Zernike merit function 최적화 방법을 이용한 900 mm 시준기의 정렬

Alignment for 900 mm collimator using Zernike merit function optimization method

김성희*,**, 김석환*, 양호순**, 이윤우**, 이인원**
*연세대학교 천문우주학과, **한국표준과학연구원
barlow@galaxy.yonsei.ac.kr

두 개의 미러를 사용하는 광학계의 부경을 정렬하기 위하여 Zernike 민감도를 이용한 최적화 방법을 보완하는 merit function 최적화 방법을 개발하였다. 이렇게 개발된 Merit function 최적화 방법을 한국표준과학연구원에서 제작한 900 mm 시준기의 부경을 대상으로 시험해보았다.

900 mm 시준기는 Ritchey-Chretien 방식의 광학계로 800 mm 이하의 우주용 망원경 등의 다양한 광학계의 성능을 측정하는 데 사용된다. 이 때 시준기의 수차로 인하여 측정 대상의 성능에 영향을 받지 않아야 하므로 시준기의 성능은 diffraction limited 이어야 한다. 따라서 부경의 정밀한 정렬이 요구되며, 이때 요구되는 허용 중심 이동량은 0.03 mm, 기울기 0.005 deg 이다.

현재까지 개발된 정밀 정렬 방법은 역최적화 방법(reverse-optimization)[1,2]으로 Zernike 민감도값을 이용하여 최적화를 수행하여 부경의 이동량를 계산한다. 그러나 실제 이 방법을 적용했을 때 중심 이동 오차가 수십 μm 정도 발생하였다. 이는 그림 1과 같이 민감도 값이 크지 않은 변수가 포함되었거나 민감도 기울기가 2차함수와 같이 선형적이지 않는 변수로 인한 오차가 포함되었을 것으로 예상된다. 따라서 이러한 오차를 줄이기 위하여 ZEMAX 광학 디자인 프로그램의 merit function 을 이용하는 최적화 방법을 개발하였다.

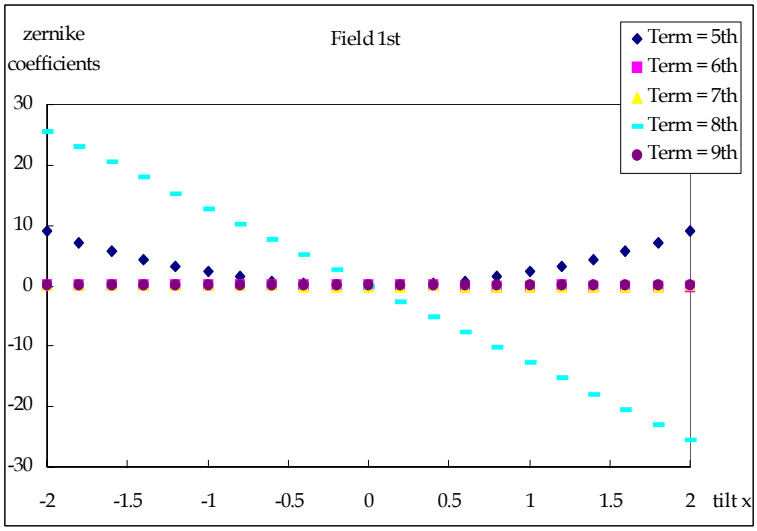

그림 1 부경 x축 기울어짐에 대한 Zernike 계수의 변화 양상

900 mm 시준기는 그림 2와 같이 평면 미러를 사용하여 성능을 측정하였다. USAF 대상의 크기에 해당하는 전 시야각 0.14 deg 에 대하여 원하는 성능을 얻기 위해서는 그림 2와 같이 평면 미러와 간섭계를 움직여야 한다. 측정 시 시야각의 정확도는 광축에서 ±0.02 deg, 비축에서 ±0.01 deg 내로 위치하여야 하며, 이를 위해서 초평면에 마운트를 사용하여 2 mm 이내의 구멍을 통하여 정확한 위치를 맞출 수 있게 하였다.

