

## 열영상 광학계용 비구면 렌즈 제작

김대중, 구할본, 김상석\*, 김정호\*

전남대학교, 한국광기술원\*

### Manufacture of Aspheric Lens Using Thermal Image Optics

Dae-Jung Kim, Hal-Bon Gu, Shang-Suk Kim\* and Jeong-Ho Kim\*

ChonNam National Univ., KOPTI\*

#### Abstract

Through using aspheric lens can result in advantages such as an improved optical transfer function, a reduced distortion path or the realization of special image field curvatures. Using the diamond turning method for generating aspherics, the company claim to be able to generate surfaces with a form error of less than  $0.33 \mu\text{m}$  and a surface roughness of less than  $0.025 \mu\text{m}$ . In this paper, we are manufacturing thermal image aspheric lens. Thermal image system is electro-optical imaging device which can make visible the difference of infrared energy naturally emitted by objected. In the result of aspherical surface, the form accuracy of about  $0.24 \mu\text{m}$  P-V was obtained and the surface roughness Ra  $0.004 \mu\text{m}$ . Also, a brief review of Ultra-precision system Korea photonics technology institute(KOPTI) is present in this paper.

**Key Words** : Aspheric lens, Thermal Image system, P-V(Peak to Valley)

### 1. 서론

비구면 렌즈는 여러 개의 구면 렌즈로 이루어진 광학계를 비구면에 의해 수차를 제거하여 하나의 렌즈로 대치함으로써 광학계의 무게 및 부피를 감소시켜 원가를 절감시킨다는 장점을 갖는다. 또한 구면으로는 해결하기 어려운 상의 질을 저해하는 요인인 구면 수차를 극소화 내지는 보다 쉽게 제거하여 선명하고 넓은 시야의 영상을 얻을 수 있다[1]. 본 논문에서는 열영상용 장비에 들어가는 비구면 렌즈를 제작하였다. 외부로부터 빛의 공급이 전혀 없는 야간에도 표적 자체가 발하는 에너지를 모아 눈으로 볼 수 있는 영상으로 변환시켜 주는 장비가 있는데, 이러한 장비를 열영상 장비라 한다. 최근 열영상 장비의 수요가 점차 증가하고 있으며, 고성능·고밀도 적외선 검출기의 개발이 진전되면서 열영상 장비의 개발이 가속화되고 있는 실정이다. 열영상 장비는 적외선 광학계로 구현되며,

$8 \mu\text{m} \sim 12 \mu\text{m}$ 의 원적외선 파장 대역을 이용하여 전방관측이 이루어진다. 따라서 적외선광을 모아주는 역할을 하는 렌즈는 Si, Ge, ZnS, 또는 ZnSe 등 열영상 재질을 사용한다[2]. 일반 광학초자는 비정질인 것과는 달리 단결정 또는 다결정 초자가 대부분으로, 가격이 매우 비싼 단점이 있다. 반면, Ge은 열상장비 광학계 초차로 가장 이상적인 재질이며, 실제로 대부분의 열상광학계에 가장 많이 적용된다.

본 논문에서는 영상광학계의 가장 일반적인 재질인 Ge로 열영상 장비에 적용시킬 수 있는 비구면 렌즈를 제작하고, 형상정도와 표면조도를 측정하고, 그 결과를 보고한다.

### 2. 비구면 렌즈설계

#### 2.1. 비구면 이론

렌즈면에 비구면화는 수차에 영향을 줌으로써 광학계의 전체적인 성능을 향상시킨다. 즉, 비구면 방정식의 conic 상수 k에 의해 원추곡면의 형태가

결정되고, 고차항들은 구면수차, 코마, 비점수차 및 왜곡 수차에 영향을 줌으로써 3차 및 고차수차를 보정할 수 있다. 일반적인 회절대칭 비구면 방정식은 식(1)과 같다[3-5].

$$Z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + A_4r^4 + B_6r^6 + C_8r^8 + D_{10}r^{10} \dots \quad (1)$$

여기서,  $r^2 = x^2 + y^2$  이고,  $c$ 는 정점의 곡률,  $k$ 는 conic constant,  $A, B, C, D$ 는 비구면계수이다.

## 2.2 비구면 렌즈 형상 및 설계도

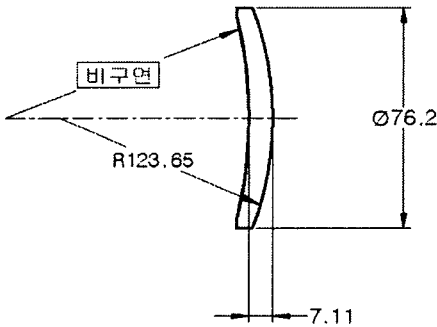


Fig.1. Design and dimension of Aspheric lens.

그림 1은 본 연구의 비구면 렌즈의 형상과 설계도를 나타낸 것이다. 구면의  $R$ 은 123.65이고,  $\phi$ 는 76.2 mm, 렌즈의 중심 두께  $t$ 는 7.11 mm를 갖는다.

