

320×240 적외선 검출기를 이용한 열상센서의 설계

홍석민 · 송인섭 · 김창우 · 유위경 · 김현숙*

국방과학연구소 기술연구본부

☎ 305-600 대전시 유서우체국 사서함 35-5

(2004년 7월 2일 받음, 2004년 9월 3일 수정본 받음)

320×240 배열의 중적외선 대역(3.7 μm ~4.8 μm) MCT(HgCdTe) 검출기를 이용하여 분해능과 신뢰도가 대폭 향상된 소형·고성능의 적외선 열상센서를 설계, 제작하였다. 개발된 열상센서는 1~20배의 고배율 줌 광학계로 설계하고 미세주사 기법을 적용하여 640×480의 화소를 재현하여 항공기의 항법 보조로부터 표적획득에 이르기까지 다양한 활용이 가능하다. 적용된 적외선 줌 광학계는 릴레이 형태의 재결상계로 설계되었으며 미세주사 장치의 개발로 7.6 cycles/mrad 까지 분해가 가능하며 최저배율에서 40°×30°의 초광각(super wide field of view)의 시계를 갖는다. 또한 불균일 보정기법과 히스토그램 가변방식의 결합을 통한 첨단 열 영상처리 기법을 제안하여 열상센서에 적용함으로써 고성능의 실시간 디지털 영상처리를 가능케 하였다. 본 신호처리기의 개발을 통해 획득된 열영상의 최소분해가능 온도차는 고배율에서 0.05K(@1cycles/mrad) 이하의 우수한 결과를 보였다.

주제어 : Thermal Imaging System, Infrared, Zoom Optics, Athermalization, Non-Uniformity Correction.

I. 서 론

1970년대 이후 야간에도 실시간 영상획득이 용이한 열상 센서가 매우 다양하게 설계되었다.^[1-3] 즉, '70년대 중반 이후 미국의 병렬주사 방식을 필두로 하여, '70년대 말 직렬주사 방식 그리고 '80년대 중반 이후에 영국, 프랑스의 직병렬 주사 방식에 이르기까지 여러 형태의 1세대 열상센서들이 개발되었다. 한편 '80년대 중반 이후부터는 분해능 및 탐지 성능이 보다 우수하고 신뢰성이 강화된 2세대 및 3세대 열상센서의 연구가 시작되었다.^[4] '70~'80년대에 개발된 1세대 열상센서의 경우는 검출소자 제작의 어려움으로 소자 수가 10여개로 부터 200여개 까지로 제한되어 충분한 영상의 분해능을 확보하기가 어려웠다. 이에 비해 2세대 또는 3세대로 불리우는 초점면 배열 검출(IRFPA : InfrRed Focal Plane Array)방식 열상센서는 기존 1세대 열상센서에 대하여 열 분해능이 우수하고 화소수가 수천~수십만개로 대폭 증가되어 광학적 분해능도 향상된다. 여기서 2세대는 고밀도의 수직배열 검출소자를 이용하여 수평방향으로 주사하므로써 영상을 구현하는 방식을 말하며 3세대는 완전한 2차원 배열의 검출기를 이용하여 영상을 구현하는 방식을 의미한다.^[5]

본 논문에서는 320×240 배열을 갖는 3.7 μm ~4.8 μm 중적외선 영역 MCT(HgCdTe) 재질의 프랑스 SOFRADIR사의 모델 ID MM02502 적외선 검출기를 이용하여 고성능의 새로운 3세대 열상센서를 설계, 구현하였다. 시스템은 적외선 검출기를 중심으로 앞부분에 표적의 에너지를 집속할 수 있는 적외선 광학부를 구성하고 뒷부분에 적외선 검출, 영상신호 처리부 및 입출력 처리부를 구성하였다. 적외선 광학부는 최

근 외국에서도 많이 연구되고 있는 적외선 줌 광학계로 구성하여 표적 관측이 용이도록 하였고 미세 주사장치(micro scanner)를 개발하여 영상의 분해능이 4배 증가되어 640×480 화소를 재현하도록 하였다. 신호처리부는 검출기 신호출력을 위한 아날로그 부분과 영상 신호처리를 위한 디지털 부분으로 구성하였다. 후반부는 센서의 조정 및 제어 명령 수신과 영상출력을 위한 입출력 처리부로 구성하였다. 특히 광학 배율이 1배로부터 최대 20배까지 연속적으로 변화할 수 있는 중적외선 줌 광학계를 설계하였으며 2차원 배열 미소 열영상 신호에 대한 14bits의 고속 디지털 신호처리기를 설계하여 영상을 재현하였으며 디지털 신호처리를 통해 검출 배열소자 상호간의 불균일성이 보정되도록 하였다.

