

줌 광학계를 이용한 원적외선 열상장비의 설계 및 제작

홍석민* · 김현숙

국방과학연구소 기술연구본부

☎ 305-600 대전시 유서우체국 사서함 35-5

(2005년 6월 28일 받음, 2005년 8월 10일 수정본 받음)

480×6 배열 HgCdTe(MCT) 검출기를 사용하는 고성능의 원적외선(LWIR) 줌 열상센서를 개발하였다. 광학계는 대략 190 mm 직경을 갖는 대물 망원경과 광학적으로 잘 정렬된 주사장치로 구성된다. 망원경의 줌 비율은 3:1이며 배율의 변환은 2개의 렌즈 그룹을 이동시킴으로써 수행된다. 이동하는 2개의 렌즈 그룹으로 열상장비의 비열화도 함께 수행한다. 비열화 수행을 통해 광범위한 온도 범위에서도 시스템의 성능 저하 없이 활용이 가능하다. 한편 개발된 열상장비는 16:9 양상비를 갖는 고화질 텔레비전(HDTV)에 시현도 가능하다. HDTV 형태의 경우 주사장치는 62만 화소까지 영상 시현이 가능하다. 이 기능은 일반적인 TV 시현의 경우보다 성능의 저하 없이 수평 시계각을 넓혀 주는 역할을 한다. 설계 및 제작된 원적외선 열상장비의 고배율에서 최소분해가능온도차(MRTD)를 측정 한 결과, 2 cycles/mrad의 공간주파수에서 0.04 K 이하 및 8 cycles/mrad의 공간주파수에서 0.23 K의 우수한 결과를 보였다.

주제어 : 열상장비, 원적외선, 줌 광학계, 최소분해가능온도차.

I. 서 론

절대온도 0도(0 K = -273℃) 이상의 모든 물체는 물체 내부의 원자와 분자의 진동과 회전에 의해 자체적인 복사 에너지를, 즉 전자파를 방사하며 복사 이론에 따르면 에너지의 최대 방출 파장은 물체를 흑체(blackbody)로 가정하였을 때, 표면의 온도 및 상태와 상관관계를 갖는다. 따라서 표적과 배경이 방출하는 고유한 복사 에너지 차이(온도 차이)를 검출하여 전기적 신호처리를 거친 뒤 영상화하는 장비가 있을 수 있는데 이러한 장비를 열상장비(thermal imaging system)라 부른다.^[1-3] 지구상에 존재하는 거의 대부분의 물체가 복사하는 전자파의 에너지 파장 대역은 대부분 적외선 영역이며 특히 상온에 존재하는 물체들은 물리적으로 10 μm 근처의 원적외선(LWIR : long wavelength Infra red) 파장 대역에서 에너지를 가장 많이 방출한다. 열상장비는 빛이 전혀 없는 상태에서도 영상 획득이 용이하여 군사용 감시 장비나 사격통제장비로 많이 활용되고 있지만 최근에는 송전선로의 이상 유무 판단, 저장 탱크의 저장량 확인, 사스 환자의 체열 검색 등 산업계와 의료계의 이용도 증가하고 있다.

일반적으로 열상장비는 적외선 파장 영역 중에서 대기투과 특성이 좋은 3~5 μm 파장대역과 8~12 μm 파장대역만을 이용하며 이 영역을 대기창(atmospheric window)이라 한다. 관측 대상과 대기투과특성 및 장비 성능에 따라 3~5 μm 파장대역과 8~12 μm 파장대역의 이용이 구분될 수 있는데^[4,6] 최근 들어서 장비의 성능이 향상되면서 점차 이 구분의 필요성이 희석되어 가고 있는 실정이다. 그렇지만 관측 대상인 물체

의 에너지 방출 특성 측면에서 볼 때 일반적으로 상온(300 K) 근처에 있는 물체의 파장별 복사에너지는 3~5 μm 파장대역보다 8~12 μm 파장대역에서 크게 나타나고 또 모래먼지, 섬광, 연막 등 전장 상황 하에서의 투과특성이나 관측특성이 유리하여 지상 전장에 사용되는 열상장비는 아직까지 8~12 μm 파장대역을 선호하는 추세이다. 국내에서도 이미 1990년대 중반부터 1세대 및 2세대 원적외선 열상장비와 중적외선(MWIR : mid wavelength infra red)의 초점면 배열 열상장비를 개발하여^[7-12] 야간 감시장비, 무인항공기나 헬리콥터의 야간 항행 장비 및 전자 사통센서로 활용하고 있다. 그러나 원적외선 영역의 줌 광학계는 파장대역이 가시광선 영역에 비해 10배 이상 길며, 사용 가능한 광학 재질도 제한되어 설계가 매우 까다롭기 때문에 원적외선 영역의 줌 광학계를 이용한 열상장비는 국내에서 지금까지 구현되지 못했다.

