

# The design methods of Infrared Camera with Continuous zoom

Seok-Hyeon Son\*

## Abstract

In this paper, we propose an efficient design method for a thermal camera with continuous zoom based on the research and manufacturing experience of the thermal camera. In addition, it is divided into system design method, optical design method, mechanical design method, and electronic design method. First, we propose an effective NUC compensation method and a lens-specific sensitivity design method in terms of system. Second, we propose a zoom trajectory design method considering the temperature effect on the optical aspect. Third, it suggests the minimization of optical axis shaking between magnification conversion in terms of mechanism. Finally, we propose a lens-specific temperature compensation method and a speed conversion algorithm according to the zoom interval as an electronic aspect.

▶ Keyword : Thermal, IR Camera, magnification, Continuous Zoom, IR, Infrared

## I. Introduction

열상카메라는 빛의 유무에 관계없이 모든 물체에서 발산되는 미세열(복사에너지)을 감지하여 물체 표면의 온도분포를 영상으로 재현하는 장비이다[3]. 이러한 원리로 야간관측이나 육안관측이 불가능한 환경에서 물체의 표면 온도 분포를 이용하여, 적외선 검출기가 장착된 열상카메라를 통해 물체를 관측하게 된다[10-12]. 즉, 단위 면적당, 단위 시간당 방출되는 복사에너지의 차이를 검출하여 전기적 신호처리 과정을 거쳐 영상화 하는 것이다[2].

적외선 검출기는 크게 냉각기 유무에 따라 냉각형 검출기와 비 냉각형 검출기로 나뉘어진다. 적외선 검출기의 특성상 냉각기를 사용하여 극저온에서 적외선 신호를 추출해야 열잡음을 최소화 할 수 있기 때문에 냉각기를 검출기와 하나의 패키지로 제작하여 장비에 탑재하여 활용하고 있다[4]. 주로 고성능의 영상을 제공하는 열상카메라 사용이 된다. 이러한 이유로 연속 줌 광학계를 가진 장비는 냉각형 적외선 검출기를 이용하는 열상카메라에 적용된다.

배율변환 타입은 배율변환 도중 영상 단절 현상 유무에 따라

연속 줌 타입과 셔터방식 타입으로 나뉘어진다. 연속 줌 기능을 갖는 열상카메라는 배율변환 시 초점상태를 유지하면서 표적이 확대 및 축소되기 때문에 사용자에게 지속적인 표적 정보를 전달해 줄 수 있다. 하지만 연속 줌을 가진 열상카메라는 CCD 또는 CMOS 센서가 적용된 카메라에 비해 렌즈 크기가 크며, 줌 레절도 매우 길고, 온도에 민감하기 때문에 민수용 주간카메라와 같은 구조의 배율변환 메커니즘(캠방식)을 사용하기에는 무리가 있다. 특히 군수용 장비에 경우 진동, 충격, 온도 등과 같은 극한 환경시험을 극복하는 연속 줌 광학계를 가진 열상카메라 설계 및 제작은 상당한 어려움을 가지고 있다[1].

본 논문에서는 각기 다른 배율 및 특성을 가진 2종류의 연속 줌을 가진 열상카메라 설계 및 제작경험을 바탕으로 다양한 측면으로 나누어, 문제점에 대한 원인 분석 및 해결책을 바탕으로 설계방안에 대해 제시하고자 한다. 특히 시스템적 측면으로는 NUC 보상방법과 렌즈별 민감도 설계방법, 광학적 측면으로는 온도영향을 고려한 줌 레절 설계 방안, 기구적 측면으로는 렌즈가 현상 최소화 방안, 전자적 측면으로는 렌즈별 온도보상 방법, 줌구간에 따른 속도변환 알고리즘에 대해 논의하고자 한다.

• First Author : Seok-Hyeon Son, Corresponding Author: Seok-Hyeon Son  
\*Seok-Hyeon Son(sh08.son@hanwha.com), Image Sensor Team, Hanwha Systems Company  
• Received: 2016. 11. 02, Revised: 2016. 11. 14, Accepted: 2016. 11. 28.  
• This work was supported by Hanwha Systems Company.

## II. The Proposed Scheme

### 1. 열상카메라 제작사양

본 저자는 연속 줌을 가진 열상카메라를 2종류를 설계 및 제작을 하였다. 첫 번째 카메라는 640x480의 화소를 갖고 줌비 20배, 3개의 렌즈 군을 구동시키는 장비이다. 각 렌즈군의 역할은 2개는 배율변환용이고, 1개는 온도에 따른 렌즈의 두께 및 기구물 특성 변화에 따른 줌 제적 변화용이다. 두 번째 카메라는 320x240의 화소를 갖고 줌비 8배, 2개의 렌즈 군을 이용하여 배율변환 하는 장비이다.

아래 표는 각각의 장비에 대한 특성을 요약한 것이다.