II. 시스템 설계

일반적으로 열상장비는 적외선 파장 영역중에서 대기투과 특성이 좋은 3~5 μm 파장대역과 8~12 μm 파장대역만을 이용하며 이 영역을 대기창(atmospheric window)이라 한다.^[6] 관측 대상과 대기투과특성 및 장비 성능에 따라 3~5 μm 파장대역과 8~12 μm 파장대역의 이용이 구분될 수 있는 데 최근 들어서 장비의 성능이 향상되면서 점차 이 구분의 필요성이 희석되어 가고 있는 실정이다. 관측 대상인 물체의 에너지 방출 특성 측면에서만 볼 때 일반적으로 상온(300K) 근처에 있는 물체의 파장별 복사에너지는 8~12 μm 파장대역에서 크게 나타나므로 원천적으로 8~12 μm 파장대역의 이용이 유리하다고 볼 수 있으나 최근 3~5 μm 파장대역에서 작동하는 완전 2차원 배열의 적외선 검출기가 실용화되면서 검출 성능이 급격히 향상되어 저잡음으로 이를 상쇄할 수 있게 되었다. 완전 2차원 배열의 적외선 검출기는 '90년대 중

* E-mail: hyunsook.kim@add.re.kr

반 이후 3~5 μm 파장대역의 320×240 배열이 실용화 되었으며 640×480 배열 이상 수준의 적외선 검출기가 꾸준히 개발되고 있다. 본 연구에서는 먼저 활용이 가능한 320×240 배열의 광기전성(photovoltaic) MCT 검출기(프랑스 SOFRADIR 사 모델 ID MM02502)를 구입하여 시스템을 구성하였다.

본 연구에서는 중적외선 파장대역의 320×240 FPA 검출기를 이용한 적외선 줌 열상센서를 개발하였다. 개발된 적외선 줌 열상센서는 단지 두개의 렌즈군을 움직여 줌 비 20:1의 줌 영상을 구현할 수 있으며 최저배율에서 시계는 40°×30°까지 가능하다. 줌 광학계의 줌 궤적은 매우 단순화되어 광기구 설계 및 전자적 접근이 쉬우며 시스템 전체의 크기도 콤팩트하게 최적화되어 시스템 전체의 길이는 약 240 mm, 무게는 5.3 kg로 여러 가지 다양한 시스템 응용을 가능케 한다.

검출기의 갯수에 의해 제한되는 시스템의 분해능 향상을 위하여 PZT 소자와 거울을 이용한 미세 주사 기능을 도입하였다. 미세 주사장치를 적용한 시스템의 한계 분해능은 적용전의 최대 분해능인 4.5 cycles/mrad에서 1.7배 증가한 7.6 cycles/mrad 까지 증가하였으며 이때 최소분해기능온도차(MRTD)는 공간주파수 6 cycles/mrad에서 0.3℃이다. 또한 본 열상센서는 광학계에 대한 비열화 개념을 적용하여 -30℃에서 +55℃까지 매우 광범위한 온도영역 내에서 열영상의 성능저하 없이 동작 가능하며 온도챔버를 이용한 환경시험을 통해 이에 대한 성능을 검증하였다.

2.1. 열영상 획득부(적외선 광학계)

열영상 획득부 즉, 적외선 광학계는 표적의 열에너지를 적외선 검출기 면에 집속시키는 역할을 한다. 적외선 광학계 설계의 기준이 되는 검출기의 1-픽셀(pixel) 크기는 가로, 세로 각각 30 μm이며 90%의 fill factor를 갖는다. 따라서 시계를 결정하는 검출기의 크기는 가로, 세로 각각 9.6 mm 및 7.2 mm이며, 시스템 F/수는 F/2.5이다. 검출기의 주요 특성을 정리하면 표 1과 같다.

