

# 고분해능 적외선 광학계 초정밀가공기술개발 Development of Ultra precision Machining Technique for High-resolution IR Optical System

\*#양순철<sup>1</sup>, 김명상<sup>1</sup>, 김상혁<sup>1</sup>, 이상용<sup>1</sup>, 장기수<sup>1</sup>, 김건희<sup>1</sup>, 원종호<sup>2</sup>  
 #S. C. Yang(md941057@kbsi.re.kr)<sup>1</sup>, M. S. Kim<sup>1</sup>, S. H. Kim<sup>1</sup>, S. Y. Lee<sup>1</sup>, K. S. Chang<sup>1</sup>, G. H. Kim<sup>1</sup>, J. H. Won<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> 한국기초과학지원연구원, <sup>2</sup> 충남대학교

Key words : Ultra Precision Engineering, IR(Infra Red), Optical system

## 1. 서론

한국기초과학지원연구원은 고분해능 적외선 광학계의 초정밀가공기술을 개발하고 있다. 고분해능 적외선 광학계는 전자부품 및 생체 등의 시료에서 방사되는 극소량의 적외선 광자를 검출하여 열영상으로 전환한다. 측정된 열영상은 대상의 물리적, 기능적, 성능적인 변화 및 현상을 비접촉, 비파괴 식으로 추적 및 분석할 수 있다. 초정밀 열영상 연구 장비의 활용분야는 국방 및 천문 우주분야뿐만 아니라 전자부품, 나노, 바이오, 의료 연구목적으로의 확대되고 있다. 하지만 현재 국내 열 영상연구 장비의 대부분이 해외 수입에 의존하고 있으며 기술 이전이 불가능한 상태이다. 따라서 열영상 연구 관련 핵심 정보의 유출을 막고 적외선 분야에서의 국가 경쟁력 제고 및 기술선도를 위해서 국내 열영상 연구 장비 개발 관련 최첨단 기술 확보가 필요하다.

고분해능 적외선 광학계는 3 ~ 5  $\mu\text{m}$ 의 파장에서 15 mm 이상의 물체에 대하여 5  $\mu\text{m}$ 의 공간 분해능을 갖도록 설계되었으며 NA (Numerical Aperture)는 0.65이다. Cold Stop은 센서 바로 앞쪽에 위치한다. 총 8장의 렌즈로 이루어져 있으며 4장은 비구면을 포함한 게르마늄, 4장은 구면 실리콘으로 설계되었다. 경통은 알루미늄으로 제작되었으며 공차로 인한 광학성능의 저하를 보상하기 위하여 초점거리를 앞, 뒤로 2 mm 이동할 수 있도록 하였다.

초정밀가공기 Free form 700A를 이용하여 비구면 가공을 하였으며, 구면은 (주)그린광학에서 폴리싱 가공하였다. 광학계 하우징을 비롯한 기구물은 ZEISS 3차원측정기를 이용하여 측정하였으며, 렌즈 측정결과와 기구물 측정결과를 토대로 조립하여 실제 target을 측정해보았다.

## 2. 우주관측카메라 광학 및 구조물 설계

고분해능 적외선 광학계는 65.9 ~ 362.2 K사이의 열원을 감지하기 위한 광학계로써 Fig. 1과 같이 설계되었다. 20 mk의 온도 분해능을 갖도록 설계되었으며 결상 광학계와 릴레이 광학계로 나누어져 있다. 결상 광학계는 2장의 게르마늄 비구면 렌즈와 4장의 실리콘 구면 렌즈로 구성되어 있으며 릴레이 광학계는 각각 한 장의 게르마늄 비구면 렌즈와 실리콘 구면렌즈로 이루어져 있다. 비구면 렌즈는 가공의 정밀도를 높이기 위하여 모두 볼록면의 게르마늄으로 설계하였다. 사용되는 검출기는 화소의 크기가 15  $\mu\text{m}$ 이며 640 × 512의 해상도를 가지고 있다.

광학계의 성능은 MTF (Modulation Transfer Function)와 Strehl ratio로 확인 할 수 있다. 고분해능 적외선 광학계는 5배 줌 광학계이며 Fig. 2에서 확인 할 수 있듯이 MTF 성능이 최첨단 한계에 근접해 있고 광학계에 사용하게 될 화소의 크기가 15  $\mu\text{m}$ 인 검출기에서의 한계 공간 분해능인 16 cycle/mm에서 0.65 이상의 뛰어난 광학 성능을 보이고 있다. Strehl ratio 또한 중심 광선에 대해서 0.999 비축 광선에 대해서 0.982의 높은 성능을 보여주고 있다.

