

천문우주용 적외선 광학초자 LiF의 초정밀 절삭특성 Ultra precision Machining Characteristics of IR material LiF for Astronomy and Space

*양순철¹, 허명상¹, 이길재¹, 김상혁¹, 국명호¹, 이상용¹, 장기수¹, #김건희¹, 원종호²
*S. C. Yang(md941057@kbsi.re.kr)¹, M. S. Huh¹, G. J. Lee¹, S. H. Kim¹, M. H. Kook¹, S. Y. Lee¹,
K. S. Chang¹, #G. H. Kim¹, J. H. Won²
¹한국기초과학지원연구원, ²충남대학교

Key words : Ultra Precision Engineering, IR(Infra Red), LiF(Lithium Fluoride)

1. 서론

적외선 파장영역 천문 우주 관측은 이미 오래전 부터 많은 연구가 진행되어왔다. 고대에서 근대까지 천문우주 연구는 실생활과 밀접한 시간과 역등과 연관 지어 태양과 달, 행성의 운행 등 천체를 관측하는 방법이 발전되어왔다.

적외선은 1800년에 William Herschel 에 의하여 처음 발견되었으며 그 이후 상업 및 군사적 목적뿐 아니라 천문학 관측에도 널리 사용되었다. 최초 적외선 우주 망원경인 IRAS(Infrared Astronomical satellite)가 1983년에 발사된 이후로 많은 우주 적외선 망원경이 개발 되었으며 최근에는 JWST(James Webb Space Telescope), HSO(Herchel Space Observatory), SPICA(Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics)와 같은 대형 차세대 적외선 우주 망원경들이 개발 중에 있다.

적외선 광학계에 사용되어지는 대표적인 광학 초자는 Ge, Si, ZnSe, ZnS 및 Fluoride계열의 초자를 사용하는데, 여기서 Fluoride계열의 초자들은 자외선파장 영역에서부터 원적외선 파장 영역까지 투과가 되며, 아베수(V number)가 크기 때문에 색수차 보정에 용이한 장점이 있다.

차세대 우주적외선 망원경 JWST 근적외선 카메라 광학계 에서는 LiF, BaF2, ZnSe 적외선 광학초자를 이용하여 광학계가 구성되어있다.¹⁻²⁾ 위 소재를 이용하여 구면으로 이루어진 렌즈보다 수차보정 및 렌즈 매수 감소를 위하여 비구면 LiF 렌즈를 초정밀 가공에 적용하였다.

적외선 광학초자 LiF의 초정밀 특성을 파악하기 위하여 실험계획법을 이용하여 절삭속도, 이송속도, 공구 윗면 경사각, 절삭깊이의 변화에 따른

표면거칠기를 측정하여 최적 절삭조건을 찾았다.³⁾ 실험에서 얻어진 최적 절삭조건을 토대로 천연다이아몬드 바이트(AL.M.T사)를 이용하여 LiF 비구면 렌즈를 초정밀 가공하여 UA3P(Panasonic사)로 측정결과를 얻었다.

2. 실험장치 및 방법

본 실험에 사용한 초정밀 자유곡면 가공기 Freeform 700A를 보여준다. 실험에서 표면 거칠기를 측정하기 위하여 비접촉식 표면형상 측정기 WYKO사의 NT 2000을 사용하였으며 측정기의 측정범위는 최대 100 mm×100 mm 이며, 측정범위로는 0.1 nm~150 μm이며, 분해능은 0.1 nm이고 Auto Focusing 타입이다. 비구면 형상 측정은 초 고정도 3차원 표면 형상 측정기(Ultra high Accurate 3-D Profilometer) UA3P를 이용하였다.

광학초자 LiF 초정밀 최적절삭조건을 찾기 위해 실험계획법의 완전요인배치법을 이용하여 실험 테이블을 작성하고 Table 1에 표기한 각각의 인자들을 3 수준으로 하여 변화에 따른 표면 거칠기를 MINTAB의 분산분석기법을 이용하여 초정밀 절삭가공에 미치는 영향을 분석하였다.

