

FIMS에 사용되는 비축 포물 원통 반사경의 간섭계 측정

Test Result of Off-axis Parabolic Cylinder Mirror for FIMS

유광선, 이윤우*, Jerry Edelman**, 선광일***, 강경인, 육인수***, 민경욱, 남옥원***, 한원용***, 박동조
 인공위성연구센터, *한국표준연구원, **Space Sciences Lab. at UCB, ***한국천문연구원
 ksryu@satrec.kaist.ac.kr

Far-ultraviolet IMaging Spectrograph(이하 FIMS)는 2002년
 에 발사 예정인 과학위성 1호의 주 탑재체⁽¹⁾이며, 은하 주변에
 분포한 고온의 가스에서 방출되는 자외선 영역 (short
 wavelength band : 900-1150 Å, long wavelength band :
 1335-1750 Å)의 방출선을 약 2 Å의 분광 분해능으로 관측하는
 천문학적 목표를 가지고 있다. 일반적인 망원경을 사용하는 대신
 제한된 위성의 크기 내에서, 넓은 지역에 퍼져 있는 가스의 분포
 와 특성을 관측하는데 적합하도록, 그림 1과 같이 비축 포물 원
 통 반사경과 타원형의 substrate를 가진 회절 에델이발 (grating) 의 사용을 고안하였다.

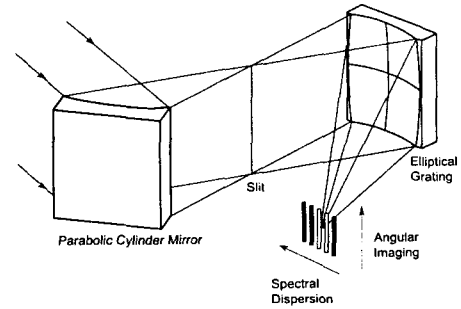


Figure 1. Schematic diagram which represents operation principle of FIMS

FIMS의 광학 부품 중에서 반사형 타원 에델이발의 경우 일부 광학 회사에서 사용자의 사양에 맞추어 제작을 하고 있기 때문에 주문과 제작이 용이한 반면, 비축 포물 원통 반사경은 천문 관측용으로 제작된 예가 없기 때문에 제작과 이에 수반된 측정 방법을 새로 고안해야 하는 문제점이 있었다. 본 논문에서는 CGH(computer generated holographic) null을 이용하여 기존의 축 실린더 (on-axis cylinder) 반사경의 표면 오차를 측정하는 방법과 이를 이용하여 FIMS의 반사경과 같이 비축 실린더 형태의 광학계에 대한 간섭계 실험결과를 소개한다.

비축 실린더 형태의 반사경에 대한 측정 실험 뿐 아니라, 기존의 축 실린더 반사경의 측정의 경우도 국내에서는 이루어진 바가 없어 어려움이 있었으나, Diffraction International⁽²⁾에서 판매하는, 실린더 측정을 위한 CGH null (H45F1.5C)을 실험에 사용할 수 있었다. 이 실험의 결과를 바탕으로 비축 실린더 반사경에 대한 실험을 수행하였다. 그림 2에는 축 실린더와 비축 실린더 반사경에 대한 간섭계 측정 방법을 나타내는 모식도가 나타나 있다.

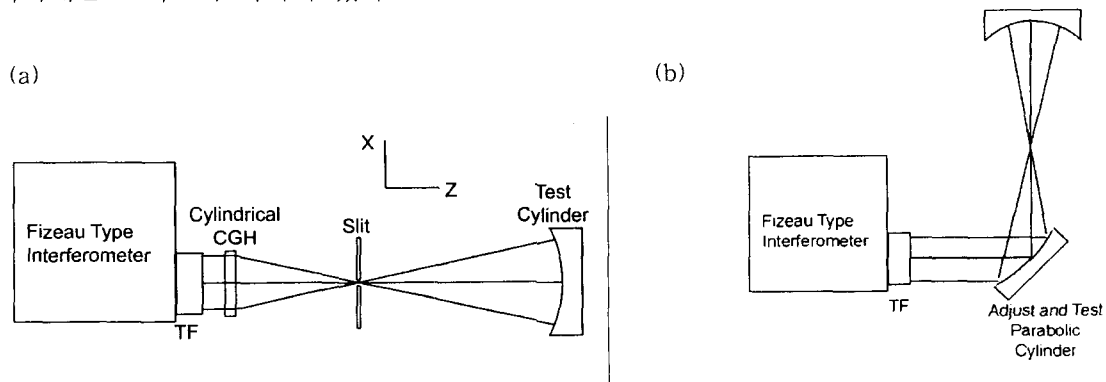


Figure 2. Experimental setup for interferometric test (a) of an on-axis cylinder mirror and (b) of an off-axis parabolic cylinder mirror

비축 실린더 미러에 대한 간섭계 측정 시에도 CGH를 직접 사용하는 것을 고려할 수 있으나, 실제로는 align에 대한 자유도가 많아 안정된 간섭무늬를 얻는 것이 거의 불가능하다. 대신, 그림 2(a)와 같이 CGH에 의해 측정된 축 실린더 반사경을 기준으로 형상 오차를 측정할 수 있었다.

