

F/1.0 회절광학계의 비열화 분석 및 자동 비열화 시스템 설계

Analysis of athermalization and design of passive auto-athermalization system for F/1.0 diffractive optics

김현수*, 김현규**

국방과학연구소 *4체계개발본부, **기술연구본부

kimhs@add.re.kr

1. 개요

넓은 온도영역에서 사용되는 열상광학계는 온도에 따른 초점보정(비열화)이 요구된다. 초점보정에는 모터 또는 manual로 보정하는 능동적인 방법⁽¹⁾과 렌즈재질의 열적변화가 서로 상쇄되도록 설계하거나 광기구적으로 보상하는 수동적(passive)인 방법⁽²⁾을 사용한다. 본 연구에서는 액체의 열팽창 계수를 이용하여 외부의 구동장치이나 조절장치 없이 넓은 온도영역(-30℃ ~ +70℃)에 걸쳐 수동식으로 초점을 보정하는 비냉각 열상카메라의 자동 비열화 시스템을 설계하고 비열화 성능을 분석하였다.

2. 비열화 분석

온도변화는 렌즈설계에 있어서 가장 중요한 변수중의 하나이다. 온도가 변함에 따라 렌즈재질의 수축 또는 팽창과 굴절률이 변하기 때문에 광학계의 성능은 온도에 따라서 많은 영향을 받게 되며, 또한 렌즈재질과 렌즈를 지지하고 있는 경통사이의 열팽창계수의 차이에 의한 응력에 의해서도 광학계의 성능이 영향을 받는다. 근축광선에 대한 회절렌즈의 온도변화에 따른 초점거리변화(defocus)의 총량(δ)은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다⁽³⁾⁽⁴⁾.

$$\delta = \left(-\frac{f}{n-1} \frac{dn}{dT} + 3\alpha_\lambda \cdot f - \alpha_h \cdot L \right) \cdot \Delta T \quad (31)$$

여기서 n 은 렌즈재질의 굴절률, f 는 초점거리, α_λ 와 α_h 는 렌즈재질과 경통의 열팽창계수, ΔT 는 온도변화, L 은 광학계의 첫 번째 면에서 초점면까지의 거리를 각각 나타낸다.

3. 자동 비열화 시스템 설계

3.1. 고체의 선팽창을 이용한 자동 비열화 시스템 설계.

온도변화에 따른 열팽창을 서로 상쇄시키기 위하여 경통과 상면이 서로 반대 방향으로 움직이도록 광학계 경통의 재질은 열팽창계수가 음인 TSINVAR를 사용하였으며, 보정경통의 재질은 열팽창계수가 큰 CR-39를 사용하였다. 식 (2)는 온도변화에 따른 defocus를 보정하기 위한 보정경통의 길이를 계산하는 식을 나타낸 것이며, 보정해야 될 defocus 양은 defocus 값이 가장 큰 -30℃와 +70℃에서의 산술평균값을 사용하였다.

$$(\alpha_h + \alpha_c) \times L_c \times \Delta T = \text{초점변화량(AOD: amount of defocus)} \quad (32)$$

여기서 α_h 와 α_c 은 보정경통의 외부 및 내부 재질의 열팽창계수, ΔT 는 최대 온도변화량, L_c 는 보정경통의 길이를 각각 나타낸다. 이때의 보정경통의 길이는 172.25 mm이었으며, 광학계 경통에 의한 열팽

창은 무시하였다. 그림 1은 고체의 선펡창을 이용한 자동 비열화 시스템의 형상을 나타낸 것이다.

3.2 액체의 체팽창을 이용한 자동 비열화 시스템 설계.

