

Korsch 형태 망원경의 효율적인 정렬을 위한

파면수차 미분기법 수치모사 실험

Current progress in development of Differential Wavefront Sampling algorithm for efficient alignment of Korsch type telescope

김윤중^{1,2}, 양호순², 이운우², 김석환¹

¹연세대학교 천문우주학과, ²한국표준과학연구원

yjkim@galaxy.yonsei.ac.kr

1. 서론

정밀 광학계의 정렬과정에서 요구되는 공차는 수십 μm 정도이다. 정렬과정에서 광학계 구성품들을 공차 범위 이내로 정확히 배치하기 위하여 간섭계를 사용하여 정렬하는 방법이 연구되어 왔다⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾. 기존에 제시된 민감도를 이용한 방법과 Merit Function 회귀분석 법을 사용한 방법은 2면 반사경 광학계에서 부경의 정렬에 관한 연구가 있었다. 연구 결과 카세그레인 방식에서는 공차 범위 내로 정렬되고 있음이 밝혀졌다.⁽¹⁾⁽³⁾ 한편 본 연구 목표인 Korsch 형태 망원경은 4면 반사경 광학계로 그림 1 과 같은 모양을 갖고 있으며, 반사경의 개수가 증가함에 따라 파면수차의 효과가 중첩이 되어 정렬상의 어려움이 존재할 것이 예측되었다. 이에 전술된 기존 방법을 적용해 수치모사 하여 본 결과 정확하게 정렬 오차를 산출하여 내지 못하고 있음을 발견 하였다. 본 연구에서는 기존 방법과 파면수차 미분방법⁽²⁾을 비교하여 최적의 방법을 찾고자 하며 4면 반사경 광학계의 정확한 정렬을 위하여 Zernike 계수와 컴퓨터를 이용하여 자동 정렬하는 방법에 대하여 기술하고자 한다.

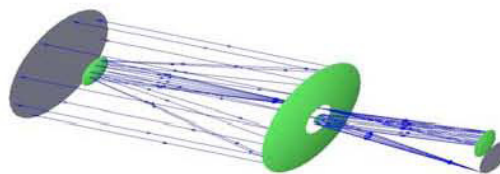


그림 1. Korsch 형태 망원경

2. 정렬 오차 산출 알고리즘

첫째로 민감도 방법과 Merit Function 회귀분석 법을 이용하여 일회에 한 개의 반사경만을 순차적으로 정렬 오차를 수치모사 하고자 하였다. 4개의 반사경 중 주경을 기준으로 2번째 반사경을 정렬하고, 주경과 2번째 반사경을 기준으로 3번째 반사경을 정렬하였다. 정렬이 어긋난 상황은 $D_x = 0.2 \text{ mm}$, $D_y = -0.2 \text{ mm}$, $T_x = 0.2^\circ$, $T_y = -0.2^\circ$ 로 지정하였다. D_x, D_y 는 z축에 대하여 x,y축으로 선형적으로 움직인 양을 나타내며 T_x, T_y 는 x,y 축에 대하여 회전된 양을 나타낸다. 입력한 정렬을 찾아내야 하는 목표 값은 아래에 계산된 모든 수치 모사에서 동일하게 입력되었다. 민감도를 이용한 방법은 정렬을 찾아내야 하는 목표 값을 0.2mm , 0.02° 이내의 오차로 정렬을 하였으며 Merit Function 회귀분석 법은 10^{-5} mm 와 10^{-5}° 이내로 정렬오차가 산출 되었다. 정렬이 어긋난 초기상황을 그림 2에, 민감도를 이용하여 정렬한 결과를 그림 3에, Merit Function 회귀분석 법을 이용하여 정렬한 결과를 그림 4에 표현하였다.

