

Korsch 형태 망원경의 효율적인 정렬을 위한 일반화된 파면수차 미분법의 개발

Development of Generalized Differential Wavefront Sampling Method for Efficient Alignment of Korsch Type Telescope

김윤중*, 양호순**, 이운우**, 김석환*

*연세대학교 천문우주학과, **한국표준과학연구원

yjkim@galaxy.yonsei.ac.kr

1. 서론

복잡한 대구경 광학계의 정밀조립과 측정은 효과적인 정렬 방법의 사용을 통하여 파면오차 RMS를 줄임으로 얻을 수 있다. 그러나 복잡한 광학계의 정렬과정에서는 구성요소들 간의 파면중첩 효과에 의해 공차범위 이내로 정렬하는 것이 어렵다⁽¹⁾. 정렬 과정에서 광학계 간의 복잡한 내부 영향과 파면의 중첩 효과를 이해하기 위해서 광학부품의 파면을 각 방향별로 편미분한 값과 광학부품의 이동양으로부터 산출한 값을 통하여 정렬오차 값을 찾는 파면수차 미분법⁽¹⁾을 적용하였다. 기존의 파면수차 미분법을 비축 광학계에 직접적으로 적용한 결과 부정확한 값을 보여주고 있었다. 본 연구를 통하여 기존의 방법론에 비축 보정 항을 추가한 일반화된 파면수차 미분법을 개발하고 그림 1과 같은 비축의 4면 반사경으로 구성된 Korsch 광학계의 부경과 세 번째 거울 정렬에 적용한 결과 3회 반복을 통하여 공차 범위 이내로 정렬이 되는 것을 확인하였다. 이 방법론으로는 기존의 방법에서 불가능 하였던 광원의 위치 부정확도마저 계산할 수 있는 장점이 있음을 파악하였다. 본 논문에서는 계산과정, 수치모사 결과, 향후 적용에 대해 논하고자 한다.

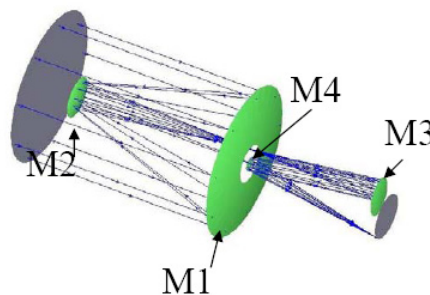
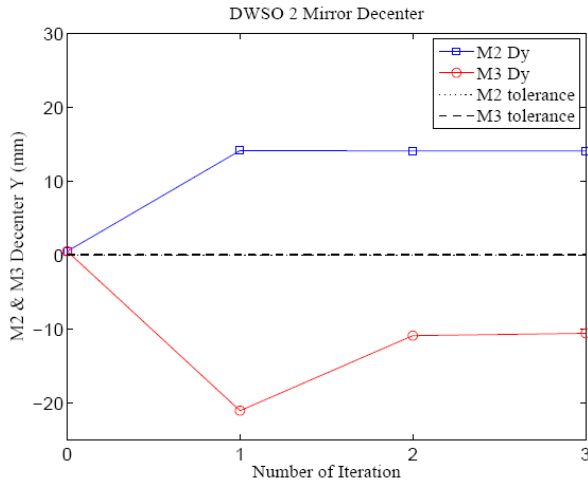


그림 1. Korsch 형태 광학계

2. 일반화된 파면수차 미분법

복수의 광학면에 의한 파면중첩의 효과를 극복하기 위해 파면을 선형적이라는 가정에서 벗어나 제곱의 형태라고 가정하여 오차를 줄이는 방법^{(1),(2)}이 제시되었다. 제곱 형태로 파면을 가정한 후 파면을 2차 미분한 계수와 1차 미분한 계수를 이용한 파면수차 미분법을 적용하면 다수의 광학면을 정렬 할 때 광학계 상호간 발생하는 중첩효과를 극복할 수 있음이 보고되었다⁽¹⁾.

(a) 기존의 파면수차 미분법을 이용한 Dy 결과



(b) 일반화된 파면수차 미분법을 이용한 Dy 결과

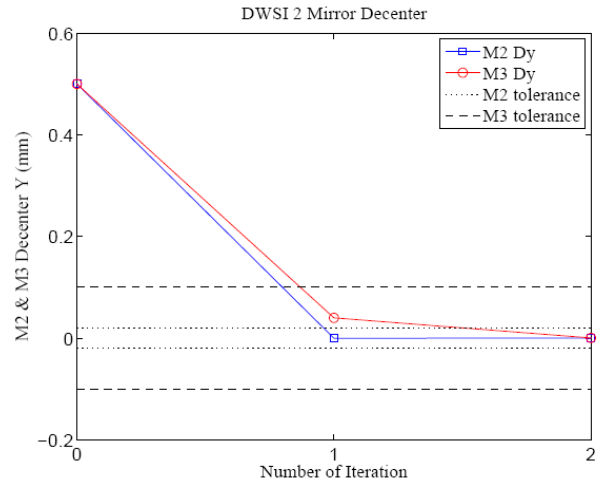


그림 2. Korsch 광학계의 M2, M3에 0.5 mm 의 초기 오차를 설정 후 기존의 파면수차 미분법(a)과 일반화된 파면수차 미분법(b)을 적용한 결과 비축 보정항이 추가된 일반화된 파면수차 미분법을 적용하면 비축 효과를 극복할 수 있음을 도출하였다.

기존의 파면수차 미분법을 이용하여 그림 1과 같은 Korsch 형태 광학계의 M2, M3의 y축 편심(Dy) 정렬에 적용하였다. 초기 오차를 0.5 mm 입력한 결과 그림 2-(a)와 같이 M2, M3의 Dy 정렬 추적 결과 값이 특정 값에서 머무는 것을 확인 할 수 있었다. 기존의 방법론이 축상(on-axis)에 대해서 도출된 결과 이므로 그림 2-(a)와 같이 공차범위 이내로 수렴하지 않는 것은 비축 효과를 고려하지 않았기 때문이다. 일반화된 파면수차 미분법은 비축 보정항을 추가하여 파면수차 미분법의 적용 대상범위를 비축 광학계 까지 확장시킨 것으로 동일한 초기 입력오차에 대해 적용한 결과 그림 2-(b)와 같이 한 번의 계산으로 M2, M3이 공차 범위 이내로 정렬 추적계산이 되며 2회 계산 결과 초기 오차를 제거하고 있음을 확인할 수 있었다.

뿐만아니라 비축효과를 추가한 일반화된 파면수차 미분법을 적용하면 광학계의 정렬오차 뿐만 아니라 광원의 위치 부정확도도 한 번의 계산으로 추적 할 수 있었다. 광원의 위치 부정확도로 인한 수차효과가 광학계에 의해 발생된 수차효과보다 크므로 광학계의 오차 정렬에 비해 잔여오차가 적게 정렬 추적계산이 되었다. 따라서 기존의 파면수차 미분법에서 계산하지 못하였던 비축 광학계의 정렬 추적 계산을 일반화된 파면수차 미분법을 적용하면 광원과 광학계의 정렬 추적계산이 가능하다.

참고문헌

1. H. Lee, G. B. Dalton, I. A. J. Tosh, & S.-W. Kim, 2007b "Computer-guided alignment II : Optical system alignment using differential wavefront sampling" Optics Express Vol. 15, No. 23 pp.15424- 15437
2. R. N. Youngworth & B. D. Stone 2000 "Cost-based tolerancing of optical systems" Applied Optics Vol. 39, No. 25 pp.4501-4512