Table 1. The specification of IR cameras

classification	Camera 1	Camera 2
Wave Length	MWIR	MWIR
F/#	3	4
Pixel Size	15um	15um
Number of Pixels	640x480	320x240
EFL	14mm~275mm	20.5mm~157.7mm
FOV	40°x30°~2°x1.5°	13.3°x10°~1.74°x1.3°
Operating Temperature	-35℃~+60℃	-32℃~+55℃
Detector	Cooled	Cooled
Mechanical Specifications	The Rotary Motor 2EA, Linear Motor 1EA, Ball screws, LM Guide Type	The Rotary Motor 2EA, Ball screws, LM Guide Type
Electrical Specifications	8bit-Processor, Motor Driver	8bit-Processor, Motor Driver

Camera 1, Camera 2는 2중 배율 이상의 기능을 가진 장비이다. Camera 2의 경우 소형 및 경량화를 목표로 Camera 1보다 화소수가 낮고 F/#가 Camera 1에 비해 큰 것을 확인할 수 있다.

### 2. 시스템 설계방안

열상카메라의 시스템 설계 시 가장 크게 고려하는 것은 표적의 탐지/인지거리에 따른 F/#(F넘버)와 배율이다. 사용자가 보고자 하는 표적이 무엇이며, 표적과의 거리, 제작해야 할 장비의 크기 및 중량에 따라 시스템 규격이 설정이 된다[13][14]. 하지만 연속 줌이 포함된 열상카메라를 설계하고자 하는 경우, 설계 제약사항이 많아진다.

첫 번째 제약사항은 NUC 영상 보정하는 방법이다. NUC(Non-Uniformity Correction)는 적외선 검출기 화소들의 출력이 불균일한 특성을 가지고 있기 때문에 균일한 영상으로 변환하는 영상처리로서 열상카메라의 필수 기능이다[8][9]. NUC 영상 보정 수행 전에는 디포커싱이 먼저 수행되어야만 한다. 디포커싱은 검출기에 전달되는 에너지가 균일하도록 검출기 앞에 셔터를 두거나, 디포커스 렌즈를 삽입한다. 위 두 가지

의 디포커싱 방식은 구동부 추가에 따른 비용증가, 무게 및 크기 증가라는 단점이 있다. 그래서 배율 변환하는 줌 제적 상에 디포커싱 위치를 설계하여 위 단점을 극복할 수 있게 된다.

그림 1은 Camera 1과 Camera 2가 줌 제적 안에 디포커싱 위치의 풋 프린트이다. 검출기면에 균일한 에너지가 입사되도록 설계되었음을 확인할 수 있다.

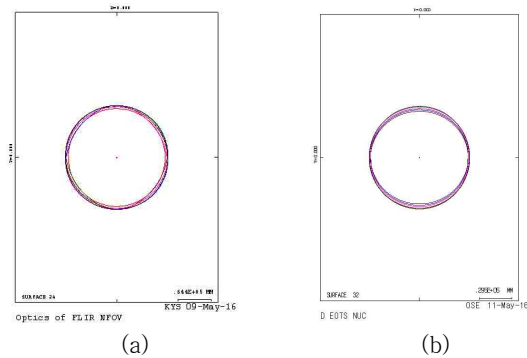


Fig 1. The footprint in Camera 1 & Camera 2

두 번째 제약사항은 배율변환 렌즈 군들의 민감도 설계이다. 민감도는 열상카메라의 초점 조절과 연관되어 매우 중요한 요소이다. 민감도 설계 및 분석은 보상자를 설정하는데 있어서 제르니케를 이용하여 민감도 계수를 정의 한다. 수식은 아래와 같다.

$$\Delta C_i = \sum \frac{\lambda C_i}{\lambda L_j} \Delta L_j \tag{1}$$

$$S_{ij} = \frac{\lambda C_i}{\lambda L_j} \tag{2}$$

$\Delta L_j$  : 미소변위

$\Delta C_i$  : 제르니케계수의 변화

$S_{ij}$  : 민감도

그림 2는 Camera 1의 렌즈별 민감도 분석한 결과 그래프이다. 대물렌즈는 배율변환렌즈에 비해 크기가 크므로 보상자로는 부적합하므로 배율렌즈는 고배율에서 민감하게 선정하고, 보상렌즈는 저배율에서 민감하도록 설계하도록 한다. 이러한 설계는 제작 공정 시 시험시간을 단축시켜, 비용 감소효과를 가져온다.