본 논문에서는 480×6 배열의 원적외선 검출기를 이용하여 표적 획득 능력이 대폭 향상된 2세대 줌 열상장비를 설계, 개발하였다. 고성능 열상장비로써 효율적으로 원거리 야간감시에 활용할 수 있도록 6.7배~20배율의 3:1 줌 비율을 갖는 원적외선 줌 망원경을 구현하였다. 주사장치와 열상 신호처리기는 공통모듈 개념으로 설계하여 기존에 개발된 전자 조준경용 열상센서와^[12,13] 상호 호환성을 갖도록 하였다. 따라서 본 논문에서는 열상 신호처리기에 대한 세부적인 언급은 생략한다. 아울러 주사장치의 주사 효율을 증대시켜 16:9 양상비를 갖는 고화질 텔레비전(HDTV : high definition television)에도 시현이 가능토록 하였다. 기존 일반적인 TV에는 수직 480 화소, 수평 980 화소 즉, 47만 화소가 영상으로 시현되는데 비해 HDTV에의 영상 시현은 수직 480 화소, 수평 1300 화소로 62만 화소 이상 가능하다. 이 기능은 성능

* E-mail: hongsm@add.re.kr

의 저하 없이 기존 일반적인 TV보다 수평 시계각을 30% 정도 넓혀 주는 역할을 한다.

II. 원적외선 줌 광학 열상장비 설계

2.1 열상 시스템 설계

일반적으로 주사방식의 열상장비에서 적외선 광학계는 망원경 광학계와 주사광학계로 구성된다. 망원경 광학계는 원거리 표적에 대한 배율을 증가시켜 확대하는 역할을 하며 통상 무초점(afocal) 광학계가 사용된다. 주사장치는 주사 거울 구동부에 의한 순차적인 주사와 더불어 검출기면에 상을 맺게 해주는 역할을 한다.^[14-17]

열상 신호처리는 아날로그 신호처리부, 디지털 신호처리부, 광학계 및 열전 냉각 소자(TEC : Thermo- Electric Cooler) 구동부, 수평주사거울 구동부, 냉각장치 구동부 및 전원부 모듈들로 구성된다.^[12,13] 아날로그 신호처리부는 바이어스 및 구동 클럭 발생회로와 출력신호의 아날로그 신호처리 및 AD(analog to digital) 변환 회로들로 구성되며, 디지털 신호처리부는 주사변환, 불균일보정, 영상의 대조비 향상 등의 기능을 한다. 광학계 구동부는 광학 배율 변환을 위한 구동 모터를 제어하며, TEC 구동부는 디지털 신호처리부로부터 기준값을 받아 TEC 저온부와 TEC 고온부 온도를 제어하는 기능을 갖는다. 수평 주사거울 구동부는 주사거울을 진동시켜 영상 에너지가 순차적으로 검출기 배열에 들어오도록 한다. 검출기 냉각장치 구동부는 적외선 검출기를 80 K(-193℃)로 일정하게 유지시켜 좋은 감도를 갖게 한다. 전원부는 전원잡음을 제거하고 안정된 전원 전압을 공급한다. 서론 부분에서 기술한 바와 같이 열상 신호처리는 기존에 개발된 전자 조준경용 열상센서와^[12,13] 상호 호환성을 갖도록 하여 영상 획득에 공통으로 활용하였으므로 본 논문에서 이에 대한 세부적인 언급은 생략한다. 그림 1은 원적외선 열상 센서의 기본 구성도이다.

군사적으로 열상장비는 주로 야간 감시나 사격통제 시스템의 센서로 사용된다. 야간 감시를 위해서 열상장비는 야간에 지형, 자물에 대한 속지가 가능하도록 가급적 넓은 시계를

확보하여야 하고 반면에 이상 징후가 발견되었을 때 표적을 고 배율로 확대하여 볼 수 있는 능력을 갖추어야 한다. 따라서 광시계의 저배율 광학계와 협시계의 고배율 광학계 성능을 모두 갖추어야 하고 줌 방식으로 구현되는 것이 감시의 편의상 매우 유리하다. 시스템으로부터 결정된 주사 광학계의 시계는 $40^{\circ} \times 22.5^{\circ}$ 이며, 유효초점거리는 30.7 mm, 입사동의 직경은 12.3 mm 이다. 따라서 시스템 사양을 만족시키며 HDTV 시현을 고려한 줌 망원경의 고배율 최대 시계는 $2.67^{\circ} \times 1.5^{\circ}$ 이며, 저배율 최대 시계는 $8.0^{\circ} \times 4.5^{\circ}$ 인 줌비 3:1의 줌 광학계이다. <표 1>은 설계된 원적외선 줌 방식 열상장비의 사양이다.

