

적외선 줌 광학계 민감도 분석과 그 응용

Sensitivity Analysis for Infrared Zoom Optics and Its Applications

최세철, 김연수, 김창우, 김현숙, 홍석민
국방과학연구소
sechol@hitel.net

I. 서론

민감도 분석이란 이론적으로 설계된 광학계에 인위적으로 제작 및 조립상의 오차를 발생시켜서 광학계의 성능 변화를 해석하는 것을 말한다. 예를 들면, 렌즈 제작시의 곡률반경 오차, 렌즈를 조립할 때의 위치 오차 및 렌즈의 tilt 오차 등에 대해서 광학계의 성능이 얼마나 민감하게 반응하는지를 해석하는 것이다.

여기서는 이러한 민감도 분석 기법을 이용하여 적외선 줌 광학계의 광학부품 제작과 조립/조정 공차 도출, 원거리/근거리 전환에 필요한 초점 조절용 파라메타 선정, 비열화 보상을 위한 초점 조절용 파라메타 선정 등에 활용한 결과를 기술하고자 한다.

II. 본론

그림1은 전방관측 적외선 장비의 열상모듈용 광학계로 파장대역 3-5 μ m, 1-20배의 배율을 갖는 줌 광학계이다^[1]. 설계된 줌 광학계는 5군 8매의 Ge, Si 렌즈로 구성되어 있으며, 320 \times 240개의 화소를 갖는 2차원 적외선 검출기로 영상정보를 획득하도록 설계되었다. 배율렌즈와 보상렌즈를 서로 반대방향으로 움직이면 광학계 배율이 변하게 되어 있다. 이러한 줌 구동을 위해 배율렌즈와 보상렌즈에는 스텝 모터가 장착되어 있다.

100m 전방의 근거리 물체의 정확한 영상 정보를 획득하기 위해서는 초점조절 기능이 필요한데, 이상적인 경우라면 대물렌즈를 조정하여 모든 줌 위치에서 초점이 정확히 맞게 할 수 있다. 그러나 시스템 측면에서 보면 비교적 큰 렌즈에 조정 메카니즘을 장착하기 보다는 이미 줌 구동을 위해 조장 메카니즘이 장착되어 있는 배율렌즈와 보상렌즈를 사용하면 더욱 효율적일 것이다. 이것의 가능성을 알아보기 위해 모든 줌 위치에서 각 렌즈의 축상 미소변위에 대한 defocus 민감도를 구하고 그 특성을 조사하였다.

• 최고배율(20배)

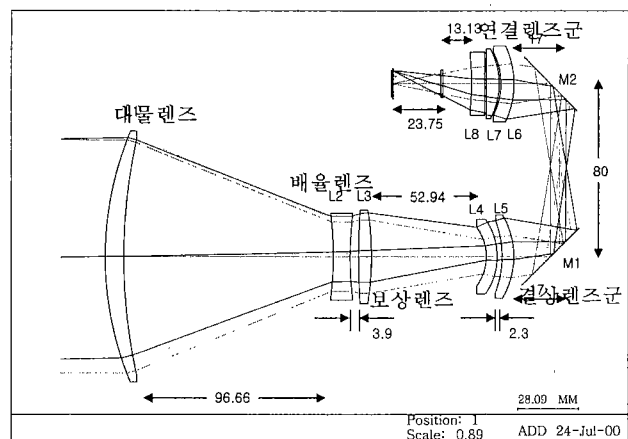


그림 1. 적외선 20배 줌 광학계

그림 2는 줌 위치에 따른 defocus의 민감도를 나타낸 것으로 대물렌즈, 배율렌즈, 보상렌즈는 줌 위

치에 따라서 민감도가 서로 다르지만 결상렌즈 1의 경우는 줌 위치에 따라서 일정한 민감도를 가진다. 결상렌즈 2와 연결렌즈군 3개의 렌즈도 줌 위치에 따라 일정한 민감도를 갖는다. 한편 그림 3은 광학계가 100m 물체를 볼 때 줌 위치별로 발생하는 defocus 수차를 나타낸 것으로 8배 이하의 저배율 영역에서는 발생하는 defocus의 양이 $0.15 \lambda_{rms}$ 이하로 매우 작아 조정이 필요치 않다. 만약 배율렌즈를 사용한다면 배율렌즈의 민감도는 1배에서 11배까지 거의 0에 가깝다. 즉, 아무리 조정을 하여도 defocus를 보상할 수 없다. 1배에서 8배까지는 오히려 문제가 되지 않지만 8배에서 11배 사이에서는 초점조정이 필요하지만 배율렌즈로는 defocus 보정을 할 수 없다. 보상렌즈의 경우에는 오히려 저배율 영역이 문제가 된다. 그림 4는 보상렌즈를 0.94mm 이동했을 때 각 줌 위치별 잔류 defocus 오차를 나타낸 것으로 8배 이하의 저배율 영역에서 문제가 됨을 알 수 있다. 하지만 8배에서 20배까지는 아주 정확하게 초점조절이 가능함을 알 수 있다. 즉, 8배 이하의 저배율에서 보상렌즈가 원위치로 간다면 모든 줌 위치에 대해서 초점이 잘 맞는 영상을 얻을 수 있다. 따라서 보상렌즈가 초점조절용 렌즈로 적당함을 알 수 있다. 즉, 초점 조절 기능은 만약 사용자가 고배율 영역에서 초점조정을 하였다면 8배에서 10배까지는 그 조정량을 유지하지만 8배 이하에서는 원래위치로 돌아가도록 한다면 모든 줌 위치에서 초점이 잘 맞는 영상을 관측할 수 있다.