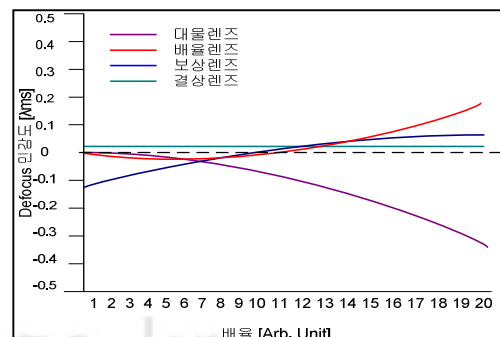


Fig 2. The graph of optical sensitivity analysis

### 3. 광학적 설계 방안

연속 줌을 가진 열상카메라의 핵심은 광학적 설계이다. 연속 줌은 광학적으로 설계가 되지 않는다면 시스템적, 기구적, 전자적으로 이를 구현할 수 있는 방법은 현재 기술력으로는 없다. 그리고 연속 줌 광학설계는 일반 배율 변환 설계보다 고차원적인 기술이 필요하다. 그 이유는 한정적인 열상카메라 크기 제한으로 줌 레적의 길이가 짧아야 하고, 특히 냉각형 적외선 검출기를 사용하는 열상카메라는 나르시시스 현상을 고려하여야 하기 때문이다. 또한 배율변환 렌즈의 크기를 작게 설계하여, 렌즈의 중량을 낮춰 부하량을 줄임으로서 기구적 및 전자적으로 구현가능한 정도의 설계가 필요하다.

이밖에도 열상카메라는 일반 CCD용 렌즈에 비해 온도에 민감하기 때문에 온도에 따른 영향성 검토가 필요하다[5-7]. 특히 저온 및 고온에서 배율 변환 줌 레적이 형성되지 않는 경우도 발생한다. 그러므로 광학설계 시 온도에 따른 영향성 검토는 필수불가결한 요소이다[17].

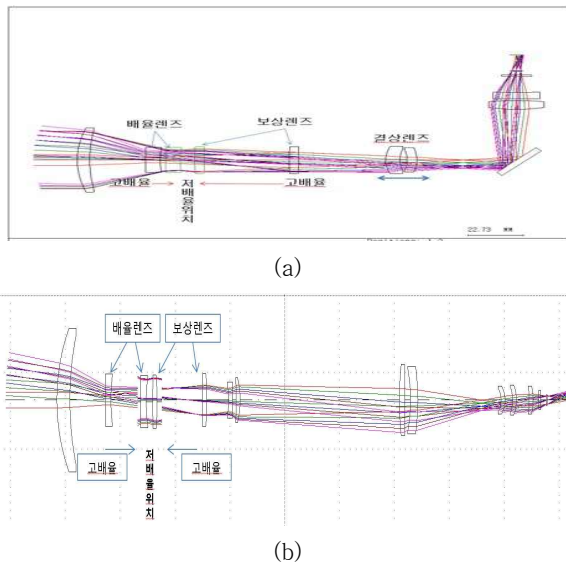


Fig 3. The Optical Layout in Camera 1 & Camera 2

그림 3은 Camera 1과 Camera 2의 광학계 Layout을 나타낸다. Camera 1과 Camera 2는 저배율에서 배율렌즈와 보상 렌즈의 간격이 벌어진 상태이고, 고배율에서는 간격이 좁아진 상태이다.

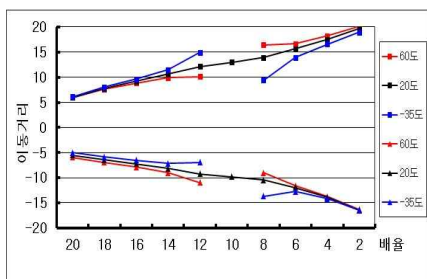


Fig 4. The optical path graph on temperature in camera 1

그림 4는 Camera 1 제작 시 온도에 따른 줌 레적 분석한 것이다. 상온에서 결상렌즈군의 위치가 설계 치와 약 0.1mm 차이가 발생 시 약 10배와 12배에서 초점이 맞는 부분이 없어지면서 연속 줌 구현이 안 된다는 것을 확인할 수 있다. 이를 해결하기 위해 그림 3(a)와 같이 결상렌즈 군을 온도에 따라 보정해 주는 메커니즘이 추가되었다. 결상렌즈군의 역할은 배율변환과 상관없이 온도의 변화에 따라 보상해줌으로써 줌 레적을 생성하는 역할을 담당한다. 이와 다르게 Camera 2는 온도의 영향성 검토결과 2개의 렌즈 군으로 전 구간 온도대역을 줌 레적이 충분히 형성되기 때문에 온도에 따른 구동부를 추가로 설계할 필요가 없다.

### 4. 기구적 설계 방안

배율변환이 이루어지려면 렌즈의 이동이 필수이다. 이동량과 위치는 광학설계에 따라서 달라지겠지만, 기구적으로 중요한 요인은 여러 번 이동이 반복해도 같은 지점으로 정확한 위치제어가 이루어져야 한다는 점이다. 기존의 개발된 열상카메라에 적용된 배율변환 메커니즘은 아래 그림5와 같다.