위와 같은 검출기의 사양을 바탕으로 본 열상센서의 광학계는 넓은 시계(FOV : field of view)가 확보되어 전반적인 상황 인식에 유리하며 표적의 세밀한 관측까지도 가능하도록 줌(zoom) 방식으로 구성하였다. 특별히 줌 광학계의 줌비(zoom ratio)는 통상적인 3~4 정도를 대폭 확장하여 최대

표 1. 320×240 검출기(IR CMOS) 사양

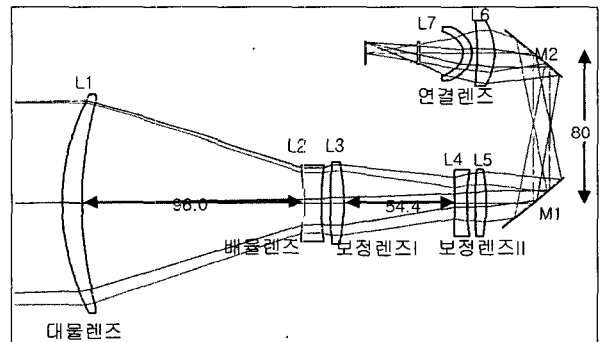
파장대역	3.7±0.2 μm~4.8±0.2 μm
검출기 pitch	30 μm×30 μm
유효면적(active area)	28.5 μm×28.5 μm (90% fill factor)
F-number	F/2.5
Peak Detectivity (293K, 7 ms 적분)	≥1.5×10 ¹¹ W ⁻¹ Hz ^{1/2} cm (average)
동작온도	110 K~130 K
무게	500 grams
전력소모	≤ 8 W (during regulation)

배율 20배, 최저배율 1배인 준 비 20:1의 적외선 광학계로 설계하여 최저배율 40°×30°, 최대배율에서 2°×1.5°의 시계가 보장되도록 하였다.

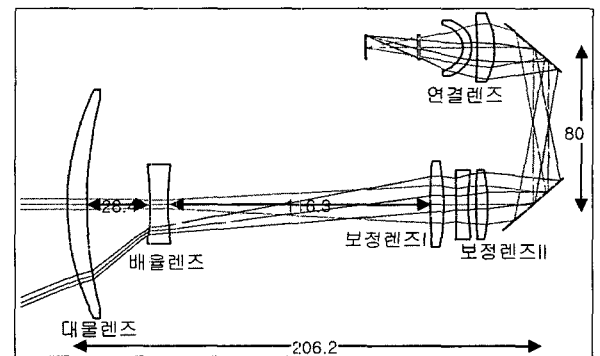
본 적외선 줌 광학계는 초점거리가 변하는 줌 대물부와 중간 영상을 검출기에 재결상 시켜주는 결상부로 구성되며 그림 1과 같은 layout을 갖는다. 줌 대물부는 협시계의 주 굴절능을 결정하는 대물렌즈와 초점거리를 변화시키는 배율렌즈, 배율렌즈의 움직임에 따른 상면의 위치변화를 보정하는 보

표 2. 적외선 줌 광학계 설계사양

파장대역	3.7 μm ~ 4.8 μm
줌 비	20:1
F/수	F/2.5
시계(FOV)	2.0°×1.5° (NFOV) 40°×30° (WFOV)
대물렌즈 구경	110 mm
최대 분해능	6 cycles/mrad
투과율	70%
비열화	Active, Automatic
동작(비열화) 온도	-30C to +55C
무게	6 Kg
크기	240 mm(L)×130 mm(W)×200 mm(H)



(a) 협시계(NFOV)



(b) 광시계(WFOV)

그림 1. 적외선 줌 광학계 layout.

정렌즈 및 위치가 고정되어 있는 수차 보정렌즈로 구성되며, 결상부는 2매의 렌즈로 구성되어 중간 영상을 검출기에 전달하게 된다. 이러한 구성의 장점은 첫째, 검출기에 내장된 cold shield의 이미지가 협시계에서 입사동인 대물렌즈에 위치하도록 설계가 가능하여 cold shield가 실질적인 구경스톱(aperture stop) 역할을 하므로 cold shield의 효율을 100%로 만들 수 있다. 두 번째는 줌 대물부의 마지막 렌즈군인 초점렌즈와 검출기 앞의 결상부 사이의 거리를 설계과정에서 임의로 조절하는 것이 가능하므로 이 공간에 광축을 접는 거울이 오도록 하여 원하는 공간 내에 광학계가 들어가도록 광학계 layout을 결정하기가 쉬워진다.^[7]

본 적외선 줌 광학계는 시스템의 분해능 향상을 위하여 미세 주사장치(micro scanner)를 개발하였다. 별도의 주사장치를 쓰지 않는 광학계의 공간적인 샘플링 및 분해능은 검출소자 자체의 크기 및 갯수에 의해 결정된다. 따라서 본 시스템과 같이 수평 방향으로 320개 소자 배열을 갖는 검출기의 경우, 수평 방향 재현 화소수 역시 320화소로 제한되어 라인(line)당 최대 160 cycle로 공간분해능이 제한되므로 영상의 분해능이 매우 떨어지고, 이보다 높은 주파수의 영상은 aliasing 되어 복잡한 패턴의 영상은 식별하기 어렵다. 따라서 이러한 적은 검출 소자 개수의 한계를 극복하기 위하여 미세 주사 방법을 적용하였다.

