

# 볼트 체결력과 마운트 형상 정밀도가 반사경면에 미치는 영향 연구

## Adverse Effect on Mirror Surface by Bolt Clamping Force and Mount Form Accuracy of Contact Surface

\*이상용<sup>1</sup>, #양순철<sup>1</sup>, 김상혁<sup>1</sup>, 허명상<sup>1</sup>, 김건희<sup>1</sup>, 이영신<sup>2</sup>, 박순섭<sup>3</sup>

\*S. Y. Lee<sup>1</sup>, #S. C. Yang(md941057@kbsi.re.kr)<sup>1</sup>, S. H. Kim<sup>1</sup>, M. S. Huh<sup>1</sup>, G. H. Kim<sup>1</sup>, Y. S. Lee<sup>2</sup>, S. S. Park<sup>3</sup>

<sup>1</sup>한국기초과학지원연구원 연구장비개발부, <sup>2</sup>충남대학교 기계설계공학과, <sup>3</sup>한국생산기술연구원 그린볼트기술센터

Key words : Mirror, Form accuracy, Bolt clamping force, Finite element analysis

### 1. Introduction

최근 들어 정밀한 광학계가 요구되는 항공우주, 군수, 계측, 영상 관련 산업의 비약적인 발달로 인해 고 정밀 반사경의 제작이 고 부가가치 기술로서 매우 중요하게 인식되고 있다. 이러한 고 정밀 반사경의 개발에는 초정밀 가공기술뿐만 아니라 정밀한 측정 및 조립 기술이 요구된다. 따라서 측정 및 조립 기술에 대한 관심도가 크게 증가하고 있다.

고 정밀 반사경의 제작, 측정 및 조립의 정밀도를 높이기 위해서는 반사경의 재질 및 가공과정에서의 변형 그리고 조립 및 측정 과정에서 발생하는 여러 변수들에 대한 해석적 접근이 선행되어야 한다. 하지만 고 정밀 반사경 재질의 특성에 따른 최적 가공 조건, 가공 방법, 측정 분야에 대한 연구와 비교하여 조립과정에서 발생할 수 있는 변수들에 관한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 정밀 광학계의 조립 과정은 온도, 습도 등을 비롯한 환경적인 요인뿐만 아니라 반사경의 조립에 일반적으로 사용되는 볼트의 체결력과 접착제의 접착력은 반사경면의 정밀도에 큰 영향을 미친다.<sup>[1]-[3]</sup>

본 논문은 정밀 광학계의 개발에 사용되는 고 정밀 반사경과 마운트 접촉면의 형상정밀도와 볼트의 체결력이 반사경면에 미치는 영향을 구조해석을 통해 연구하였다

### 2. Simplified three-dimension model

볼트 장력이 반사경의 형상정밀도에 미치는 영향에 대한 해석적 접근을 위해 간단한 모델을 제시한다. 일반적으로 모든 구조물들은 조립할 때 표면

전체의 접촉에서 이상적인 접촉이 없기 때문에 3차원 모델로 표면 전체의 굴곡진 형상을 가정했다. 접촉면의 형상정밀도는 0.05 mm 로 접촉 및 비 접촉의 굴곡을 만들었다. 구조 해석을 위한 반사경의 Mesh 크기는 0.5 mm 로 설정 했다.

볼트의 장력은 5, 10, 15, 20 N 으로 설정했다. 반사경을 마운트에 체결하는 볼트는 120° 등 간격으로 각각 3곳에 고정된다. 서론에서 언급한 것과 같이 반사경의 재료는 Al6061-T6 의 재료를 사용했다.<sup>[2]</sup> Table 1 에 유효요소 해석에 필요한 특성과 모델에 대한 경계 조건이 나타나 있다.

반사경의 단순화된 3차원 모델은 Fig. 1 (a) 에서 보여주고 있으며, 경계조건은 (b) 에서 보여주고 있다. 마운트의 바닥은 고정이며 각각 3개의 볼트로 반사경에 체결력이 적용된다.

Fig. 2 는 볼트의 체결력이 작용하는 곳에서 접촉과 비 접촉 조건을 보여주고 있다.

Table 1 Characteristics and boundary conditions

Parameter	Value	
Diameter (mm)	Mirror	147.5
	Plate	147.5
Thickness (mm)	Mirror	5
	Base plate	10
Materials	Mirror	Al6061-T6
	Base plate	(Aluminum alloy)
	Bolt	Stainless steel 304
Form accuracy of contact surface (mm)	0.05	
Bolt position	Three-point (120°)	
Bolt pretension (N)	5, 10, 15, 20	
Mesh size (mm)	0.5	

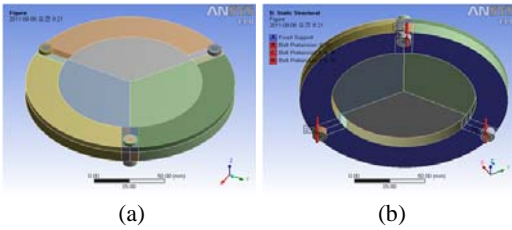


Fig. 1 Three-dimension model and boundary conditions of the mirror; (a) simplified three-dimension model, (b) boundary conditions