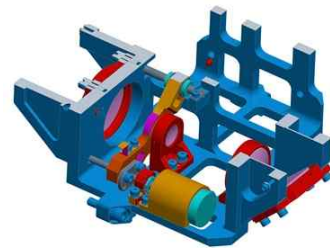


Fig.5. The magnification structure of previous Infrared Camera

렌즈를 이동시키는 방식에는 여러 방법이 있지만, 기존 2중 배율 가지고 있는 열상카메라는 볼스크류와 볼부쉬를 이용한 배율 변환 구조를 많이 사용하고 있다. 볼스크류는 구조상 가지고 있는 축 흔들림이 있는데, 이 흔들림이 렌즈의 이동 시에 렌즈가 분당된 기구물 조립체에 영향을 미치며, 결국 광축이 흔들리게 되고 배율변환 중에 렌즈의 흔들림이 발생된다. 렌즈의 흔들림이 심한 경우에는 초점 조절 시에도 이러한 현상을 확인할 수 있다. 그림 6은 초점 조절 후 중심대비 약 0.4mil 정도 광축이 변함을 나타내는 그림이다.

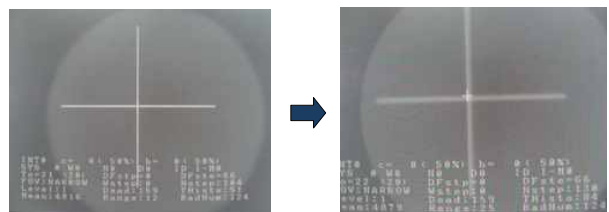


Fig 6. The difference of optical de-center between focusing on before and after

이러한 현상의 원인의 첫 번째는 볼스크류의 나선선 축 중심 흔들림 정도, 두 번째는 모터 축 조립의 편심정도이다. 기존의 배율변환 메커니즘 구조와 같이 연속 줌 기능을 가진 열상카메라를 설계한다면, 광축이 이동하는 현상(멤돌이 현상)이 뚜렷하게 나타나게 된다. 멤돌이 현상이 연속적으로 배율변환 중 나타나게 되면 결국 영상이 울렁거리는 현상으로 보이게 된다. 이는 사용자의 불편사항으로 멤돌이 현상을 최소화 하는 설계가 필요하다.

기존에 설계 되었던 열상 카메라에서 멤돌이 현상이 나타나는 근본적인 이유는 볼스크류의 흔들림 때문이다. 볼스크류는 열상카메라에서 스텝모터의 회전 운동을 직선으로 변환시켜주며, 변환된 직선운동으로 렌즈의 위치를 제어하는 구동부 중 하나이다. 이 역할을 대체할만한 다른 부품을 사용하면 해결이 되겠지만, 아직까지는 대체할만한 부품이 없는 것이 현실이다. 또한 그림 7, 그림 8과 같이 CCD카메라에 적용된 경통 구조를 사용하기에는 온도에 따라 줌 궤적이 변환하는 열상카메라 특성상 쉽지가 않다.

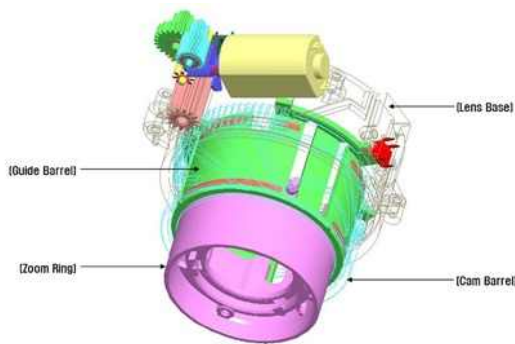


Fig. 7. The magnification structure on CAM type

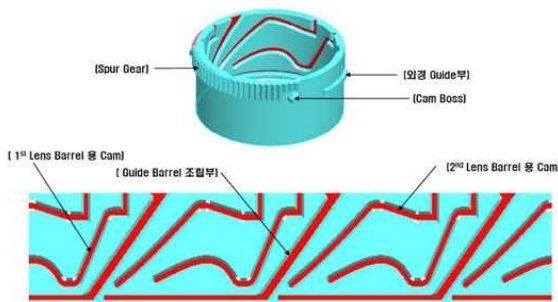


Fig. 8. The barrel on including the optical path

따라서 볼스크류의 축 흔들림을 최소화 할 수 있는 배율변환 메커니즘을 구상해야 한다. 본 저자가 제안하는 방식은 LM가이드를 활용한 2레일에 2블록 조합과 볼스크류를 사용하는 방식이다. 그림 9는 LM 블록의 모멘트 하중 방향에 대해 나타낸 것이다.

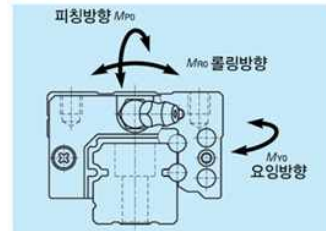


Fig. 9. The direction of moment on LM Block

LM블록은 크게 피칭, 롤링, 요잉 방향으로 나누어지는데, 이때 광축흔들림에 영향을 주는 요소는 롤링 방향이다. 즉, 볼스크류와 LM가이드를 연결하는 기구물에 롤링 방향의 흔들림을 감소시킬 수 있는 소재와 형상을 적용하면 광축 흔들림을 최소화할 수 있는 것이다. 그림 10은 광축 흔들림을 최소화하기 위한 2레일에 2블록 구조를 형상화한 그림이다.

