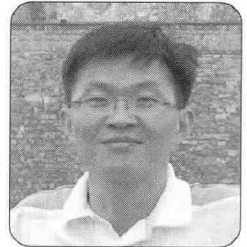


천문우주용 정밀 광학거울 제작 기술

국내에는 약 100여 군데의 광학렌즈 및 거울 가공관련 업체가 있으나 대부분 직경 1 인치 이내의 소형광학계 생산을 주로 하고 있고 면 형태 역시 구면이 대부분이다. 최근 휴대폰 카메라등에 비구면 사용이 늘었으나 대부분 다이아몬드터닝 머신 등을 이용한 정밀 가공수준에서 마무리기 때문에 대형 광학거울에 같은 기술을 적용할 수 있다고 보기에는 무리가 따른다. 현재 국내에서 제작되고 있는 직경 1 m급 정밀 비구면 광학거울은 모두 표준과학연구원에서 제작하고 있다. 본 고에서는 표준과학연구원이 보유하고 있는 대구경 정밀 광학거울 제작 시설 및 기술들을 위주로 광학거울 제작 기술에 대해 소개하고자 한다.



글/한국표준과학연구원 우주광학연구단 책임연구원 양호순

천문우주용 광학거울은 일반적인 정보통신산업 및 계측기기와 의료산업 등에 사용하는 광학부품보다 직경이 크면서 면의 정도가 높다. 국내에서 현재까지 운용되고 있는 지상용 천체망원경의 경우 최고 직경이 1.8 m에 이르고 우주용 광학계 역시 최고 직경이 0.6 m 정도이다. 특히 우주용 광학계의 경우 면 형상정도가 20 nm rms 이하일 정도로 초정밀 비구면 광학거울을 사용한다. 이러한 광학거울들을 제작하기 위해서는 가공기술과 아울러 정밀 측정기술이 수반되어야 한다.

1. 비구면 측정기술

비구면은 구면과 평면이 아닌 모든 종류의 곡면을 말한다. 특히 천문우주용에는 회전 대칭형태(conic)의 비구면을 많이 사용한다. 이러한 비구면의 형상측정은 그림 1과 같이 측정면의 크기와 측정정밀도에 따라 기하학적 방법, 접촉식 측정법, 간섭계 방법 등이 사용되고 있다. 예전에는 푸코나 론키시힘 같은 기하 광학적 원리를 이용하는 측정법을 많이 사용하였으나 지금은 거의 사용하지 않으며, 마이크로 렌즈나 핀홀 배열을 사용하는 Hartmann 방법은 비교적 형

국내 천문우주광학기술의 현황과 전망

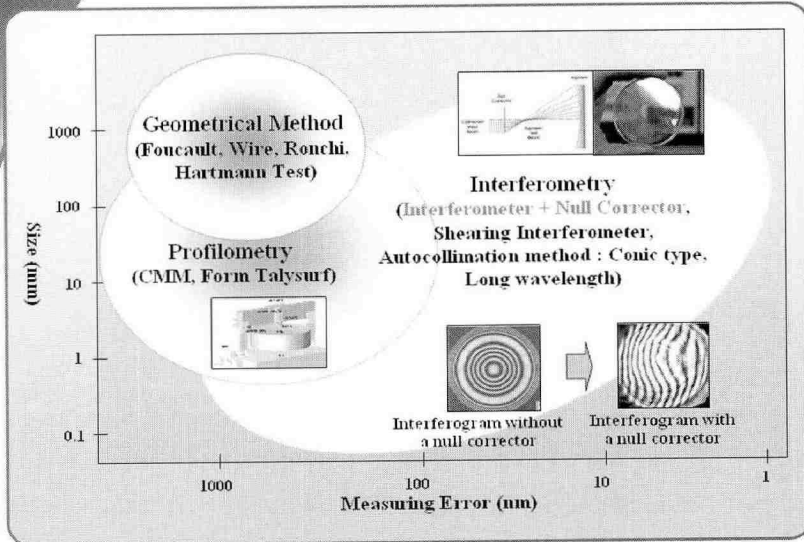


그림 1. 비구면 형상측정법

상오차가 클 경우 쉽게 사용할 수 있는 방법이다. 접촉식 프로브를 사용하는 삼차원 측정기와 Form Talysurf 측정기는 측정결과를 쉽게 알 수 있지만 전체 측정 면적에서 임의의 제한된 측정결과를 이용하므로 신뢰도가 낮다. 그리고 일반적으로 측정정밀도는 100 nm 정도이다.