Fig. 2 Contact conditions between mirror and base plate; (a) non-contact, (b) contact

### 3. Results of the FEA

해석 결과 Fig. 3 은 볼트가 위치한 부분이 비 접촉면이며 볼트와 볼트 사이의 구간에서는 접촉면이다. 해석된 반사경의 형상정밀도는 볼트의 체결력이 5 N: 4.416  $\mu\text{m}$ , 10 N: 8.478  $\mu\text{m}$ , 15 N: 12.520  $\mu\text{m}$ , 20 N: 16.554  $\mu\text{m}$  로 해석되었다.

Fig 4 는 볼트가 위치한 부분이 접촉면이며 볼트와 볼트 사이의 구간에서는 비 접촉면이다. 해석된 반사경의 형상정밀도는 볼트의 체결력이 5 N: 0.296  $\mu\text{m}$ , 10 N: 0.418  $\mu\text{m}$ , 15 N: 0.509  $\mu\text{m}$ , 20 N: 0.586  $\mu\text{m}$  로 해석되었다.

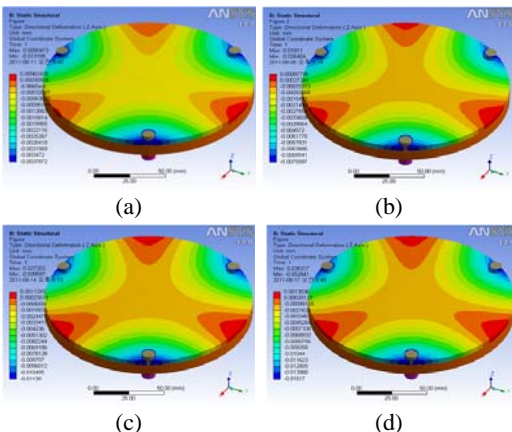


Fig. 3 Results of the FEA when the mirror was mounted with base plate by bolts. Bolts are inserted in non-contact area of the mirror and base plate; (a) clamping force: 5N, (b) clamping force: 10N, (c) clamping force: 15N, (d) clamping force: 20N

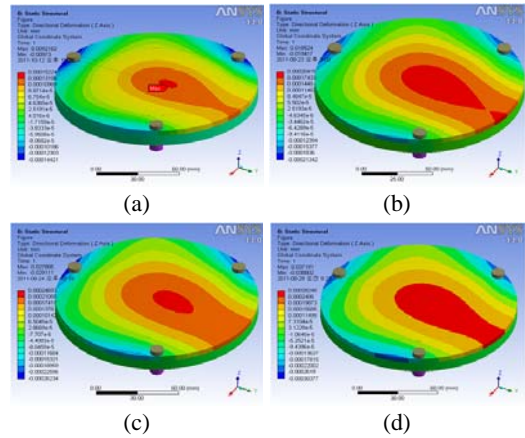


Fig. 4 Results of the FEA when the mirror was mounted with base plate by bolts. Bolts are inserted in contact area of the mirror and base plate; (a) clamping force: 5N, (b) clamping force: 10N, (c) clamping force: 15N, (d) clamping force: 20N

### 4. Conclusions

본 논문은 정밀 광학계의 개발에 사용되는 고정밀 반사경과 마운트 접촉면의 형상정밀도와 볼트의 체결력이 반사경면에 미치는 영향을 구조해석을 통해 연구하였다. 해석 결과, 반사경과 마운트 사이에서 접촉되는 면적에 대한 형상정밀도 P-V: 0.05 mm 에 대한 볼트 체결력 해석은 반사경의 형상정밀도에 대한 최소값 P-V: 296 nm 로 해석 되었다. 따라서, 반사경과 고정용 구조물 사이의 접촉면에 대한 형상정밀도는 해석에서 설정된 형상정밀도 P-V: 0.05 mm 보다 더욱 작아져야 최종적으로 원하는 요구 정밀도를 충족할 수 있을 것이다.

### References

1. S. C. Yang, G. H. Kim, H. S. Kim, S. Y. Lee, M. S. Kim and J. H. Won, "The Technique of Ultra Precision Machining of Infrared Optical-System for Space," KSPE, Vol. 24, No. 2, pp. 19~24, 2005.
2. S. C. Yang, G. H. Kim, H. S. Kim, H. S. Shin, and J. H. Won, "A Study on the Characteristics on Ultra Precision Machining of IR Camera Mirror," KSPE, Vol. 23, No. 5, pp. 44~50, 2006.
3. B. H. Kim, J. U. Lee, I. Moon, H. S. Yang, H. Y. Kim and Y. W. Lee, "Optimization of 30 cm Lightweight Mirror," Korean Journal of Opics and Photonics, Vol. 21, No. 5, pp 214~223, 2010.