

대구경 광학표면의 형상정밀도 측정 및 평가

Measurement and Evaluation of Form Accuracy of Large Optical Surfaces

김승우

한국과학기술원 기계공학과

swk@kaist.ac.kr

대구경 광학계는 일반적으로 직경이 100 밀리미터 이상 1 미터에 이르는 거울이나 렌즈를 총칭한다. 이러한 대구경 광학계의 수요는 과거에는 천문 관측용 광학 부품에 주로 한정되었으나, 근래에 들어 인공위성의 지상 또는 우주 관측의 수요가 늘면서 다양한 형상의 대구경 광학계의 생산이 증대되고 있다. 또한 최근 들어서는 전자 및 디스플레이 산업에서 복잡한 형상 패턴의 노광 방식에 의한 기술의 사용이 증대되면서 노광기의 핵심부품인 대구경 광학계의 소비자 산업의 수요도 점차 확대되어 가고 있다. 이러한 대구경 광학계의 수요 현황을 총괄적으로 분석할 때, 앞으로의 항공우주, 전자, 그리고 디스플레이 산업의 급속한 발전과 더불어 이에 대한 효율적인 설계, 생산, 그리고 검사 기술의 발전이 국내 광학산업의 육성을 위한 전략적인 차원에서 시급히 요구되고 있다.

이러한 대구경 광학 표면은 수학적으로 구면에서부터 포물면, 쌍곡면에 이르기까지 다양한 형상이 실제적으로 이용된다. 또한 최근에는 광효율을 증가하기 위해 종래의 광축 대칭으로부터 광축 비대칭 표면이 널리 사용된다. 이러한 복잡한 대구경 광학 표면은 전통적으로 연삭과 폴리싱을 중심으로한 연마공정이 사용되어 왔다. 최근에 들어서는 가공의 생산성을 향상시키고 좀 더 체계적인 생산에 의해 형상 정밀도를 향상하기 위해 수치제어에 의한 다이아몬드 공구나 특수 연삭 공구를 이용한 자동 표면 생성기술도 급격히 발전하고 있다. 또한 위성 관측용의 대구경 광학계는 무게의 경량화를 위해 특수 광학 재질을 이용한 새로운 설계 방식에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

대구경 광학계의 효율적인 생산을 위해서는 반드시 요구되는 기술중의 하나가 설계와 가공 더불어 검사기술이다. 대구경 광학계는 크기가 대형인 반면 요구되는 정밀도는 일반 소형 광학계와 동등하거나 더 정교한 것이 일반적이다. 그림1에서와 같이 CD 렌즈의 비구면의 경우 직경이 수 밀리미터이며, 이에 요되는 형상정밀도는 십 나노미터의 수준이다. 반면, 위성관측용 광학계의 경우에는 직경이 600에서 1000 밀리미터에 이르면서, 요구되는 형상정밀도는 100 나노미터의 수준이다. 이러한 극한적인 형상정밀도를 얻기 위해서는 효율적인 측정기술의 확보가 필수적으로 요구되며, 측정의 결과가 다시 가공 공정에 연계되는 체계적인 가공과 측정을 연계할 수 있는 시스템 기술의 확보가 필수적이다.

대구경 광학계의 검사기술은 크게 접촉식과 비접촉식으로 나누어 진다. 비접촉식은 전통적으로 피조간섭계를 중심으로한 레이저 간섭기술이 널리 사용되고 있다. 이러한 간섭기술은 최근의 대구경 광학계의 초정밀 측정을 위해 비약적인 발전을 이룩하고 있다. 대표적인 예로는 측정 노이즈를 최소화하는 백색광 간섭, 기준 표면을 점회절에 의한 구면파를 이용하는 점회절 간섭계를 들 수 있다. 이러한 특수 간섭계들은 간섭계 자체의 안정성과 함께 위상천이 간섭기술을 효율적으로 병합하여 측정정밀도면에서 1000분의 1파장에 이르는 극초정밀 측정을 구현하고 있다. 또한 측정간섭계의 절대보정을 위한 자가보정 기술의 발전도 오늘날의 대구경 광학계의 초정밀 측정을 위한 실용적인 대안을 제시하고 있다.

