

적외선 우주배경복사 관측 로켓용 비구면 광학계 초정밀 가공특성 Ultra Precision Machining of Aspherical Optic for CIBER

*김건희¹, *양순철¹, 김명상¹, 국명호¹, 신현수¹, 이인제¹, 양형석¹, 이대희², 원종호³

*G. H. Kim¹, *S. C. Yang(md941057@kbsi.re.kr)¹, M. S. Kim¹, M. H. Kook¹, H. S. Shin¹, I. J. Lee¹, H. S. Yang¹, D. H. Lee², J. H. Won³

¹ 한국기초과학지원연구원, ² 한국천문연구원, ³ 충남대학교

Key words : Ultra Precision Engineering, DTM(Diamond Turning Machine), Infrared Optical System

1. 서론

인공위성은 자원탐사, 해양, 기상, 환경, 통신, 방송, 정찰 등에 활용되고 있으며, 그 활용도는 재난, 구조, 원격진료, 신소재 및 신의약품 개발 등으로 갈수록 증가하고 있다. 우주기술이 핵심기술의 하나로서 주도하는 21 세기에 들어와서, 우리나라도 우주개발에 적극적으로 참여하고 있다. 1992 년에 발사된 우리별 1 호를 시작으로 과학 위성들이 개발되었으며, 1995 년부터 통신 방송위성인 무궁화 위성들이 발사되어 상업적으로 이용되고 있다.¹⁻³⁾

현재 우리나라는 세계 18 위의 인공위성 보유국이 되었으며, 앞으로도 독자적인 우주개발능력을 확보하기 위하여 많은 노력을 경주하고 있다. 이러한 노력의 일환으로 인공위성의 적외선 광학계를 구성하고 있는 우주광학 소재 즉, Fused Silica 의 초정밀 가공에 관한 연구의 필요성이 대두되고 있다.

“우주용 적외선카메라 개발 및 로켓관측” 과제가 2006 년 8 월에 기초기술연구회의 협동과제로 선정됨으로써 한국천문연구원(KASI), 한국기초과학지원연구원(KBSI), 그리고 경희 대학교로 구성된 적외선 연구 그룹은 적외선 우주배경복사 관측 국제 공동 연구(Cosmic Infrared Background Experiment, CIBER)에 본격적으로 참여하게 되었다. CIBER 프로젝트는 미국의 제트추진연구소(Jet Propulsion Laboratory, JPL) 및 일본의 우주과학연구소(Institute of Space and Astronomy Science, ISAS) 등이 주축이 되어 진행되는 국제 공동 연구로서 미국 NASA 의 과학로켓에 탑재시켜 근적외선(1-2 μm) 영역에서의 우주배경복사를 관측하여 우주 초기의 별 및 은하에 대한 연구를 수행하려는 목적을 가지고 있다.

CIBER 는 시야가 넓은 근적외선 카메라 두 대를 이용하여 0.8 및 1.6 μm 대역을 동시에 관측함으로써 근적외선 우주배경복사의 공간 섭동을 검출하려고 한다. 위의 두 파장 대역을 선택한 이유는 두 파장 대역에서 초기 별들에 의한 우주배경 복사량이 제일 크고, 황도광 또는 우리 은하 내의 광원에 의한 잡음들과 잘 분리할 수 있기 때문이다.

본 논문에서는 국내에서 제작되고 있는 고분산 분광기의 성능 및 과학 임무에 대해 설명하고 로켓 실험의 개요에 대하여 소개 한다. 그리고 CIBER 에서 한국 그룹이 참여하는 구체적인 사항에 대해 기술하고자 하며, 광학계에서 사용되는 Fused Silica 의 초정밀 최적 연삭특성을 파악하여 비구면 초정밀가공을 한 후 보다 높은 표면거칠기와 형상을 얻기 위하여 폴리싱 가공을 하였다.

2. 실험 장치 및 방법

본 연구에 사용된 초정밀가공기는 RTH 사의 Nanoform 600 다이아몬드 터닝머신(DTM)이다.

다이아몬드 터닝머신은 두 개의 유정압 안내면과 공작물을 고정시키는 공기정압 베어링 스피들로 구성되어 있다. 두 안내면은 각각 X 축과 Z 축으로 ‘T’ 형태의 직교를

이루며 구동한다. X 축의 중심부에 해당하는 안내면에 주축 스피들이 고정되어 회전하며, 안내면의 구동방향과 평행을 이루며 회전한다. Z 축 구동안내면 위에는 공구대가 고정되어 연삭휠을 설치 할 수 있으며, 스피들 구동 방향과 수직방향으로 구동한다.