검출기에 들어오는 광경로를 미세하게 변화시키려면 검출기를 경로에 맞추어 미세하게 움직여 주면되지만 실제로 검출기 모듈을 화면률 주기로 움직이는 것은 현실적으로 곤란하므로 본 연구에서는 광경로 상에 있는 거울과 PZT 소자를 사용하여 구현하였다. 이 방법은 광경로 중간에 거울을 놓아 2×2 주사의 경우 화소 반개에 해당하는 각도만큼 상·하 및 좌·우로 구동하는 것으로 완벽한 640×480의 분해능을 기대할 수는 없으나 대략 50% 정도 공간분해능이 향상된 효과를 얻었다. 미세 주사장치의 도입을 통해 향상된 줌 광학계의 한계 분해능은 검출소자 한 개의 수평방향 크기에 의해 제한되는 Nyquist 주파수인 4.5 cycles/mrad에서 1.7배 증가한 7.6 cycles/mrad까지 증가되었다.^[8]

군사적 응용에 많이 사용되는 적외선 광학계는 일반적인

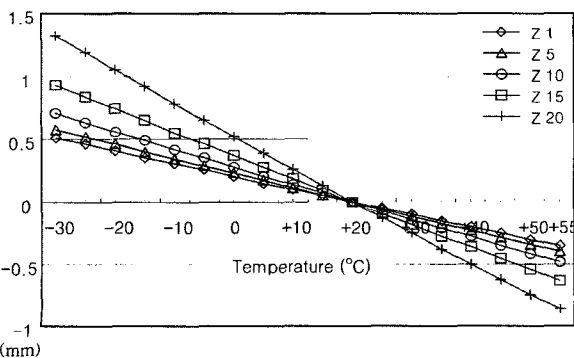
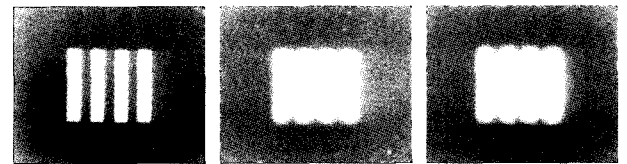


그림 2. 온도에 따른 줌 카메라의 초점면 이동량(Z: 줌 배율).

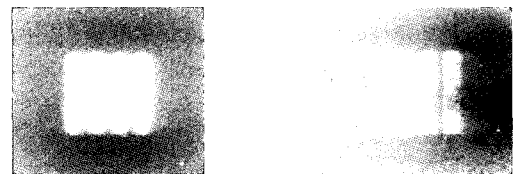
민수용 광학계와는 달리 영상의 성능저하 없이 매우 넓은 온도범위 내에서 동작하도록 요구되며, 본 열상센서의 경우도 동작온도 범위가 -30℃에서 +55℃까지 이다. 그러나 적외선 영역 초자는 가시광 영역의 유리 초자에 비하여 매우 큰 열분산 계수를 가지며 이는 온도에 따른 상면의 이동을 유발하여 장비의 심각한 성능 저하를 초래하게 된다. 그림 2는 온도에 따른 본 줌 광학계의 초점면 이동량이며 그림 3은 협시계에서 defocus된 열 영상을 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이 $\lambda/4$ 파장 파면오차에 대한 Rayleigh의 criteria를 적용할 경우 협시계에서 발생하는 초점면의 이동량은 무려 26 depth of focus로 심각한 영상의 저하가 있음을 알 수 있다. 따라서 이러한 defocus에 의한 성능저하를 개선할 적절한 줌 카메라의 비열화 보정이 필요함을 알 수 있다.^[9]

본 적외선 줌 광학계의 설계 및 제작에서는 광학계의 비열화 보상 방법으로 줌 광학계의 시계 변화를 위해 움직이는 두 줌 렌즈군에 추가적인 이동을 부가하여 온도에 따른 상면의 defocus를 제거하도록 하였으며, 온도센서와 적절한 온도 구간별로 계산된 두 줌 렌즈군의 LUT(Look-Up Table)를 이용하여 구현하였다. 그림 4는 4-bar 후체 표적을 이용하여 줌 광학계의 비열화 보상 전과 비열화 보상 후를 +50℃ 및 -30℃에서 비교한 열 영상을 보여준다. 비열화 보상 전에 비해 보상 후의 표적의 선명도가 증가하였음을 알 수 있다.



