

원적외선 2세대 열상조준경의 설계

홍석민 · 김현숙[†] · 박용찬

국방과학연구소 기술연구본부

Ⓣ 305-600 대전시 유서우체국 사서함 35-5

(2004년 2월 28일 받음, 2005년 5월 24일 수정본 받음)

전차 조준경으로 사용될 수 있는 2세대 열상장비를 개발하였다. 설계된 장비는 프랑스 Sofradir사의 480X6 배열 원적외선(7.7 μ m-10.3 μ m) MCT(HgCdTe) 검출기를 이용하였고, 2.67°×2°의 고배율 협시계와 10°×7.5°의 저배율 광시계의 이중배율을 가지고 있다. 또한 넓은 운용 온도 범위에서도 시스템의 성능이 저하되지 않도록 비열화 기술을 적용하였다. 설계된 장비는 고효율의 주사장치로 47만 화소의 실시간 영상 재현이 가능하며, 이는 1세대 열상장비에 비하여 화소수가 대폭 증가한 것이다.

적외선 검출소자들의 불균일 보정을 위해서 열전 냉각 소자를 이용한 두 점 보상 기법을 제시하여 실시간 보정이 이루어지게 하였고, 열영상 분포 히스토그램 가변 방식의 처리 기법을 제안하여 적용함으로써 대조비가 매우 낮은 표적의 식별도 용이하게 하였다. 설계 및 제작된 2세대 열상장비의 고배율에서 최소분해가능온도차를 측정된 결과, 2cycles/mrad의 공간주파수에서 0.05K 이하의 우수한 결과를 보였다.

주제어 : Lens design, Digital image processing, Image detection systems.

I. 서 론

열상장비는 물체가 방출하는 미약한 에너지 차이를 검출하여 실시간으로 영상화하는 장비이다. 표적이 자체적으로 방출하는 이러한 에너지들은 빛의 존재 유무와는 무관하므로 주간뿐 아니라 야간에도 정밀한 영상정보를 얻을 수 있어, 열상장비는 군사적으로 야간 감시나 사격통제를 위한 조준경 등에 적용되고 있다. 특히 상온에 존재하는 대부분의 군사 표적의 경우, 물리적으로 10 μ m 근처의 적외선 파장 대역에서 에너지를 가장 많이 방출하고, 또 8~12 μ m의 원적외선 대역이 대기투과특성도 비교적 우수하여 지상전투차량의 경우 원적외선을 이용하는 열상장비들이 많이 활용되고 있다.^[1-2]

적외선 영역에서의 에너지 검출은 HgCdTe 또는 InSb 등의 반도체 검출기를 일반적으로 사용하는 데 원적외선 검출의 경우, 아직까지 완전 2차원 배열의 검출기가 실용화되지 못하여 시계 내의 모든 에너지 정보를 동시에 검출하는 데 제한점을 가지고 있다. 따라서 보통 수직방향으로 검출소자들을 선형으로 배열한 뒤, 주사 거울을 수평방향으로 진동시켜 순차적으로 에너지를 받아들이며 이를 전기적인 신호로 변환시키는 방식을 이용하고 있다. 즉 120×1, 180×1 등의 검출소자 배열로 띠 형태의 정보를 동시에 획득하고 이를 수평방향으로 순차적으로 이동하여 다음 구간의 정보를 획득하는 방식이다. 최근에는 240×4, 480×6 등으로 소자 배열이 대폭 증가하여 보다 세밀한 영상정보의 획득이 가능해졌다. 이 경우 수평 방향의 4 또는 6개 소자는 신호 성분을 중첩시켜 신호대 잡음비를 개선하는 역할을 한다.

국내에서도 이미 1990년대 중반부터 원적외선의 1세대 열상장비와 중적외선의 초점면 배열 열상장비를 개발하여^[3-8] 야간 감시장비, 또는 헬리콥터 등의 야간 항행 장비로 활용하고 있다. 본 논문에서는 480x6 배열의 원적외선 검출기를 이용하여 표적 획득 능력이 대폭 향상된 고성능의 2세대 열상장비를 설계, 개발하였다. 고성능 지상전투차량의 효율적 사격통제를 위해 광시계와 협시계의 이중 배율로 광학계를 설계하였고 14 bit 디지털 영상처리로 잡음을 대폭 감소시키고 영상의 화소수를 47만 화소로 증가시켜 선명하고 세밀한 영상 획득이 가능케 하였다.

