

비구면 광학계의 설계 데이터 유추 알고리즘 개발

Development of Analogy Algorithm for Design Equation of Aspheric Optics

김건희, 김효식, 양순철, 김주환, 복민갑, 김상보, 신현수
 한국기초과학지원연구원/ 제작지원팀/ 초정밀 가공실
 kgh@kbsi.re.kr

현재 많이 사용되고 있는 F- θ 렌즈는 국내에 이미 홀 가공, 절삭, 마킹, 용접, 의료용 등의 목적으로 많이 보급화 되어 있으며, 레이저 부품의 대부분은 수입에 의존하고 있다. 미세 홀 레이저 가공(Microvia Laser Drilling)을 위한 광학계는 현재 핸드폰의 기관 천공 등에 사용되어지며, 100% 수입에 의존하고 있다. 고정밀, 고성능의 천공을 위한 CO₂ 레이저용 홀 가공기에는 정밀한 렌즈가 필수적으로 장착되며, 국내의 산업용 Laser driller를 사용하는 기업이나, Laser driller를 제조 판매하는 회사에 반드시 국산화를 통한 수입대체가 이루어져야 할 부품이다.

본 연구에서는 비구면의 광학부품을 측정하여 측정결과를 이용하여 비구면 수식을 유추하고 적용하여 전량 수입에 의존하고 있는 비구면 광학계의 국산화를 가능하게 하였다. 이를 위하여 레이저 홀 가공기에 사용되는 광학소자 Ge의 연성 절삭에 대한 최적의 가공조건을 찾는 것이며, 취성 재료의 초정밀 광학 요소들을 가공하는데 다이아몬드 선삭 기술을 적용함으로써 수입의존도가 매우 큰 적외선 영역에 사용되는 렌즈의 국산화 및 수입 대체 효과가 기대된다.

실험에 사용된 초정밀 가공기는 RTH사의 Nanoform 600 다이아몬드 터닝머신(DTM)으로 안내면의 위치결정정도는 0.25 μ m/300mm, 분해능은 1.25nm의 성능을 가지고 있으며, 선삭의 경우 최대 \varnothing 600mm(125kg), 연삭의 경우 \varnothing 300mm까지 가공이 가능하다.⁽¹⁾

시작품 재료인 Ge의 초정밀 최적 가공조건을 찾기 위하여 \varnothing 40 mm, 두께 15 mm의 시편을 제작하여 주축 회전속도와 절삭깊이, 이송속도에 대하여 표면 거칠기를 측정하였다. 실험을 수행하기 전에 Ge를 주축의 진공척에 -20 in.Hg로 고정하여 회전시켰으며, 이때 사용되는 절삭유의 급유방식은 압축공기와 절삭유인 방진유를 혼합하여 분사하는 극미량(MQL)분사방식을 사용하였다. 또한 절삭 후 측정 방법은 시편의 \varnothing 30 mm되는 부분을 선정하여 시편의 네 포인트를 지정하여 항상 같은 위치에서 여러 번 반복 측정하여 그 중 오차 범위가 큰 값을 제외하고 데이터의 평균을 내어 측정값을 얻었다. 본 실험을 통하여 Ge의 최적 초정밀 가공조건을 찾아내었다. 실험조건으로 Rake angle은 -5°, -15°, -25°로 변화를 주었으며 실험에 사용한 공구는 공구반경 R0.8 mm와 R0.4 mm를 이용하여 비교실험 하였으며, 절삭속도 변화는 140~240 m/min, 이송속도는 1~12mm/min 으로 절삭깊이는 0.1~4 μ m 까지 변화를 주었다.

Ge의 초정밀 가공 특성을 파악하기 위하여 천연다이아몬드 공구를 사용하였으며 노우즈 반경, 절삭속도, 이송속도, 및 절삭깊이에 따른 표면 거칠기를 측정하였다. 이러한 Ge의 초정밀 가공 특성을 바탕으로 미세 홀 레이저 가공기의 F- θ 렌즈를 초정밀 가공 수행하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

Ge의 소재 가공에 관한 초정밀 절삭특성을 통하여 Ge의 최적 가공조건은 노우즈 반경 R0.8 mm, 절삭속도는 180 m/min, 이송속도는 2 mm/min, 절삭깊이는 0.5 μ m일 때 가장 양호한 표면 거칠기 0.49 nm Ra를 얻을

수 있었다. 천연다이아몬드 공구의 노우즈 반경에 따른 표면 거칠기 평가에서는 공구의 노우즈 반경 R0.4 mm보다 큰 R0.8 mm에서 가장 양호한 표면 거칠기를 얻을 수 있었다. 일정한 절삭조건 하에서 초정밀 가공 시 -25° 와 -15° 의 경사각에 비해 -5° 의 경사각을 가진 다이아몬드 공구의 표면 거칠기가 양호하게 나타났다. 다음 그림은 절삭조건에 따른 결과 그래프이다.