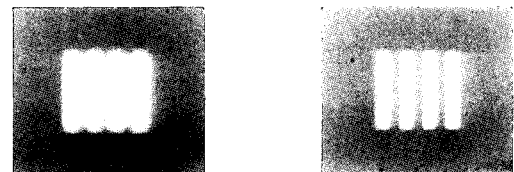
(a) 20℃ (기준) (b) +50℃ (Δ30℃) (c) -30℃ (Δ50℃)

그림 3. 온도에 따라 defocus된 줌 카메라의 열 영상.



비열화 보상 전 비열화 보상 후

(a) +50℃에서 열영상



비열화 보상 전 비열화 보상 후

(b) -30℃에서 열영상

그림 4. 온도에 따라 defocus가 보정된 줌 카메라의 열 영상.

2.2. 신호처리 및 재현부

영상 신호처리부에서 검출모듈부는 검출기에서 출력되는 아날로그 영상신호를 처리하여 순차적인 14비트 디지털 정보로 변환시키는 역할을 한다. 기존 열상장비의 경우 검출된 영상신호는 주로 8비트 정보로 구분되어 저장되었지만 연구 개발 장비에서는 14비트로 세분되도록 설계하였으며, 영상 신호 성분을 분석하여 신호 성분이 많이 모여 있는 쪽에 대하여만 8비트로 최종 재현하는 알고리즘을 부가하여 영상 자체의 대조비 개선을 가져올 수 있도록 하였다. 디지털 주사 변환부에서는 14비트 주사영상신호의 일시저장과 아울러 검출기에서 부분적으로 다중화된 영상 신호들을 직렬신호로 바꾸어 준다.

디지털 신호처리부는 채널매칭 및 이득보상 제어부로 동시 획득된 영상정보간의 균일성을 유지하고 보정하는 역할을 한다. 실제 검출소자들의 특성은 각기 일정치 못하여 동일 표적에 대한 영상 신호성분에 차이를 보이므로 이의 보정이 필요하다. 1세대 열상장비의 경우 이를 외부에 검출기의 수직배열 수만급 부착되는 증폭기를 통하여 증폭률을 조정하는 아날로그 방식으로 보정하였으나, 이 경우는 어느 특정 관측 상태 하에서 고정된 이득값으로의 보정만이 가능하여 관측 상태가 변화하면 역시 균일한 응답특성을 갖지 못하여 영상이 균일하지 못할 수가 있다. 본 연구에서는 이를 주변 관측환경에 적응하여 준수시간 또는 실시간으로 각 채널간의 이득을 보정할 수 있도록 그림 5와 같은 개념의 온도 구간별 보정계수 테이블과 광학계 디포커싱을 이용한 Multi-Points 불균일 보정법을 개발하여 영향을 최소화할 수 있도록 하였다.

열영상은 농도분포가 전 영역에 걸쳐 고르지 못하며, 특히 배경과 표적신호 성분은 서로 분리되어 일부 영역에 편중되는 경향이 있다. 따라서 단순히 신호이득 조절로는 대조비 최대 조정이 어려워 물체 식별이 제한된다. 최적 조절을 위해서는 기본적으로 농도분포 변환이 필요하며 일반적인 가시광 영상처리에 쓰는 히스토그램 평활화법은 표적의 농도 분포 크기가 작은 열영상 표적에는 적합하지 않다. 따라서 본 연구에서는 농도분포 비교시 전체 히스토그램 크기를 모

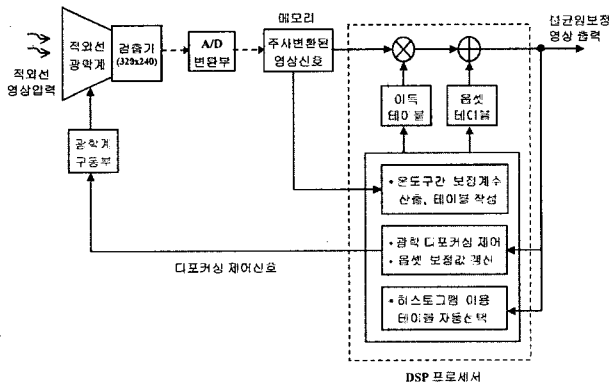


그림 5. 검출기 불균일 보정(NUC:Non-Uniformity Correction) 개념도.