II. 조준경 열상장비 설계

2.1. 열상장비 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. 주사광학계는 주사장치에 의한 순차적인 주사와 더불어 검출기면에 상을 맺게 해 주는 역할을 한다.^[9-12]

열상 신호처리기는 아날로그 신호처리부, 디지털 신호처리부, 광학계 및 열전 냉각 소자(TEC : Thermo-Electric Cooler) 구동부, 수평주사거울 구동부, 냉각장치 구동부 및 전원부 모듈들로 구성된다.^[13-14] 아날로그 신호처리부는 바이어스 및 구동 클럭 발생회로와 출력신호의 아날로그 신호처리 및 AD 변환회로들로 구성되며, 디지털 신호처리부는 주사변환, 불균일보정, 영상의 대조비 향상 등의 기능을 한다. 광학

[†] E-mail: hyunsook.kim@add.re.kr

계 구동부는 광학 배울 변환을 위한 스텝모터를 제어하며, TEC 구동부는 디지털 신호처리로부터 기준값을 받아 TEC 저온부와 TEC 고온부 온도를 제어하는 기능을 갖는다. 수평 주사거울 구동부는 주사거울을 진동시켜 영상 에너지가 순차적으로 검출기 배열에 들어오도록 한다. 검출기 냉각 장치 구동부는 적외선 검출기를 80K(-193℃)로 일정하게 유지시켜 좋은 감도를 갖게 한다. 전원부는 전원잡음을 제거하고 안정된 전원 전압을 공급한다. 그림 1은 2세대 열상장비의

의 기본 구성도이다. 또 <표 1>은 전차 조준경으로 설계된 열상장비의 사양이다.

2.2. 이중배울 원적외선 광계통 설계

전차 조준경용 열상장비는 일반적으로 전투 상황을 잘 판단할 수 있도록 광시계의 저배율 광학계가 필요하며, 동시에 사격 통제가 잘 이루어지도록 표적을 확대할 수 있는 고배율의 광학계도 필요하여 통상 이중배율로 구성된다. 본 연구에

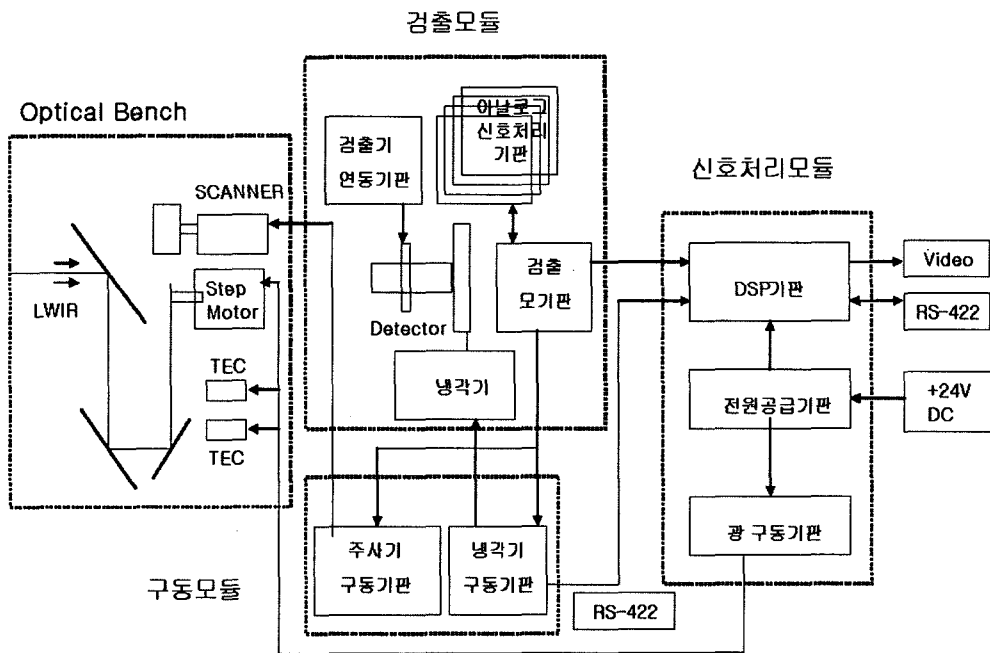


그림 1. 2세대 열상장비의 기본 구성도

표 1. 전차 조준경 열상장비 설계 사양

항 목	설계 사양	비 고
검출기	480x6 LWIR	ID TL056(프, Sofradir사)
배울	4배, 15배	배율은 40 x 30°를 기준 배율로 정의.
시계	광시계 : 10 x 7.5° 협시계 : 2.67 x 2°	
전자축	2배, 4배	2:1, 4:1
시스템 F/수	F/2.66	
대물구경	직경140 mm, 폭 110 mm	수직방향 truncation
유효초점거리	협시계 : 349.6 mm 광시계 : 93.1 mm	
초점조절범위	50m ~ ∞	고배율 기준
MRTD	0.05℃이내 @1cy/mrad	상온(23±5℃) 기준
Frame rate	30Hz	
화면양상비	4:3	
sampling	980 x 480 pixels	검출기/양상비로 결정
영상출력	RS170	

