak-to-valley) 이하의 측정 정밀도가 요구된다.^[2] 그러나 이정도의 정밀도를 만족하기 위해서는 가공 및 측정 장비가 설치되는 환경에서의 진동을 최소화하는 노력이 필요하다. 그래서 기계와 측정 장비가 놓여지는 측정 타워, 바닥을 주변 환경과 격리시켜야 하며 이에 의해 진동에 의한 형상오차를 줄일 수 있다.

대구경 망원경 반사경의 가공 최대 직경은 1 m내외이고 초점거리는 5 m내외이다. 반사경은 바닥으로부터 높이 약 1.5 m 위에 위치하므로 전체 약 7 m의 측정 높이를 가진다. 여건상 측정 타워는 앞뒤 좌우 대칭형태를 가질 수 없기 때문에 측정 타워의 고유진동수를 파악해야 하며 검증된 해석 모델을 얻기 위해 진동 시험을 통한 설계가 필요하다. 일반적인 망원경 주경에 해당하는 반사경의 f/수는 1~2 정도인데 측정 파장 영역 안에서 위상차를 1 % 이내로 유지하기 위해서 식 (1) 에 의해 반사경 횡 방향의 상대운동은 약 40~80 nm 이내가 요구된다. 모드 분석결과 1, 2 차 모드는 20 Hz이상의 횡 방향 모드이며, 3 차 모드는 46 Hz부근에서의 비틀림 모드가 나타났다. 광축 방향의 모드는 100 Hz이내에서는 존재하지 않았다.^[2]

방진장치의 성능은 진동전달률(Transmissibility) 식 (2) 로 표현한다. 그림 (1) 에서 하부의 진동계

만을 고려할 때 이는 식 (2) 와같이 나타낼 수 있으며 방진장치는 주변 시설내의 공조장치나 시험장비, 차량주행 등으로 인한 가진을 차단하기위해 필요하다. 주변 환경과 광학 가공실을 격리시키기 위해 자갈(Isolator)위에 Seismic block을 사용하였고(그림 1), 측정 타워의 중간 연결부분에 연판(Pb)을 삽입하여 진동을 최소화 하였다. 그리고 측정 시 주변 가진을 유발하는 장치들의 작동을 정지시킴으로써 가진을 최소화하였다.

측정 장치는 측정 타워 위에 설치된다. 테이블의 높이는 40 cm마다 조절할 수 있도록 측정 타워 자체에 지지대를 만들었으며 테이블위에 놓이게 되는 각 광학장치들은 반사경면으로 떨어지는 것을 방지하기 위해 수평으로 위치시켰다. 그리고 테이블에 45 도 평면 반사경을 장착하여 광 경로를 직각으로 바꿀 수 있도록 장착 하였다.

현재 표준과학연구원에서는 대구경광학가공실을 구축하고 시험가동중이다. 측정 타워의 실제 측정된 고유진동은 예상했던 진동보다 크게 나타났으며 이유는 Seismic Block과 Isolator가 완벽하게 제 역할을 못하는 것으로 보인다. 그러나 진동에 둔감한 무진동 간섭계나 Hartmann sensor등을 사용하면 측정 문제는 해결가능하다. 향후 연삭과정에서 나타나는 Tool 마모에 의한 형상오차들을 수치화하여 자동 연마기 특성분석연구가 이뤄진다면 이전 수작업기술에서 한 단계 발전한 대구경 광학계 가공 자동화가 이뤄질 것이다.

$$\frac{\Delta y}{\lambda} = \frac{D}{4f} \cdot \Delta x = \frac{1}{4f/\#} \cdot \Delta x$$

식 (1)

$$T = \frac{F_t}{F_o} = \sqrt{\frac{1 + (2\zeta \frac{f_d}{f_n})^2}{(1 - \frac{f_d^2}{f_n^2})^2 + (2\zeta \frac{f_d}{f_n})^2}}$$

식 (2)

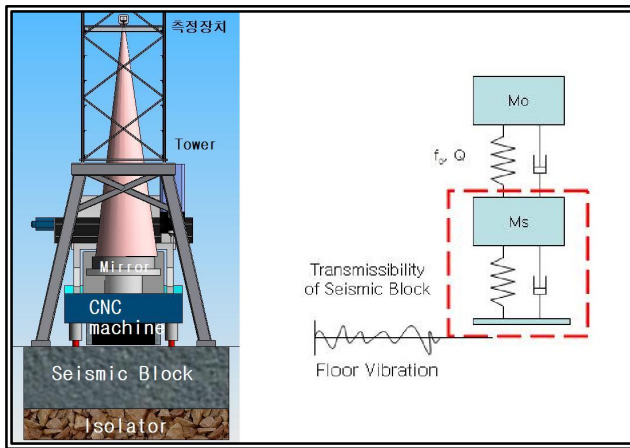


그림 (1)

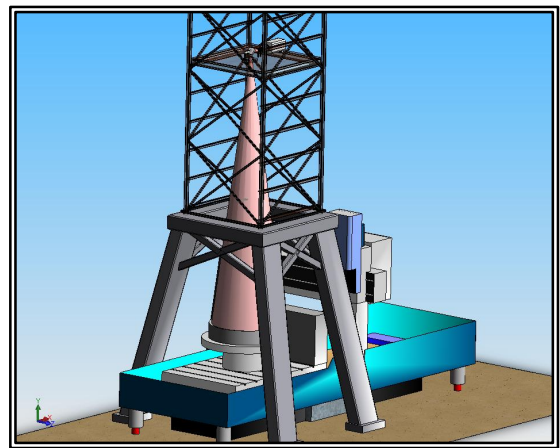


그림 (2)

참고문헌

[1] T. Andersen, A.L. Ardeberg, J. Beckers, A. Goncharov, M. Owner-Petersen, H. Riewaldt, R. Snel, D. Walker, "The Euro50 Extremely Large Telescope" in Future Giant Telescopes, J.R.P. Angel, R. Gilmozzi, Eds., SPIE Vol. 4840, p. 214-225, Jan 2003

[2] 한국표준과학연구원, "2005 광기술표준 확립 및 유지향상 연구 보고서"