두 비교하지 않고, 영상에 따라 적절하게 레벨의 크기를 제한하는 농도분포 변환 기법을 개발하였다. 즉, 히스토그램 크기를 제한하여 큰 영역이 상대적으로 과도하게 펼쳐지는 것을 막는 방식으로 그림 6과 같은 알고리즘을 갖는다. 그림에서 보는 바와 같이 먼저, 입력 영상으로 부터 기본 히스토그램 함수를 구한 뒤, 전 영역에 걸쳐 히스토그램 크기를 P 값으로 적절히 제한한다. 그 다음 P값으로 가변된 히스토그램을 평활화시켜 모든 영역이 골고루 펼쳐지도록 하였다. 그림의 결과를 보면 농도분포 크기가 서로 다른 A, B 두 영역이 서로 비슷하게 펼쳐져 대조비가 효과적으로 개선됨을 알 수 있다.

영상재현은 최종적으로 비디오 복합영상신호로 변환되어 TV 모니터에 재현되든지 또는 디지털 영상신호로서 컴퓨터 모니터에 재현되어 영상 분석에 이용된다. 영상재현의 경우는 디지털 신호처리기와 연동하여 2배의 전자적 줌 기능도 부여하였다. 전자적 줌 기능은 광학적 분해능의 증가는 없이 화소를 단순히 가로, 세로 2배로 키워 재현하는 방식이며 소형 표적의 관측에 유용하다.

III. 결과 및 검토

3세대 열상센서를 설계하여 관련 업체와 협력, 제작하였다. 그림 7과 같이 제작된 열상센서는 5.5 kg 정도의 소형 경량의 센서로 주 프레임은 원하는 정밀도를 얻기 위해 3차원 모

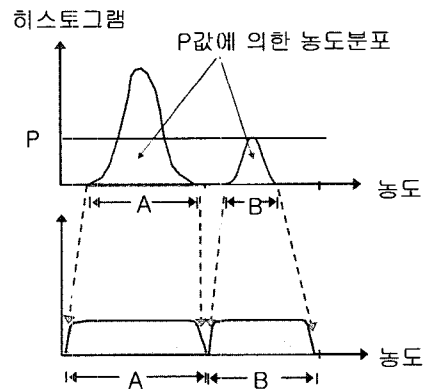


그림 6. 히스토그램 가변방식 농도변환 방법.

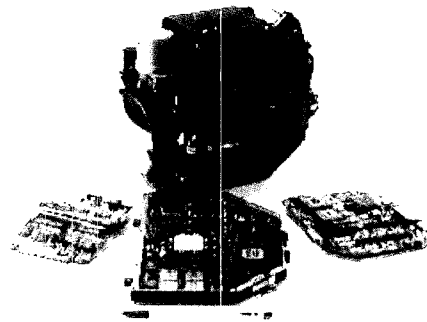


그림 7. 제작된 열상센서의 외형.

텔링 한 데이터를 그대로 컴퓨터 제어 가공기(CNC)에 입력한 후 1개의 알루미늄 덩어리를 한번에 가공하였다.

광학계의 줌 구동부는 이동 나사와 가이드 봉을 이용하여 비교적 선형적으로 렌즈가 큰 마찰없이 원활히 구동되도록 제작하였다. 구동을 위한 이동 나사의 한 쪽 끝은 주 프레임 앞면에 베어링으로 고정되며, 다른 쪽 끝은 스텝 모터에 바로 물리는 방식을 택하였다. 따라서 스텝모터와 이동 나사간에 별도의 기어장치가 필요 없으므로 매우 간단한 구조의 구동 장치로 구현되었으며, 최고배율에서 최저배율까지 총 50단계로 구동하는데 13초가 소요되었다.