2.2 원적외선 줌 망원경 설계

원적외선 줌 망원경 광학계의 설계사양은 시스템 요구조건으로부터 주어지는 광학계 전체의 목표사양과 주사 광학계의 설계사양에 의해 결정된다. 줌 망원경 광학계의 성능에 대한 설계목표는 검출소자 한 개의 크기인 28 μm 에 해당하는 순간시계(instantaneous field of view) 2개를 한 주기로 하는 공간주파수를 기준으로 하였으며, 이 주파수를 줌 망원경의 출사동에서 계산해보면 556 cycle/rad에 해당한다. 이 기준 주파수에서 시스템의 F/수인 F/2.5와 중심파장 9 μm 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, 수평시야의 끝인 40° 에서는 회절 한계값의 60% 수준인 0.3으로 정하였다. 이와 같은 시스템으로부터 주어진 요구조건을 기준으로 설정된 줌 망원경 광학계의 설계사양을 정리해 보면 <표 2>와 같다.

망원경의 시계는 목표했던 대로 고배율과 저배율에서 각각 $2.67^{\circ} \times 1.5^{\circ}$, $8.0^{\circ} \times 4.5^{\circ}$ 로 설계되었으며, 전체길이는 목표보다 작은 341.0 mm로 설계하여 시스템의 부피를 전체적으로 줄일 수 있게 하였다. 또한 5배에서 15배의 배율을 바꾸기 위해 필요한 배울렌즈와 보정렌즈의 움직임은 행정 거리(stroke)를 22.65 mm, 38.04 mm로 하고, 무한대 거리부터 100 m 표적까지 초점을 맞추는데 필요한 초점조절 렌즈의 이동거리는 고 배율에서 0.9 mm, 저배율에서 0.1 mm로 설계하였다.

망원경 광학계를 구성하는 렌즈 매수는 총 5군 8매의 렌즈로 설계하였으며 사용된 비구면 렌즈의 수는 총 2매로 비교적 낮은 가공비를 사용하여 회절 한계에 가까운 우수한 광학적 성능을 보이도록 하였다. 대물렌즈는 Ge 재질을 사용하였으며 비네트(vignet)를 고려한 유효구경이 186.5 mm이다. 제2 렌즈군인 배울렌즈는 두개의 음의 굴절능을 갖는 렌즈로 구성되며 광축을 따라 움직여 망원경의 배율을 바꾸는 역할을 한다. 이 렌즈군은 Ge보다 색 분산이 큰 ZnSe를 배울렌즈1로 사용하여 망원경 광학계의 전체적인 색수차를 보정하도록 하였다. 제3 렌즈군인 보정렌즈는 양의 굴절능을 갖는 Ge 렌즈로 배울렌즈의 광축이동에 따른 초점면의 이동을 보상한다. 제4 렌즈군인 초점렌즈는 양의 굴절능을 갖는 Ge

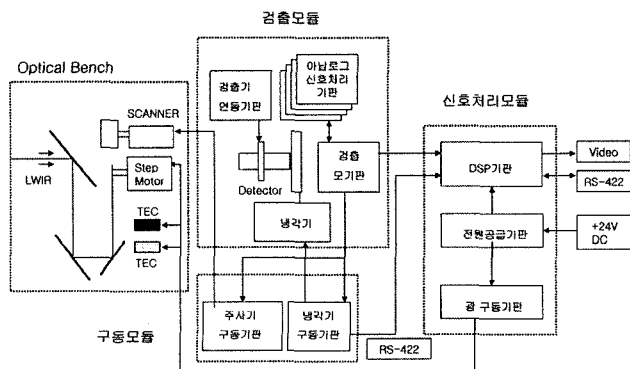


그림 1. 원적외선 열상 센서의 기본 구성도.

표 1. 설계된 원적외선 줌 방식 열상장비의 사양.