표 2. 망원경 광학계 설계 사양

항 목	설 계 사 양
배율	고배율 : $\times 11.38$, 저배율 : $\times 3.03$
시계	고배율 : $2.67^\circ \times 2.0^\circ$, 저배율 : $10.0^\circ \times 7.5^\circ$
대물렌즈 구경	직경 140 mm, 폭 110 mm(truncated)
배율전환 방식	스텝 줌
광투과율 ($7.7\mu\text{m} \sim 10.3\mu\text{m}$ 대역)	80% 이상
출사동 크기	12.3 mm
시준렌즈군의 초점거리	22 mm $\pm 5\%$

서는 $40^\circ \times 30^\circ$ 를 기본 1배율 시계로 놓고 고배율 15배, 저배율 4배의 이중배율 원적외선 광학계를 설계하였다. 이에 따르는 시계는 고배율 $2.67^\circ \times 2.0^\circ$, 저배율 $10.0^\circ \times 7.5^\circ$ 이며, 대물렌즈 구경은 직경 140 mm 이내, 폭 110 mm 이내로 제한하였다. 이는 전자 탑재를 고려, 조준경 주거울(head mirror)의 크기와 상응하여 설계된 결과이다.

망원경 광계통의 전체길어도 전자 내부의 조준경 공간을 고려하여 227 mm 이내로 제한하였다. 배율전환을 위한 배율 조정 렌즈군은 스텝 줌 방식으로 구동하게 되는데, 이 때 리드스크루의 길이가 너무 길면 리드스크루에 의해 광선이 막히게 되므로 가능하면 짧은 것이 좋다. 따라서 배율전환을 위한 배율 렌즈군의 이동 길이(행정거리)는 20 mm 이내로 설계하였다. 보정렌즈 중간 초점에서 시준렌즈군 간의 거리는 열전 냉각 소자의 장착을 위해 10 mm 이상 요구되며, 렌즈 간의 간격은 전차의 진동, 충격 등의 환경적인 요소들을 고려하여 안전하게 1 mm 이상으로 제한하였다. 또 배율 렌

즈군과 보정 렌즈와의 거리는 구동 및 마운트, 비열화 보정량 등을 고려하여 약 6.5 mm 이상으로 설계하였다. <표 2> 설계된 망원경 광학계의 사양이다.

그림 2는 위의 광학계 설계사양과 기구적 제한사항을 충족시키는 망원경 광계통의 고배율과 저배율 Layout이다. 망원경 광학계 전체길이는 정확히 227 mm이며, 출사동의 크기는 12.3 mm이다. 설계의 용이함을 위해 주사광학계 대신에 출사동(pupil)에 가상의 perfect lens를 두고 설계하였다. 여기서

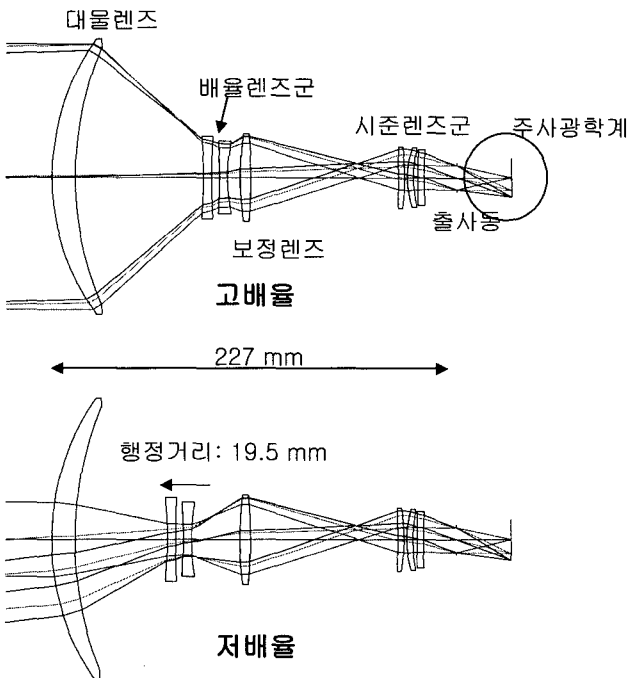
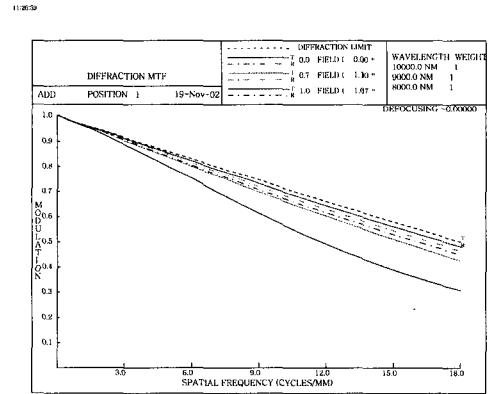
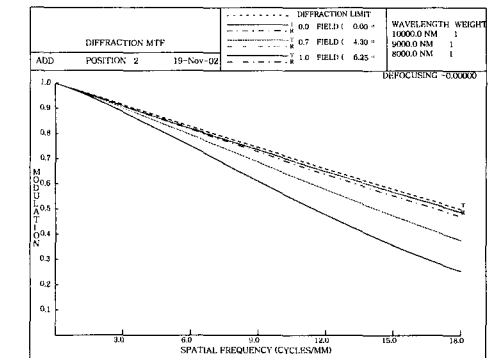


그림 2. 설계된 원적외선 이중배율 망원경 광학계.