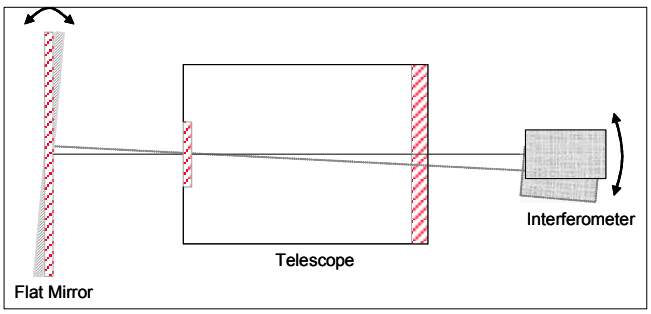

그림 2 시준기의 성능 측정 방법

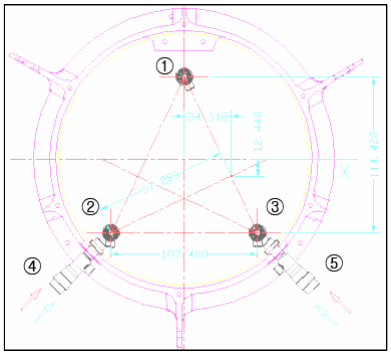

그림 3 부경 지지대 구조의 마이크로미터 위치

표 1 마이크로미터와 부경 움직임 사이의 관계

moving value	$\Delta(1)$	$\Delta(2)$	$\Delta(3)$	$\Delta(4)$	$\Delta(5)$
Δx	0	0	0	$\frac{\sqrt{2}}{2}\Delta x$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}\Delta x$
Δy	0	0	0	$-\frac{\sqrt{2}}{2}\Delta y$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}\Delta y$
$\Delta\theta_x$	$a\tan\Delta\theta_x$	$b\tan\Delta\theta_x$	$b\tan\Delta\theta_x$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}c\tan\Delta\theta_a$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}c\tan\Delta\theta_a$
$\Delta\theta_y$	0	$d\tan\Delta\theta_y$	$-d\tan\Delta\theta_y$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}c\tan\Delta\theta_t$	$\frac{\sqrt{2}}{2}c\tan\Delta\theta_t$
Δz	Δz	$-\Delta z$	$-\Delta z$	0	0
total	$a\tan\Delta\theta_x+\Delta z$	$b\tan\Delta\theta_x$ $+d\tan\Delta\theta_t$ $-\Delta z$	$b\tan\Delta\theta_x$ $-d\tan\Delta\theta_y$ $-\Delta z$	$\frac{\sqrt{2}}{2}[(\Delta x-\Delta y$ $-c(\tan\Delta\theta_a$ $+\tan\Delta\theta_y)]$	$\frac{\sqrt{2}}{2}[(\Delta x+\Delta y$ $+c(\tan\Delta\theta_t$ $-\tan\Delta\theta_y)]$

900mm 시준기는 그림 3과 같은 부경 지지대 구조를 갖고 있으며 5축 조절 마이크로미터를 사용하여 정밀한 위치 조정이 가능하다. 각각의 마이크로미터들은 광축 상에 놓여있지 않으므로 정렬 과정에서 적용되는 중심 이동량과 기울기량을 마이크로미터의 움직임으로 변환시켜주어야 한다. 표 1은 자유도에 따른 부경 이동량을 각 마이크로미터의 움직임으로 변환시켰다.

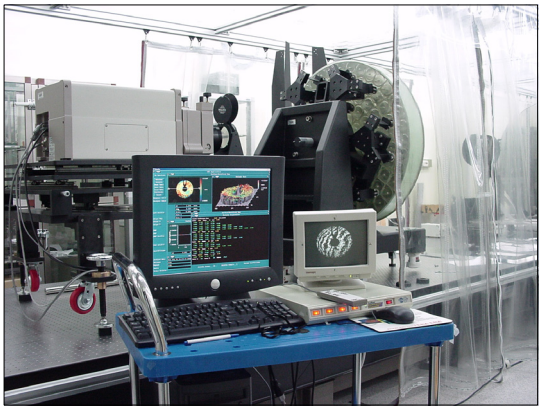

그림 4 시준기의 파면오차 측정 모습

시준기는 다음 그림 4와 같이 간섭계를 통하여 성능을 측정하였으며 정렬된 부경에 대하여 표 2에 제시된 target 값만큼 부경을 움직였다. 총 다섯 가지 시야각으로부터 측정된 결과에 대하여 Zernike fitting을 수행한 후 민감도 표를 이용한 방법과 merit function을 이용한 방법을 사용하여 해를 얻었다. 그 결과 표 2와 같은 오차를 보였으며 merit function 최적화 방법에 의한 해가 오차가 더 적음을 알 수 있었다.

표 2 두 가지 방법의 오차

freedom	target	sensitivity table method	merit function optimization
dx (mm)	0.100	-0.022	-0.011
dy (mm0	-0.100	0.562	0.001
tx (deg)	-0.050	0.039	0.013
ty (deg)	0.050	-0.045	-0.003

참고문헌

1. Eugene D. Kim et al, "Reverse-Optimization alignment algorithm using Zernike sensitivity", JOSK 9(2), pp 68-73 (2005)
2. Robert O. Gappinger and John E. Greivenkamp, "Iterative Reverse Optimization Procedure for Calibration of Aspheric Wave-Front Measurements on a Nonnull Interferometer", Applied Optics, Vol. 43, Issue 27, pp. 5152-5161 (2004)