항 목	설계 사양	비 고
검출기	480 × 6 LWIR	ID TL056(프, Sofradir사)
소자 크기	28 μm(수평) × 38 μm(수직)	
파장 감응 영역	7.7 μm~10.3 μm	원적외선
배율	6.7배 ~ 20배	배율은 40×30를 기준 배율로 정의. 팔호 안은 HDTV 시현시
시계	광시계 : 6°(또는 8°) × 4.5 협시계 : 2°(또는 2.67°) × 1.5	
전자줌	2배, 4배	2:1, 4:1
시스템 F/수	F/2.66	
대물구경	직경186.5 mm	수직방향truncation
유효초점거리	협시계 : 466 mm 광시계 : 155 mm	줌 비 3:1
초점조절범위	100 m ~ ∞	고배율 기준
최소분해가능온도차	0.05℃이내 @2 cy/mrad	상온(23±5℃) 기준
Frame rate	30 Hz	
화면양상비	4:3(또는 16:9)	팔호 안은 HDTV 시현시
샘플링	980(또는 1300) × 480 pixels	검출기/양상비로 결정 팔호 안은 HDTV 시현시
영상출력	RS170	

표 2. 줌 망원경 광학계의 설계 사양

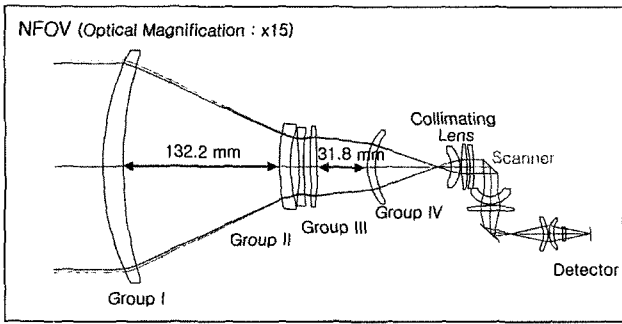
항 목		설 계 사 양
파장대역(wave band)		7.7 μm ~ 10.3 μm
구 경(aperature)		~ 200.0 mm(C.A. 186.5 mm)
배 율(magnification)		× 5.0 ~ × 15.0
망원경 시계	최고배율(× 15.0)	2.67° × 1.5°
	최저배율(× 5.0)	8.0° × 4.5°
출사동 시계		± 22.95°
망원경 길이		~ 350 mm
투과율(transmission)		≥ 75%

렌즈로, 물체까지의 거리 변화에 따라 초점을 맞추는 초점조절 렌즈의 역할을 하며 앞면에 비구면을 적용하여 줌 망원경의 구면수차 및 비축수차 보정을 하였다. 시준렌즈는 총 3개의 렌즈로 구성되며 2대는 Ge, 1대는 ZnSe이다.

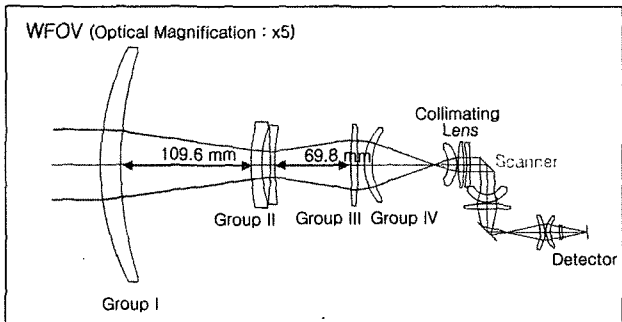
주사 광학계를 결합한 최종 원적외선 줌 광학계의 구성도는 그림 2와 같다. 그림에서처럼 망원경 광학계 광로는 일자형으로 구성되며 주사거울에 의해 연결된다. 이후 주사광학

계의 광로는 축거울에 의해 검출기 쪽으로 꺾이게 되며, 검출기의 불균일 보상을 위한 흑체 투사 광학계는 대물부와 시준렌즈 사이에 놓이게 된다.

그림 3은 설계된 망원경 광학계의 고배율에서의 변조전달 함수(MTF : modulation transfer function) 특성을 나타낸 것이다. MTF 분석값은 중심 시계 뿐 아니라 최외곽 시계에서 거의 유사하며 18 cy/mm에서 MTF 0.4 정도로 회절한계 성

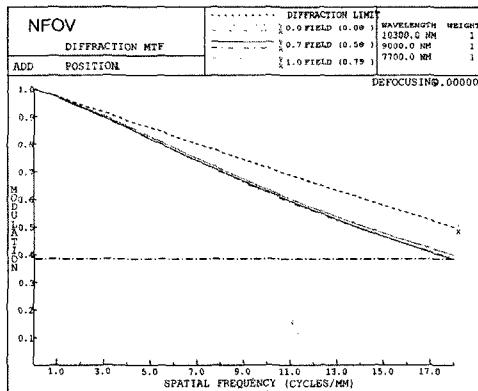


(a) 고배율(협시계)