(a) 고배율



(b) 저배율

그림 3. 망원경 광학계 고배율 및 저배율에서의 변조전달함수.

렌즈의 재질들은 원적외선을 투과하는 Ge과 ZnSe이며, 두 면은 비구면이다.

한편 그림 3은 설계된 망원경 광학계의 고배율에서의 변조 전달함수(MTF : Modulation Transfer Function) 특성을 나타낸 것이다. 계산상의 편의를 위해 망원경 광학계의 출사동에 perfect lens를 두었다. 즉, 실제 대물렌즈의 경우 한쪽 방향으로 크기가 제한되나 출사동이 원형이라고 가정하고 계산된 값이다. 시계의 중심에서 MTF 분석값은 이론적 한계치인 회절한계 성능에 가까우며 최외곽 시계에서도 18 cy/mm에서 MTF 0.3 정도로 좋은 광학성을 보임을 알 수 있다.

주사광학계는 검출기의 특성 및 시스템 목표사양 등을 고려한 시스템 요구 조건으로부터 주어진다. 시계는 주사방향과 수직인 방향으로 22.5° 요구되며, 수평주사각은 영상만을 고려했을 때 ±15°, 영상 불균일 보정을 위한 흑체복사기 시계까지 고려하면 ±22.5°로 요구된다. 주사광학계 F/#는 검출기 사양과 시스템 성능을 고려하여 2.5로 결정하였다.

한편 군사적 응용에 많이 사용되는 적외선 광학계는 일반적인 민수용 광학계와는 달리 영상의 성능저하 없이 매우 넓은 온도범위 내에서 동작하도록 요구되며, 본 열상센서의 경우도 동작온도 범위가 -30℃에서 +60℃ 까지 이다. 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 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. 이밖에 렌즈의 제작 및 조립 공차들을 고려하여 민감도 분석을 수행하였다. 광학계 배울 전환과 민감도 분석에 따른 조립, 조정 공차, 비열화 보상을 위한 이동 범위들은 그림 4와 같다. 즉, 광학계 배울 조절을 위해 19.5 mm, 조립과 조절을

위해 2.5 mm, 비열화 보상을 위해 6 mm, 원근 초점 조절을 위해 0.5 mm로 총 28.5 mm로 설계하였다.

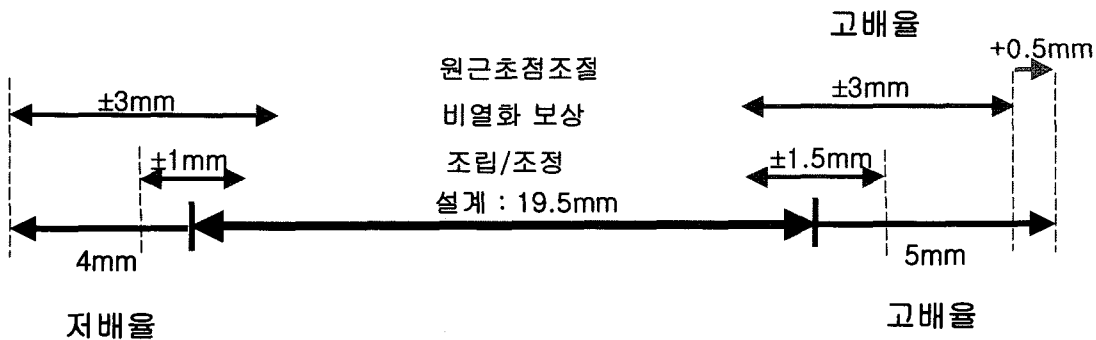
2.3. 아날로그 및 디지털 열영상 신호처리

열상장비 설계에 사용된 480x6 배열의 원적외선 검출기는 프랑스 Sofradir 사의 모델 ID TL056이다. 각 검출소자의 크기는 가로 28 μm 세로 38 μm이며, 수평방향으로 21.8 μm 수직방향으로 12.8 μm의 간격을 두고 배열되어 있다. 이 검출기는 수평방향으로 49.8 μm 주사시간 중에 3회 샘플링을 하므로 1픽셀의 수평분해능은 49.8÷3=16.6 μm에 해당하며, 이때의 수평샘플링 율은 28÷16.6=1.687이다. 또 수직분해능은 50.8÷2=25.4 μm이며, 수직샘플링 율은 38÷25.4=1.496이 된다. 한편, 소자배열은 홀수 필드와 짝수 필드가 232.4 μm 이격되어 있어 신호처리시, 필드 간 어긋남을 보상하여야 한다. 즉, 홀수필드는 15픽셀이 지연되고 짝수필드는 44픽셀이 지연되므로, 필드 간 어긋남 보상은 29픽셀에 해당한다.