## 3. 실험 장비

열영상 광학계용 Ge 비구면 렌즈는 다이아몬드 터닝머신(Nanoform 200, Precitech사)을 사용하여 제작하였으며, 가공면은 Nanoform 200 기상계측기(Ultra-comp, Precitech사)와 표면조도기(NewView 5000 system, Zygo사)을 이용하여 측정하였다.

### 3.1 초정밀 가공기

그림 2는 본 연구의 비구면 렌즈 가공에 사용된 Nanoform 200 다이아몬드 터닝머신(Precitech 사)을 나타낸 것이다. 다이아몬드 터닝머신은 두 개의 유정압 안내면과 공작물을 고정시키는 공기 정압 베어링 스피들들로 구성되어 있다. 두 안내면은 각각 X축과 Z축으로 'T'형태의 직교를 이루며 구동된다. 안내면의 위치 결정 정도는  $0.2 \mu\text{m}/200 \text{ mm}$ , 분

해능은 1 nm의 성능을 가지며, 최대 가공  $\phi 200 \text{ mm}$  (57 kg)까지의 공작물 가공이 가능하다. 안내면의 구동은 Linear 모터에 의해 구동되며, 안내면 구동 제어는 Pre citech's Ultra-path digital signal process에 의해 이루어진다.

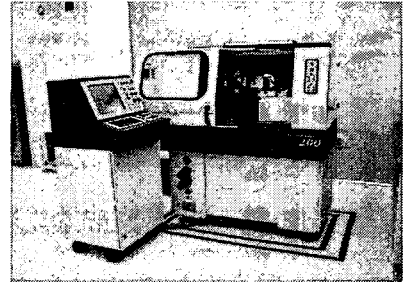
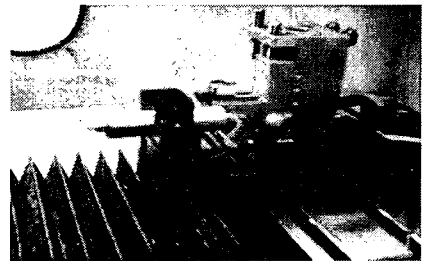


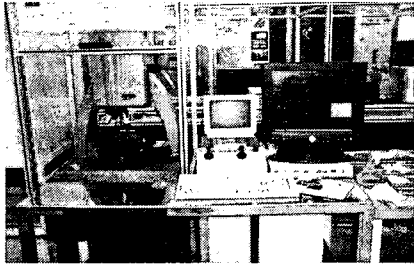
Fig.2. Nanoform 200 Diamond Turning Machine.

### 3.2 측정장비

일반적으로 가공한 부품의 표면 검사방법에는 미세한 촉침으로 표면을 긁어서 알아내는 방법과 반사광과 산란광의 세기비를 정량적으로 측정하여 알아내는 방법이 있다. 본 연구에서는 초정밀 가공기를 이용하여 가공한 비구면 형상을 접촉식 프로브 시스템 방식을 이용하여 측정하였다. 그림 3(a)는 비구면의 산과 골 사이값(Peak to valley)을 측정하고자 할 때 사용되는 Nanoform 200 기상계측기이다. 그림 3(b)는 NewView 5000 system(Zygo 사)로  $\lambda/20$ 의 정밀한 optics들을 이용한 트윈만 그런 방식의 간섭계이다. 초정밀 가공 부품의 미세한 표면형상을 비접촉식 광간섭 원리를 이용, 확대하여 표면의 거칠기 및 국부 현상을 측정하는 계측장비이다. 초정밀 가공기를 통해 제작하고자 할 때, 중요한 것은 가공된 가공품을 측정하고 보정 가공하는 것이 필수적으로 선행되어야 한다.



(a) Ultra comp of Nanoform 200



(b) Surface measurement system NewView 5000

Fig.3. System of data acquisition and analysis.

#### 4. 결과 및 고찰

열영상 비구면 렌즈는 형광체, 적외선 투과유리 등에 사용되는 Ge를 이용하였다. 초정밀 가공기(Nano form 200)를 이용하여 부품 가공면의 형상정도 및 표면조도 등 요구되는 규격을 만족시키기 위하여 표 1의 가공조건을 적용하여 열영상 광학계용 Ge비구면 렌즈를 제작하였다. 제품에 요구되는 사양은 형상정도 PV가  $0.33 \mu\text{m}$  이하, 표면조도 Ra는  $0.025 \mu\text{m}$  이하이다.

Table.1 Cutting condition of aspheric lens.

구분	황삭가공	중삭가공	정삭가공
Tool	Radius : 0.505, Rake Angle : $0^\circ$		
Depth of cut	$10 \mu\text{m}$	$5 \mu\text{m}$	$2 \mu\text{m}$
Spindle Speed	1500 rpm		
Feed rate	30 mm/min	10 mm/min	5 mm/min

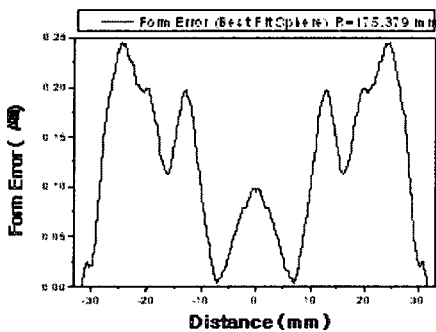


Fig.4. Measurement result of Ultra comp.

