

대구경 비구면 측정을 위한 Autostigmatic 방식의 null 렌즈 설계 및 공차분석에 관한 연구

The Null Lens Design of Autostigmatic Type and the Study of Tolerance Analysis for the Large Aspherical Surface Test

김길선, 김양식, 임천석

한남대학교 물리학과

roadsunny@mail.hannam.ac.kr

군사 목적의 정밀 관측을 목표로 하고 있는 지구관측위성은 해상도가 1 m 이하로 정밀해지는 등, 위성용 카메라나 우주 망원경의 해상도가 갈수록 정밀해 지고 있다. 이로써 해상도 및 광량 집광도에 의해 결정되어 지는 광학 탑재체, 즉 카메라의 구경은 자연스럽게 대구경화로 이어지게 되고, 구면수차의 영향을 많이 받는 요인이 된다. 구면수차를 줄이는 방법으로 비구면이 사용되고 있으므로 이를 측정하는 기술이나 방법 또한 중요하다. 이러한 비구면을 측정하는 방법에는 여러 가지가 있다. 형상측정 정밀도가 낮아 가공 초기 단계에서 사용되는 기계적인 측정방법과 기하광선이나 간섭계를 이용하는 광학적인 측정방법, Hindle 측정, CGH 측정, null 렌즈를 이용한 null 측정법등이 있다. null 렌즈 측정법은 크게 autostigmatic, autocollimation, mixed 의 3가지로 나누어지는데, 본 논문에서는 대구경 비구면 측정을 위한 autostigmatic type의 null 렌즈를 설계하고 그에 따른 공차 분석을 하였다. autostigmatic 방식은 점광원에서 출발한 광선이 null 렌즈를 통과하면 시험 비구면의 형상과 같은 이상적인 파면이 되도록 설계하는 것으로 소형의 렌즈만으로 측정광학계를 구성할 수 있다는 장점이 있다. 설계된 null 렌즈는 2매로 구성되며 각 렌즈의 첫 면(앞면)은 평면으로 하여 두께 변화에 의한 성능 변화를 최소화함으로써 제작과 측정이 용이하게 하였다.

본 논문에서는 설계 데이터를 토대로 렌즈를 제작함에 있어 일어날 수 있는 오차인 공차를 해석하였는데 이는 비구면 측정의 정밀도에 영향을 주므로 미리 분석해 볼 필요가 있다. 오차의 허용 범위는 초정밀 가공시의 한계 공차 범위로 결정하였으며, 이 때의 편향(deviation)은 1 min 이하이다. 여기서의 편향은 편심과 틸트가 합해진 양이므로 편심과 틸트를 각각 1 min 으로 두고 각각의 요소들에 대한 공차 허용범위를 결정하였으며 이를 적용하여 null 렌즈가 보상자 역할을 할 때의 각 파면에서의 RMS 변화를 살펴보았다. 분석결과, 약 $\lambda/30$ 정도의 측정 정밀도를 보였다.

본 연구에서는 공차 범위를 일정하게 변화시켜 가면서 어느 정도의 측정 정밀도까지 얻을 수 있는지를 확인하고 좀더 나은 측정 정밀도를 얻기 위한 방법에 대하여 생각해보고자 한다.

Tolerance	null lens 1		null lens 2		Test mirror
	front surface	rear surface	front surface	rear surface	
Delta fringe	±0.1	±1.0	±0.1	±1.0	
Irregularity	±0.05 fringe	±0.2 fringe	±0.05 fringe	±0.2 fringe	
X decenter		±0.001 mm		±0.08 mm	
Y decenter		±0.001 mm		±0.08 mm	
α tilt		±2'		±2'	±1'
β tilt		±2'		±2'	±1'
γ tilt					
Index	±0.001		±0.001		
Thickness	±0.03 mm		±0.03 mm		

표 1. 광학계의 제작 및 조립 허용 공차 범위

Tolerance	null lens 1		null lens 2		Test mirror
	rms of change in wavefront		rms of change in wavefront		
	front surface	rear surface	front surface	rear surface	
Delta fringe	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	
Irregularity	0.0024	0.0194	0.0044	0.0176	
X decenter		0.0000		0.0000	
Y decenter		0.0000		0.0000	
α tilt		0.0000		0.0000	0.0000
β tilt		0.0000		0.0000	0.0000
γ tilt					
Index	0.0000		0.0001		
Thickness	0.0000		0.0000		

표 2. 적용 공차에 대한 파면에서의 RMS 변화

1. W.J. Smith, "Modern optical engineering", McGraw-Hill, Inc., (1990)
2. 김연수, "비구면 측정 null 렌즈 설계 연구", 한국과학기술원, 박사학위논문, (2002)

F
A