안내면의 위치결정정도는 0.25 μm/300 mm, 분해능은 1.25 nm의 성능을 가지고 있으며, 선삭의 경우 최대 Ø 600 mm(125 kg), 연삭의 경우 Ø300 mm까지 가공이 가능하다. Fig.1은 초정밀 가공 장비를 나타낸다.



Fig. 1 The system of ultra precision lathe

초정밀 가공실은 온도 20±1°C, 습도 30±5%, Clean Room class 10,000 인 항온항습의 크린룸이며, 장비의 진동방지를 위한 독립지반구조로써 장비 하부는 3Point Air Bag 으로 지지된다.

표면거칠기 측정장비로는 Talyer Hobson 사의 비구면 측정기인 Form Talysurf series2 를 사용하였다. Fig. 2 는 Nanoform 600 을 이용하여 연삭 하고 있는 모습을 보여주며, Fig. 3 은 가공된 비구면 Fused Silica 의 표면거칠기를 측정하는 모습이다. 접촉식 표면거칠기 측정기인 Form Talysurf series2 의 측정범위는 120 mm이며, 정밀도는 12.8nm/10 mm이다.



Fig. 2 Grinding of work piece

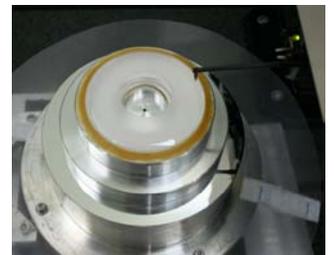


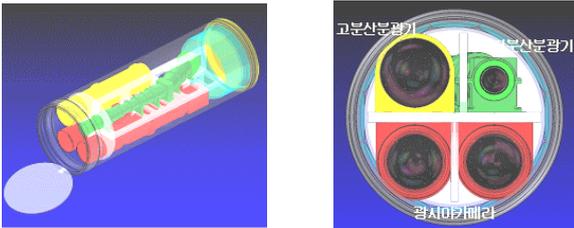
Fig. 3 Measurement of work piece

초정밀 연삭에 사용된 재료는 우주광학 소재로 사용되는 Fused Silica 이며, 가공에 사용된 공구는 외경 Ø70 mm, 두께는 5 mm, #300, #1500, #3500 레진본드 결합체의 다이아몬드 휠을 사용하였다.

3. 적외선 광학계 CIBER

CIBER 는 Fig. 4 에서와 같이 로켓의 경통 안에 위치한다. 두 대의 광시야 카메라와 저분산 분광기, 그리고 고분산 분광기로 구성되는 CIBER 는 액체 질소를 이용한

cryostat 안에 장착되어 절대 온도 77 K 의 온도를 유지한 상태에서 작동되며, 카메라와 분광기에 공통적으로 운용되는 전자부 시스템은 데이터 획득 및 로켓과의 인터페이스를 담당한다. 두 대의 광시야 카메라는 근적외선 우주배경복사 공간 섭동을 측정하며, 저분산 분광기는 근적외선 우주배경복사의 스펙트럼을 관측할 예정이다. CIBER 를 탑재한 로켓은 발사 후 약 600 초에 걸쳐 고도 350 km 까지 도달하게 된다. CIBER 는 고도 200 km 이상에서 약 300-390 초 동안 다섯 개의 지역을 관측하며, 관측 데이터는 실시간으로 지상으로 전송된다. 목표한 지역을 관측 가능한 시간을 택해 2008 년 경에 NASA 의 발사장에서 로켓을 발사할 예정이다.



(a) 3D perspective drawing (b) A sectional drawing
Fig. 4 3D Modeling of CIBER

Fig. 5 는 고분산 분광기의 광학계 설계 결과를 나타낸 것이다. 본 광학계는 4 개의 구면 렌즈와 2 개의 비구면 렌즈로 구성되며, 비구면 렌즈의 최적곡률반경에 대한 Sag 편차는 1.5 mm 로 매우 급격한 형상이며, 본 렌즈는 초정밀가공기의 정밀위치 제어를 통한 연삭공정에서 요구되는 형상정밀도를 완성하여야 한다. 그러므로 이를 위하여 사용되는 광학소자에 대한 최적 초정밀가공 공정을 개발하고, 요구되는 형상정밀도로 제작 후 로켓에 탑재하여 영상을 획득함으로써 향후 적외선 우주 관측용 광학계의 국산화를 통한 국가적 위상을 정립할 것이다