접촉식방법에 의하여 물체의 삼차원 형상정보를 획득하는 경우, 측정물을 정밀스테이지에 대하여 주사 시켜주는 구동축의 이동체적과 측정경로에 대하여 측정된 프로브의 상대변위를 더하여 측정물의 형상데이터를 얻게된다. 그림 4는 제작한 렌즈의 비구면의 형상정도를 나타낸 것이다. 측정결과 Peak to Valley(P-V)는  $0.24 \mu\text{m}$ 로 열영상 비구면 렌즈의 규격에 만족한 결과를 얻었다.

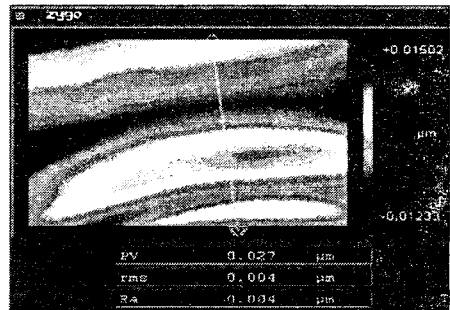


Fig.5. Measurement result of NewView 5000 system.

표면측정은 표면을 구성하고 있는 미세한 조직의 삼차원 형상의 측정을 목적으로 한다. 가공된 표면이 광학적 기능을 수행하는 미러나 렌즈일 경우 표면거칠기는 빛의 반사율과 투과율에 직접적인 영향을 갖는다. 그림 5는 비접촉식 광위상간섭법을 이용한 표면조도를 측정된 것이다. 측정된 결과, 표면조도 Ra는  $0.004 \mu\text{m}$ 로 규격에 만족한 결과를 얻었다. 그림 6은 최적의 가공조건을 통한 실제 가공 제품을 나타낸 것이다.

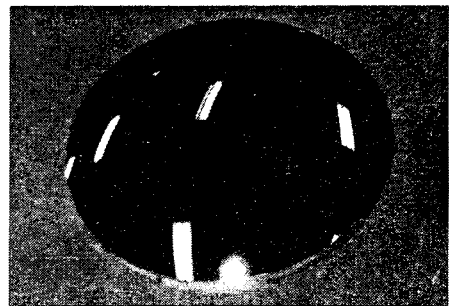


Fig.6. Aspheric lens of Thermal image optics.

## 5. 결 론

첨단산업 분야의 확대 발전과 더불어 광학계에 대한 경량화가 요구가 높아짐으로써 비구면 렌즈에 대한 수요가 급속히 증가하고 있으며, 사용되는 광파장이 짧아짐에 따라 비구면 렌즈의 정밀도가 점차 높아지는 추세이다. 본 연구에서는 열영상 장비에 대한 간단한 소개와 다이아몬드 터닝머신을 이용하여 제작한 부품의 형상정도 및 표면조도 등 요구되는 규격을 만족시키기 위하여 최적의 가공조건을 적용하여 열영상 광학계용 Ge 비구면 렌즈를 제작하였다. 제작한 Ge 비구면 렌즈의 측정결과, 형상정도 P-V는  $0.24 \mu\text{m}$ , 표면조도 Ra는  $0.004 \mu\text{m}$ 로 규격에 모두 만족한 결과를 얻었다. 이러한 결과는 초정밀 광응용 부품 개발 가능성이 한층 높아졌음을 의미하고, 향후 다이아몬드 터닝머신을 이용한 기술은 초정밀 산업에 지대한 영향을 미칠 것으로 기대된다.

## 참고 문헌

- [1] Rolf Freimann, Bernad Dorband, and Frank Holler, "Absolute measurement of non-comatic aspheric surface errors", Optics Communications 160, p106-114. 3, 1999.
- [2] 김대중, 최철호, 박용필, 구할본, 김상석, 김정호 "열영상 광학계용 초정밀 AI 평면 미러의 설계 및 제작", 전기전자재료학회춘계학술대회논문집, p136-139. 5, 2003.
- [3] W. B. Lee, C. F. Cheung, W. M. Chiu, and T. P. Leung, "An investigation of residual form error compensation in the ultra-precision machining of aspheric surfaces", J. of materials Processing Technology 99, p 129-134., 2000.
- [4] 박성찬, 정준호, "회절광학소자를 이용한 콤팩트 디지털 스틸 카메라용 광학계 설계", 한국광학회논문지, 11권, 4호, p239-245. 8, 2000.
- [5] S. C. Park and Y. S. Kim, "Compact Optical System Design of a Digital Camera Using Lens Modules", J. of the Korean Physical. Sci., Vol. 41, No. 2, p205-211. 8, 2002.