

이중배율 열상카메라에 대한 민감도 분석 및 응용

Sensitivity Analysis and its Applications for Thermal Imaging Camera with Dual Magnification

김현숙*, 김창우, 김현규

국방과학연구소 기술연구본부

*rtskhs@add.re.kr

1. 개요

최근 열상장비의 수요가 점차 증가하고 있으며, 고성능 고밀도 적외선 검출기의 개발이 진전되면서 고 분해능 열상카메라의 개발이 가속화되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 $8\mu\text{m}\sim 12\mu\text{m}$ 파장대역에서 두 가지로 배율전환이 가능한 열상카메라를 설계하고 이에 대한 광학계의 민감도(sensitivity)를 분석하였다.

민감도 분석이란 이론적으로 설계된 광학계에 인위적으로 제작 및 조립상의 오차를 발생시켜서 광학계의 성능 변화를 예측하고 해석하는 일이다. 예를 들면 렌즈 제작 시의 곡률반경 및 두께 공차, 렌즈 조립/조정시의 위치오차 및 렌즈의 tilt 오차들에 대해서 광학계의 성능이 얼마나 민감하게 반응하는지를 해석하면 이들에 대한 분석 결과를 모든 광기구적인 설계(optomechanical design)나 성능분석의 기초 자료로서 유용하게 사용할 수 있다.

민감도 분석의 결과는 여러 가지로 응용될 수 있으며 열상카메라에 대해서만 그 쓰임새를 열거해보면 광학부품의 제작 및 조립/조정 공차 도출, 조립/조정시의 조정 파라메타 선정, 조립/조정 절차 분석, 물체의 위치에 따른 광학계의 초점조절용 파라메타 선정 및 조정량 분석, 비열화 보상을 위한 렌즈군의 설정 및 이동량 분석 등 그 응용이 매우 다양하다.

2. 민감도 분석의 원리

광학계에 대한 영상의 질(image quality)을 평가하는 파라메타로는 파면오차(wavefront error)와 MTF(Modulation Transfer Function)가 있다. 파면오차는 Zernike Polynomial로 표현이 가능한데 Zernike Polynomial의 각 항의 계수(Zernike 계수)는 광학계의 미소변위에 대해서 선형적으로 변한다. 따라서 임의의 적당한 오차 범위 내에서의 선형적인 변화의 기울기, 즉 각 Polynomial 항의 민감도를 알면 다른 값의 오차에 대해서도 Zernike 계수 값을 알 수 있을 뿐만 아니라 결국 파면오차 값을 알 수 있기 때문에 매우 편리하게 광학계의 성능분석을 수행할 수 있다. 또한 Zernike 계수는 부호를 가지기 때문에 만약 초점조정을 한다면 어떤 방향으로 해야 할 지를 알려준다. 그러나 MTF는 광학계의 최종 성능을 규정하는 파라메타로는 널리 쓰이지만 민감도 해석에 있어서는 파라메타 자체의 비선형성으로 인해 사용이 다소 어렵다.

3. 이중배율 열상카메라

이중배율 열상카메라는 시스템의 배율 변화를 주는 이중배율 적외선 망원경과 평행광을 검출기면에 결상시켜주는 주사광학계로 구성된다. 이중배율 적외선 망원경은 특정 렌즈를 광축의 앞·뒤로 움직여 배율을 바꾸고 동시에 표적의 거리에 따른 초점조절의 역할도 한다. 적외선 망원경 광학계의 시야는 $3.0^\circ \times 2.5^\circ$ 와 $10^\circ \times 7.5^\circ$ 의 두 가지 시야가 가능하며, 주사광학계의 시야는 $30.0^\circ \times 22.5^\circ$ 이다.

광학계의 성능분석을 위한 기준주파수는 18 cycle/mm로 광학계의 MTF 성능 등 각종 성능을 분석하고 비교하기 위한 기준이 된다. 본 이중배율 열상 카메라에 대한 축상(on-axis) 다과장 MTF 성능은 기준주파수에서 회절 한계값의 90%, 수평시야의 끝에서는 회절 한계값의 60% 수준으로 정하였으며 광학계 투과율은 70% 이상을 유지하도록 하였다.

4. 민감도 분석 및 그 응용

이중배율 열상카메라의 광학부품을 제작하기 위한 공차의 결정, 제작오차와 조립/조정 오차에 의해서 발생하는 상면의 defocus 보상을 위한 조정렌즈의 결정 및 이동량 예측 등 이중배율 열상카메라의 제작과 관련된 다양한 응용을 위해 민감도 분석을 수행하였다.

민감도 분석을 위한 오차 발생 양은 통상적인 렌즈 가공 공정에 의해 발생하는 오차를 적용하여 곡률반경은 0.1%를 대물렌즈를 제외한 모든 렌즈에 적용하였으며 두께 오차는 0.05mm를 주어 분석하였다. 대물렌즈는 다른 렌즈들에 비해 상대적으로 매우 큰 굴절능을 가지므로 매우 예민한 민감도를 갖게 되므로 이것을 감안해 곡률반경에 대한 오차를 0.05% 주어 분석하였다. 1차적인 분석은 defocus(C5) 및 구면수차(C13)에 대하여 수행하였으며 이들 결과를 이용하여 이중배율 열상카메라에 대한 제작도면의 작성 및 조립/조정 절차에 활용하였다. 또한 민감도 분석의 결과는 물체의 위치 변화에 따른 상면의 이동을 보상하기 위한 초점 조절량 분석과 온도변화에 따른 상면의 변화를 보상하기 위한 비열화 분석 등에도 활용하였다.

참고문헌

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