

천문·우주·국방 등 첨단 산업 분야에서 대형광학부품 수요 증가 추세

대형 광학거울 제작 기술 동향

국광학거울을 제작하기 위해서는 가공기술과 초정밀 측정기술이 수반되어야 한다. 국내에는 100개 이상의 광학렌즈 및 거울 가공업체가 있으나 대부분 직경 1인치 이내의 소형광학계를 주로 생산하고 있고 면 형태 역시 구면이 대부분이다. 최근 휴대폰 카메라 등에 비구면을 사용하고 있지만 대부분 다이아몬드터닝 머신 등을 이용한 정밀급 가공수준이므로 대형 광학거울에 같은 기술을 적용할 수 있다고 보기에는 무리가 따른다. 본 원고에서는 대구경 정밀 광학거울 가공, 평가 및 코팅기술을 설명하고 관련 기술의 전망에 관하여 간단히 언급하고자 한다.

천문우주 및 인공위성용 대형광학부품 기술 동향

우리가 일상적으로 다루는 디지털 카메라나 휴대폰용 카메라와 같은 광학제품들은 대부분 렌즈를 사용하여 제작된다. 하지만 렌즈들은 일반적으로 색수차를 가지고 있기 때문에 색수차를 제거하기 위하여 굴절률이 다른 물질을 사용하거나 오목과 볼록 조합을 사용한다. 따라서 고성능 렌즈 시스템을 만들기 위해서는 여러 장의 렌즈를 사용하게 되어 복잡하고 제작이 어려워진다.

이에 반하여 천체망원경이나 우주용 망원경과 같은 정밀 광학계는 많은 광량과 높은 해상도를 위하여 큰 사이즈의 렌즈를 사용해야 하는데, 렌즈 자체의 무게로 인하여 형상이 변형되고 큰 렌즈 재질을 균일하게 만들기 어려운 문제가 있어서 직경이 20cm 이상이 필요한 경우 렌즈를 잘 사용하지 않는다. 이러한 경우에는 광학거울을 주로 사용하게 되는데 거울은 한 면만 사용하므로 사용하지 않는 뒷면을 파내서 무게를 줄일 수도 있고 렌즈처럼 색수차를 가지고 있지 않기 때문에 개수를 줄일 수 있는 장점이 있다. 최근에는 거울의 수를 줄이면서 성능을 유지하기 위하여 비구면을 주로 사용한다.

천문우주용이나 인공위성용 광학거울은 일반적인 정보통신 및

국내 광학부품산업의 현재와 미래

계측기기에 사용하는 광학부품보다 직경이 크면서 면의 정밀도가 높다. 국내에서 사용하는 지상용 천체망원경의 최고 직경은 1.8m이며 위성 카메라는 0.6m 정도이다. 특히 위성 카메라는 형상정도가 20nm rms 이하인 초정밀 비구면 광학거울을 사용한다. 이러한 광학거울들을 제작하기 위해서는 가공기술과 아울러 초정밀 측정기술이 수반되어야 한다.

국내에는 100개 이상의 광학렌즈 및 거울 가공업체가 있으나 대부분 직경 1인치 이내의 소형광학계를 주로 생산하고 있고 면 형태 역시 구면이 대부분이다. 최근 휴대폰 카메라 등에 비구면을 사용하고 있지만 대부분 다이아몬드터닝 머신 등을 이용한 정밀급 가공수준이므로 대형 광학거울에 같은 기술을 적용할 수 있다고 보기에는 무리가 따른다.

대구경 정밀 광학거울 가공, 평가 및 코팅기술 현황 및 전망

그림 1은 비구면의 가공을 네 가지 단계로 나누고 이 단계마다 사용할 수 있는 측정법에 관한 것이다. 먼저 대상 비구면과 이 비구면에 가장 근사적인 구면의 차를 구한다. 이 차이가 우리가 깎아내야 할 값으로 'sag data'라고 불린다. 이 값을 mesh # 50 정도의 거친 틀을 이용하여 대략 같아내는 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 1차 연마이다. 이 과정 후에 비로소 빛을 이용하는 간섭계를 사용한다. 이 측정으로부터 형상오차를 측정 후 면의 광택을 유지하면서 오차를 줄여나가며, 이것을 2차 연마 또는 figuring이라고 한다. 이 작업을 원하는 형상오차를 얻을 때까지 계속한다. 하지만 현재 가공추세는 전체적인 가공시간을 줄이기 위하여 연삭단계에서 다이아몬드터닝 머신이나 CNC와 같은 정밀가공장비를 사용하여 1차 연마까지 진행하고 마지막으로 figuring을 하려는 연구가 많이 진행되고 있다.

대형 비구면을 빠른 시간 내에 정밀하게 가공하기 위해서는 가공환경이 무엇보다 중요하다. 즉, 가공 및 평가과정이 반복되므로 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 나가고 곡면으로 되어 있기 때문에 측정하는 자세에 따라 형상이 변형되기 쉽다. 따라서 가공물의 사용방법에 가장 근접한 측정 자세를 갖추어 가공하는 것이 필요하다.