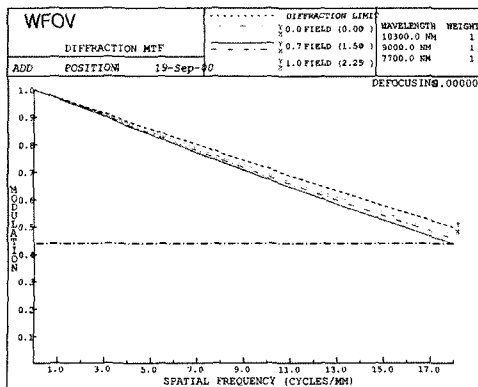


(b) 저배율(광시계)

그림 2. 원격외선 줌 광학계 구성도((a) 고배율, (b) 저배율).



(a) 고배율



(b) 저배율

그림 3. 원격외선 줌 광학계 고배율 및 저배율에서의 변조전달함수.

능에 가까운 매우 우수한 광학성능을 보임을 알 수 있다.

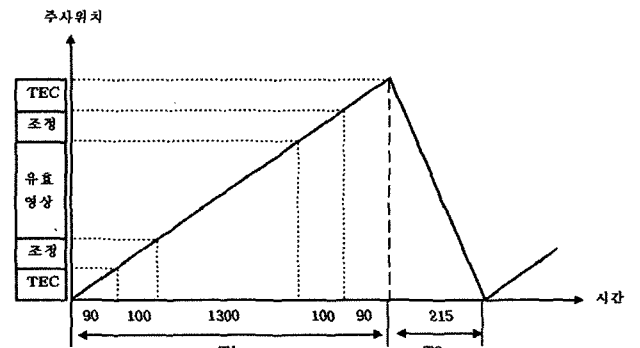
한편 군사적 응용에 많이 사용되는 적외선 광학계는 일반적인 민수용 광학계와는 달리 영상의 성능저하 없이 매우 넓은 온도범위 내에서 동작하도록 요구되며, 일반적인 열상센서의 경우 동작온도 범위가 -30°C 에서 $+55^{\circ}\text{C}$ 정도이다. 그러나 적외선 영역 초자는 가시광 영역의 유리 초자에 비하여 매우 큰 열 분산 계수를 가지며 이는 온도에 따른 상면의 이동을 유발하여 장비의 심각한 성능 저하를 초래하게 된다. 따라서 이러한 defocus에 의한 성능저하를 개선할 적절한 줌 카메라의 비열화 보정이 필요함을 알 수 있다. 본 적외선 광학계의 설계 및 제작에서는 광학계의 비열화 보상 방법으로 망원경 광학계의 시계 변화를 위해 움직이는 두개의 배울 렌즈군에 추가적인 이동을 부가하여 온도에 따른 상면의 defocus를 제거하도록 하였으며, 온도센서와 적절한 온도 구간별로 계산된 두 렌즈군의 LUT(look-up table)를 이용하여 구현하였다.

2.3 주사광학계 설계

주사광학계는 검출기의 특성 및 시스템 목표사양 등을 고려한 시스템 요구 조건으로부터 주어진다. 시계는 주사방향과 수직인 방향으로 22.5° 요구되며, 수평 주사각은 영상만을 고려했을 때 $\pm 15^{\circ}$, 영상 불균일 보정을 위한 흑체복사기 시계까지 고려하면 $\pm 22.5^{\circ}$ 로 요구된다. 주사광학계 F#는 검출기 사양과 시스템 성능을 고려하여 2.5로 결정하였다.

주사광학계의 광계통에서 결상렌즈1의 재질은 색수차를 보정하기 위하여 ZnSe로 하였으며, 나머지 렌즈는 Ge로 하였다. 결상렌즈1의 전면과 결상렌즈2의 후면, 연결렌즈2의 후면은 비구면으로 구성하였다. 결상렌즈에 의해 1차 초점이 맺히는 부분에 필드 stop을 설치하여 망원경 광학계에 의해 반사되는 Narcissus 현상을 최소화하였다. 주사광학계 자체의 초점조절이 용이하도록 연결렌즈1과 연결렌즈2사이의 거리 및 필드 stop과 연결렌즈1사이의 거리를 충분히 확보하였다.