접촉식 측정기술 또한 대구경 광학계의 검사에서의 중요성이 날로 증대되고 있다. 최근의 비구면, 비축대칭 광학면의 사용은 기존의 비접촉 간섭계의 응용에 가공이 어려운 보상광학계를 요구하는 많은 기술적 제한을 낳고 있으며, 광학면의 단품 검사에 많은 어려움이 따른다. 접촉식 검사기술은 이러한 간섭계의 제반 문제점을 해결할 수 있는 장점을 갖고 있다. 그러나 기존의 접촉식 측정기술은 측정정밀도 면에서 비교적으로 경쟁력이 약한 기술적 취약점을 갖고 있다. 최근 들어서는 이러한 접촉식 측정기술의 기술적 한계를 극복하기 위한 제반 연구가 실행되고 있다. 먼저 구조적으로 열적 안정화된 재료를 사용하면서, 정밀 운동을 창출할 수 있는 기계 요소설계 기술이 활발히 발전되고 있다. 또한 광학면의 삼차원 좌표를 정밀하고 검출할 수 있는 위치검출 센서의 개발과 더불어, 프로브 기술도 급진적인 발전을 이루고 있다. 종합적으로 예측할 때 조만간 비접촉 간섭계가 갖는 측정정밀도를 구현하면서, 측정대상물의 표면형상에 자유롭게 적용할 수 있는 접촉식 측정기술의 실용화가 실현될 것으로 예상되고 있다.

본 강좌에서는 국내외에서 진행되고 있는 대구경 광학계의 비접촉/접촉 측정검사기술의 동향과 이들의 기본 원리를 폭넓게 소개하고자 한다.

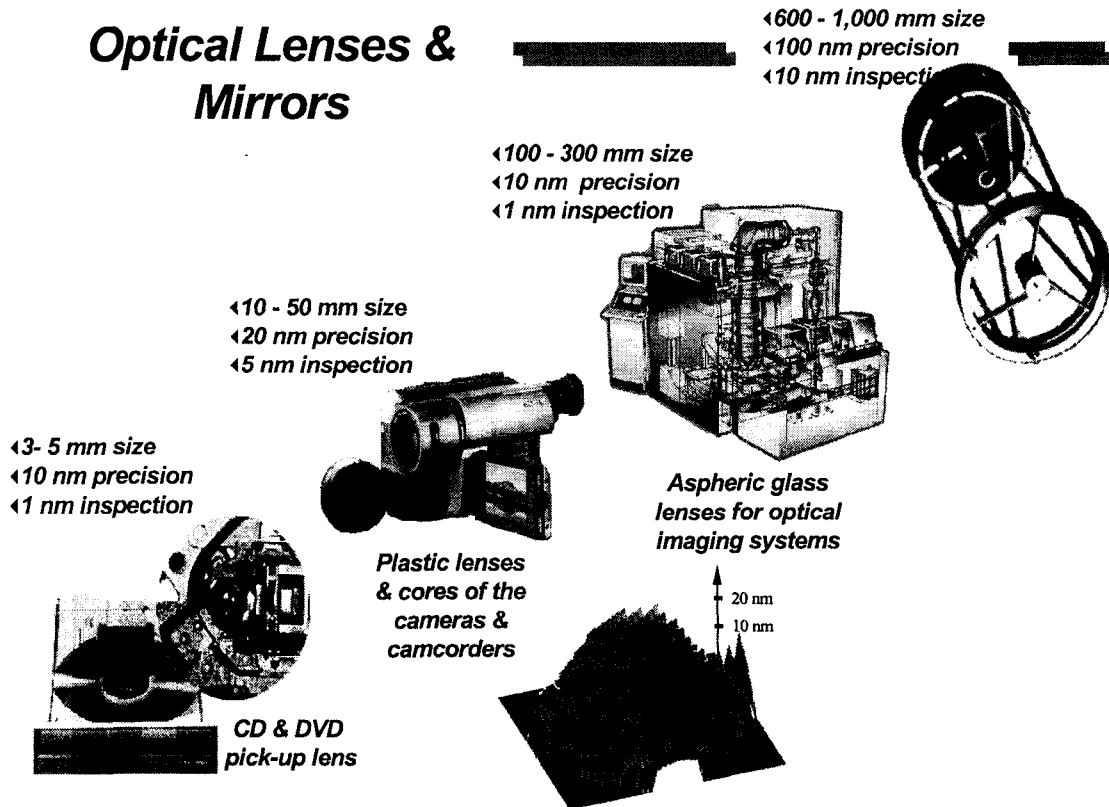


그림 1 대구경 광학계의 산업적 수요와 이에 요구되는 검사 정밀도.