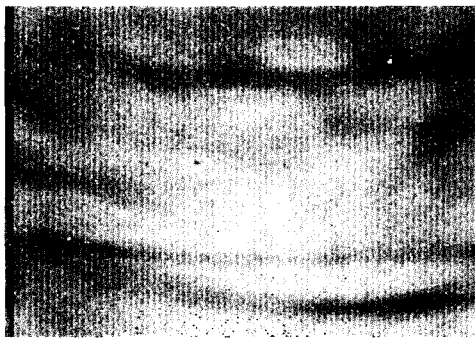
아날로그 전자회로부는 4채널 AD변환 후 다중화하는 구조로 제작하였다. AD변환기는 입력신호의 상한값과 하한값을 정해지며, 스윙범위도 공급하여 검출기출력신호를 AD 변환하기 위한 별도의 신호처리과정을 단순화할 수 있다. 선정된 AD변환기로 일정한 DC값을 넣고 출력변화를 측정한 결과 0.5bit의 오차가 발생하며 이는 4095 레벨중 1씩 변하는 것을 의미한다.

디지털 영상 전처리부에서는 영상정보를 현재 필드가 입력되는 동안 모두 저장하고 남는 시간인 검출기 적분시간 동안 읽어가도록 신호처리를 구현하였다. 영상 후 처리부에서도 VBlank기간에 픽셀데이터가 쓰여지고 영상구간 동안 출력되는 구조로 구현하였다. 검출기 불균일 보상은 디지털 신호처리를 이용하여 실시간 처리하였으며, 보정 전 6.5%이던 검출기 불균일도가 0.1% 이하로 보정되는 결과를 얻었다. 그림

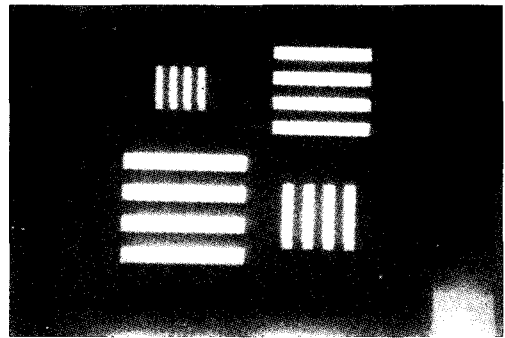
8은 0.5℃ 온도차를 갖는 열 막대표적에 대해 보정 전 검출기 출력 영상과 보정 후 영상을 비교한 그림이다. 보정 전 영상은 검출 소자간 불균일 패턴으로 인해 표적 식별이 전혀 불가능하나 보정 영상은 작은 막대표적까지 뚜렷하게 구별됨을 알 수 있다. 또한 보정 연산처리된 픽셀데이터에 대해 Dead 픽셀 보상을 하며 히스토그램을 구하여 영상 대조비를 개선하고 전자적 줌을 수행한다.

이밖에 적외선 줌 망원경계의 구동과 냉각장치의 구동 및 검출기 바이어스/타이밍 회로들이 추가된다. 전환식 이중배율 적외선 망원경계와는 달리 적외선 줌 망원경계는 연속적인 배율 변화를 위하여 렌즈군들이 비선형적으로 이동하게 된다. 본 연구에서는 LUT에 의한 배율 변환 이동방식을 채택하여 이를 구현하였다. 냉각장치 구동부는 검출기를 -150℃(110~130K) 정도로 냉각시키는 냉각장치를 저전력 고효율로 구동시키는 역할을 한다. 검출기 바이어스/타이밍 회로들은 검출기에서 획득된 열에너지 정보를 전기적 정보로 변환시키고 순차적으로 누적시키며, 저장 및 전송하는 데 필요한 전압과 고속 디지털 신호들을 공급한다.

제작 결과, 광학 및 시스템 측면에서의 평가를 위해 먼저 적외선 줌 광학계에 대한 시계 측정을 수행하였다. 측정 결과 설계치인 협시계 2°×1.5°, 광시계 40°×30°에 제작 및 조립오차를 감안하여 공차 10%를 적용하였으며 측정치는 모두 설계 범위내로 측정되었다. 열상장비의 경우 장비 성능을 열 분해능의 개념에서 종합적으로 나타내는 척도로 최소분



(a) 원 영상(보정 전)



(b) 보정 후 영상

그림 8. 불균일 보정(NUC) 영상 결과 비교.



(a) 저배율 영상



(b) 중배율 영상



(c) 고배율 영상

그림 9. 배율에 따른 열상센서의 영상.

해가능은도차(MRTD)가 사용된다. 실제 장비 제작시는 예상치 못한 잡음의 발생이나 제작 허용 공차 등으로 측정값이 이론적으로 예측된 MRTD값 보다 더 커질 수 있으며 제작된 제품의 MRTD 측정값은 1 cy/mrad의 공간주파수에서 0.04℃로 매우 우수한 결과로 나타났다. 그림 9는 제작된 열상센서의 배율을 변화시키면서 몇 개의 배율에 대해 촬영한 영상이다.