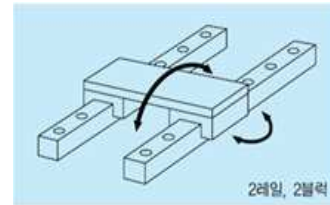


Fig. 10. The structure of 2 Rail and 2 Block

또한 모터와 볼스크류의 연결은 기계적인 가공 공차에 의한 편심의 영향성을 받지 않도록 커플링을 적용하는 것이 바람직하다. 제작공정의 편리함도 있지만, 볼스크류의 축과 모터축의 정렬불량을 보정하고 백래시가 제로이기 때문에 위치정밀도가 높다는 장점이 있다. 그림 11은 커플링을 이용한 모터 연결방식을 나타낸 것이다.



Fig. 11. The motor assembly with coupling

5. 전자적 설계 방안

시스템적, 광학적, 기구적으로 설계가 완료된다면, 연속 줌 기능의 구현은 전자적으로 구현하는 단계만이 남아있다. 영상 신호처리를 통해 영상의 화질을 좋게 하는 알고리즘은 많은 논문에서 게재되어 있기에 이 부분을 제외하고 광 구동적측면의 전자적 설계 방향에 대해서 논의하고자 한다. 우선 전자적으로 설계 시 고려해야 되는 사항이 있다. 첫 번째 부하량에 따른 모터 선정안, 두 번째 온도에 따른 렌즈 영향성 및 기구물 수축팽창에 따른 온도 보상방법, 세 번째 비선형적인 줌 궤적에 따른 연속 줌 구현 방법이다.

우선 부하량에 따른 모터 선정방안에 대한 설계 방향이다.

배율변환 모터의 경우 초점조절 기능을 포함한다. 이에 따라 엔코더를 포함한 DC모터 보다 스텝모터를 사용하는 경우 전력소모 측면에서 유리하고, 또한 위치정밀도 측면에서 스텝모터가 우위에 있다. 하지만 모터가 낼 수 있는 토크는 DC모터가 우위에 있어, 스텝모터 선정 시 기구설계에 따른 부하량 설계값 대비 스텝모터 제조사에서 제시하는 토크선도 비교를 통해 선정해야 한다. 본 저자는 스텝모터 특성상 저온 및 고온 시 토크량이 저하되는 특성을 고려하여 안전을 계수를 0.6정도로 본다. 이는 저온에서 기구물이 수축함으로써, 부하량이 커지고 모터 특성이 저하되기 때문이다.

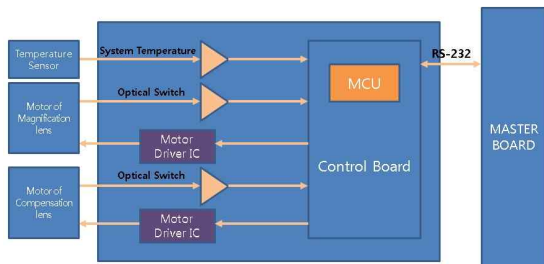


Fig. 12. The block diagram of electrical board

위 그림 12는 스텝모터를 선정 시 설계되는 전자보드 구성도이다. 배율렌즈 구동부와 보상렌즈 구동부는 배율 변환 역할 및 미세조정을 통한 정확한 초점을 맞추기 위해 초점 조절 역할을 한다. 배율변환 간에는 정해진 스텝 수에 따라 이동하고, 전자보드의 MCU와 모터드라이버를 통해 제어하게 된다. 열상 카메라의 초기 전원인가 시, 배율렌즈 및 보상렌즈는 자신의 위치가 어디서부터 시작해야 되는지 모르기 때문에 정해진 위치에 광 스위치를 두어 초기 위치를 잡는다. 광 스위치는 센서와 센서 사이에 들어오는 슬릿의 깊이를 측정한다. 광 스위치에 슬릿이 처음 들어올 때의 전압 값과 슬릿이 센서를 지나 나갈 때의 전압 값은 다르기 때문에 이때의 전압 값을 전자보드의 MCU로 입력받아 내부의 ADC를 통해 측정하고 설정된 전압 값과 동일시 구동을 멈추고 초기화 위치를 잡는다. 열상 카메라는 온도에 민감한 장비이기 때문에 주변 환경영향을 많이 받는다[13]. 온도에 따라 렌즈의 곡률이 변하기 때문에 온도센서를 통해 온도를 파악하여 배율렌즈 및 보상렌즈의 위치를 조금씩 변화시켜 준다. 구동부 제어의 운용순서는 다음과 같다.