고분해능 적외선 광학계의 공차 분석 결과 2, 3, 5번 렌즈가 공차에 민감한 부분으로 예상된다. 특히 렌즈의 x, y displacement의 경우 보상자를 이용한 보상이 힘들기 때문에 기구물의 가공 및 조립에서의 동심을 맞추는 것이 매우 중요할 것으로

예상된다. 하지만 공차한계를 기계부의 설계 및 해석 결과와 비교해볼 경우 제작 및 조립 공차의 허용치를 넘지 않을 것으로 예상된다. 따라서 기계부의 정확한 설계와 조립이 이루어질 경우 검출기의 한계 분해능인 16 cycle/mm에서 중심 광선의 MTF가 0.55 그리고 비축광선에 대해서도 0.45가 넘는 좋은 성능을 발휘할 것으로 예상된다.

고분해능 적외선 광학계 경통은 무게를 최소화하고 개구부의 처짐을 막기 위해서 알루미늄으로 가공하였다. 광학계의 외부 경통은 고정되는 반면에 내부 경통은 이동될 수 있으며, 내부는 전체 렌즈가 앞, 뒤로 2mm 이동하여 초점을 조정함으로써 공차로 인한 광학 성능의 저하를 보상할 수 있도록 하였다. 경통의 구조는 가공의 편의성을 위하여 렌즈 사이의 거리가 먼 5번과 6번 렌즈 사이를 기준으로 내부는 2개의 경통으로 이루어졌으며 외부 경통에 의해 조립되는 형식이다. 광학계의 경통 내부 부분의 공차를 정밀하게 설계 후 제작하였지만 그 중에서도 특히 5번 렌즈가 위치한 부분의 광학적 민감도가 가장 크기 때문에 내부 경통의 설계 후 제작하는데 있어서 고 정밀도의 형상 공차를 요구하도록 했다.

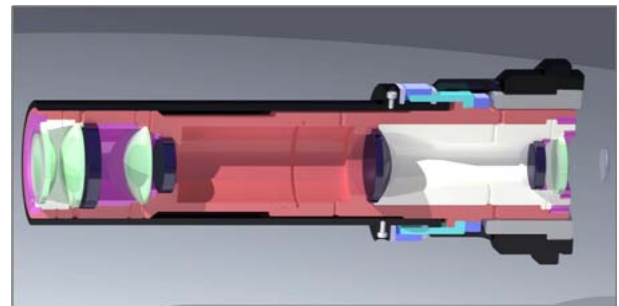


Fig.1 Layout of the high-resolution IR optical system

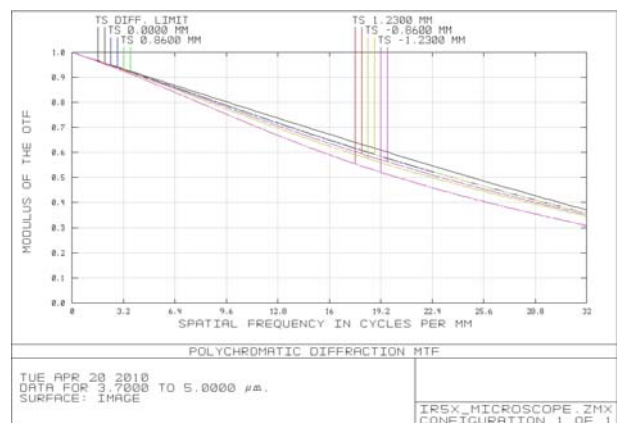


Fig.2 MTF of the high-resolution IR optical system

## 3. 실험장치 및 방법

### 3.1 실험장치

Fig. 3은 본 실험에 사용한 초정밀가공기 Freeform 700A를 보여준다. 표면 거칠기 측정장비는 비접촉식 표면형상 측정기 WYKO사의 NT 2000을 사용하였으며 측정기의 측정범위는 최대 100 mm×100 mm이며, 측정범위로는 0.1 nm~150  $\mu\text{m}$ 이며, 분해능은 0.1 nm이고 Auto Focusing 타입이다. 비구면 형상 측정은 초 고정

도 3차원 표면 형상 측정기인 PANASONIC 사에서 제작된 Ultra high Accurate 3-D Profilometer (UA3P)를 이용하였다.



Fig. 3 Freeform 700A(5 Axis Freeform Generator)

### 3.2 실험방법

광학소자 게르마늄의 초정밀 최적절삭 조건을 찾기 위하여 Tool rake angle에 대하여 절삭속도, 절삭 깊이와 이송속도에 대한 표면 거칠기를 측정하여 최적 초정밀 가공조건을 찾았으며 최적 가공조건은 Table 1과 같다. 단결정 Diamond 공구로  $\varnothing 38\text{mm}$ , 두께 15mm 크기의 Ge 시편을 제작하여 절삭방법으로 실험을 실시하였고, 가공 후 절삭 조건에 따른 표면 거칠기는 NT2000으로 중심선 부위에서 평균 거칠기를 반복 측정하여 평균값으로 결과 값을 얻었다.<sup>1</sup>

Table 1 Experimental Condition

Material	Ge
Cutting speed(m/min)	180
Feed rate(mm/min)	2
Depth of cut( $\mu\text{m}$ )	0.5
Nose radius (mm)	0.8
Rake angle (°)	-25
Cutting fluid	Air + EDM oil

### 4. 고분해능 적외선 광학계 Ge 비구면 렌즈 가공

본 연구에서는 실험을 통하여 얻어진 광학소자 게르마늄의 초정밀 최적 가공조건을 이용하여 고분해능 적외선 광학계 Ge 렌즈에 적용하였다. Fig. 4는 Ge 렌즈를 초정밀 가공하고 있는 사진을 보여준다.