IV. 결 론

320×240 배열의 증적외선 대역 MCT 검출기를 이용하여 분해능이 대폭 향상된 새로운 개념의 3세대 열상장비를 국내에서 최초로 설계하고 제작하여 응용 가능성을 확인하였다. 비주사방식의 3세대 열상장비는 표적의 탐지능력이 비교적 우수하면서도 광학경로에 영상을 형성시키기 위한 기본 주사장치를 사용하지 않기 때문에 장비를 소형, 경량화할 수 있다.

20배의 고배율로부터 1배의 초광각까지 증적외선 영역 연속 줌 광학 형태로 제작되어 장비의 응용성을 높이고 미세 주사 장치를 개발하여 광 경로상에 삽입함으로써 영상의 광학적 분해능을 60% 정도 증가시켰고 재현 화소수는 320×240 배열의 76,800 검출소자 배열로 30만 화소의 영상을 획득할 수 있었다. 영상 신호처리부에서는 미소 열영상 신호에 대한 저잡음 증폭과 고속 신호처리 뿐 아니라 히스토그램 처리를 통한 디지털 방식의 영상 개선 알고리즘을 개발하여 기존의 8 bits 처리에서 14 bits 처리로 증대시킴으로써 관측능력을 향상시켰다. 아울러 고밀도 배열에서 검출소자 각각의 특성에 기인하는 검출 배열소자 상호간의 불균일성이 관측상황에 적합하게 보정되도록 하였다. 독자 설계된 비주사방식 열상센서는 경비행기 등의 감시 및 항행 센서로 사용 가능하

도록 구(ball) 형태인 영상감지기 터렛 구동부 안에 탑재할 수 있게 제작되어 야간 관측 장비로의 다양한 활용이 기대된다.

참고문헌

- [1] J. M. Lioyd, *Thermal Imaging Systems*, Plenum Press, New York, pp. 212-368, 1975.
- [2] C. G. LeMesurier, *Jane's 24 Hour Battle-Electro Optic Markets and Technologies Analysed*, Jane's Information Group Ltd., Coulsdon, pp. 85-187, 1996.
- [3] G. Gaussorgues, *Infrared Thermography*, Chapman & Hall, London, pp. 1-60, 1994.
- [4] J. L. Miller, *Principles of Infrared Technology*, Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 3-51, 1994.
- [5] 홍석민외, "소형항공기 탑재용 열상센서 개발," 제7회 항공기 개발기술 심포지움 논문집, 국방과학연구소, pp. 486-498, 2000년 4월.
- [6] P. A. Jacobs, *Thermal Infrared Characterization of Ground Targets and Backgrounds*, SPIE Optical Engineering Press, Washington, pp. 7-15, 1996.
- [7] 김현숙, 김창우, 홍석민, "3.7-4.8 μm 파장대역 FLIR 시스템을 위한 20:1 줌 렌즈 광학계 설계 및 제작," 한국광학회지, 제10권 6호, pp. 462-467, 1999년 12월.
- [8] 송인섭, 나성웅, "미세주사효과를 이용한 배경기반 열영상 불균일 보정기법," 대한전자공학회 논문지, 제37권, SP편, 제3호, pp. 11-16, 2000년 5월.
- [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, no. 7, pp. 1661-1667, July 2002.

Thermal imaging sensor design using 320×240 IRFPA

Seok Min Hong, In Seob Song, Chang Woo Kim, Wee Kyung Yu, and Hyun Sook Kim[†]

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

[†]E-mail: hyunsook.kim@add.re.kr

(Received July 2, 2004, Revised manuscript September 3, 2004)

The development of a compact and high performance MWIR thermal imaging sensor based on the SOFRADIR 320X240 element IRCCD detector is described. The sensor has 20 magnification zoom optics with the maximum 40°×30° of super wide field of view and 7.6 cycles/mrad of resolving power with the operation of attached micro-scanning system. In order to correct nonuniformities of detector arrays, we have proposed a multi-point correction method using defocusing of the optics and we have acquired the highest quality images. The MRTD of our system shows good results below 0.05K at spatial frequency 1 cycles/mrad at narrow field of view. Experimental data and obtained performances are presented and discussed.

OCIS Codes : 080.3620, 100.2000, 110.2970, 220.3620.