

## 특집 ■ 우주광학

# 우주용 반사경의 개발

이윤우\*, 양호순\*\*

우리가 일상적으로 다루는 디지털 카메라나 휴대 폰용 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 고성능의 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 20 cm 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 계측기기에 사용하는 광학부품보다 직경이 크면서 면의 정밀도가 높다. 현재까지 국내에서 사용한 지상용 천체망원경의 최고 직경은 1.8 m이며 위성 카메라의 경우는 직경 0.8 m 정도이다. 특히 위성 카메라는 형상오차가 10 nm rms 이하인 초정밀

비구면 광학거울을 사용한다. 이러한 광학거울들을 제작하기 위해서는 가공기술과 아울러 초정밀 측정 기술이 수반되어야 한다.

한국표준과학연구원(이하 표준연)의 우주광학센터는 지난 2005년부터 우주용 반사경 개발에 특화하여 연구실을 운영하고 있으며 항우연, 천문연, 국과연등과 함께 지상용 또는 우주용 망원경을 위한 대형 비구면 반사경 개발 기술을 공동개발하고 있다. 본 원고에서는 그동안 표준연에서 개발한 우주용 반사경 개발 기술을 가공기술 및 중력을 감안한 측정기술 위주로 소개하고자 한다.

위성카메라용 정밀광학계를 개발하기 위해서는 그림 1과 같이 광학설계, 제작, 조립, 시험기술들이 함께 필요하다. 위성카메라는 그 특성상 전략물자에 포함되어 있어 기술이나 관련 제품의 국가간 이동이 쉽지 않다. 항공우주연구원은 다목적위성 1호부터 3A호에 이르기까지 다양한 우주용 카메라를 개발하면서 카메라시스템의 설계, 조립, 정렬 및 우주환경시험등에 관한 기술을 자체 보유하고 있는데 성공하였으나 사용된 반사경들은 대부분 해외에서 제작하고 시험하여 들 여온 것들이었다. 따라서 우리나라가 직접 우주개발을 하기 위해서는 반사경 제작의 국산화가 필수였다. 이를 위해서 표준과학연구원의 우주광학센터는 항우연과의 공동개발을 통해 2013년에는 직경 800 mm 우주용 반사경을, 2014년에는 직경 1 m 우주용 반사경을 국산화하는데 성공하였다(그림 2 참조).

\* 한국표준과학연구원 산업측정표준본부장, \*\* 한국표준과학연구원 우주광학센터장

## 우주용 반사경의 개발



그림 1. 위성 카메라 개발 요소기술

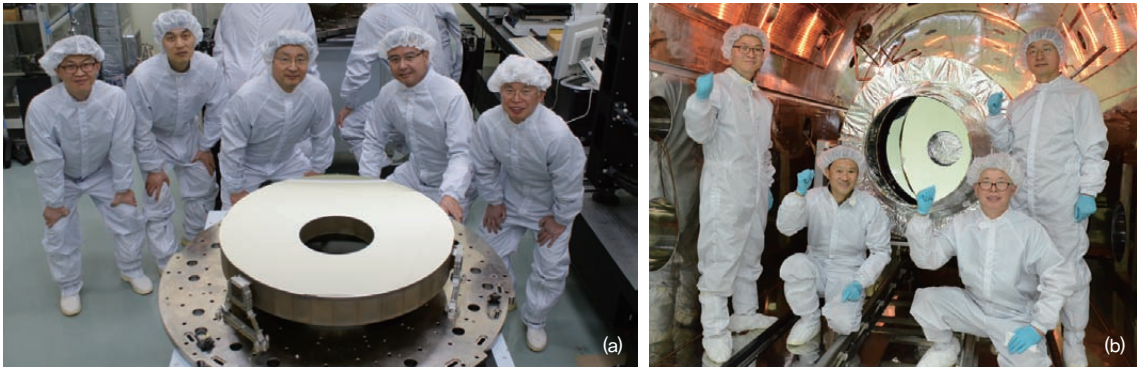


그림 2. (a) 직경 800 mm 우주용 반사경 개발 (b) 열진공챔버내에 설치된 직경 1 m 우주용 반사경

대형 비구면 거울을 개발하기 위해서는 광기계 설계기술, 경량화기술, 연마기술, 박막증착기술이 필요하다. 거울의 경량화는 광기계 설계에 따라 모양과 경량화 정도가 결정된다. 소형 거울의 경량화는 재질에 따라 다르며 최대 90% 까지 시도되기도 하지만 지상용으로는 일반적으로 60% 정도이고 우주용으로는 80% 정도까지 요구된다. 이렇게 경량화율이 높으면서도 중력에 의한 변형이나 로켓 발사시 겪는 진동을 견디기 위해서는 광기계 설계가 조심스럽게 진행되어야 한다.

경량화작업은 다이아몬드 공구를 사용하여 CNC(Computer Numerical Control) machine으로 하며 대량 생산하는 경우에는 water jet을 이용하여 투과형 중간판을 고속 제작 후 연마 면과 뒷면을 고온으로 녹이거나 접착하는 샌드위치 방법이 사용된다. 천체 망원경용 중형거울은 보통 접시 모양으로 경량

화 하지만 대형 거울은 유리를 녹여서 허니콤 모양으로 제작한다.