검출기의 바이어스 전압은 모두 9종이며, 이 중에서 다이오드의 최적 동작점을 결정하는 값이 가장 중요하다. 이 전압의 안정성은 시스템의 신호대 잡음비 직결되며, 동작점의 선정은 신호전하의 전달효율 및 잡음전류에 영향을 미친다. 구동 클럭은 주 클럭, 적분 클럭 및 직렬 데이터 인터페이스 클럭 등 3개가 필요하며 검출기는 주 클럭을 받아 동작에 필요한 모든 클럭을 내부에서 자체적으로 생성한다. 동작 모드는 직렬 데이터 인터페이스 클럭을 통해 시스템의 주 프로세서에서 소프트웨어적으로 설정할 수 있다. 그림 5는 설계된 열상장비 신호처리기의 기본 구성을 나타낸다.

아날로그 영상 처리에서 검출신호는 홀수 필드와 짝수 필드로 나뉘어 각각 8개 채널씩 총 16개 채널을 통해 채널 당 30라인씩 다중화되어 출력되는데, 이러한 신호들로부터 한 프레임의 영상을 구성하기 위해서 전처리부에서 별도의 다중화 처리과정을 추가하였다. 또 다중화 처리에는 검출기의 검출신호 안정화 시간이 80 ns 이상 필요하므로 채널 당 다중화 시간을 충분히 길게 확보토록 설계하였다.

검출신호의 흐름을 살펴보면, 검출기 각 채널에서 출력되



총 행정거리 : 28.5mm

그림 4. 배울렌즈군의 요구 행정 거리.

는 검출신호는 초단 버퍼를 통해 A/D 변환기로 인가된다. A/D 변환기에서는 아날로그 다중화로 2채널 영상신호를 받아 1채널로 처리하고 이를 16 bit 양자화 처리한다. 실제 A/D 변환기 출력은 디지털 다중기를 거치면서 8 bit 형태의 2byte로 출력되며, 이는 16 bit 데이터 버스를 통해 디지털 영상처리부로 전달되는 구조이다.

2세대 초점면 배열 선형 검출기 ID TL056은 등잡음온도차가 25 mK 정도로 매우 뛰어나 우수한 영상분해능과 높은 신호대 잡음비를 제공한다. 그러나, 소자간의 출력특성이 매우 불균일하여 이를 완벽하게 보정하지 못하면 재현영상에 고정패턴잡음이 나타나서, 화질뿐만 아니라 열상장비의 성능척도인 최소분해능온도차를 극도로 악화시킨다. 이와 같은 불균일 특성은 입력온도신호에 대한 검출소자 개개의 이득과 오프셋이 서로 각각 다르기 때문이다. 따라서 검출소자들의 불균일 보정이 필요한 데 여기서 보정이란 검출소자 간 이득과 오프셋 차이를 동일한 입력온도신호에 대해 동일한 크기로 정합시키는 것을 의미한다.

종래의 1세대 열상장비들은 검출소자의 수가 수십~200여 개 정도에 불과하였기 때문에 각각의 검출소자에 아날로그 증폭기를 연결하여 이득과 오프셋을 보정하는 방식을 사용하였다. 그러나 2세대 열상장비는 검출소자수가 수천 개에 달하므로 아날로그 방식에 의한 보정회로 구현은 불가능하다. 따라서 대부분의 2세대 열상장비는 검출기 출력을 미리 측정하여 이득과 오프셋을 구하고 이 값을 메모리(ROM)에 기억시켜 보정하는 디지털방식을 사용하고 있는데, 이 방식의 단점은 특정한 온도에서 구한 보정값을 온도가 다른 입력영상에 적용할 때 완전한 보정이 이루어지지 않아 잔류잡음이 야기되는 것이다. 이러한 잔류잡음의 원인은 검출기의 특성이 사용과장, 입력온도신호, 압전류 등에 의해 비선형 시변함수의 성질을 갖는데 있다.

본 논문에서는 기준온도기반 실시간 불균일 보정 기술을 적용하여 디지털 신호처리를 설계하였다. 즉, 2개의 흑체 복사체인 열전 냉각 소자를 기준온도원으로 설정하고 입력영상의 온도분포 히스토그램을 획득한 뒤 온도분포의 1/4지점인 저온 TEC와 3/4지점인 고온 TEC를 30 Hz 화면율로 각각 제어하여 검출소자간 이득 및 오프셋이 실시간 적응적으로 보정되도록 하였다.

