

## Zernike Polynomial을 이용한 광학계의 정렬 방법 개발

Development of the Alignment Method  
using Zernike Polynomial

김성희\*,\*\*, 김석환\*, 양호순\*\*, 이윤우\*\*

\*연세대학교 천문우주학과, \*\*한국표준과학연구원

barlow@galaxy.yonsei.ac.kr

Two-mirror system telescope을 제작하는 경우 회절한계를 만족시키는 부경의 위치공차가 매우 작기 때문에 반드시 정밀한 정렬 과정을 거쳐야 한다. 본 연구에서는 이러한 부경의 위치를 알아낼 수 있는 방법으로 간섭계로 측정된 파면오차를 이용하여 부경의 위치를 파악하여, 정밀한 단계에서의 정량적인 정렬값을 알아낼 수 있도록 하였다.

간섭계로부터 얻어진 파면오차를 다루기 위해서 가장 널리 사용되는 Zernike polynomial fitting 방법을 사용하였다. 이 방법은 직교다항식에 파면오차값을 fitting하는 것으로, 각각의 다항식의 집합은 circular aperture에 맞게 계산되어 파면오차를 재구성할 수 있다. 이러한 목적으로 만들어진 Zernike polynomial에는 여러 종류가 있으나, 여기서는 일반적인 간섭계에서 쉽게 얻을 수 있는 fringe Zernike polynomial<sup>(1)</sup>을 사용하였다.

이러한 polynomial을 이용하면 임의의 파면오차를 갖도록 광학계를 재구성할 수 있다. Zemax 프로그램에서 Zernike polynomial의 계수들에 대하여 최적화시킬 수 있는 기능을 제공하므로, 실제로 측정된 광학계의 파면오차를 Zernike 계수들로 fitting하여 이상적인 광학계로부터 측정된 광학계의 정렬 상태를 역추적하는 것이 가능하다. fringe Zernike polynomial들의 항들은 각각 특정 수차를 대변한다. 정렬 과정에서 부경은 x, y 방향으로의 decenter 성분과 x, y축을 기준으로 한 Tilt 성분, 그리고 z 축 방향으로의 despace 성분의 다섯 가지 자유도(그림 1)를 가지게 된다. 이러한 자유도의 변화는 광학계에서 대략적으로 특정 수차를 야기하므로, 부경의 자유도와 fringe Zernike polynomial들의 항들이 관련되므로 Zernike 계수에 대한 최적화과정에서 부경의 위치를 파악할 수 있게 된다. 이러한 방법을 구현하기 위하여 측정된 대상의 Zernike 계수들을 입력하면 최적화과정을 거쳐 정렬값을 출력해주는 프로그램을 작성하였다.

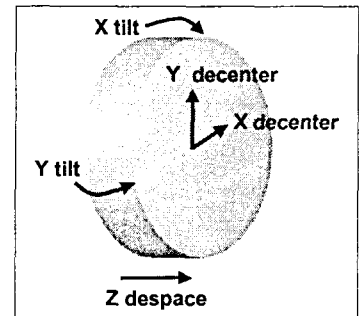


그림 1 부경의 자유도

실제 정렬 과정에서 오차에 영향을 줄 수 있는 것으로 측정과정에서 발생하는 평면미러와 간섭계를 움직이는 부정확도가 있다. 부경의 자유도가 다섯 가지이므로, 이를 보정해주기 위하여 표현되어지는 광학계의 측정 데이터도 다섯 가지가 필요하게 된다. 같은 광학계 내에서 조건이 다른 파면오차를 얻기 위해서는 사용되어지는 field에 따라 각각 데이터를 얻어야 한다. 이를 위하여 그림 2와 같이 간섭계의 초점면을 초평면의 원하는 위치에 고정시켜야 하고, 평면미러를 이에 맞게 tilt시켜주어야 한다. 각 element의 위치가 정확하게 지정되지 않았을 경우 정렬과정에 미치는 영향을 조사해 본 결과, 광축에서

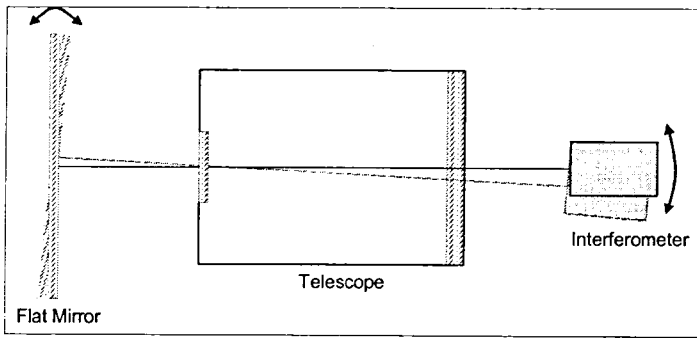


그림 2 다른 Field로부터 데이터를 얻는 과정

이러한 Zernike polynomial을 사용한 Zemax 내에서의 macro program 최적화 정렬 알고리즘은 대상에 대한 간접계 데이터만으로 1-2회의 optimize cycle을 통하여 정확한 값을 추정해 낼 수 있다. 실제로 대상의 target을 decenter/defocus  $\pm 0.2\text{mm}$ , tilt  $\pm 0.2\text{deg}$ 의 오차를 포함한 Zernike 계수들을 주었다. 그리고 주경에 가공된 미러 표면을 반영해준 후 최적화 정렬 알고리즘을 적용하였다. 그 결과 그림 3과 같은 값을 얻어내었다. 이에 따르면 1회의 optimize cycle만으로도 오차가 거의 없는 것으로 나타났다. 이러한 알고리즘은 현재 표준과학연구원에서 제작중인 900mm collimator의 부경을 정렬하기 위하여 사용할 예정이다.

는 약 0.2deg, 최대시야각에서 약 0.02deg 정도의 error가 들어갔을 경우 부경의 정렬과정에서 요구되는 공차값을 벗어나게 되었다.

또 다른 오차를 발생시키는 대상으로 주경과 부경의 가공오차가 존재한다. 실제 가공이 완료된 미러의 경우 가공면의 오차가 Zernike fitting시 계수에 영향을 주게 된다. 따라서 반드시 정렬과정에서 미러면의 오차를 반영해주어야 한다. 이를 위하여 측정된 미러표면을 디자인 파일에 추가하였다.

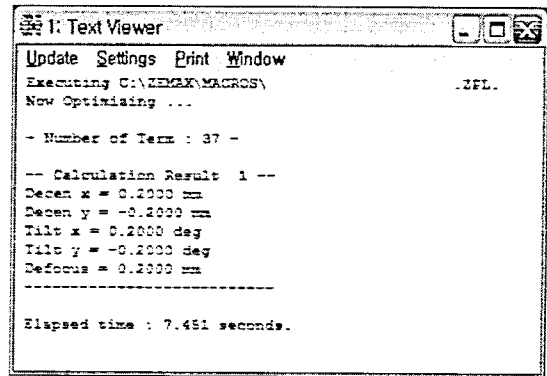


그림 3 alignment macro 실행 결과

참고문헌

[1] M. Born, and E. Wolf, "Principle of Optics", Pergamon Press, p.464 (1989).