16:9의 수평 및 수직 양상비를 갖는 HDTV에 영상을 시현



- ✓ $T1$ = 수평 주사기간, $T2$ = 회귀기간
- ✓ 주기 = $T1 + T2 = 1/30$ 초
- ✓ $D = T1/(T1+T2) > 88\%$

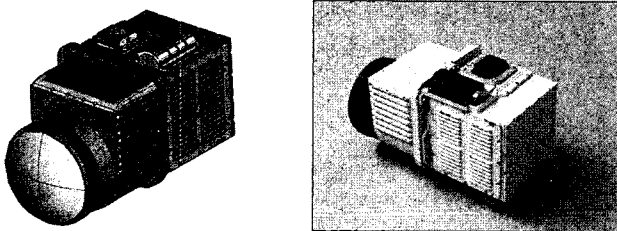
그림 4. 수평 주사 시간과 공간적 주사위치의 상호 관계.

하는 경우, 4:3의 수평 및 수직 양상비를 갖는 기존 TV에 비해 수평각이 30% 정도 증가하게 되므로 수평주사거울의 주사 효율이 높아야 하고 선형성이 유지되어야 한다. 일반 TV에 영상을 시현하는 기존 열상장비는 그림 4에서 보는 유효영상의 샘플 수가 980개에 불과하나 HDTV에 영상을 시현하기 위해서는 1300개로 확대되어야 한다. 특히 유효영상의 주사 구간에서는 선형성이 공간적으로 1/3 축소 이내가 되도록 안정된 주사거울 구동이 필요하다.

III. 제작 및 평가

설계된 야간 감시용 원적외선 줌 열상장비를 제작하고 평가하였다. 그림 5는 설계 및 구현된 야간 감시용 열상장비를 보여준다. 구현된 열상장비의 무게는 줌 망원경을 포함하여 22.7kg이며 크기는 496.6 mm(길이)×263.7 mm(너비)×300.5 mm(높이) 내외이다.

그림 6은 제작된 열상장비로 획득된 배울별 줌 영상이고 그림 7은 HDTV에 영상을 시현한 경우와 일반 TV에 영상을 시현한 경우를 각각 비교한 것이다. 사진에서 보는 바와 같



(a) 모델링 결과 (b) 시제품
그림 5. 설계, 제작된 원적외선 줌 광학 열상장비

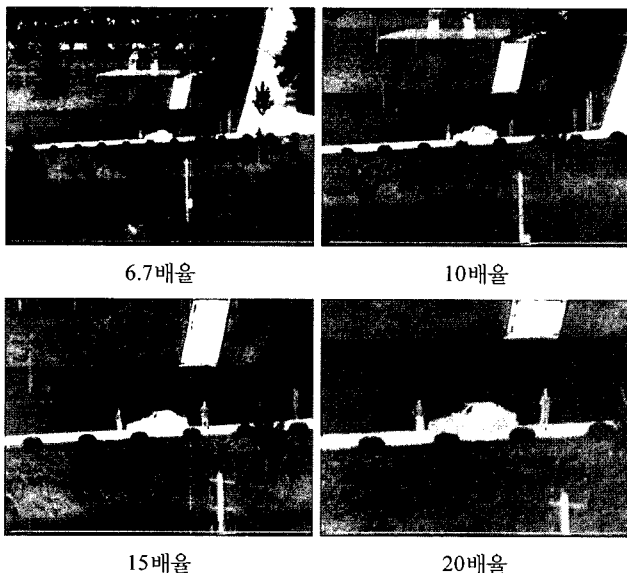
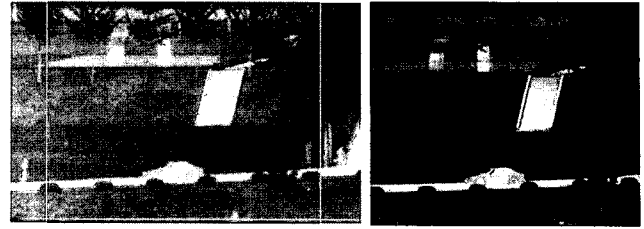


그림 6. 시스템 배율에 따른 원적외선 열상장비 줌 영상.



HDTV 영상 재현(62만 화소) 일반 TV 영상 재현(47만 화소)
그림 7. HDTV 영상재현을 위한 주사효율 증대(수평각 증대).

이 HDTV에 영상을 시현하는 경우 영상의 수평 샘플링 화소 수가 기존의 980개에서 1300개로 증대되어 열상장비의 수평 시계가 30% 정도 증가하기 때문에 감시 목적에 더 유리함을 알 수 있다.