Fig. 4 Ultra precision machining of Ge lens

Fig. 5는 고분해능 적외선 광학계 Ge 렌즈를 가공 후 표면 조도측정기 NT2000을 이용하여 측정된 결과 표면조도 Ra 2.36nm를 얻을 수 있었다.

Ge렌즈를 초정밀 가공 후 UA3P를 이용하여 표면 형상 정도를 2D로 측정하였다. UA3P는 원자단위의 힘으로 스타일러스가 측정 대상물표면에 접촉하여 3차원으로 측정자가 원하는 방향으로 측정 할 수 있는 장점을 가지고 있다. Fig. 6는 UA3P로 Ge비구면 렌즈를 측정하고 있는 사진이다. 표면 형상정밀도 측정결과는 Fig. 7에서 보여주듯이 표면형상 정밀도 P-V 0.1348  $\mu\text{m}$ 를 얻을 수 있었다.

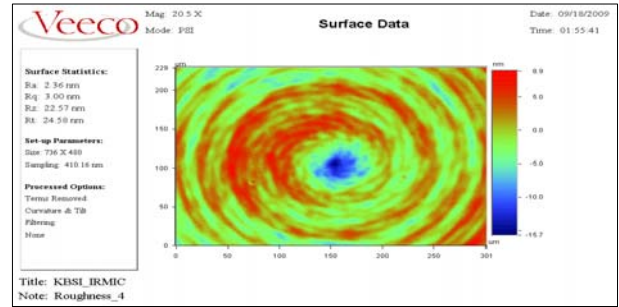


Fig. 5 Measurement roughness data of Ge Lens

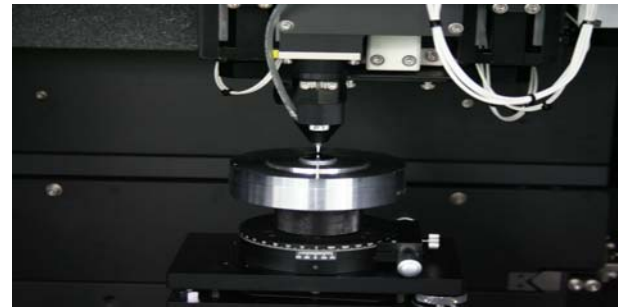


Fig. 6 Measurement of Ge Aspheric surface (UA3P)

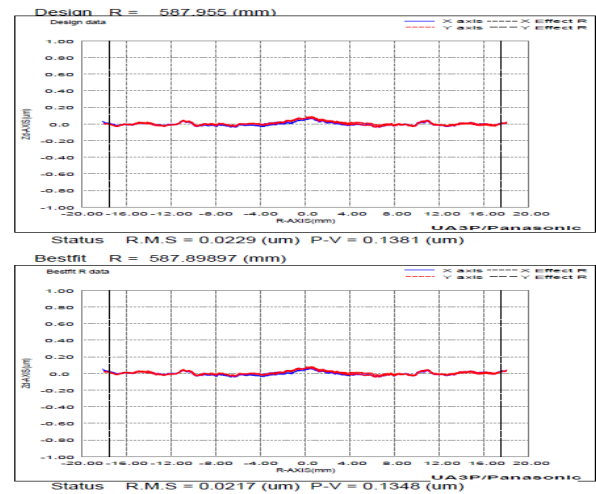


Fig. 7 Measurement data of Ge lens

### 5. 결론

본 연구에서는 고분해능 적외선 광학계를 제작하기 위하여 IR 초자 최적 가공특성을 파악하여 형상정도가 높은 비구면 렌즈를 얻을 수 있었다. 광학계에서 요구되어지는 정도보다 높은 형상 정밀도 P-V 0.1348  $\mu\text{m}$ 와 표면 조도 Ra 2.36nm를 얻을 수 있었다.

향후 광학계 성능평가를 위하여 MTF 측정과 MRTD(Minimum Resolvable Temperature Difference)측정을 통하여 고분해능을 갖는 광학계를 개발하고자 한다.

### 참고문헌

1. S. C. Yang, G. H. Kim, H. S. Kim, S. Y. Lee, M. G. Bok, and J. H. Won, "The Characteristics of Ultra Precision Machining of optical Element Germanium", Korean Society for Precision Engineering, vol. 23, no. 6, pp. 7-13, June 2006.