한편 적외선 열영상은 가시광 영상에 비해 대조비 성분이 낮고 표적(물체)의 윤곽이 선명치 못하다. 실제 적외선 검출신호의 크기 분포를 보면, 작은 표적 온도차 신호들이 큰 배경온도 신호에 중첩되어 나타난다. 이에 따라 열 영상의 농도(intensity) 분포는 전 영역에 걸쳐 고르지 못하고 일부 배경신호 주변에 밀집되어 있다. 결국 열 영상은 농도분포가 일부 영역에 편중되어 있어 대조비가 낮은 영상이라 할 수 있다. 대조비가 낮으면 영상이 선명치 못하며, 표적 식별이 어려워진다. 따라서 가능하면 대조비 성분을 최대로 조정하여 화질을 향상시켜야 한다.

본 연구에서는 이러한 열 영상의 농도분포 특성을 이해하

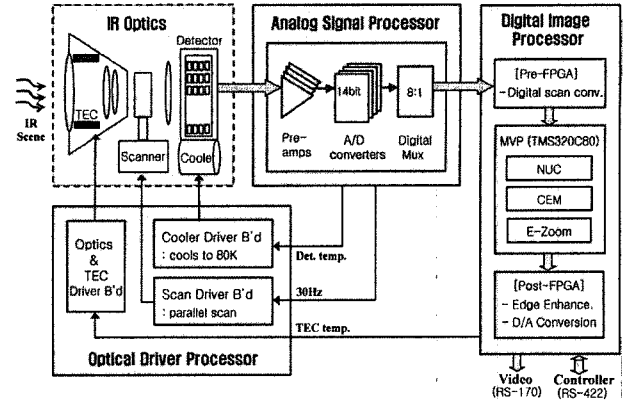


그림 5. 열상장비의 신호처리기 구성도.

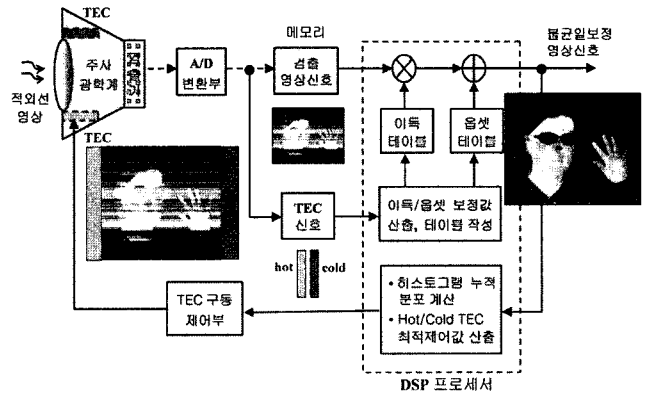


그림 6. 기준온도신호를 이용한 실시간 적응형 불균일 보정 기법.

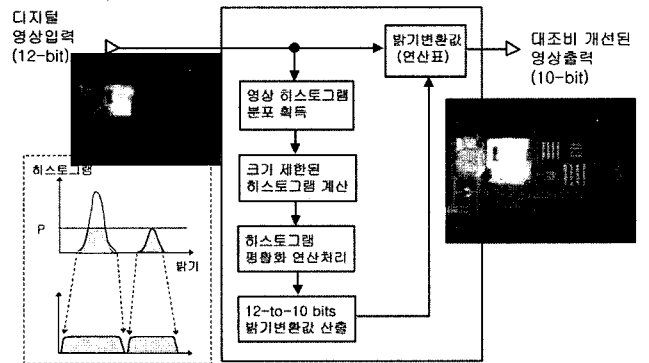


그림 7. 히스토그램 가변방식 대조비 제어 기법.

여 그에 적합한 대조비 개선 방법으로서 히스토그램 가변방식의 적응형 농도분포 변환 방법을 설계하였다. 이 방법은 농도분포 비교 시 전체 히스토그램 크기를 모두 비교하지 않고, 영상에 따라 적절하게 크기 레벨을 제한한다. 즉, 히스토그램 크기를 제한하여 큰 영역이 상대적으로 과도하게 펼쳐지는 것을 막는 방식이다. 그림 7에 본 연구 방식에 따른 히스토그램 변환 및 대조비 개선 원리를 나타낸다. 먼저, 입력영상으로부터 기본 히스토그램 함수를 구한 뒤, 전 영역에 걸쳐 히스토그램 크기를 특정값 P로 제한한다. 즉, P값을 기

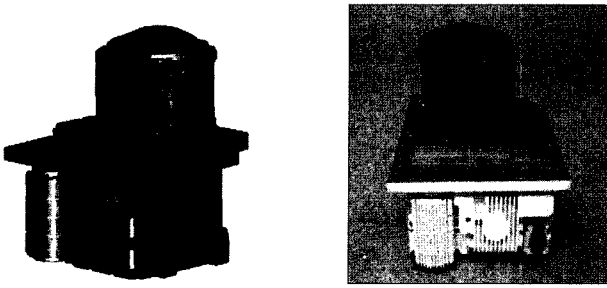


그림 8. 설계, 제작된 전차 포수 조준경용 2세대 열상장비.