- (1) 전원 인가
- (2) 광 스위치를 이용한 스텝 모터 초기화
- (3) 온도에 따른 렌즈 위치 값 보정
- (4) 광시계, 협시계, 초점 조정 등 명령 시행

두 번째로 온도 보상방법에 대한 설계 방향이다. 광학적 공차, 기구적 공차, 전자적 공차와 더불어 온도 보상방법이 필요하다. 온도 보상방법에 대한 수식은 아래(1)과 같다.

$$P_{\text{배율위치}} = P_{\text{설계위치}} + O_{\text{공차}} + O_{\text{온도}} \quad (1)$$

$P_{\text{배율위치}}$  = 해당배율에 초점이 맞는 위치

$P_{\text{설계위치}}$  = 해당배율에 설계된 위치

$O_{\text{공차}}$  = 제작에 따른 공차 (광학적, 기구적)

$O_{\text{온도}}$  = 온도보상차

광학적 설계는 상온을 기준으로 줌 궤적을 형성하는 설계를 기반으로 한다. 이는 온도조건 20℃를 기준으로 온도보상차의 공차가 0이라는 가정을 기반으로 한다. 위 수식은 기본적으로 배율에 따른 설계위치를 기준으로 구동부가 이동한다. 하지만 렌즈와 기구물의 본딩 시 생기는 공차, 각 렌즈 군별 조립하는 공차, 전자적으로 초기 기준점을 잡는 광 스위치 조립 및 광 스위치 부품 공차로 인해 각 배율의 설계위치에서 정확한 초점이 맞지 않는다. 그래서 열상카메라 제작 초기 조립공정 후 배율별 초점을 맞추는 공정을 거치게 된다. 이때의 공차는 제작에 따른 공차이다. 온도 보상에 따른 공차 보정은 그림13과 같은 환경에서 시험을 통해 온도보상차 공차를 찾는다.

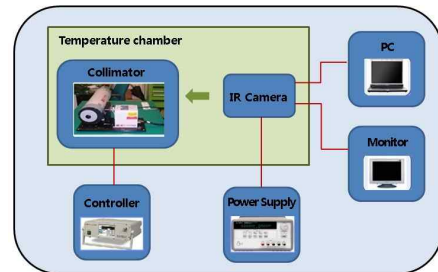


Fig. 13. The test circumstance in temperature compensation

온도 챔버에서 열상 광학렌즈의 온도 민감도에 따라 5℃단위 또는 10℃단위 간격으로 열상카메라의 초점을 비열화 콜리메이터를 통해 확인 후 온도 보상차의 공차를 플래시 메모리에 저장하여 배율 구동 시 이 값을 반영하도록 한다. 이에 따라 열상카메라는 주변 환경 온도에 상관없이 초점상태가 선명함을 유지한다.

마지막으로 광학적, 기구적으로 분석이 완료된 설계 데이터를 기반으로 연속 줌 구현이 가능한 구동용 소프트웨어 알고리즘이 전자적 설계에 주력해야 할 부분이다. 줌 궤적 데이터가 배율 변환 렌즈 군별로 이동량이 비슷하고 선형적이면 소프트웨어는 의외로 간단해진다. 그 이유는 동일한 속도로 동시 출발, 동시 도착하는 알고리즘은 간단하기 때문이다. 하지만 이렇게 설계하기에는 카메라 크기 및 중량 등의 한계로 인해 다소 어려움이 있다. 다시 말해 줌 궤적은 비선형적인 한계로 인해 배율변환 렌즈군의 이동량은 각각 다를 수밖에 없다. 그로 인해 2개의 줌 궤적 사이의 가상의 줌을 선정한 후 하나의 렌즈 군이 이동거리가 길면 빠르게 이동하고, 또 다른 하나의 렌즈 군

이 이동거리가 짧으면 동일한 가상의 줌에 도착하기 위해서 느리게 이동하여 초점상태가 유지될 수 있도록 구현하여야 한다. 가상의 줌 포인트를 다중으로 가져갈수록 초점상태는 더욱 뚜렷해지나, 모터 입장에서는 속도변환을 가상 줌 구간만큼 하기 때문에 스텝모터의 단점인 탈조현상이 빈번해진다. 다시 말해 모터의 위치를 잃지 않고 속도변환이 가능한 신뢰성 있는 줌 구간을 나누는 것이 연속 줌 구동 알고리즘의 핵심이라 할 수 있겠다. 그림 14는 Camera1의 가상의 줌 구간수와 최고속도 변화에 따른 각 배율의 설계위치 값과 차이를 나타낸 것이다. 두 개의 배율변환렌즈군은, 하나를 “배율렌즈 1”이라하고 또 다른 하나는 “배율렌즈 2”라고 정의하였다. 배율렌즈 1의 이동거리가 배율렌즈 2의 비해 많기 때문에 배율렌즈 1의 최고속도에 따라 배율렌즈 2의 속도가 가상의 줌 구간에서 변화하여 구현하였다. 그림 14에서도 확인할 수 있듯이 줌 구간이 많을수록, 최고속도에 따라 설계 값과의 차이가 줄어드는 것을 알 수 있다.

