

장파장 적외선영역에서 F/1.0 광학계의 비열화 분석

Analysis of Athermalization for F/1.0 Optical System in Long Wavelength Infrared

김현수*, 이동한*, 김현규*
 충남대학교 물리학과*, 국방과학연구소 기술본부**
 kimhs@add.re.kr

1. 개요

제조기술이 발전함에 따라 회절 복합 렌즈(diffractive hybrid lens)를 사용한 광학계 설계에 대한 많은 연구가 보고 되고 있다^{[1]-[5]}. 본 연구에서는 회절 복합 렌즈를 사용한 F/1.0인 광학계를 설계하여 비열화 특성을 분석하였다. 성능조건으로는 MTF가 50% 일 때 사용된 영상센서의 Nyquist 주파수인 11.11cys/mm로 하였다. 사용된 검출기 사양은 픽셀 크기 45um, 픽셀 수 320×240 이며, fill factor 는 무시하였다. 광학계의 유효초점거리는 171.73mm 이다.

2. 광학계 설계 및 회절특성 분석

비구면 및 회절렌즈의 특징 중의 하나는 수치구경(NA) 값을 크게 할 수 있다는 것이다. 특히 장파장 적외선 영역에서 사용되는 비냉각 열상센서는 냉각형과 비교할 때 감도가 떨어지기 때문에 일반적으로 작은 F-수를 갖는 광학계를 필요로 한다. 본 연구에서는 비냉각 열상장비에 사용하기 위해 첫 번째 렌즈의 후면에 회절면과 비구면을 함께 채택하고 나머지 렌즈면에 대해서는 비구면을 적용하여 F/1.0의 렌즈를 설계하여 비열화 가능성을 분석하였다.

광학계 설계에 있어서 중요한 변수중의 하나는 온도변화에 따른 광학계의 성능변화이다. 온도가 변함에 따라 렌즈재질이 팽창하거나 수축하며, 또한 굴절률이 변하기 때문에 광학계의 성능이 변한다. 뿐만 아니라 광학계를 지지하고 있는 경통의 팽창 및 경통과 렌즈의 열팽창률 차이에 의한 stress에 의해 광학계의 성능이 달라진다.

광학계의 열적인 특성변화를 보정하는 비열화(athermalization) 방법에는 크게 두 가지로 구분할 수 있는데, 즉 렌즈재질의 열적변화가 서로 상쇄되도록 하는 수동적인 방법과 광학계를 구성하고 있는 반사경 또는 렌즈를 이동시켜 열적인 보상을 수행하는 능동적인 방법이 있다. 한 가지 방법만으로는 요구되는 비열화 조건을 만족시킬 수 없는 경우에는 두 가지 모두를 사용하여 비열화 보정을 수행 한다^[6].

온도변화에 따른 초점거리변화(defocus)의 총량(δ)을 다음과 같이 나타낼 수 있다^[7].

$$\delta = \left(-\frac{f}{n-1} \frac{\partial n}{\partial T} + \alpha_l \cdot f + \alpha_h \cdot L \right) \Delta T$$

여기서 n 은 굴절율, f 는 초점거리, α_l 은 렌즈의 열팽창계수, α_h 는 렌즈 하우징의 열팽창계수, T 는 온도, L 은 렌즈로부터 초점면까지의 하우징 길이를 나타낸다.

3. 결론

첫 번째 렌즈의 후면에 회절면 및 비구면을 동시에 적용하여 비냉각 열상장비용의 광학계를 설계하여 비열화 가능성을 분석하였다. 성능조건으로는 열상장비의 운용온도 영역인 $-30^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$ 에서 MTF가 50% 일 때 사용된 영상센서의 Nyquist 주파수인 11.11cys/mm로 하였다. 분석결과 사용온도 전영역에 걸쳐 성능조건을 잘 만족하였으며, 회절렌즈의 링의 개수는 5.59개이며 최소 링 간격은 7.93mm 이었다.

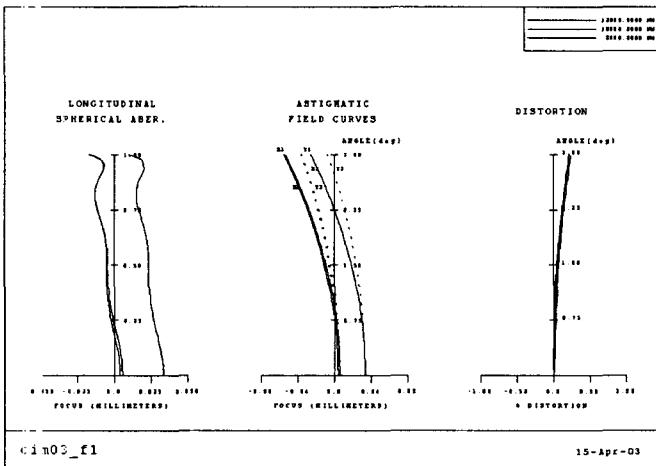


그림 1. 광학계의 상면만곡

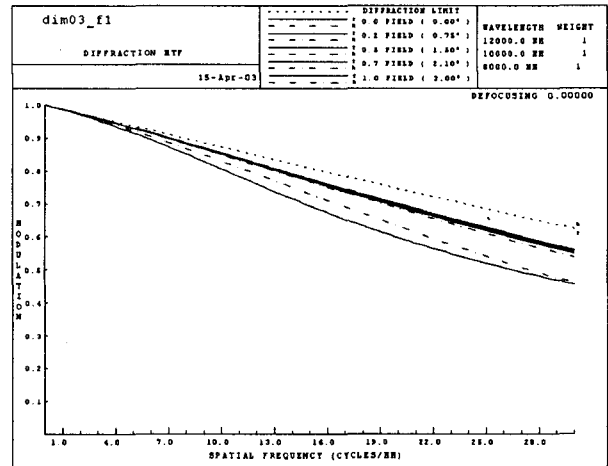


그림 2. 광학계의 MTF

참고문헌

- [1] 이환선, 임천석, 조재홍, 장수, 김현규, "초소형 영상 전송 모듈용 DOE(Diffractive optical element) 렌즈의 설계 및 평가", 한국광학회지 vol. 12, no. 3, pp. 240-249, Jun. (2001).
- [2] 박성찬, "회절광학소자를 이용한 Head Mounted Display용 광학계 설계", 한국광학회지 vol. 12, no. 6, Dec. (2001).
- [3] J. Kudo, H. Wada, T. Okamura, M. Kobayashi, K. Tanikawa, "diffractive lens in 8- to 10um forward-looking infrared system", Opt. Eng. vol. 41, no. 8, pp. 1787-1791, Aug. (2002).
- [4] 김현수, 이동한, 김현규, "적외선 렌즈의 비구면 및 회절면 효과 분석", 한국광학회 2002년도 하계학술발표회, 안면도, pp. 212-213, Jul. (2002).
- [5] 김현수, 이동한, 김현규, "장파장 적외선 영역에서 비구회절면을 사용한 F/1.0 광학계의 최적설계", 한국광학회 2003년도 동계학술발표회, 인하대학교, pp. 272-273, Jul. (2003).
- [6] M. Bass Ed, "Handbook of Optics", 2nd ed. McGraww-Hill, New York (1995).
- [7] J. M. Lloyd, "Thermal imaging systems", p. 257-268 (1979).