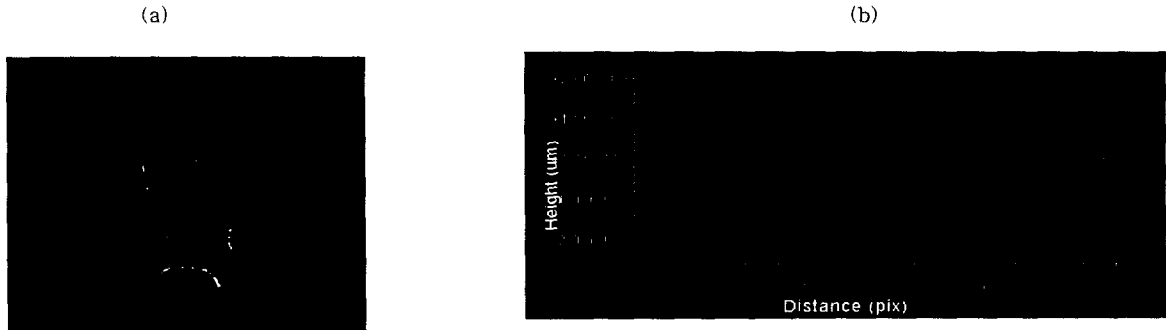


Figure 3. (a) Fringe pattern of the mirror when a flat mirror is located at the focal line, (b) surface profile error of the mirror measured by phase shift measurement using an on-axis mirror as a reference

그림 3에는 FIMS를 위해 제작된 시험 용 비축 실린더 반사경에 대한 측정 결과가 나타나 있다. FIMS의 영상 분해능은 약 $5'$ 에 해당한다는 점을 고려하였을 때, 반사경의 표면 오차가 대략 2 cm에서 1 λ 보다 작으면 FIMS의 slit ($150 \mu\text{m}$)안에 거의 모든 빛이 들어 올 수 있으나, 제작된 비축 반사경의 경우 이보다는 형상 오차가 큰 것으로 나타났으며, 그림 3(a)에서 볼 수 있듯이 대략 2λ 가량의 오차를 갖는다. 실제로 knife edge scan 방식에 의해 초점 평면상에서의 성능을 측정해 본 결과 90% 가량의 빛이 slit width 안에 들어오는 것을 알 수 있었다. 이는 FIMS의 과학적 임무 수행에는 크게 문제가 되지 않는 범위의 오차이며, 안정된 표면 형상 측정과 이를 바탕으로 한 가공의 반복에 의해 형상 오차를 줄일 수 있다면 95% 이상의 빛이 slit 안으로 들어올 수 있도록 하는 것이 가능하다.

반사경의 제작 시 고려해야 할 특성으로서 앞에서 언급한 형상 오차 이외에, 산란과 밀접한 관계가 있는 표면 거칠기가 있으며, 파장이 짧아질수록 그 중요성이 커진다. FIMS의 경우 가시광선에 비해 파장이 훨씬 짧은 자외선 영역의 빛을 관측하는 광학계이므로 형상 오차와 함께, 표면 거칠기 특성이 중요한 광학요소가 된다. 자외선 영역에서 5% 미만의 빛이 광경로 상에서 벗어나 산란되도록 하려면 대략 2.5 nm (RMS) 이하의 micro-roughness가 요구되는데, 폴리싱의 과정도 특이한 광학계의 형상 때문에 일반적인 회전식 폴리싱 방법을 사용할 수가 없으며, hard pitch를 이용하는 방법대신 soft pad에 pitch를 입혀 손으로 폴리싱 하는 방법을 현재 시도하고 있다. 중간 단계에서 micro interferometer를 이용하여 표면 거칠기를 측정할 때에 의하면 substrate의 중앙에서는 3.5 nm RMS의 결과가 나와, 요구되는 사양에 접근하고 있는 반면, 구석 부분에서는 30 nm RMS 이상의 거칠기를 가져, 그대로 FIMS에 사용하기에는 무리가 있다. 현재 표면 거칠기 측정과 폴리싱 과정을 반복하면서 광학계 설계 목표에 접근하고 있으며, 성간 물질 관측에 적합한 새로운 형태의 분광기의 성공적 개발을 기대하고 있다.

1. 유광선, 선광일, 민경욱, Jerry Edelstein, "원자외선 영상/분광 측정기 광학설계", 한국우주과학회지, 15, No. 2, 359-369 (1998).
2. Diffraction International, 11345 Hwy. 7, #421, Minneapolis, Minnesota 55305.