

대구경 비구면 렌즈의 설계 및 가공기술의 개발

곽민석⁺·박재현⁺⁺·정호승⁺⁺⁺·김정렬⁺⁺⁺⁺·김동균⁺⁺⁺⁺·한종석⁺⁺⁺⁺⁺

Development of Design and Manufacturing Technique for the Aspheric Lens

Min-Seok Kwak⁺, Jae-Hyoun Park⁺⁺, Ho-Seung Jeong⁺⁺⁺, Jung-Ryul Kim⁺⁺⁺⁺,
Dong-Kyun Kim⁺⁺⁺⁺ and Jong-Suk Han⁺⁺⁺⁺⁺

Abstract : This study is described the modeling of aspheric lens, manufacturing and inspection. The aspheric lens is different from a convex lens and concave lens in that is useful to aspherical, but modeling method of this isn't open to the public. Therefore, This study is designed to the aspheric lens of geometric form, manufactured a sample by CAM, which is applied to Euler method. So, we have verified modeling and CAM process for aspheric lens through a experiment.

Key words : Aspheric lens(비구면 렌즈), Euler method(오일러 법), CAM(Computer Aided Manufacturing)

1. 서론

비구면 렌즈는 디지털 카메라, 캠코더 같은 광학 장비를 비롯하여 항해등, 진조등 등 선박 및 자동차 산업분야에도 널리 사용되고 있다. 일반적으로 많이 사용되는 구면 렌즈는 구면수차로 인해 렌즈를 통하여 얻어지는 결상을 불명확하게 하거나 원래의 상을 변형시킴으로써 렌즈의 광학적 특성을 저하시키게 된다. 이러한 구면 렌즈의 단점을 보완하기 위해서 최근에는 비구면 렌즈가 활발히 사용되고 있으며 광학 장비의 소형화, 경량화 그리고 고성능화에도 기여하고 있다.

비구면 렌즈에 대한 국내 연구는 가공 및 제작에 국한되어 있으며^{1,2)}, 설계에 대한 연구는 진무한 실정이다. 따라서 광학산업의 발전을 위해서는 비구면 렌즈의 정밀 설계 기술 및 가공기술을 확립하는 것이 필요하며, 본 연구에서는 이를 위해 비구면 렌즈 모델링을 수학적으로 규명하고, 실제 제작 및 실험을 통해 비구면 렌즈 모델링의 정확성을 검증하고자 한다.

2. 비구면 렌즈의 설계

2.1 비구면 렌즈의 수학적 모델링

기존의 비구면 렌즈 설계에는 테일러급수가 사용되었다. 그러나 본 연구에서는 오일러 법(Euler method)을 적용하여 비구면 렌즈의 기하학적 형상을 모델링하였다. Fig. 1에 비구면 렌즈 모델링의 개념도를 나타내었다.

최종적으로 $f(x)$ 를 구해야 한다. 우선, y 축을 렌즈의 한 면으로 생각하고, θ_0 는 레이저 시트의 최대각으로 생각한다. 또한 H 는 레이저 시트 발진부와 렌즈의 거리라고 생각한다. 이들에 대한 data는 실험에서 구해져야만 하는 값이다.

레이저 시트 generator에서 생성된 레이저는 렌즈를 통해서 최종적으로 x 축과 평행하게 나아가야 하며, 이것을 풀기 위해 식(1)~(5)까지를 가정한다.

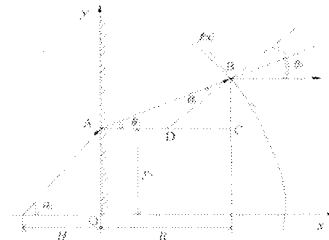


Fig. 1 Schematic diagram of modeling for the aspheric lens

$$y_0 = H \tan \theta_0 \quad (1)$$

$$\sin \theta_1 = \frac{\sin \theta_0}{n} \quad (2)$$

$$\tan \theta_1 = \frac{(y - y_0)}{x} \quad (3)$$

$$\sin \theta_3 = n \sin \theta_2 \quad (4)$$

$$\frac{dx}{dy} = -\tan \theta_3 \quad (5)$$

위 식들은 $f(x)$ 를 구하기 위한 기본적인 수식이 된다. 그리고 Snell's law에 의해 정의된 n 은 물질 내를 레이저 빛이 투과하는 굴절률(index of refraction)이라고 하며, 아크릴의 경우 실험에 의해 구할 수 있다. 그 값은 1/0.65 정도이다. 본 연구에서는 위 식들을 오일러 법을 적용하여 전개하고, Visual C++로 프로그래밍하여 비구면 좌표 점들을 획득하였다.

2.2 비구면 렌즈의 기하학적 모델링

오일러 법을 적용하여 얻은 비구면 점 데이터들을 기하학적으로 모델링하기 위하여 AutoCAD 및 VisualLISP을 사용하였다. Fig. 2는 텍스트 파일의 기하학적 점 데이터

+ 곽민석, ((재)한국조선기자재연구원), E-mail: kwakms71@komeri.re.kr, Tel: 051)405-6880
 ++ 박재현, ((재)한국조선기자재연구원)
 +++ 정호승, ((재)한국조선기자재연구원)
 ++++ 김정렬, (연구개발센터장, (재)한국조선기자재연구원)
 +++++ 김동균, (교수, 동명대학교 기계공학과)
 +++++ 한종석, (대표이사, (주)피코시스템)