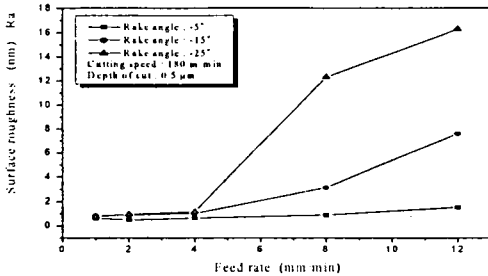


Fig. 1 Surface roughness of nose radius R0.8mm

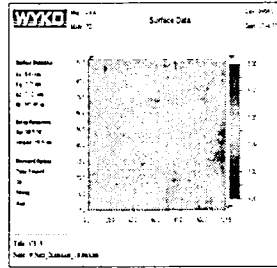


Fig. 2 Measurement of Ge sample

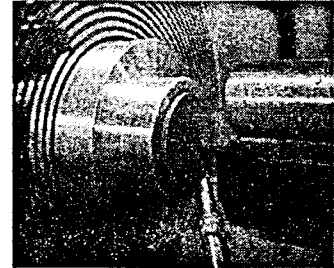


Fig. 3 Photo of cutting Ge

이렇게 얻은 Ge의 최적가공조건으로 F- θ lens를 가공하였다. IDL 프로그램을 이용하여 측정값의 각도 오차보정(Tilting)을 하고 그래프의 중심선을 기점으로 측정 에러 값이 높은 데이터를 제거하여 에리클을 최소화 한다. Fig. 4는 IDL 프로그램에서 측정데이터를 각도오차 보정한 결과 그래프이며, Fig. 5는 보정된 결과에서 비구면 수식의 변수를 산출하여 내고 보다 세밀하게 높은 차수의 파라메타의 계수 값을 구하고 측정치와 보정된 결과의 차이를 그래프로 보여준다. 이렇게 얻은 비구면 수식으로 초정밀 가공기에 맞는 데이터로 생성하여 가공 후 Form Talysurf Series2를 이용하여 측정한 결과 Fig. 6과 같이 비구면 형상 정밀도 $0.3913 \mu\text{m Rt}$ 를 얻을 수 있었으며 표면조도 $0.046 \mu\text{m Ra}$ 의 가공결과를 얻을 수 있었다. 설계값을 알지 못하는 비구면 형상의 제품을 측정하여 비구면 수식을 유추하고 비구면 수식에 따라 제작하여 실제 가공기에 장착하여 가공결과 초기 사용하던 제품과 손색없는 성능이 나타남을 확인 할 수 있었다.

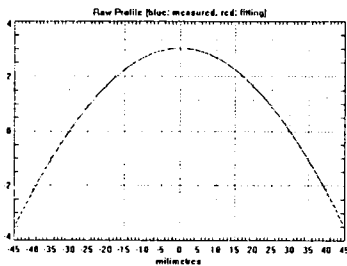


Fig. 4 Graph of Rawfile

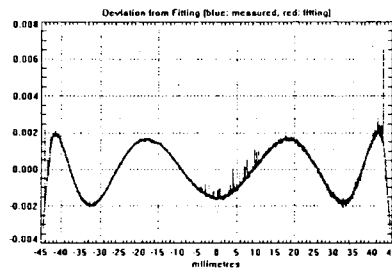


Fig. 5 graph of deviation from fitting

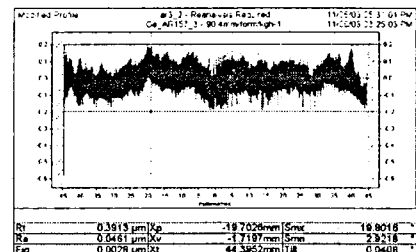


Fig. 6 Measure surface of aspheric

참고문헌

1. J.B.Ko, G.H.Kim, J.H.Won, "A Study on the cutting characteristics of non-ferrus metals using diamond turning machine", Trans. of KSMTE., Vol.10, No.5, pp.124-129, 2001.