고분해능 줌 열상카메라 광학계 설계

Optical Design for High Resolution Thermal Imaging Camera with Zoom

김현규*, 김현숙, 이국환, 김창우, 박용찬
국방과학연구소 기술연구본부
*hkim@add.re.kr

1. 개요

최근 열상장비의 수요가 점차 증대하고 있으며, 고성능 고밀도 적외선 검출기의 개발이 진전되면서 고분해능 열상카메라의 개발이 가속화되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 원거리 표적 영상정보 획득을 위하여 8㎛ -12㎛ 대역의 파장에서 16:9의 양상비를 갖고, 60만화소의 고화질 HDTV 구현이 가능한 광시계 열상카메라 광학계를 설계하였다.

열상카메라는 망원경 광학계와 주사광학계로 구분되며 병렬주사방식을 채택하고 줌 기능을 갖도록 하였다. 줌 망원경 배율은 5배에서 15배까지 연속적으로 변화시키며 쓸 수 있도록 하였다. 본 논문은 줌 망원경 광학계 설계를 위주로 기술하였으며, 주사광학계 설계에 대한 부분은 별도의 논문에서 자세히 기술하였다.[1]

2. 설계사양

줌 망원경의 고배율 시야는 2.67° × 1.5° 이며, 저배율 시야는 8.0° × 4.5° 인 줌비 3:1의 줌 광학계이다. 줌 망원경 광학계의 성능에 대한 설계목표는 검출소자 한 개의 크기인 28㎛에 해당하는 순간시야(instantaneous field of view) 2개를 한 주기로 하는 공간주파수를 기준으로 하여 줌 망원경의 출사동에서 계산한 기준주파수인 556 cycle/rad에서 시스템의 F/수인 F/2.5와 중심파장 9㎛에 대한 이론적인 광학계 설계 한계치인 회절 한계 MTF 값을 구해보면 0.5 이다. 따라서 줌 망원경 광학계의 MTF 목표성능은 제작 및 조립에서의 성능저하를 고려하여 축상(on-axis)에서 회절 한계값의 90%인 0.48로 하였으며, 주사광학계의 수평시야 끝인 40°에서는 회절 한계값의 60% 수준인 0.3으로 정하였다. 망원경의 광 투과율은 시스템 전체의 투과율을 고려하여 75% 이상으로 하였으며, 이를 만족시키기 위한 망원경 전체의 렌즈 매수는 7매 내외로 제한하였다.

3. 설계 개념

망원경의 줌 방식은 상면의 안정성과 요구되는 광학적 성능을 고려하여 기계보정식 4군 줌 렌즈 방식으로 하였으며, 배율변화는 망원경의 대물부에서 이루어지며 시준렌즈를 고정초점 렌즈로 구성하는 Keplerian 형태로 구성하였다.

줌 망원경의 설계개념을 가시적으로 표현하면 그림 1과 같다. 줌 대물부의 전체적인 광학계 구성은 전장길이를 고려하여 텔리포토(telephoto) 형태로 구성하고 구경이 제일 큰 대물렌즈는 밀폐와 구동성을 고려하여 고정하였다. 망원경의 배율변화는 배율렌즈 및 보정렌즈를 움직여 이루어지며 별도의 초점조절 렌즈를 두어 물체의 거리에 따른 초점을 조절할 수 있도록 하였다. 또한, 최종적으로

고정초점 시준렌즈를 대물부 뒤에 놓아 무초점(afocal)의 망원경을 구성하였다

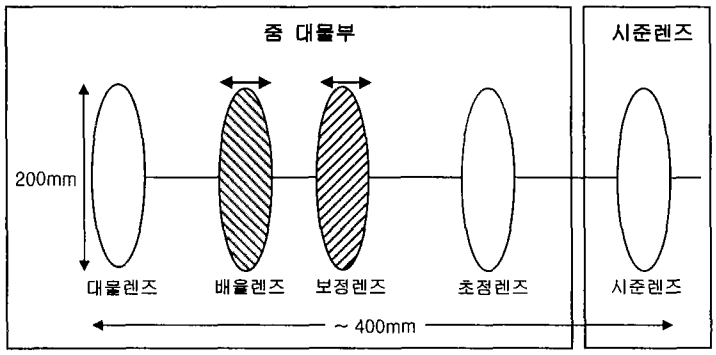

그림 1. 줌 망원경 광학계 설계개념

4. 설계 결과

망원경의 시야는 목표했던 대로 고배율과 저배율에서 각각 2.67° × 1.5° , 8.0° × 4.5° 로 설계되었으며, 전체길이는 목표로 했던 길이보다 훨씬 작은 341.0mm로 설계하여 시스템의 부피를 전체적으로 줄일 수 있게 하였다. 또한 5배에서 15배의 배율을 바꾸기 위해 필요한 배율렌즈와 보정렌즈의 움직이는 거리(stroke)를 22.65mm, 38.04mm로 하였으며, 무한대 거리부터 100m 표적까지 초점을 맞추는데 필요한 초점조절 렌즈의 이동거리는 고배율에서 0.9mm, 저배율에서 0.1mm로 계산되었다. 광학계를 구성하는 렌즈매수는 총 5군 8매의 렌즈로 설계되었으며 사용된 비구면 렌즈의 수는 총 2매를 사용하여 회절 한계에 가까운 우수한 광학적 성능을 보이도록 하였다. 그림 2는 주사광학계를 포함하여 최종 설계된 줌 열상카메라의 고배율에 대한 광학계의 layout을 보여준다.

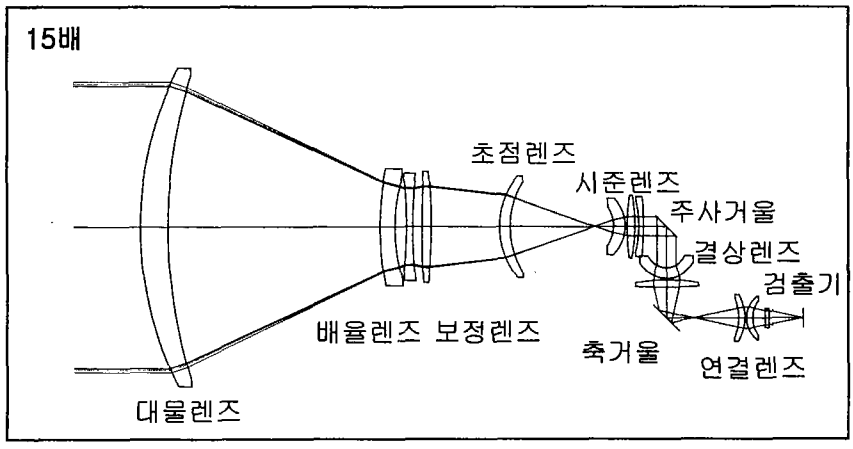

그림 2. 줌 열상카메라 광학계 layout

참고문헌

1. 이국환, 김현숙, 김현규, 김창우 "고분해능 열상카메라 주사광학계 설계" 한국광학회 하계학술발표회 (2001)