현재까지 비구면을 가장 정밀하게 측정할 수 있는 방법은 레이저를 이용하는 간섭계 방법으로 보통 측정대상 비구면의 설계 자료를 이용하여 제작한 비구면 기준렌즈인 null 광학계와 함께 사용한다. 이것은 구면용 기준렌즈를 가진 간섭계를 직접 사용하면 광로차가 큰 부분에서 간섭무늬가 많이 생겨 측정이 어려우므로 간섭무늬의 수를 줄이는 역할을 한다. 재래식 null 광학계는 제작이 용이한 구면 렌즈와 평면거울을 조합하여 사용하며 조립과 정렬이 쉽다.

현재 표준과학연구원에서는 파면오차 6nm rms 이하의 재래식 null 광학계를 제작하여 사용하고 있다. 최근에는 CGH(Computer Generated Hologram) 방법을 이용하여 정렬과 측정을 동시에 해결하고 있다. 이것은 단일 유리 웨이퍼에 홀로그램을 식각하여 사용하는데 보통 가운데 부분이 측정

용이고 바깥부분은 정렬용으로 나누어 식각할 수 있어 측정정밀도와 사용상의 편의성을 높였다. 현재 표준과학연구원에서는 직경 300mm까지 식각이 가능한 Laser Writer를 개발하고 초기 운영중에 있다. 이러한 방법 외에도 여러 장의 간섭무늬를 사용하는 Stitching 방법과 긴파장 간섭계를 이용한 측정방법들이 시도되고 있다.

2. 대형 비구면 가공기술

비구면의 가공은 크게 네 가지 단계로 나눌 수 있다. 먼저 대상 비구면과 이 비구면에 가장 모양이 근사적인 구면의 차를 구한다. 이 양이 우리가 깎아내야 할 양으로 Sag Data라고 불린다. 이 양을 mesh # 50 정도의 거친 툴을 이용하여 대략 갈아내는 황삭(Rough Grinding) 작업을 거친다. 그리고 다시 정삭(Fine Grinding)으로 불리는 과정을 통하여 면의 거칠기를 줄여 나간다. 이 과정까지는 아직 면이 빛을 반사시킬 정도로 매끄럽지 않아 광학적인 평가는 불가능하고 3차원 측정기와 같은 기계적인 방법을 이용하여 형상오차를 측정한다. 광학적인 평가를 위해서 면에 처음 광택을 내는 것이 첫 번째 Polishing이다. 이 과정 후에 비로소 간섭계를 이용한 측정을 수행한다. 이 측정으로부터 형상오차를 측정 후 면의 광택을 유지하면서 형상오차를 줄여나가는 작업을 하게 되는데 이것을 두 번째 Polishing 또는 Figuring이라고 한다. 이 작업을 원하는 형상오차를 얻을 때까지 계속한다. 현재는 전체적인 가공시간을 줄이기 위한 노력의 일환으로 Figuring을 효과적으로 할 수 있는 연마 자동화 기법 및 다이아몬드터닝 머신이나 CNC와 같은 정밀가공장비를 사용하며 정삭 과정에서 정밀도를 높이려는 연구가 많이 진행되고 있다.

대형 비구면을 빠른 시간 내에 정밀하게 가공하기 위해서는 가공환경이 무엇보다 중요하다. 즉 광학가공은 가공과 평가의 반복적인 작업으로 이루어지는데 이러한 가공과 평가가 한 장소에서 이루어지지 않는다면 무거운 대형 비구면을 이동하고 정렬하면서 많은 시간이 소요될 뿐만 아니라 자칫 사고가 발생할 위험도 있기 때문이다. 또 다른 문제점으로는 대형 비구면은 일반적으로 무게가 많이

