

우주탐제용 적외선 광학계의 초정밀가공 기술개발

Development of Manufacturing Technique of Optical System for the Protomodel of Space Infrared

김건희, 양순철, 김효식, 양형석, 김동락, 유종신, 박수중*, 이대희*, 남옥원*

한국기초과학지원연구원, *한국천문연구원

kgh@kbsi.re.kr

항공우주에 사용되는 위성 카메라는 생태계 변화나 환경오염 등의 일반적인 지구관측 뿐만 아니라 정밀한 지도제작 등에도 사용될 수 있는 고해상도 광학계이므로 미국 등의 선진국에서도 기술이전을 매우 기피하는 첨단 기술이다⁽¹⁾. 하지만 독자적인 위성영상의 자율적인 획득 및 관리를 위해서는 고해상도 위성카메라의 자체개발이 필수적이며 광학설계, 제작 및 평가기술의 확보가 절대적으로 필요하다. 국가전략기술지도(NSTRM) 상의 중요 목표 중 하나인 대형 적외선 우주 망원경을 성공시키기 위한 다양한 기술적 노력들이 전개되고 있다⁽²⁾. 그 일환으로 한국천문연구원과 한국기초과학지원연구원은 정책 협동 과제로 한국기계연구원, ㈜ 아이쓰리시스템과 함께 우주용 적외선 냉각시스템을 개발하고 있다. 본 논문에서는 이렇게 개발 중인 우주적외선 냉각시스템 시험모델 (Protomodel of Space Infrared Cryogenic System, PSICS)의 광학계로 사용되는 적외선 광학소자인 게르마늄 렌즈가공을 위한 초정밀 절삭에 관한 연구를 수행하였다.

따라서 본 연구에서는 초정밀절삭조건인 이송속도와 절삭속도에 따른 표면거칠기 특성을 파악하여 최적가공조건을 찾아 우주망원경의 적외선 열화상 카메라에 적용되는 비구면 렌즈의 형상정밀도 향상에 관한 연구를 수행하였다.

본 연구에 사용된 초정밀 가공기는 RTH사의 Nanoform 600 다이아몬드 터닝머신(DTM)이다. 다이아몬드 터닝머신은 두 개의 유정압 안내면과 공작물을 고정시키는 공기정압 베어링 스피들로 구성되어 있다. 두 안내면은 각각 X축과 Z축으로 T 형태의 직교를 이루며 구동한다. X축의 중심부에 해당하는 안내면에 주축 스피들이 고정되어 회전하며, 안내면의 구동방향과 평행을 이루며 회전한다. Z축 구동안내면 위에는 공구대가 고정되어 다이아몬드 바이트를 설치 할 수 있으며, 스피들 구동 방향과 수직방향으로 구동한다^{(3),(4)}.

시제품 재료인 Ge의 초정밀 최적 가공조건을 찾기 위하여 $\varnothing 40$ mm, 두께 15 mm의 시편을 제작하여 주축회전속도와 절삭깊이, 이송속도에 대하여 표면 거칠기를 측정하였다. 실험을 수행하기 전에 Ge를 주축의 진공척에 -20 in.Hg로 고정하여 회전시켰으며, 이때 사용되는 절삭유의 급유방식은 압축공기와 절삭유인 방전유를 혼합하여 분사하는 극미량(MQL)분사방식을 사용하였다. 또한 절삭 후 측정 방법은 시편의 $\varnothing 30$ mm 되는 부분을 선정하여 시편의 네 포인트를 지정하여 항상 같은 위치에서 16번 반복 측정하여 그 중 오차 범위가 큰 값을 제외하고 데이터의 평균을 내어 측정값을 얻었다. 본 실험을 통하여 Ge의 최적 초정밀 가공조건을 찾아내었으며 실험조건은 아래와 같다.

Item	Cutting condition
Work piece	Ge
Rake angle (°)	-5, -15, -25
Nose radius(mm)	0.8, 0.4
Cutting speed (m/min)	140, 160, 180, 200, 220, 240
Feed rate(mm/min)	1, 2, 4, 8, 12
Depth of cut(μ m)	0.1, 0.5, 1, 2, 4
Vacumm pressure(in.Hg)	-20
Cutting fluid	Air+EDM oil

Ge의 소재 가공에 관한 본 연구의 초정밀 절삭특성을 통하여 Ge의 최적 가공조건은 노우즈 반경 R0.8 mm, 절삭속도는 180 m/min, 이송속도는 2 mm/min, 절삭 깊이는 0.5 μm일 때 가장 양호한 표면 거칠기 0.49 nmRa를 얻을 수 있었다. 본 실험결과를 이용하여 우주적외선 냉각시스템 시험모델 (PSICS)의 광학계로 사용되는 게르마늄 렌즈를 비구면으로 초정밀가공 하였다. 외경 40 mm, 두께 8 mm, 곡률반경 131.75, K-19 인 평볼록 형상의 비구면 렌즈를 천연다이아몬드 공구를 이용하여 초정밀 가공하였다.