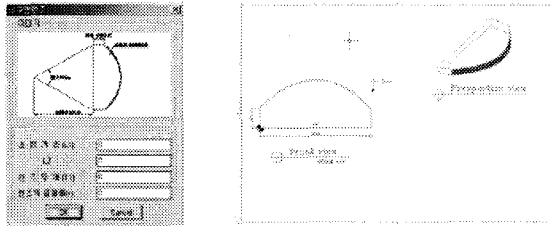


Fig. 2 Active program for the loading point data using VisualLISP and Drawing of aspheric lens

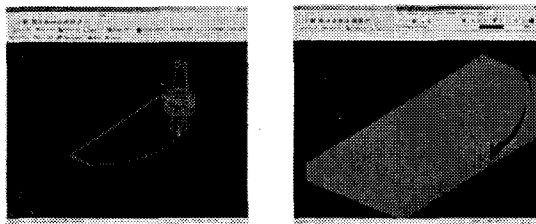


Fig. 3 Process of machining using CAM software and Test machining using CAM software

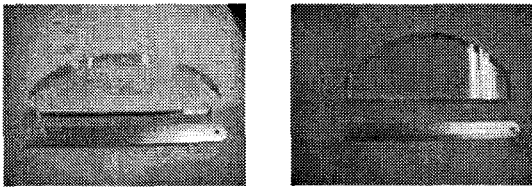


Fig. 4 Photography of aspheric lens

들을 3차원 공간상에 작도하는 프로그램과 작도된 점 데이터들을 폴리 라인(polyline)으로 연결한 최종 완성된 모델을 나타낸 것으로 이는 AutoCAD의 개발자 정의의 소프트웨어인 VisualLISP을 사용하여 프로그래밍을 통해 개발한 것이다.

3. 비구면 렌즈의 가공

3.1 CAM 및 모의가공

오일러 법을 통해 얻어진 점 데이터들을 이용한 비구면 렌즈 모델링을 검증하기 위하여 본 연구에서는 강화 아크릴을 사용하여 비구면 렌즈를 직접 제작하였으며, Fig. 3에 CAM software에서의 가공공정과 모의가공을 나타내었다. 비구면 렌즈 가공에 사용된 고속 가공기는 독일산(DECKEL MAHO)을 사용하였다. 비구면 렌즈 가공 시 40,000 rpm을 적용하였으며, 폴리싱 여유를 0.025 mm로 하였다. 황삭 시 HSS $\phi 3$ mm End-mill을 사용하였고, 정삭 시 $\phi 1$ mm End-mill을 적용하였다. 그리고 절삭유는 사용하지 않고, 고압의 공기를 이용하여 칩 제거 및 냉각을 수행하였다.

3.2 가공결과

고속 가공기를 통해 완성된 비구면 렌즈를 아크릴 전문 폴리싱 업체에 의뢰하여 최종 완성하였으며, 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

4. 비구면 렌즈 실험 및 검증

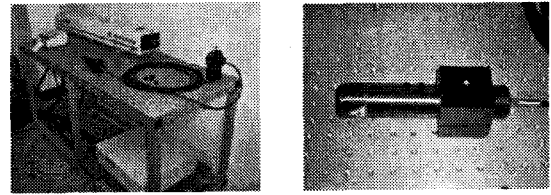


Fig. 5 Photography of experiment apparatus

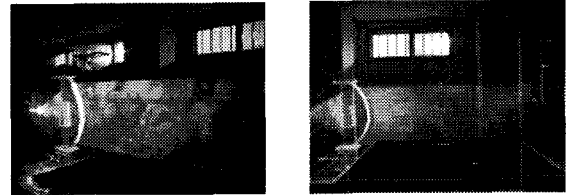


Fig. 6 Photography of experiment result for aspheric lens

4.1 실험장치, 실험방법 및 실험 결과

비구면 렌즈 모델링의 정확성을 실험하기 위하여 레이저 시트 generator에서 생성된 레이저를 비구면 렌즈에 통과시킨 후 렌즈로부터 1 m 떨어진 지점과 5 m 떨어진 지점의 광선 폭을 측정하였다. 그리고 광선의 직진성과 폭 확인 및 사진 촬영을 위하여 암실조건 및 연무 발생기를 사용하였다. Fig. 5에 레이저 시트 generator, 광 케이블 및 레이저를 나타내었다.

비구면 렌즈 모델링의 정확성 실험 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 연무를 통과하는 레이저 광선 폭의 선명성을 확인할 수 있으며, 레이저 generator에서 퍼지는 광선이 비구면 렌즈를 통과하면서 직진하는 것을 시각적으로 확인할 수 있다. 비구면 렌즈로부터 1 m 떨어진 지점과 5 m 떨어진 지점의 레이저 시트폭이 23.5 cm로 일치함을 확인할 수 있었다.

5. 결론

오일러 법을 적용하여 비구면의 점 데이터를 생성하고, 이를 AutoCAD에서 모델링한 후 고속 가공기에서 실제 제작, 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 오일러 법을 통한 비구면 곡률 생성법을 고안하고, 이를 통해 대구경 비구면 렌즈를 개발하였다.
2. 고속가공을 통한 비구면 렌즈 가공기술의 가능성을 확인하였다.
3. 비구면 렌즈실험 방법을 고안하였고, 이를 통해 본 연구에서 개발한 비구면 렌즈 수식의 정확성을 검증하였다.

참고문헌

1. K. Park, C. Y. Han, "Flow Simulation and Deformation Analysis for Injection Molded Plastic Lenses using Solid Elements", Proceeding of KSPE, pp. 784-787, 2003.
2. W. B. Kim, S. J. Lee, Y. J. Kim, E. S. Lee, "Ultra-precision Polishing Technique for Micro 3-Dimensional Structures using ER Fluids", Journal of KSPE, Vol. 19, No. 12, pp. 134-141, 2002.