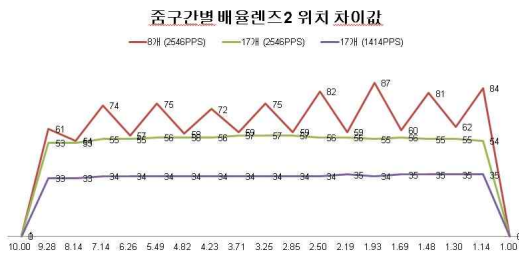
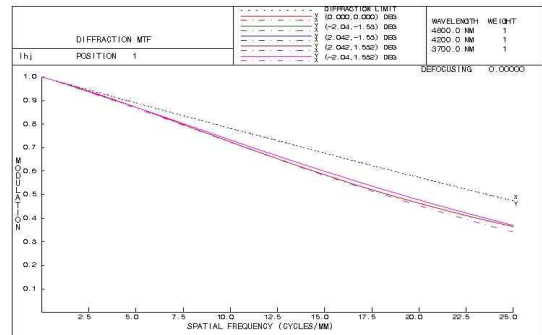
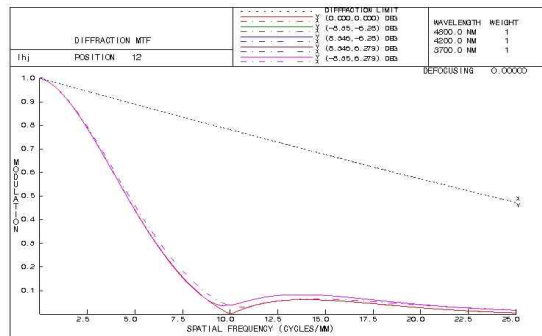


Fig. 14. The position difference of magnification lens 2 by zoom points

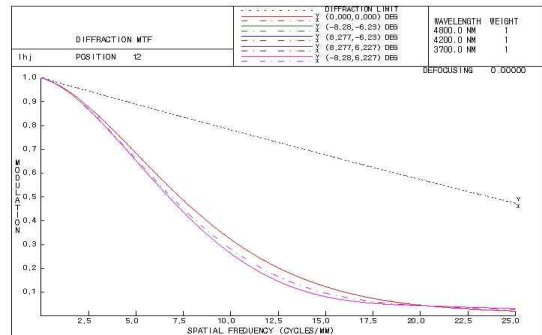
그림 15는 그림 14의 설계 대비 차이 값을 기준으로 광학설계 및 분석 툴인 CODE V로 분석한 MTF 그래프이다 [15][16]. MTF란 초점 상태를 판단할 수 있는 척도로서, 공간 주파수 대비 선명도를 확인할 수 있다. 기본적인 해석은 그래프가 X축과 멀어질수록 초점상태가 좋아진다. 그래프가 X축과 접한다면 초점상태가 좋지 않다고 판단할 수 있다. 그림 15는 연속 줌 구간 중 일부구간을 기준으로 MTF 그래프를 나타낸 것이다. a는 광학설계 위치로 구동부가 제어되었을 경우 나타내는 그래프이고, b는 줌 구간을 8개로 나눠서 최고속도 2546PPS기준으로 변환하는 그래프이다. c는 줌 구간을 17개로 나누고 최고속도 2546PPS 기준이며, d는 c와 동일한 줌 구간 개수 나누고 최고속도를 1414PPS 기준으로 구동되었을 경우 나타내는 그래프이다. 그래프에서 확인할 수 있듯이 줌 구간 개수와 속도에 따라 MTF 그래프가 달라짐을 확인할 수 있다. 연속 줌 알고리즘은 줌 구간의 개수는 많을수록, 속도는 탈조가 나지 않는 범위 내의 속도를 선정하는 것이 중요하다.



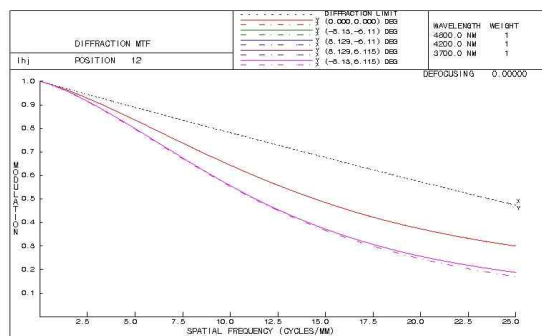
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 15. The comparison of MTF (a) MTF(designed data) (b) MTF(The number of zoom points:8, Velocity:2546PPS) (c) MTF(The number of zoom points:17, Velocity:2546PPS) (d) MTF(The number of zoom points:17, Velocity:1414PPS)

### III. Conclusions

연속 줌 기능을 가진 열상카메라는 CCD용 또는 CMOS용 카메라와 다르게 파장대역의 특성상 렌즈의 크기가 크고, 줌 궤적도 매우 길며, 온도에 민감한 특성으로 인해 설계 및 제작의 어려움이 있다. 특히 군용장비의 경우 운용 온도 조건이 민수에 비해 넓은 온도 구간을 갖고 극한 환경조건으로 인해 더욱 제약사항이 많다. 또한 열상카메라의 경우 일반 주간카메라에 비해 고비용 요구되는 장비이다.