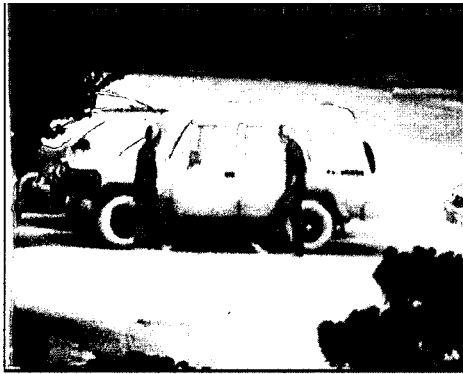


그림 9. 획득된 열영상.

준으로 히스토그램 크기가 제한된 빗금친 새로운 히스토그램 함수를 구한다. 그 다음 가변된 새로운 히스토그램을 이용하여 히스토그램 평활화 방법으로 영상의 농도분포 영역

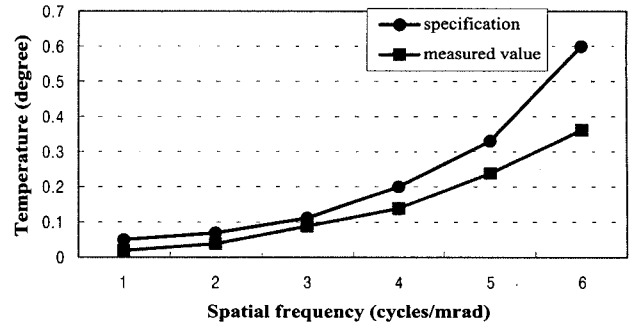
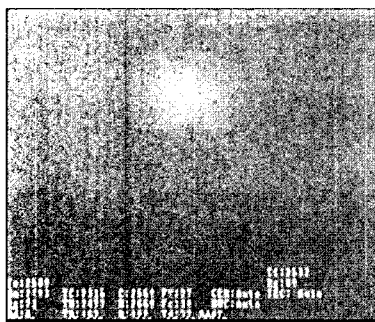


그림 10. 고배율 최소분해가능 온도차 측정 결과.

을 변환시켜 대조비를 향상시킨다. 여기서 히스토그램 크기 조절값 P는 표적이 위치한 영역에 따라 표적 식별 관점에서 최적 조절값이 달라질 수 있다.

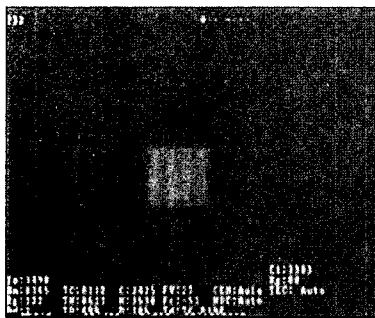
디지털 영상처리부의 기본 H/W 구조는 가급적 구성을 간단히 하면서 효율적으로 복잡한 영상처리 기능이 제어되도록 가능한 S/W 처리로 설계하였다. 이를 위해 영상처리 전용의 고성능 DSP 프로세서와 고집적도를 가지는 FPGA 소자를 사용하였다. 즉, 영상처리 기능을 직접 수행하고 전달하는 부분은 FPGA 로직으로 회로를 구성하고 알고리즘 제어 기능은 DSP 프로세서를 이용하여 S/W적으로 처리하도록 하였다. 영상처리용 DSP 소자로는 내부에 4개의 병렬 프로세서가 내장된 미국 TI사 TMS320C80 MVP를 사용하였고 멀티태스킹(Multitasking)을 이용한 다중 영상처리 방식을 통해 S/W 기반의 실시간 열 영상처리를 수행하도록 설계, 구



(a)



(b)



(c)



(d)

그림 11. 비열화 보정 결과: -30°C보정 전(a)/후(b), +60°C 보정 전(c)/후(d).

현하였다.

III. 제작 및 평가

설계된 전차 조준경용 열상장비를 삼성탈레스(주)와 협력하여 제작하고 평가하였다. 광학 부품은 (주)이오시스템에서 제작하였다. 그림 8은 전차의 포수 조준경용으로 설계 및 구현된 열상장비를 보여준다. 제작된 열상장비에 대해 성능평가를 수행한 결과 모두 설계 기준을 충족하였다. 그림 9는 제작된 열상장비에 의해 획득된 열 영상이다.