Vacuum chuck의 진공압력에 의한 제품의 변형을 방지하기 위하여 특수한 지그를 설계 제작이 필요 하였으며, 이에 일반적인 평판형상의 지그를 사용한 결과보다 양호한 결과를 얻을 수 있었다. Fig. 1 은 SPDTM을 이용하여 가공하는 사진을 보여주며, Fig. 2는 비구면형상측정기인 Formtalsurf를 이용하여 최적절삭조건으로 가공한 후 비구면 형상을 측정한 결과 비구면 형상형상정밀도 분석 결과 Rt 0.5992μm를 얻었다.

Fig. 3은 Interferometer WYKO6000을 이용하여 직경 40 mm 평면을 측정한 결과 P-V 0.127 μm를 얻을 수 있었다. 요구되는 형상정밀도는 P-V 1.0 μm이하로써 가공된 Ge 렌즈는 요구사항에 적합하게 제작되었으며, 향후 렌즈 적외선 광학계에 사용하기 위한 투과율 향상을 위한 표면코팅을 하고 제품의 형상 변형량 등을 측정하여 우주적외선 카메라용 렌즈가공기술을 확보하고자 한다. Fig. 4는 적외선용 망원경에 사용되는 Ge렌즈의 사진으로 비구면 형상의 초정밀가공 결과를 나타낸다.

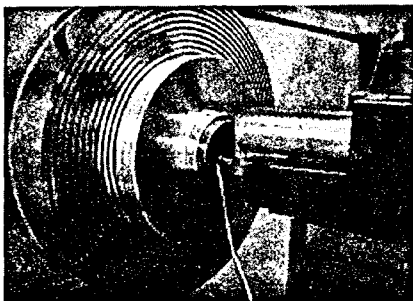


Fig. 1 Machining reflector mirror by SPDTM

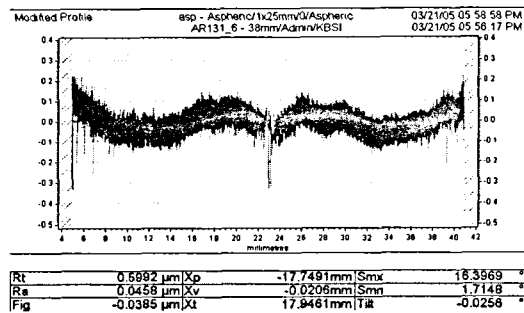


Fig. 2 Measurement of Ge surface after turning

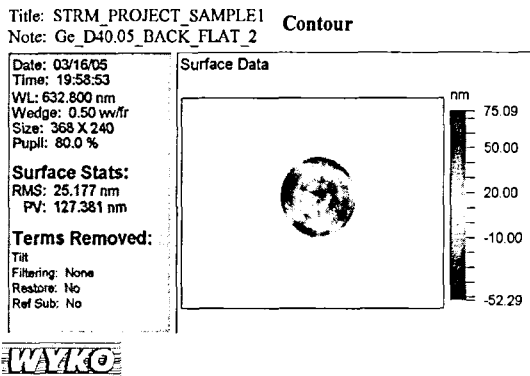


Fig. 3 Measurement of the surface for a large reflector

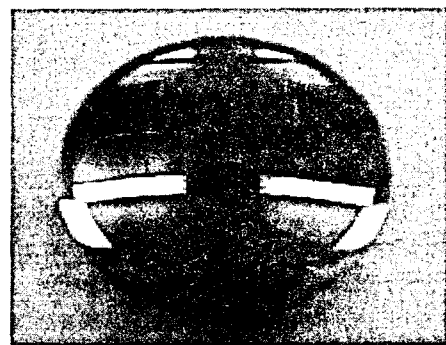


Fig. 4 Result of Machining Ge lens by SPDTM

참고문헌

1. 이윤우, "고해상도 위성카메라 평가 기술," 측정표준, 제22권, 제2호, pp. 29-41(1999).
2. 박수종 외, 한국천문연구원, "일본 적외선 천문위성(SPICA) 국제공동개발 기획연구 보고서" (2004).
3. Geon-Hee Kim, Kwon-Hee Hong, Sang-Suk Kim, Jong-Ho Won, "Nano-turning Technology Using Ultraprecision Machining System", Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol.19, No.1, January pp.18-24(2002)
4. J. B. Ko, G. H. Kim, J. H. Won, "A Study on the cutting characteristics of non-ferrous metals using diamond turning machine", Trans. of KSMTE., Vol.10, No.5, pp.124-129(2001)