따라서 본 저자는 2종류의 열상카메라 설계 및 제작 경험을 바탕으로 시스템 설계, 광학적 설계, 기구적 설계, 전자적 설계 방향을 제시함으로써 조금이나마 각 분야의 엔지니어에게 도움이 되고자 한다. 본문의 내용을 요약하자면 시스템 측면은 카메라 크기 및 중량을 고려하여 NUC 보상방법과 렌즈별 민감도 설계해야 하며, 광학적 측면은 온도영향성을 고려한 줌 궤적 설계가 필요하다. 기구적 측면은 배율변환 간 광축이 변화하지 않도록 맵들이 현상을 고려한 설계가 필요하고, 전자적으로는 부하량에 따른 모터 선정방법, 광기구적으로 온도에 의한 수축팽창으로 인한 줌 궤적 변화에 따른 온도 보상 방법, 줌 구간에 따른 속도 변환 알고리즘을 고려해야 한다.

앞으로 점점 군용 장비 및 민수 장비에서 고성능의 열상카메라를 요구하는 곳이 많아질 것이다. 특히 연속 줌은 사용자에게 지속적으로 표적 정보를 전달해 주기 때문에 보안분야, 탐지분야, 추적분야에서 유용하게 사용될 수 있다.

### REFERENCES

- [1] Cheon-ho Song "Applying tilt mechanism for high-resolution image acquisition," Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol.19, No.12 pp. 31-37, Dec. 2014.
- [2] Joon-hwan Han "Novel Accuracy Enhancement Method for Absolute Temperature measurement using TEC-LESS control in uncooled thermal imaging," Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol.17, No.12 pp. 41-47, Dec. 2012.
- [3] Liu, T. and Li, X., "Infrared small targets detection and tracking based on soft morphology Top-Hat and SPRT-PMHT," Image and Signal Processing (CISP), 2010 3rd International Congress on, Vol.2, pp. 968-972, Oct. 2010.
- [4] Chen Zhe, Duan Zongtao, Sun Zhaoyun, "ADV212-based High Resolution Still Image Compression System Design," in Second International Conference on Information Technology and Computer Science, pp. 170-173, Jul. 2010.
- [5] Zhe Chen, Zong-Tao Duan, "DESIGN AND IMPLEMENT OF HIGH RESOLUTION STILL IMAGE COMPRESSION AND STORAGE SYSTEM," in Proc. of the International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, pp. 55-58, 11-14 July 2010.
- [6] Byungin Choi, "Automatic Image Registration Based on Extraction of Corresponding-Points for Multi-Sensor Image Fusion," Journal of the KIMST\_Vol.12, no.4, pp. 524-531, Aug. 2009.
- [7] Jungsoo Han "Real-Time Fixed Pattern Noise Suppression using Hardware Neural Networks in Infrared Images Based on DSP & FPGA," Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea\_Vol.46 CI, no.4, pp. 94-101, Jul. 2009.
- [8] Byungin Choi, "Realistic infrared sequence generation by physics-based infrared target modeling for infrared search and track," Optical Engineering\_Vol.49, no.11, pp. 116401-1-9, Nov. 2010.
- [9] Jae Hyup Kim "Gunnery Classification Method using Shape Feature of Profile and GMM," Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea CI\_Vol.48, no.5, pp. 470-477, Sep. 2011.
- [10] Hong, Seok-min "Far-infrared second-generation IR sight design," Journal of the Optical Society of Korea, Vol.16, no.3, pp. 209-215, Jun. 2005.
- [11] Jung, Jun-ho "Study on the technique of uncooled infrared detector Precision Control," Kyung Hee University Master's Thesis, pp. 11-14, 2004.
- [12] A. Rogalski, "Infrared Photon detectors versus thermal detectors," Physics of Semiconductor Devices, pp. 754-761, 1998.
- [13] R. A. Wood, "Monolithic Silicon Microbolometer Arrays," Uncooled Infrared Imaging Arrays and Systems, P. Kruse and D. Skatrud, Editors, Semiconductors and Semimetals, Academic Press, Vol. 47 pp. 43-121, 1997.
- [14] Park Min-young "CMOS signal detection circuit for 32 X 32 uncooled infrared FPA," KAIST University Master's Thesis, pp. 8-14, 2007.
- [15] A. Rogalski, "Infrared detectors," Electro-component science monographs, Gordon and Breach Science Publishers Press., Vol. 10, pp. 12-14, 91, 2000.
- [16] Han, Myung - Soo "Uncooled pyroelectric infrared detector," Electrical and Electronic Materials, Vol. 17, No.2, pp. 30-38, Feb. 2004.
- [17] Lee, Jae-il "The new NUC method proposal considering the infrared system characteristics of internal

temperature changes, and H/W implementation," Sae Mulli 11 Master's thesis, pp. 269, 274, 2000.

### Authors



Seok Hyeon Son received the B.S. degrees in Electrical Electronics Engineering from Chung Ang University, Korea, in 2009.

Mr. Son joined the Image Sensor Team of Hanwha Systems, Korea, in 2009. He is currently a Engineer in the Electro-optics - PGM R&D Site, Hanwha systems. He is interested in Infra-red Image Processing.