특히 열상장비의 성능을 종합적으로 나타내는 최소분해가능 온도차(MRTD : Minimun Resolvable Temperature Difference)를 측정된 결과 기존 1세대 열상장비의 열 분해능이 2 cycle/mrad의 공간 주파수에서 0.3℃ 내외였던 것에 비해, 이번에 개발된 고성능 2세대 열상장비는 설계값보다 작은 0.04℃ 수준으로 나타나 보다 세밀한 영상 정보 획득이 가능함을 알 수 있었다. 또 고배율에서 8 cycle/mrad의 공간 주파수까지 분해가 가능하고 그때의 MRTD 값이 0.23℃ 로 측정이 되어 원거리 표적 획득도 용이함을 알 수 있었다.

온도에 따른 광학계의 굴절을 변화와 광학부품 지지대들의 팽창을 변화에 따른 초점거리의 변동은 운용온도 범위가 광범위한 군사용 열상장비의 경우, 성능을 저하시키는 중대한 요인이 된다. 따라서 각 광학부품과 기구적 지지대의 온도별 변화량이 배율에 따른 초점거리의 변화에 미치는 영향을 계산하고 실험을 통하여 구동이 가능한 렌즈군들의 보정값들을 LUT에 미리 입력하여, 운용온도 측정값에 대해 자동으로 매칭시키는 비열화 보상이 수행되어야 한다. 그림 9는 20℃의 기준 온도에 대해 -30℃~+55℃의 운용온도 범위일 때 적외선 검출기면상에서 각 배율별로 초점이 변화하는 정도를 보여 준다. 이 변화량은 중적외선을 이용하는 열상장비에

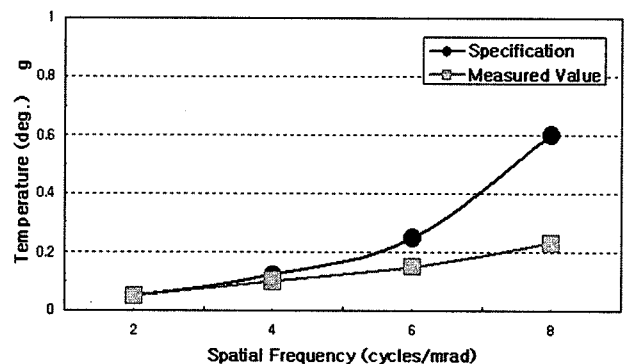


그림 8. 열상장비의 최소분해가능온도차(MRTD) 측정값.

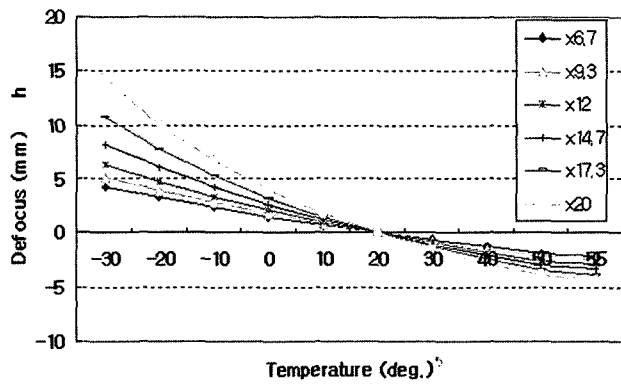


그림 9. 운용온도에 따른 열상장비의 배율별 defocus 양.



(a) 저배율



(b) 고배율

그림 10. 겨울철(0°C내외) 저배율 및 고배율에서의 비열화 결과 영상.

비해 거의 10배 정도 크기 때문에 원적외선 열상장비의 경우 자동 비열화 보상은 매우 중요하다. 그림 10은 개발된 열상장비로 0°C 내외의 겨울철에 6.7배율의 저배율과 20배율의 고배율에서 영상을 획득한 결과이다. 별도의 초점 조절 없이, 장비 자체에서 자동 비열화 보상을 한 결과만으로 각각의 배율에서 초점의 흐림이나 성능 저하 없이 잘 작동함을 알 수 있다.

IV. 결 론

효율적인 야간 감시를 위해서 7.7 μm ~ 10.3 μm 파장대역

을 검출할 수 있는 480×6 초점면배열 적외선 검출기를 사용하여 원적외선 줌 광학계를 설계하고 열상장비를 구현하였다. 원적외선 줌 광학계의 최대 배율은 20배율이며 줌 비율은 3:1이다. -30°C ~ +55°C의 운용온도 범위에 대해 배율별로 초점이 변화하는 정도를 분석, 실험하여 주어진 운용온도에서 2개의 구동 렌즈군만으로 자동 보상이 가능한 비열화 방법을 제시하고 영상 획득으로 결과를 입증하였다.

