

과학기술위성 3호 광학계 초정밀 가공기술개발 Development of Ultra precision machining technique for MIRIS Optical System

*#양순철¹, 김명상¹, 정준오¹, 김건희¹, 원종호²
 *#S. C. Yang(md941057@kbsi.re.kr)¹, M. S. Kim¹, J. H. Jung¹, G. H. Kim¹, J. H. Won²
¹ 한국기초과학지원연구원, ²충남대학교

Key words : Ultra Precision Engineering, MIRIS(Multi-Purpose InfraRed Imaging System)

1. 서론

한국기초과학지원연구원은 한국천문연구원과 함께 과학기술위성 3호MIRIS (Milti-purpose InfraRed Imaging System, 다목적 적외선 영상시스템)의 주 탑재체를 개발하고 있다. MIRIS는 국내 최초 천문우주관측용 적외선 우주 망원경이다. 위성 탑재용 적외선 관측기술은 국가적으로 다양한 수요 요구가 있으며, 이에 따른 적극적인 기술개발이 필요함에 따라 국내의 우주분야 산업의 발전을 위해서는 지속적인 연구 개발 및 핵심 분야에 대한 국산화가 시급한 실정이다. 주 탑재체에는 우주관측 카메라와 지구관측 카메라로 두가지 광학계가 탑재되는데 본 논문에서는 우주관측 카메라 광학계에 대한 연구 결과를 보여주고자 한다. 우주관측 카메라는 우리은하 근적외선 방출광을 탐사 관측하여 우리은하의 구성 및 진화는 물론 초기 은하의 진화 과정을 밝히는 중요한 연구 자료로서 세계 최초의 관측 자료가 될 것이며, 또한 근적외선 우주배경복사를 관측하여 우주 탄생 초기 별들의 공간분포에 대한 연구를 수행하게 된다. 우주관측 카메라 사양으로 주파장(Wavelength)은 0.9 ~ 2.0 μm 이며, 광학계 전체 구경은 80mm이다. 그리고 카메라 온도는 200K보다 낮으며 MTF(Modulation Transfer Function)는 85% 이상이고, Pixel size는 40 μm 이다.

한국기초과학지원연구원에서 광학계와 구조물 제작을 담당하여 적외선 광학계 초정밀 가공기술을 확보하여 국내 인공 위성급 광학계의 국산화 실현가능성을 보여준다. 적외선 광학계에 사용되어진 소재로는 FPL53, TIH6, Fused silica로써 총 5매의 렌즈로 구성되어있다.

본 논문에서는 광학계를 Freeform700A(Precitech 사)을 이용하여 가공하였으며, 표면조도 측정은 NT2000(WYKO사), 표면형상정도 측정은 UA3P(Panasonic사)를 이용하였다. 광학계에 사용되어진 FPL53은 Glass 소재임에도 불구하고 다이아몬드 터닝으로 가공이 가능하였다.

2. 우주관측카메라 광학설계 및 FPL53 초정밀 가공특성

우주관측 카메라는 Fig. 1과 같이 광학계가 이루어져있다. 3매의 FPL53과 1매의 TIH6와 1매의 Fused silica로 구성되어있다. 광학계내에서 G5렌즈에 비구면을 적용하여 광학계 성능을 향상시켰다. 렌즈 폴리싱 가공 공정 이전에 각 면을 초정밀 가공을 함으로써 렌즈의 편심과 편육을 최소화 할 수 있었다.

실험에 사용되어진 Freeform 700A는 5축 초정밀 가공기로써 국내 유일한 장비이며 터닝으로는 최대 직경700mm까지 가공이 가능하며 FTS(Fast Tool Servo) 와 STS(Slow tool servo) 기능을 갖추고 있어서 Micro array lens나 자유곡면의 렌즈나 반사경 가공이 가능하다. Fig.2에서 보여주는 Freeform 700A의 위치정밀도는 1.4nm 이며 회전정밀도는 0.1arc-sec이다. 실험 장소는 항온 항습실(Clean room)에서 온도 20 \pm 1.0 $^{\circ}\text{C}$ 를 유지하며 습도는 40 \pm 5%를 유지할 수 있도록 컨트롤 한다.