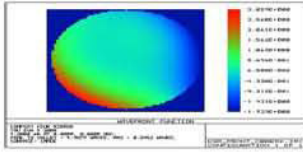


그림 2. M2 정렬오차 설정

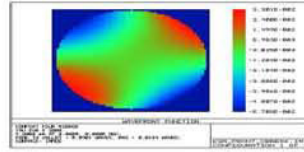


그림 3. M2 민감도 방법 결과

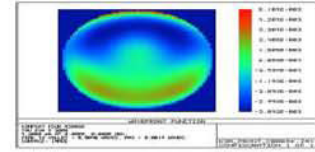


그림 4. M2 Merit Function 결과

두 방법 모두가 한 개의 광학 부품에 대해서 정렬이 어긋난 상황을 잘 추정하므로 두 번째로 민감도 방법과 Merit Function 회귀분석 법을 적용하여 2번째와 3번째 반사경을 동시에 정렬하고자 시도하였다. 수치모사 결과 민감도 방법에서는 결과가 공차범위 0.02 mm, 0.02 ° 를 넘어서는 2 mm , 0.4 ° 가 도출되었다. 이로부터 민감도 방법은 Zernike 계수의 선형성을 가정하여 계산하기 때문에 공차 범위를 벗어나는 결과를 보정할 방법이 없음을 알 수 있었다. Merit Function 회귀분석 법의 경우 2번째와 3번째 반사경을 동시에 정렬하기 위하여 유전자 알고리즘을 사용하였다. 사용 결과 0.3 mm 와 0.3 ° 이내에서 2번째와 3번째 반사경의 정렬오차를 10^{-4} mm, 10^{-4} ° 이내의 정확도로 추정 할 수 있었으며, 이는 계산 정밀도는 공차한계내로 수렴하였으나, 반면에 계산 시간은 40분 정도가 소요되어 실제 정렬 실험에서 적용하기엔 현실적인 어려움이 있는 것으로 판단된다.

이미 연구된 기존의 방법론들은 다중 반사경 시스템의 경우 2번째 반사경의 파면수차 효과가 3번째 반사경의 파면수차 효과와 중첩이 되어 정확한 정렬 오차 산출에 한계점을 가지고 있으므로 이를 극복 하기위해 파면수차 미분 방법을 연구 중 에 있다. 이 방법은 정렬이 틀어진 상황의 파면수차를 미분하여 얻은 계수가 정렬 요소와 관련이 있는 것을 이용한다. 현재 까지 광 축 상에 위치한 광학계에 대해서만 연구가 진행되었었던 기본적인 이론의 틀⁽²⁾을 적용하여 3면 반사경 광학계에서 2번째 반사경과 3번째 반사경을 동시에 정렬한 방법이 보고되었었다. 본 연구에서 정렬 방법이 비교적 간단한 카세그레인 형태의 망원경 부정 정렬 오차 산출에 파면 수차 미분 기법을 적용해 본 결과는 표 1 과 같다.

Case	변수	정렬 요구량	파면수차미분	오차
M2	Dx (mm)	0.5000	0.4998	0.0002
	Dy (mm)	-0.8000	-0.8003	0.0003
	Tx (°)	0.3000	0.2999	0.0001
	Ty (°)	-0.4000	-0.3998	0.0002

표 1. 파면수차 미분법을 카세그레인 부경에 적용 결과

현재 연구의 주된 방향은 파면수차 미분법을 비축 광학계에 적용하기 위한 기법을 개발 중 이다. Korsch 형태 망원경은 비축 광학계로 광축 광학계에 적용된 파면수차 미분법을 그대로 적용한 결과 Dy=0.6 mm, Tx=0.4 ° 의 오차를 보여 정확한 정렬이 되지 않는 것을 확인하였다. 현 단계의 초기 알고리즘을 2면 반사경 광학계에 적용해 본 결과를 바탕으로 4면 반사경 광학계에 적용하기 위한 분석을 진행하고 있다. 연구 결과를 토대로 Korsch 형태 망원경의 2번째와 3번째 반사경을 동시에 정렬하는 실험을 수행 할 예정이다.

참고문헌

- (1) S. Kim, H. -S. Yang, Y. -W. Lee, and S. -W. Kim, "Merit function regression method for efficient alignment control of two-mirror optical systems," Opt. Express 15, 5059-5068 (2007)
- (2) H. Lee, G. B. Dalton, I. A. J. Tosh, and S. -W. Kim, "Computer-guided alignment II :Optical system alignment using differential wavefront sampling," Opt. Express 15, 15424-15437 (2007)
- (3) E. D. Kim, Y.-W. Choi, M.-S. Kang, and S. C. Choi, "Reverse-optimization alignment algorithm using Zernike sensitivity," J. Opt. Soc. Kor. 9, 67-73 (2005).