기존의 일반 TV 뿐 아니라 고화질의 HDTV에도 열 영상 시현이 가능토록 주사장치를 설계하여 HDTV 이용시 기존의 47만 화소에서 62만 화소로 고선명도 영상 시현이 가능하고 수평 시계각이 30% 증가하여 야간 감시에 탁월한 성능을 발휘할 수 있다. 설계 및 제작된 원적외선 열상장비의 고배율에서 최소분해가능온도차(MRTD)를 측정한 결과, 2 cycles/mrad의 공간주파수에서 0.04 K 이하 및 8 cycles/mrad의 공간주파수에서 0.23 K의 우수한 결과를 보였다.

참고문헌

- [1] J. M. Loyd, *Thermal Imaging Systems*, Plenum Press, New York, pp. 212-368, 1975.
- [2] G. Gaussorgues, *Infrared Thermography*, Chapman & Hall, London, pp. 1-60, 1994.
- [3] J. L. Miller, *Principles of Infrared Technology*, Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 3-51, 1994.
- [4] J. T. Woolaway, "New sensor technology for the 3 to 5 μm imaging band," *Photonics Spectra*, pp. 113-119 Feb. 1991.
- [5] T. Meitzler, "A comparison of the performance of 3-5 and 8-12 μm infrared camera," *Proc. SPIE 2224*, pp. 22-29, 1994.
- [6] R. B. Jhonson, "Relative merits of the 3-5 μm and 8-12 μm spectral bands," *Proc. SPIE 915*, pp. 106-115, 1988.
- [7] 김창우, 김현숙, 홍석민, 김재기, "열상장비용 직병렬 주사광학계," *한국광학회지*, vol. 5, no. 2, pp. 212-216, 1994
- [8] 홍석민의, "직병렬 주사방식 열상장비의 설계 및 제작," *응용물리*, 제8권, 제3호, pp. 289-295, 1995.
- [9] H. S. Kim, C. W. Kim, and S. M. Hong, "Compact mid-wavelength infrared zoom camera with 20:1 zoom range and automatic athermalization," *Optical Engineering*, vol. 41(7), pp. 1661-1667, 2002.
- [10] 홍석민의, "320×240 적외선 검출기를 이용한 열상센서 설계," *한국광학회지*, vol. 15, no. 5, pp. 423-428, 2004.
- [11] S. M. Hong et. al., "Advanced thermal imaging system for tank sight," *Proc. SPIE 5783*, pp. 932-942, 2005.
- [12] 홍석민, 김현숙, 박용찬, "원적외선 2세대 열상조준경의 설계," *한국광학회지*, vol. 16, no. 3, 2005.
- [13] 홍석민, 유위경, 윤은숙, "열상장비의 실시간 영상 신호처리," *한국군사과학기술학회지*, 제7권, 제4호, pp. 79-86, 2004.
- [14] R. E. Fischer, B. Tadic-Galeb, *Optical system design*, McGraw-Hill, New York, 2000.

- [15] R. Simmons, "Athermalisation of a fast infrared telescope objective," *Proc. SPIE* 2539, 137-149, 1995. chap.3, p. 28-30, 1996.
[16] A. Mann, *Infrared optics and zoom lenses*, SPIE Press, [17] M. J. Riedl, *Optical design fundamentals for Infrared systems*, SPIE press, 1995.

Advanced LWIR Thermal Imaging System with a Large Zoom Optics

Seok Min Hong[†] and Hyun Sook Kim

Agency for Defence Development P.O. Box 35-5, Daejeon 305-600, Korea

[†]*E-mail: hongsm@add.re.kr*

(Received June 28, 2005, Revised manuscript August 10, 2005)

A high performance LWIR(long wavelength infra red) zoom thermal imaging sensor using 480×6 HgCdTe(MCT) linear detector has been developed by ADD Korea. The optical system consists of zoom telescope having large objective about 190 mm diameter and optically well corrected scanning system. The zoom ratio of the telescope is 3:1 and its magnification change is performed by moving two lens groups. And also these moving groups are used for athermalization of the system. It is certain that the zoom sensor can be used in wide operating temperature range without any degradation of the system performance. Especially, the sensor image can be displayed with the HDTV(high definition television) format of which aspect ratio is 16:9. In case of HDTV format, the scanning system is able to display 620,000 pixels. This function can make wider horizontal field of view without any loss of performance than the normal TV format image. The MRTD(minimum resolvable temperature difference) of the LWIR thermal imaging sensor shows good results below 0.04 K at spatial frequency 2 cycles/mrad and 0.23 K at spatial frequency 8 cycles/mrad at the narrow field of view.

OCIS Codes : 110.0110, 110.3080, 110.6820, 220.0220, 220.4830.