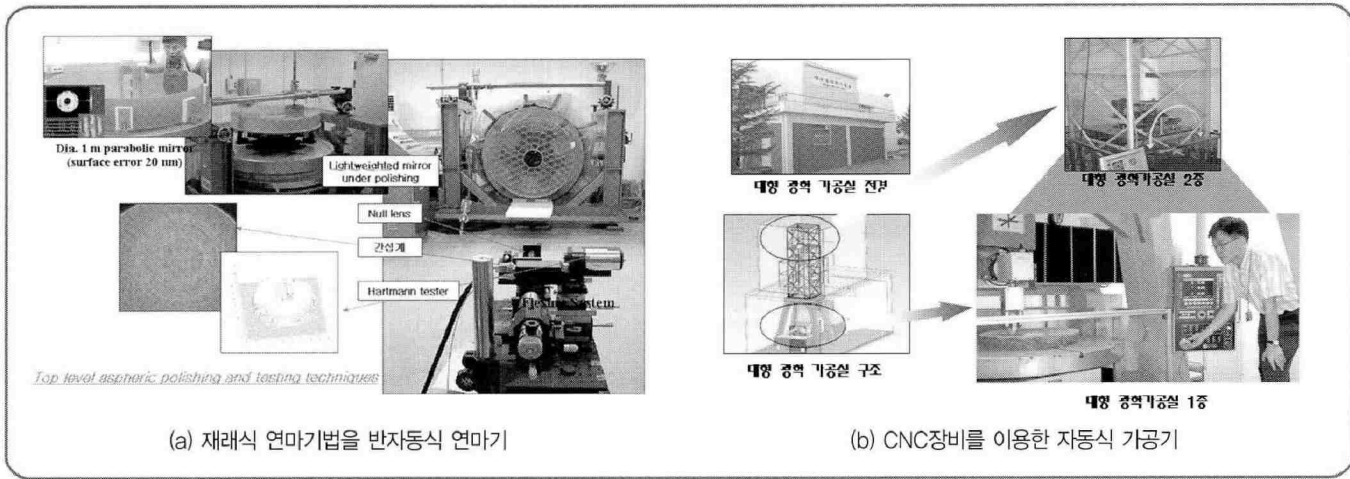


그림 2. 재래식 연마기법을 반자동식 연마기와 CNC장비를 이용한 자동식 가공기

나가고 곡면으로 되어 있기 때문에 측정하는 자세에 따라 형상오차가 다르게 나타나기가 쉽다. 따라서 가공물의 사용방법에 맞는 측정 자세를 갖추어 가공하는 것이 필요하다.

현재 표준과학연구원에서는 고객의 요청에 따라 크게 두 가지의 다른 방식으로 광학거울을 가공하고 있다. 천체망원경과 같이 주로 하늘을 쳐다보는 광학거울의 경우, 거울이 하늘을 쳐다보고 있는 상태에서의 형상오차가 중요하므로 측정 타우어가 가공기 위에 위치한 장비를 이용하여 가공한다. 하지만 우주용 망원경 같은 경우는 실험실에서 수평선을 보고 조립하고 평가하는 경우가 대부분이기 때문에 거울이 수평선을 쳐다본 상태에서의 형상오차가 중요하므로 가공물을 수직으로 세울 수 있는 가공장비를 이용하여 가공한다.

그림 2는 표준과학연구원 내에서 운용되고 있는 반자동식과 자동식 가공기를 보여준다. 반자동식 가공기는 기존의 Draper 방식의 비구면 가공기를 변형하여 측정시 가공물을 가공위치로부터 수직으로 세울 수 있도록 만들었다. 자동식 가공기는 CNC 장비를 이용한 자동 연마틀을 사용할 수 있는데 가공물이 수평이송테이블위에 설치되어 있어 가공이 끝난 후 이송테이블을 측정타우어 바로 아래까지 이송시켜 측정이 가능하도록 할 수 있다.

현재 표준과학연구원에서는 직경 1m급 광학거울을 20nm rms 이하로 가공하는데 약 3개월 정도의 시간이 소요되는데 앞으로 연마틀의 선택 및 CNC를 이용한 연삭 작업에 관한 추가 연구를 통하여 가공기간을 2개월 이내로 단축시킬 예정이다.

3. 전문인력 양성을 위한 산·학·연 협력관계 절실

첨단기술시대에서 광학산업의 발전은 기술력이 밑바탕이 되어야하고 그 기술력은 고급 기술인력의 양적·질적 확보에 달려있다 해도 과언이 아니다. 따라서 광학산업 및 업계의 장기적인 발전과 관련하여 그 어느 때보다 산·학·연의 협력관계가 절실히 필요한 가운데 기술인력 양성에 대한 정부의 적극적인 지원이 요구되고 있다.

산업계에서는 구체적으로 필요한 부문의 인력과 정확한 수요를 파악하고 있어야 한다. 대학의 광 관련 학과 및 전문양성기관은 체계적인 교육과정을 확립하고 교재 및 시설기준 개발에 적극 나서야 한다. 또한 광학기사 및 기능사 자격 제도를 적극 활용하면서 이에 맞는 전문인력을 집중 양성시킬 수 있도록 움직여 나가야 할 것이다. 자격증의 경우 세분화할 필요성도 있다. 소위 '렌즈 연마장이'로만 인식되어 있는 광학기사와 광학기능사 자격증을 21세기 첨단산업에 걸맞게 구체화시켜 광산업계 요소요소에 배치할 수 있는 전문인력으로 양성해야 한다. 현재 존폐여부가 다시 논의되고 있는 광학기사 및 광학기능사 제도에 모두가 관심을 갖도록 산·학·연이 협동하고 홍보활동을 펼쳐나가야 한다.