Table 1 Experimental conditions

Item	Cutting condition
Work pice	LiF
Cutting speed (m/min)	131, 155, 179
Feed rate (mm/min)	2, 5, 10
Depth of cut (μm)	1, 5, 10
Tool rake angle	-15° -25° -45°
Nose radius (mm)	1.0
Cutting fluid	Mist

3. 실험결과

Fig. 1은 단결정 다이아몬드 바이트를 사용하여 적외선 광학초자 LiF의 표면 거칠기 측정값에 대한 주효과의 크기를 비교하기 위하여 분산분석한 그래프이다. 표면 거칠기에 영향을 미치는 인자는 이송속도가 가장 큰 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다. Fig. 2은 실험결과 윗면 경사각 -45° , 절삭속도 179m/min, 이송속도 2mm/min, 절삭깊이는 $1\mu\text{m}$ 일 때 양호한 표면거칠기 Ra 0.69nm를 얻을 수 있었다.

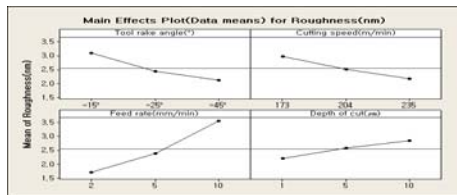


Fig. 1 Main effects plot for surface roughness

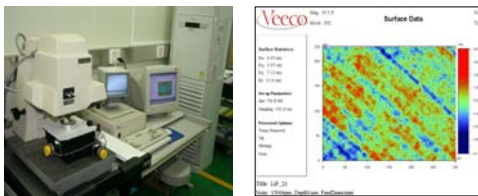


Fig. 2 Surface measurement of LiF sample by NT 2000

4. 비구면 LiF 렌즈 초정밀 가공 및 측정

본 연구에서는 실험을 통하여 얻어진 LiF의 초정밀 최적가공조건을 이용하여 적외선 광학초자 LiF 비구면 렌즈를 가공하였다. Fig. 3은 직경 50.8mm 비구면 렌즈를 가공하는 사진과 초정밀 가공 후 렌즈 사진을 보여준다.

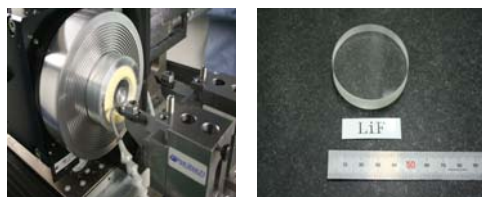


Fig. 3 Cutting of LiF aspheric lens

Fig. 4는 3차원 측정기 UA3P를 이용하여 측정하는 모습과 측정결과를 보여준다. 측정결과

로 표면 형상정밀도 P-V $0.1615\mu\text{m}$ 얻었다.

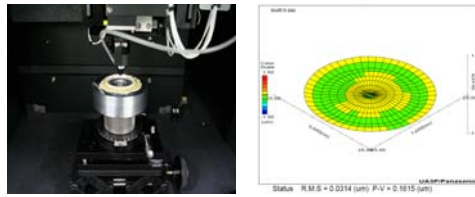


Fig. 4 Measurement data of LiF aspheric lens by UA3P

5. 결론

본 연구에서는 적외선 광학초자 LiF의 초정밀 절삭특성을 파악하여 표면거칠기를 측정 및 분석하여 데이터베이스를 구성하였다. 이러한 초정밀 절삭특성을 바탕으로 LiF 비구면 렌즈의 초정밀가공을 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. LiF의 표면거칠기에 대한 최적가공조건은 윗면 경사각 -45° , 절삭속도 179m/min, 이송속도 2 mm/min, 절삭깊이 $1\mu\text{m}$ 일 때 가장 양호한 표면거칠기 Ra 0.69nm를 얻었다.
2. LiF 초정밀 절삭특성에서 표면거칠기 값에 영향을 미치는 주 효과는 이송속도가 1.85nm의 변화로 가공에 가장 큰 영향을 주며 윗면 경사각 0.99nm, 절삭속도 0.79nm, 절삭깊이 0.63nm의 순서로 영향을 주고 있다.
3. 초정밀 최적절삭조건으로 LiF 비구면 렌즈를 가공하여 표면 형상정밀도에 만족하는 P-V $0.1615\mu\text{m}$ 를 얻었다.

참고문헌

1. E. Todd Kvamme, James C. Earthman, Douglas B. Leviton, and Bradley J. Ftey, "Lithium fluoride material properties as applied on the NIRCcam instrument", Proc. of the SPIE, Vol. 5904, pp. 212-221, 2005
2. Leigh A. Ryder and Thomas Jamieson, "Lens Design for the Near Infrared Camera for the James Webb Space Telescope", Proc. of the SPIE, Vol. 5904, pp. 71-78, 2005
3. S. C. Yang, J. H. Won, "Development of the Ultra precision machining of IR material for space observation optical system", KSPE, Vol. 27, No.12, pp9-14, 2010