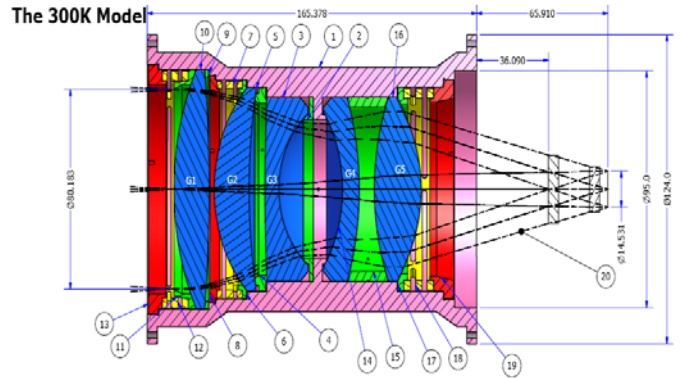


Fig. 1 Lay out of Space Optical System



Fig. 2 Freeform 700A (5 Axis Freeform Generator)

적외선 광학초자 FPL53은 국내에서 개발되지 못하는 소재로써 일본 오하라사에서 공급받아 사용하였다. FPL53 소재는 Glass임에도 불구하고 천연 다이아몬드 화이트로 가공이 가능한 것으로 보아 일본에서는 소재에 대한 연구 개발에 많은 시간과 개발 비용 지원의 결과를 의심할 수 없기에 이번 연구를 통해 IR 신소재 개발에 보다 더 많은 연구가 활발히 이루어졌으면 하는 바람을 가져본다.

FPL53 초정밀 최적 가공 조건을 찾기 위하여 직경 30mm 두께 5mm의 샘플을 제작하여 천연 다이아몬드 화이트의 Rake angle에 따른 실험 결과를 분석 해보았다. Rake angle이 -25 $^{\circ}$ negative angle을 가지고 있는 화이트와 0 $^{\circ}$ rake angle을 가지고 있는 화이트를 비교 해보았다. 일반적으로 IR 초자인 Ge, Si, ZnSe, CaF2등을 초정밀 가공할때는 negative angle을 가지고 있는 화이트를 사용하지만 높은 가격으로 인하여 먼저 0 $^{\circ}$ rake angle을 가진 노우즈 반경 R 1.0mm와 R 0.5mm의 화이트로 실험을 해보았다. FPL53 샘플 평면을 초정밀가공 해본 결과 노우즈 반경 R 1.0mm보다는 R 0.5mm인 화이트로 가공 하였을때 표면조도가 더 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 하지만 화이트의 마모 속도가 빠르고 화이트 상면에 chipping이 발생되어 실제 가공해야할 렌즈에는 적용을 할 수가 없었다. 샘플보다는 직경이 크기 때문에 가공 중에 화이트가 마모되어 표면 조도가 현저히 떨어지기 때문이다.¹⁻²⁾ 그래서 A.L.M.T사 -25 $^{\circ}$ negative angle을 가진 화이트를 이용하여 보다 양호한 표면 조도를 얻기 위하여 Spindle 속도와 절삭 깊이, 이송속도의 변화에 따른 실험을 하였다. 실험 결과로

주축 spindle speed 1600rpm, 이송속도 3mm/min, 절삭깊이 1 μ m로 가공 하였을때 가장 양호한 표면조도 Ra 0.48nm를 얻을 수 있었다. Fig.3에서 FPL53 샘플을 표면 조도 측정기 NT2000을 이용하여 측정한 결과를 보여준다.