그림 3은 표준연에서 설계한 경량화 거울의 형상이다. 직경 1000 mm 우주용 망원경의 주경이며 광기계 해석에 따라 경량화 모양을 최적화 하였다. 경량화 비율은 80% 이어서 전체무게가 46 kg에 불과하며 제작기간은 약 6개월이다. 이를 위해서 뒷면에 남아 있는 웹의 두께는 2 mm 에 불과하여 작업중에 깨지기 쉬워 여러 가공조건을 감안한 별도의 가공방법을 사용하여야 했다. 최근에 (주)지우광기술이 경량화 및 에칭기술을 표준연으로부터 기술이전 받았고 향후 국내의 경량화 수요를 상당부분 담당할 예정이다.

우주용 반사경은 지상에서 가공이 되는 반면 사용은 중력이 없는 우주공간에서 사용되므로 지상에서 가공할 때 미리 중력효과를 측정하여 반사경의 변형량이 요구조건 이내인지를 확인하여야 한다. 이때 반

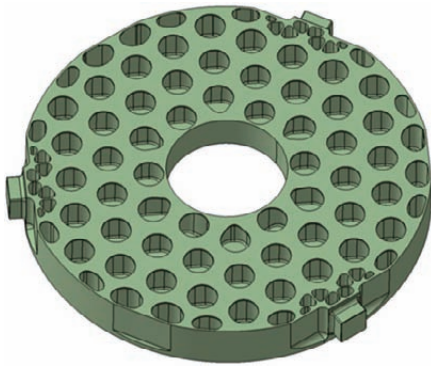
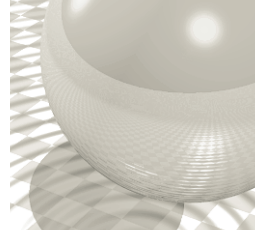


그림 3. 직경 1 m 반사경의 경량화 설계

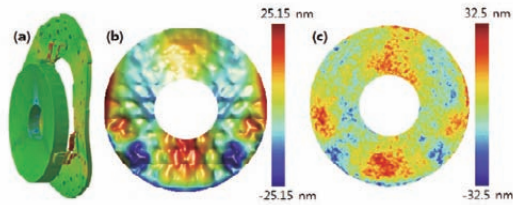


그림 4. (a) 중력에 의한 반사경의 변형, (b) 이론적인 중력효과 (c) 실제로 측정된 중력효과.

사면에 존재하는 형상오차와 중력에 의한 변형량을 분리하는 작업이 필요하다. 이를 위하여 반사경의 광축을 수평방향으로 향한 채 120도 간격으로 반사경을 돌려주면서 반사경의 형상오차를 측정하면 중력 효과는 사라지고 실제 반사면에 존재하는 형상오차만 남게 하는 방법을 사용할 수 있다[1]. 이때 돌리는 각도에서 발생할 수 있는 오차를 고려하여 보다 자세한 중력효과를 계산할 수 있는 방법도 개발되었다[2]. 그림 4는 측정결과로부터 중력효과를 계산한 결과이다. (a)는 중력에 의해 반사경 및 구조물의 변형을 묘사한 그림이고 (b)는 유한요소해석에 따른 계산 결과이고 (c)는 실제 측정결과이다. 변형 형상이나 값들이 해석결과와 측정결과 사이에 매우 잘 일치하는 것을 볼 수 있다.

이렇게 제작이 된 반사경에는 반사율을 높이기 위해 반사코팅을 한다. 일반적으로 가시광 영역에서의 반사율을 높이기 위해서는 은코팅을 수행하고 적외선 영역을 위해서는 금코팅을 수행한다. 코팅이 완료된 반사경은 최종적으로 진동시험 및 열주기, 열진공 시험과 같은 우주환경시험을 거쳐서 반사경의 형상

변화에 유의미한 변형이 없어야 비로소 우주용으로 사용할 수 있다. 표준연의 우주광학센터는 이러한 모든 제작과정을 순수 국내 기술로 완성하였고 우주환경시험을 거쳐 센터에서 제작되는 직경 1 m 이하 우주용 반사경이 우주에서 사용가능함을 공식적으로 인정받았다. 이러한 노력을 바탕으로 2018년과 2019년에 발사될 차세대 중형위성에 들어갈 직경 600 mm급 우주용 반사경들을 항우연과 같이 개발하기로 최근 결정하여서 우주용 반사경 개발을 시작한지 10여년만에 마침내 국산화의 길을 열수 있게 되었다.

### 참고문헌

[1] E.E. Bloemhof, J.C.Lam, A.F.Feria and Z. Chang, Appl. Opt. 48, 4239 (2009)  
 [2] H.G.Rhee, H. Kihm, H.S.Yang, Y.S.Ghim, Y.W.Lee, JKPS, 65(9), 1385 (2014)

### 약력

#### 이윤우



이윤우 박사는 1985년 한국표준과학연구원에 입원하여, 1994년 KAIST에서 물리학으로 박사학위를 취득하였고, 영상그림, 광도영상그림, 나노광계측그림장, 우주광학센터장등을 역임하였고 현재는 산업 측정표준본부의 본부장을 맡고 있다. (ywee@kriss.re.kr)

#### 양호순



양호순 박사는 1999년 영국 University College London에서 천문 및 물리학으로 박사학위를 취득하였고, 2003년까지 ㈜세트레이이 연구원을 거쳐 현재는 한국표준과학연구원 우주광학센터의 센터장을 맡고 있다. (hsy@kriss.re.kr)