

대구경 반사경의 곡률 특성 확보를 위한 다이아몬드 펠릿 연마 가공 및 기상 측정 방법

The acquisition of the radius of curvature of the large optical mirror using the diamond-pellet grinding and on-machine measurement

*이호철¹, 이후상², 박천홍³, 송창규³

*H. C. Lee(hclee@hanbat.ac.kr)¹, H. S. Lee², C. H. Park³, C. G. Song³

¹ 한밭대학교 기계공학과, ² 대구기계부품연구원, ³ 한국기계연구원 나노융합·생산시스템 연구본부

Key words : Large optical mirror, polishing, grinding, on-machine measurement, diamond pellet

1. 서론

대구경 반사경의 가공기술은 최고의 가공 정밀도가 요구되는 최첨단 기술로서 점차 그 수요가 증가하고 있고, 천체망원경의 개발은 물론 인공위성 카메라, 대형 노광장비 등 다른 대구경 광학계 기술분야로의 기술적 파급효과를 가져올 수 있다[1]. 대구경 반사경의 가공기술은 군사 목적에 활용될 수 있는 기술이라는 점과 거의 전용장비 성격으로서, 그 기술 도입은 거의 불가능한 실정이며, 반사경이나 경통으로 조립된 부품만 확보 가능하나, 이것도 구경이 커질수록 기하급수적으로 가격이 증가하므로 기술, 경제적인 면으로 국내 기술개발이 절대적으로 필요한 분야이다. 이러한 대구경 반사경 제작을 위해서는 수작업의 기술을 보유한 기술자가 있다 하더라도, 그 제작에 장시간이 소요되어, 그 생산공정 및 가공시스템을 자동화하여 가공시간을 단축하는 것이 핵심 문제로 대두되어 있다[2-4].

대구경 반사경의 재료는 열변형률이 극히 적은 재료들이 주로 사용되며, 그 경도 또한 매우 높은 특성을 가지고 있다. 따라서, 초기 블랭크(blank)로부터 연삭공정, 폴리싱(polishing), 형상수정연마를 거쳐서 표면 형상정도 100nm 이하, 표면 거칠기 1nm 급을 달성하도록 요구하고 있다. 본 논문은 이러한 대구경 반사경을 제조하는 과정의 일부로서 구면(spherical surface)으로 성형된 반사경 표면을 연삭하는 과정에 대한 결과와 그 방법을 제시하고자 한다. 연삭 공정을 위해 대형 연삭기를 제작 설치하였고, 직경 1m 크기의 반사경의 형상을 전용 프로브(probe)를 이용하여 측정하면서 목표로 하는 대구경의 구면을 얻도록 하였다.

2. 대구경 반사경 가공 장치

최종적인 대구경 반사경에 도달하는 공정은 Fig. 1 에서와 같이 선삭 또는 연삭 공정에 RMS 기준으로 1 μ m 수준까지 가공한 후, 연마 공정으로 전환하여, 형상수정연마와 병행하여 최종적인 100nm 급 이하까지 가공하는 것이 일반적이다.

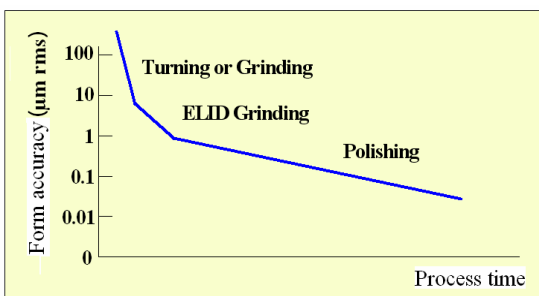


Fig. 1 A series of machining processes to fabricate a large optical mirror according to the process time and the form accuracy

본 논문의 실험에 사용된 가공장치는 Fig. 2 와 같이 일련의 복합 공정을 하나의 장치 내에서 수행하는 것을 목표로 제작되었다. 이것은, 대구경 반사경의 무게와 크기를 고려하여 가공물을 동일 위치에 두고서 가공과 측정 공정을 반복하는 것이 효율적이기 때문이다.

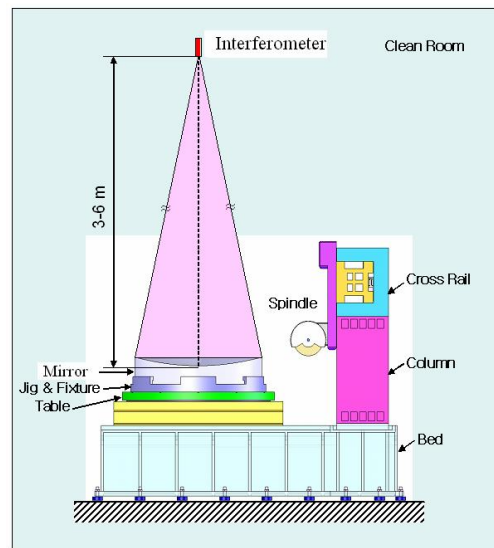


Fig. 2 A schematic diagram of the complex fabrication system of machining processes and on-machine measurements for the large optical mirror

연삭가공 동안의 기상측정은 전용 프로브를 스핀들 헤드 부에 별도 장착하여 접촉식으로 측정하며, 측정점은 구면으로 surface-fitting 하여 근사 R 과 형상 오차를 구하는 것으로 가공과정을 모니터링(monitoring) 할 수 있다. 실험에 사용된 가공기는 Fig. 3 과 같다.