즉, 천체망원경과 같이 주로 하늘을 쳐다보는 광학거울의 경우 측정기가 광학거울 위에 위치한 상태에서 형상을 측정한다. 이를 위하여 주로 측정 탑이 사용된다. 하지만 우주용 망원경은 실험실에서 수평선을 보고 조립하고 평가하는 경우가 대부분이므로 광학거울을 수직으로 세운 상태에서 형상을 측정하게 된다. 이를 위해서는 가공기의 연마 테이블이 수직으로 회전 가능한 구조가 필요하다.

비구면의 형상측정은 측정면의 크기와 측정정밀도에 따라 방법이 결정되는데 일반적으로 초정밀측정을 위해서는 간섭계와 null 광학계를 조합하여 사용한다. null 광학계로는 일반 구면 렌즈나 CGH(Computer Generated Hologram)를 사용하기도 하는데 요즘은 정렬기능이 뛰어난 CGH를 많이 사용한다. 이 방법을 사용하면 직경 1m 이상 비구면 광학거울의 형상을 10nm rms 이하의 정밀도로 평가할 수 있다.

이렇게 가공과 평가가 끝난 광학면은 반사율을 높이기 위하여 금속코팅을 한다. 지상용 거울은 코팅된 면이 오염되면 벗겨내고 다시 코팅하면 되지만 우주용인 경우 이러한 작업이 불가능하므로 금속 코팅위에 산화 방지 및 오염 방지를 위한 보호막을 입히게 된다. 그 동안 국내에서 단일반사경 코팅용 증착기로 가장 컸던 것은 보현산 천문대에 위치해 있는 직경 1.8m 박막증착기인데 지상용 망원경의 알루미늄 코

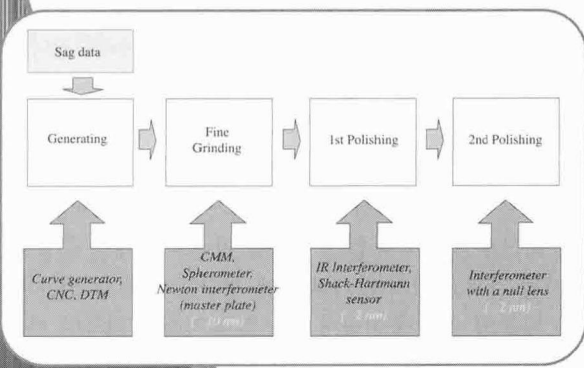


그림 1. 초정밀 대형 비구면 제작 단계 및 형상측정법

팅만 가능하도록 되어 있다. 최근에 표준과학연구원에는 MgF_2 나 SiO_2 를 보호막으로 입히고 최대 직경 2m까지 코팅이 가능한 시설이 설치되어 우주용 광학거울의 코팅도 가능하게 되었다.

간다면 선진국과의 기술격차를 신속히 줄이고 국내 광 관련 산업의 부가가치를 훨씬 높일 수 있는 계기가 될 수 있을 것이다.

첨단응용산업분야의 수요 증가에 따른 대형 광학거울의 전망 밝아

지금까지 대형광학거울의 가공, 평가 및 코팅에 관하여 간략히 살펴보았다.

국내에서는 현재 직경 1m 이상인 광학거울의 수요가 1년에 2~3기에 불과하지만 점차 천문, 우주, 국방 및 첨단 산업 분야에서 수요가 늘고 있는 추세다. 이러한 응용분야를 고려해 볼 때 대형광학거울의 제작 기술을 해외에서 들여오는 것은 매우 어려운 일일 것이다.

지금까지 국내에서는 표준과학연구원을 중심으로 대형광학거울의 제작 기술을 개발하였으나, 앞으로 많은 업체들이 관심을 가지고 이 분야의 연구를 같이 해 나

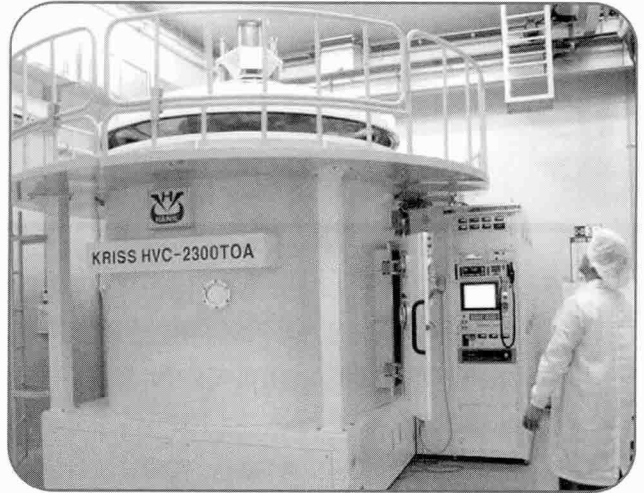


그림 2. 직경 2m 광학박막 증착기 (표준과학연구원내 설치)



양호순

1999년 영국 University College London에서 천문 및 물리학으로 박사학위를 취득하였고, 2003년까지 (주)세트랙아이에서 근무했다. 현재는 한국표준과학연구원 우주광학연구단의 책임연구원으로 대형 광학계 제작 및 조립연구를 담당하고 있다.



이윤우

1985년 한국표준과학연구원에 입원하여, 1994년 KAIST에서 물리학으로 박사학위를 취득하였고, 영상그룹, 광도영상그룹, 나노광계측그룹장 등을 역임하였다. 현재는 우주광학연구단장이다.