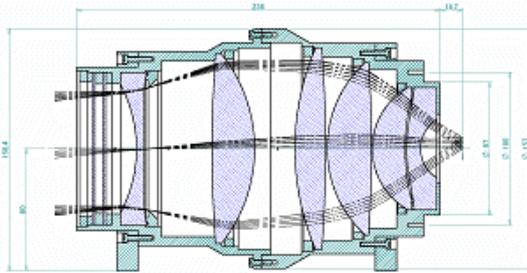


Fig. 5 Mounting structure of CIBER optics

본 연구에서 초정밀 비구면 연삭공정을 거쳐 보다 높은 표면 거칠기와 형상정밀도를 얻기 위하여 Kuroda 사 KRP 2200F 를 사용하여 표면조도와 형상보정가공을 이용하여 본 광학계에서 요구 되어지는 정밀도를 향상시킬 수 있었다. Fig. 6 은 비구면 렌즈를 폴리싱하고 있는 사진이며, Fig. 7 은 레이저 간섭계를 이용하여 구면 측정된 결과이고, Fig. 8 은 Form Talysurf Series2 를 이용하여 비구면을 측정된 결과이다.



Fig. 6 Polishing machining for aspheric surface

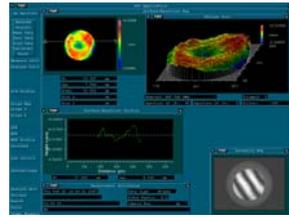


Fig. 7 Measurement of spherical surface

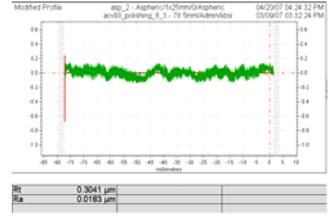


Fig. 8 Measurement of aspherical surface

Fig. 7 과 Fig. 8 에서와 같이 구면 측정결과 P.V 53.947 nm, 비구면 측정결과 P.V 304.1 nm 로서 본 과제에서 요구되어지는 형상정밀도에 만족한다.

CIBER 가 발사되어 우주 배경 복사의 스펙트럼 관찰시 광학계가 극저온의 환경을 견뎌야 하기 때문에 Fig. 9 와 같이 냉각시스템을 통하여 70K 의 온도에서 5 시간 동안 렌즈의 저온실험을 하였다. 저온 실험 후 렌즈의 코팅의 반사율을 측정된 결과 Fig. 10 과 같이 850nm 파장 영역에서 0.5% 이하의 결과로서 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

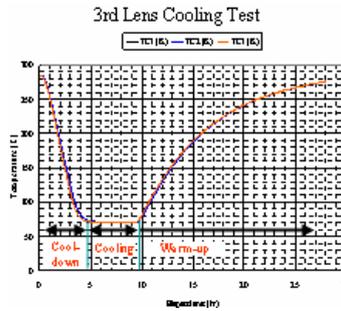


Fig. 9 Cooling test for silica lens

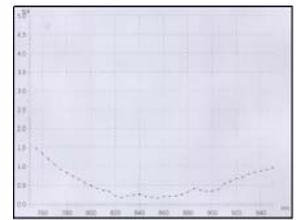


Fig. 10 Measuring reflection ratio for cooling test

4. 결론

본 논문에서는 2008 년도에 NASA 에서 발사 예정인 CIBER 광학계 초정밀공정 개발에 관한 연구로서 광학계 중 비구면 렌즈의 Sag 가 큰 렌즈의 형상정밀도 향상에 관한 개발을 바탕으로 우주 광학계에 요구되어지는 형상정밀도에 준하는 구면 P.V 53.9nm, 비구면 P.V 304.1nm 를 얻을 수 있었으며 우주 공간의 환경과 동일한 냉각시스템을 통한 저온 실험 후 반사율 측정 결과 850 nm 영역에서 0.5% 이하로 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 향후 국제 공동과제로 시작된 본 과제를 바탕으로 국내 독자적인 광학계 설계 및 제작, 평가를 통하여 국내 국산화를 실현시키며 국가적 위상을 정립 할 것이다.

참고문헌

1. Yeung-Su Kim and Hong-Yeul Baek, 2002, "Electro-Optical Camera of Korea Multi-Purpose SATellite", Optical Science and Technology , Vol. 6, No. 4, pp. 17 ~ 22.
2. Yang, S. C., Kim, G. H., Kim, H. S., Lee, S. Y., Kim, M. S., Won, J. H., " Ultra Precision Machining Technology of Infrared Optical System for Aerospace" Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol.24, No.2, pp.19-24, 2007.
3. Kim, G. H., Kim, H. S., Yang, S. C., Lee, K. H., Bok, M. G., Lee, I. J., Yang, J. S., Kim, M. S., Lee, S. Y. and Sin, H. S., "Development of Manufacturing Technique of Astronomical IR Camera System," KBSI Consighment Research Report, pp.1-25, 2006.