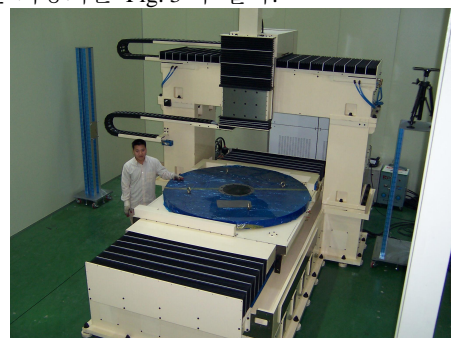


Fig. 3 A complex fabrication system before loading the workpiece and the grinding head

3. 대구경 반사경의 구면 곡률 가공

실험에 사용된 반사경 재료는 초기에 구면으로 성형되어 제작된 것으로서, 1 단계 구면화 작업을 필요 하였다. 반사경 블랭크를 가공기에 탑재한 모습은 Fig. 4 와 같고, 직경 1m, 두께 125 mm, 곡률반경 5400 mm 로 설계되었다.

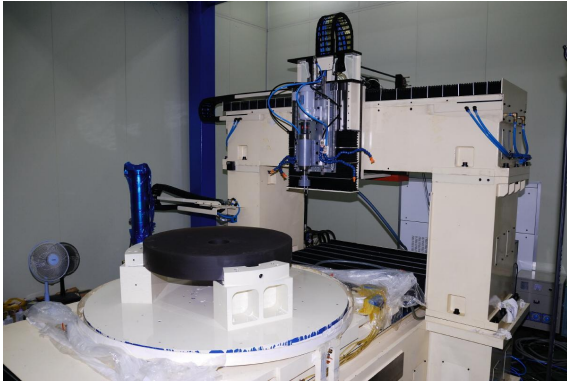


Fig. 4 A loaded large optical mirror on the fabrication system

탑재된 재료에 대하여 다이아몬드(diamond) 펠릿(pellet)을 붙인 공구를 Fig. 5 와 같이 제작하였고, 입자 메시(mesh)는 #300, #600, #1000 의 순서로 사용하였다. 일정시간 가공 후, 전용프로브를 이용하였고 형상을 측정하였고, 휴대용 표면조도계를 이용하였고 표면거칠기 변화도 함께 추적하였다.



Fig. 5 A diamond-pellet tool for acquiring the radius of curvature

일정시간 사용된 공구는 샌드블라스트(sandblast)를 이용하여 드레싱(dressing)을 실시하였다. 가공 과정은 공구제작, 연마가공, 기상측정, 형상분석을 반복적으로 수행하였고, 최종적인 곡률반경을 확보하는 과정에 대한 결과를 다음 Fig. 6 과 같이 제시하였다. 총 40 회의 반복된 과정을 통하여 R 5400 에 근접한 공정결과를 얻었고, 최적근사구면의 형상 오차는 RMS 7.8um 이고, 표면거칠기는 일정 시간 이후에는 Ra 0.2um 을 유지하였다.

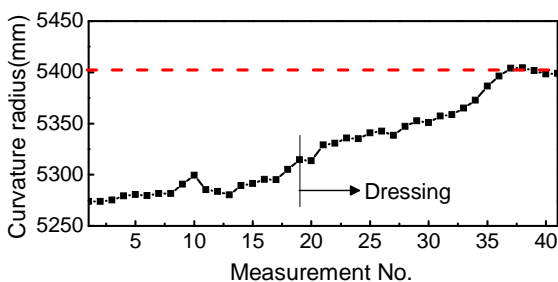


Fig. 6 The change of radius of curvature

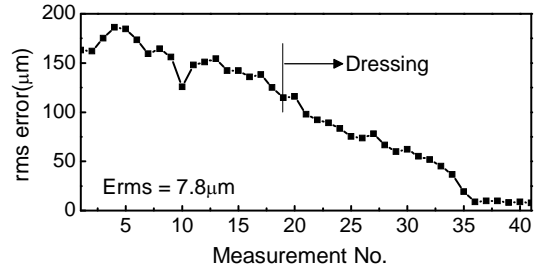


Fig. 7 The change of form accuracy

4. 결론

대구경 반사경의 구면을 얻는 연삭 연마작업으로서 다이아몬드 펠릿과 기상측정을 이용하여 설계 구면으로 근사화하는 공정결과를 제시하였다. 직경 1m 의 반사경 재료에 대하여 총 40 회의 반복 작업으로 구면 R 5400 에 대하여 형상오차 RMS 7.8um, 표면거칠기 Ra 0.2um 의 1 단계 목표 수준 성과를 확보하였다.

후기

본 연구는 지식경제부 산업기술개발사업인 주력산업의 고부가가치화 기술개발(첨단기계류)의 세부과제인 “대형광학계(반사경) 초정밀 연마·측정장비 개발”의 지원에 의하여 수행되었습니다.

참고문헌

1. 이호철, 송창규, 이후상, "초정밀 대구경 반사경의 기술 개발 현황" 한국공작기계학회지, **16**, 12-18, 2007.
2. Jones, R. A., "Computer-controlled optical surfacing with orbital tool motion," *Optical Engineering*, **25**, 785-790, 1986.
3. Lee, H. and Yang, M., "Dwell time algorithm for computer controlled polishing of small axis-symmetrical aspherical lens mold," *Optical Engineering*, **40**, 1936-1943, 2001.
4. Yang, M. and Lee, H., "Local material removal mechanism considering curvature effect in the polishing process of the small aspherical lens die," *Journal of Materials processing technology*, **116**, 298-304, 2001.