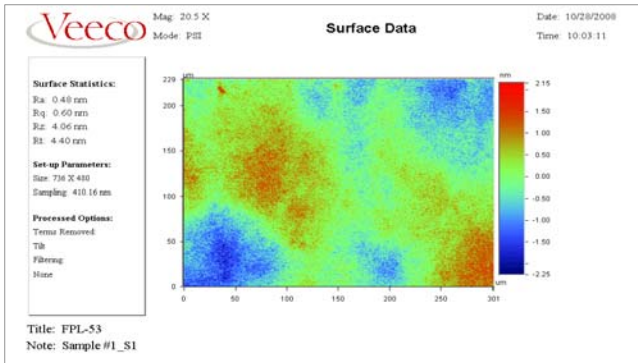


Fig. 3 Measurement roughness data of FPL53 sample piece

3. FPL53 비구면 초정밀 가공 특성

FPL53 샘플을 이용하여 얻은 초정밀 최적 가공조건을 이용하여 우주관측 카메라 광학계 G5 렌즈에 적용하였다. 초정밀 가공 하기에 앞서 비구면에 가장 근접한 구면으로 폴리싱 한 후 렌즈 중심두께와 외경치수 공차범위를 확인 후 초정밀 가공을 하게 된다. G5 렌즈는 구면과 비구면 으로 양 볼록 형태인 렌즈이다. Fig. 4는 G5 렌즈를 초정밀 가공하고 있는 사진을 보여준다.



Fig. 4 Ultra precision machining of G5 lens

G5렌즈를 초정밀 가공후 UA3P(Panasonic 사)를 이용하여 표면 형상 정도를 3D로 스캔하여 측정하였다. UA3P는 원자단위의 힘으로 스타일러스가 측정 대상물표면에 접촉하여 3차원으로 측정자가 원하는 방향으로 측정 할 수 있는 장점을 가지고 있다. Fig. 5는 UA3P로 G5비구면 렌즈를 측정하고 있는 사진이다. 표면 형상정밀도 측정결과는 Fig. 6에서 보여주듯이 표면형상 정밀도 P-V 0.445 μ m를 얻을 수 있었다.



Fig. 5 Measurement of G5 Aspheric surface (UA3P)

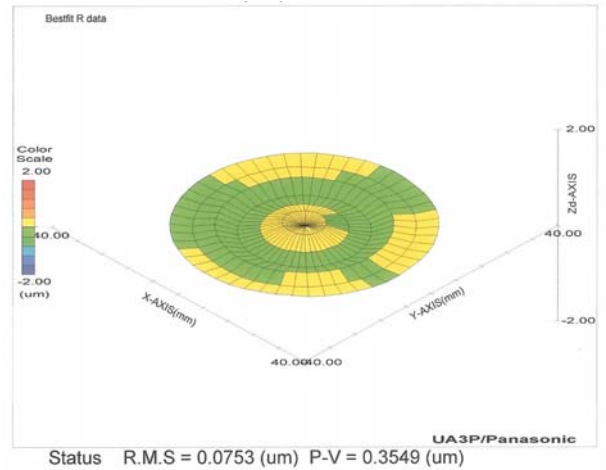


Fig. 5 Measurement data of G5 lens

4. 결론

본 연구에서는 과학기술위성 3호의 우주관측 카메라 광학계에 사용되어진 적외선 초자 FPL53에 대한 초정밀 최적 조건을 찾아 비구면 렌즈에 적용하여 원하는 형상 정밀도 P-V 0.3549 μ m와 표면 조도 Ra 0.48nm를 얻을 수 있었다. 이로써 인공 위성급 적외선 광학계의 국산화를 통하여 선진국 수준의 초정밀 가공기술을 확보할 수 있게 되었다.

현재 MIRIS 우주관측 카메라 광학계 제작이 완료되고 있는 시점이며 우주관측 카메라에 사용되어지는 Winston Baffle 초정밀 가공 국산화를 위하여 연구 수행 중에 있다. 또한 향후 지구관측카메라 개발 연구를 수행할 예정이며 연구 종료 후 연구결과를 발표 할 계획이다.

참고문헌

1. 양순철, 김건희, 김효식, 이상용, 김명상, 원종호, "항공우주용 적외선 광학계 초정밀가공기술," 한국정밀공학회지 Vol 24. No 2, pp. 19-24, 2007.
2. 김건희, 양순철, 김효식, 이인제, 국명호, 이대회, "천문우주용 적외선 광학계 초정밀가공기술," 한국정밀공학회지 Vol 24. No 2, pp. 25-32 2007.