특히 열상장비의 성능을 종합적으로 나타내는 최소분해가능 온도차(MRTD : Minumun Resolvable Temperature Difference)를 측정된 결과 기존 1세대 열상장비의 열 분해능이 기준 공간 주파수(1cycle/mrad)에 대해 0.1 °C 내외였던 것에 비해, 개발된 2세대 열상장비는 설계값보다 작은 0.02 °C 수준으로 나타나 보다 세밀한 영상 정보 획득이 가능하고 탐지거리가 대폭 증가됨을 알 수 있었다.

한편 -30°C ~ +60°C의 장비 운용 온도 범위에서의 비열화 보상 결과는 그림 11과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 극한 온도에서도 사전 입력된 배율변화 렌즈군의 이동으로 각각 성능 저하 없이 잘 작동함을 알 수 있다.

IV. 결 론

전차에서 표적을 획득하기 위한 조준경에 사용할 수 있는 2세대 열상장비를 개발하였다. 7.7 μm ~ 10.3 μm 파장대역을 검출할 수 있는 480×6 초점면배열 적외선 검출기를 사용하여 열상장비를 구성하고 이중 배율 광학계와 기구부 및 신호 처리기를 설계, 구현하였다.

성능 평가 결과, 열상장비로서의 성능 기준을 모두 충족하고 또 전차에서 요구되는 환경 조건도 모두 충족하였다. 기존 1세대 전차용 열상장비들에 비해, 화면의 잡음이 대폭 개선되었고 47만 화소로 선명도가 증가하였으며, 2cycle/mrad의 공간주파수에서 0.04 °C 수준의 낮은 최소분해가능 온도차

(MRTD)로 관측능력이 20% 이상 향상되었음이 입증되었다.

참고문헌

- [1] G. Gaussorgues, Infrared Thermography, Chapman & Hall, London, pp.1-60, 1994.
- [2] J. L. Miller, Principles of Infrared Technology, Van Nostrand Reinhold, New York, pp.3-51, 1994.
- [3] 김창우, 김현숙, 홍석민, 김재기, “열상장비용 직병렬 주사광학계,” 한국광학회지, vol.5, no.2, pp. 212-216, 1994.
- [4] 홍석민의, “직병렬 주사방식 열상장비의 설계 및 제작,” 응용물리, 제8권, 제3호, pp.289-295, 1995.
- [5] W. K. Yu, et al., “Digital image processing for thermal observation system,” Proc. SPIE 2513, 590-595, 1995.
- [6] H. S. Kim et al., “Compact MWIR camera with ×20 zoom optics,” Proc. SPIE 4369, 673-679, 2001.
- [7] 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), 1661-1667, 2002.
- [8] 홍석민의, “320×240 적외선 검출기를 이용한 열상센서 설계,” 한국광학회지, vol.15, no.5, pp.423-428, 2004.
- [9] R. E. Fischer, B. Tadic-Galeb, Optical system design, McGraw-Hill, New York, 2000.
- [10] R. Simmons, “Athermalisation of a fast infrared telescope objective”, Proc. SPIE 2539, 137-149, 1995.
- [11] A. Mann, Infrared optics and zoom lenses, SPIE Press, chap.3, p.28-30, SPIE Press, 1996.
- [12] M. J. Riedl, Optical design fundamenrals for Infrared systems, SPIE press, 1995.
- [13] M. Broekaert and Bruno Noel du Payrat, “Nonlinearity & non-uniformity corrections for IRIS family of IRCCD thermal imagers,” Proc. SPIE 2269, 507-523, 1994.
- [14] Virgil E. Vickers, “Plateau equalization algorithm for real-time display of high-quality infrared imagery,” Optical Engineering, vol. 35(7), 1921-1926, 1996.

Advanced LWIR Thermal Imaging Sight Design

Seok Min Hong, Hyun Sook Kim[†] and Yong Chan Park

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

[†]*E-mail: hyunsook.kim@add.re.kr*

(Received February 28, 2004, Revised manuscript May 24, 2005)

A new second generation advanced thermal imager, which can be used for battle tank sight has been developed by ADD. This system uses a 480×6 TDI HgCdTe detector, operating in the 7.7-10.3 μ m wavelength made by Sofradir. The IR optics has dual field of views such as 2.67×2° in NFOV and 10×7.5° in WFOV. And also, this optics is used for athermalization of the system. It is certain that our sensor can be used in wide temperature range without any degradation of the system performance. The scanning system to be able to display 470,000 pixels is developed so that the pixel number is greatly increased comparing with the first generation thermal imaging system.

In order to correct non-uniformity of detector arrays, the two point correction method has been developed by using the thermo electric cooler. Additionally, to enhance the image of low contrast and improve the detection capability, we have proposed the new technique of histogram processing being suitable for the characteristics of contrast distribution of thermal imagery. Through these image processing techniques, we obtained the highest quality thermal image. The MRTD of the LWIR thermal sight shows good results below 0.05K at spatial frequency 2 cycles/mrad at the narrow field of view.

OCIS Codes : 080.3620, 100.2000, 110.2970, 220.3620.