비구면과 회절면을 사용하는 목적은 광학계의 성능을 향상시키는 것뿐만 아니라, 소형 경량화를 달성하기 위하여 사용된 다는 것이다. 보정경통의 재질로 고체를 사용할 경우에는 열팽창 계수가 큰 재질이 없을 뿐만 아니라, 특히 음의 열팽창율이 큰 재질이 없어 보정경통의 길이를 짧게 할 수 없다는 것이다. 그러나 액체의 체팽창을 선펡창으로 활용할 경우에는 고체를 사용하는 것보다 보정경통의 길이를 훨씬 짧게 할 수 있다. 이 경우의 고려사항으로는 온도조건을 만족하는 액체를 선정하는 것과 경량화 조건을 만족시키기 위하여 비중이 낮은 액체를 선정하는 것이 중요하게 된다. 그림 2는 액체의 체팽창을 이용한 자동 비열화 시스템의 형상을 나타낸 것이다. 액체의 체팽창을 이용할 경우의 보정경통의 길이는 고체의 선펡창을 이용한 것보다 보정경통의 길이는 82.6%, 광학계의 전체 길이는 35.8% 감소하였다.

4. 결 론

본 논문은 비구면과 회절면을 동시에 사용하여 장파장 적외선 영역에서 비냉각 열상장비의 광학계로 사용할 수 있는 F/1.0 회절광학계를 설계하여, -30°C 에서 $+70^{\circ}\text{C}$ 까지 넓은 온도범위에 걸친 수동식 (passive) 비열화 가능성 분석 및 수동식 자동 비열화 시스템 설계에 대한 연구결과이다. 연구결과 사용 온도범위($-30^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$)에서 목표성능을 잘 만족할 뿐만 아니라 소형경량화를 달성할 수 있어 비냉각 열상카메라의 수동식 자동 비열화 시스템으로 사용 가능할 것으로 판단된다.

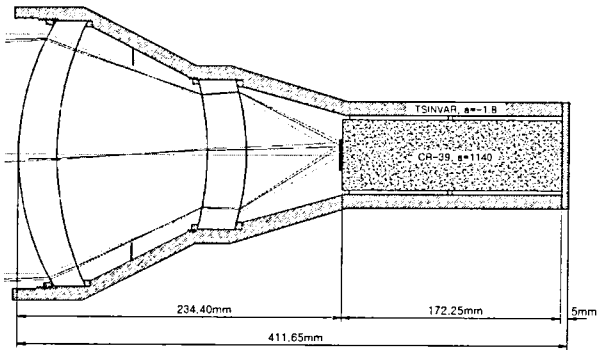


그림 1. 고체의 선펡창을 이용한 자동 비열화 시스템 형상.

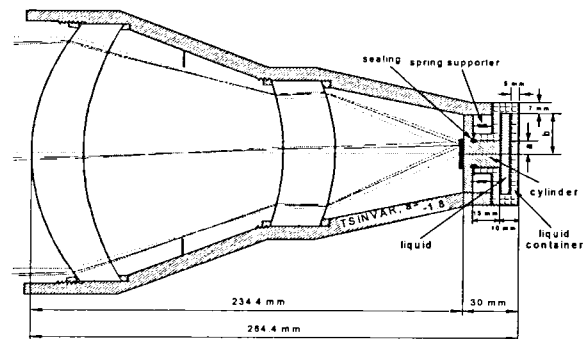


그림 2. 액체의 체팽창을 이용한 자동 비열화 시스템 형상.

참고문헌

- [1] 김현숙, 최세철, 이국환, 박용찬, 김현규, "20:1 줌 열영상 방비 비열화 분석 및 시험", 한국광학회지, 12권, 4호, pp. 281-288 (2001).
- [2] 김현수, 이동한, 김현규, "장파장 적외선 영역에서 F/1.0 광학계의 비열화 분석", 한국광학회 2003년도 하계학술발표회, 용평리조트, pp. 142-143, (2003).
- [3] J. M. Lloyd, "Thermal imaging systems", Plenum Press, New York, 2nd ed. pp. 257-263, (1979).
- [4] B. R. Irving, D. Hasenauer, J. F. Isenberg, "Holographic and diffractive optical elements of advanced topics in Code V seminar notes of Optical Research Associates, pp. 78-117, Spring (2001).