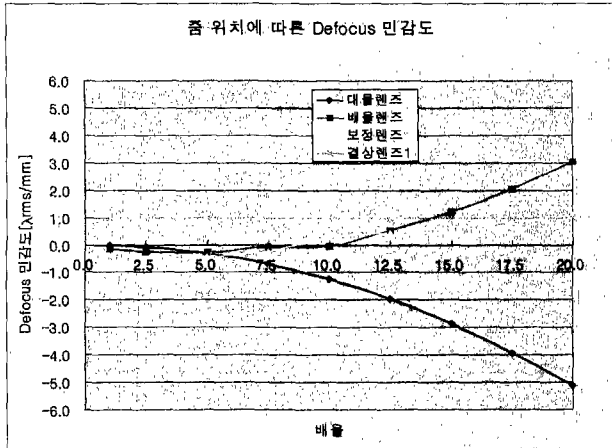


그림 2. 각 렌즈의 줌 위치에 따른 Defocus(C5) 민감도 특성

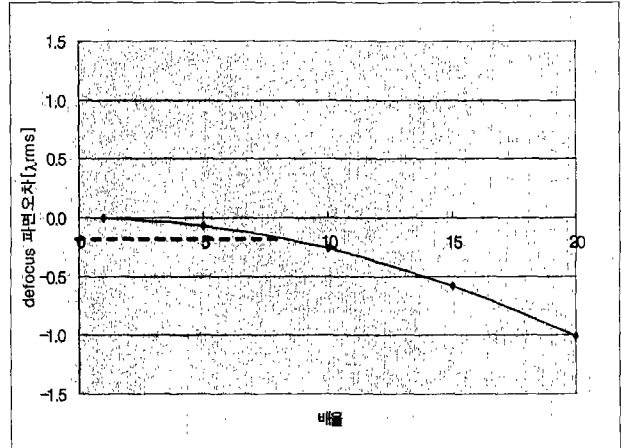


그림 3. 원거리(∞)에서 근거리(100m) 변환 시 줌 위치에 따라 발생하는 defocus(C5) 파면오차

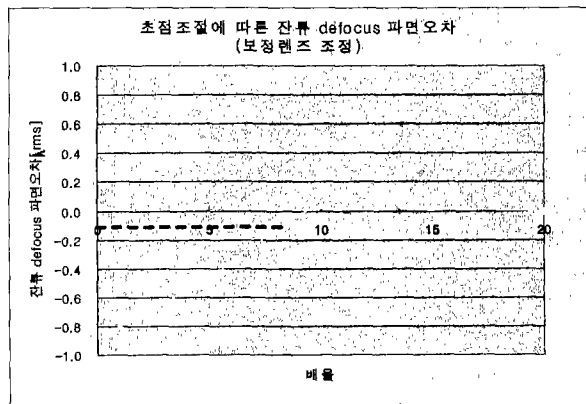


그림 4. 보상렌즈를 조정 시 줌 위치별 잔류 defocus(C5) 파면오차

이러한 민감도 분석의 또 다른 응용으로 렌즈의 제작 및 조립공차 분석을 수행하였으며, 비열화 보정 방안을 수립하여 현재 시스템에 적용되어 있다.

III. 결 론

민감도 분석 기법을 적외선 줌 광학계에 적용하여 초점 조절방안에 대해 자세히 언급하였으며, 렌즈의 제작 및 조립공차 분석 및 비열화 방안 등에 적용하여 매우 효율적인 광학계 제작 및 조립, 초점조절과 같은 기능 부여 등을 할 수 있음을 확인하였다.

IV. 참 고 문 헌

1. 김현숙, 김창우, 홍석민, "3.7-4.8 μm 파장대역 FLIR 시스템을 위한 20:1 줌 렌즈 광학계 설계 및 제작", 한국광학회지 10, 462-467 (1999).