

실시간 열 영상 획득 및 신호처리 기술

洪錫 旻, 宋仁 燮, 尹銀 淑
國防科學研究所 技術研究本部

I. 서론

모든 물체는 절대온도 0도(0°K=273.16° C) 이상에서 복사에너지를 방출한다. 이 에너지는 0°K 이상의 온도를 가진 물체 내부의 원자 및 분자의 진동과 회전으로 인해 생성되며 원천(source)으로부터 바깥쪽으로 직진하고 진공 또는 공기, 가스(gas), 액체 및 고체등의 물리적 전달체를 통하여 전파된다. 따라서 의계로부터 빛의 공급이 전혀없는 야간에도 표적자체가 발하는 에너지를 모아 눈으로 볼 수 있는 가시광선으로 변환시켜 관측하는 장비가 있을 수 있는 데 이러한 장비를 열상장비(thermal imaging systems)라 한다.

열상장비는 빛의 유무나 반사되는 빛의 세기 차이가 아닌 물체의 단위면적당, 단위시간당 방출되는 복사에너지 즉 복사에미턴스(radiant emittance)의 차이를 영상화하므로 건물의 열 손실 탐지, 탱크 내부의 저장량 측정, 전송선로의 감시, 침입자 탐지 등

에 많이 이용되고 있으며 최근에는 인쇄회로 기판의 검사와 분석, 위성에 의한 기상관측, 의료기기 등에도 적용되고 있고 점차 그 응용범위가 확대되어 가고 있다.

본 논문에서는 열상장비의 열 영상 획득이론과 신호처리 및 재현방법을 기술한다. II장에서는 열상장비에 이용되는 열 복사이론과 대기투과 특성을 고찰하며 III장에서 장비의 구성과 구조를 설명한다. IV장에서는 열상장비의 구조별 신호처리 방법을 언급하며 차기세대 열상장비 발전추세를 V장에 기술하고 VI장에서 결론을 맺는다.

II. 열 복사이론과 대기 투과특성

먼저 복사측정(radiometry) 분야에서 사용되는 물리적 양을 정의한다. 임의의 광원(물체)에서 빛(에너지)이 나올때 측정량이 물리적 에너지에 관련된 양이

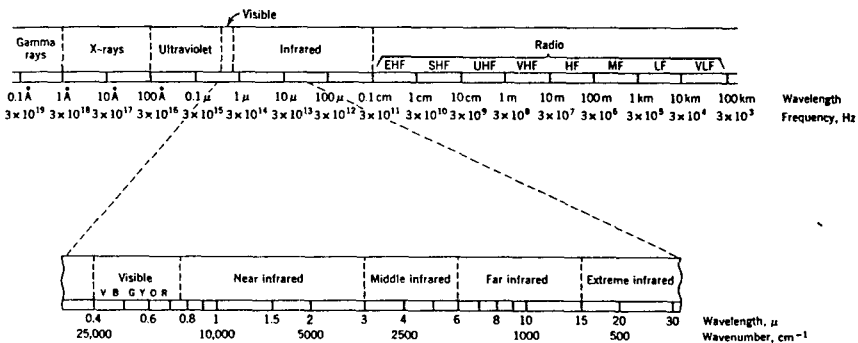


그림 1. 가시광선 및 적외선 영역의 스펙트럼 분포

면 단위명 앞에 “복사(radiation)”라는 용어를 사용하여 정의하고, 사람의 눈이 감지하는 빛의 양은 “광(light)”이라는 용어를, 파장에 따른 측정량은 “분광(spectral)”이란 용어를 사용함을 원칙으로 한다. 사람의 눈이 빛을 느끼기 위해서는 0.38-0.77 μ m의 파장 영역내에서 충분한 세기의 전자파가 눈에 들어와야 하며 그 외의 파장영역의 빛은 아무리 충분한 세기로 눈에 들어와도 감지하지 못한다. 그런데 일반적으로 상온정도(300°K = 27°C)의 물체가 발하는 에너지 영역은 위의 가시광선(visible light)의 스펙트럼 영역과는 거의 독립적이기 때문에 눈에 보이지 않는다. 그러므로 사실상 거의 적외선(infrared)영역에 존재하는 복사에너지에 대한 규정과 복사법칙이 필요하게 된다. 가시광선 및 적외선 영역의 스펙트럼 분포는 그림 1과 같다.

파장별 방출되는 복사에미턴스 즉, 분광 복사 에미턴스(spectral radiant emittance)는 물체가 Lambertian source와 흑체라는 가정아래 Planck의 법칙(Planck's blackbody radiation law)으로 표현될 수 있는데

$$W_{\lambda}(\lambda, T) = \left(\frac{211hc^2}{\lambda^5} \right) \left(\frac{1}{\exp\left(\frac{ch}{\lambda kT}\right) - 1} \right) \text{ [watt/cm}^2] \quad (2.1)$$

이다. 여기서 $W_{\lambda}(\lambda, T)$ 는 흑체의 온도가 절대온도 T°K일 때 그 흑체가 외부로 방출하는 단위 시간당, 단위 면적당의 파장별 복사 에너지를 의미하며 c는

진공중의 빛의 속도 즉, $c=2.9979 \times 10^{10}$ [cm/sec] 이고 h는 플랑크 상수(Planck's constant: $h=6.6256 \times 10^{-34}$ [watt·sec²]), k는 볼츠만 상수(Boltzmann's constant: $k=1.38054 \times 10^{-23}$ [watt·sec/°K]), λ 는 특정 파장([cm])을 의미한다. 흑체가 특정한 온도를 가지고 있을 때 파장별 분광 복사에미턴스를 그림 2에 표현하였다.

그림 2를 보면 각각의 흑체온도에 따라 방출되는 최대 복사 에너지의 파장이 변화함을 알 수 있는데 이는 Planck의 법칙을 파장에 대해 미분함으로써 구할 수 있다. 온도별 최대 복사파장은 Wien의 변위법칙(displacement law)으로 표현된다. 즉,

$$\lambda m \cdot T = a \quad (2.2)$$

이다. 여기서 T는 흑체의 온도, λm 는 방출되는 최대 복사 에미턴스의 파장이고 a는 상수로써 2897.8 [$\mu m^{\circ}K$]이다. 식 (2.2)로부터 일반적인 물체 즉 300°K 정도의 상온에 존재하는 최대 복사 에미턴스 방출파장은 10 μ m 정도로 통상 원격적외선(far infrared) 영역에 존재함을 알 수 있다.

Planck의 법칙에서 파장을 0부터 ∞ 까지 분광 복사 에미턴스를 적분하면 1 cm²의 단위 면적의 T°K 흑체에서 반구(hemisphere) 형태로 방출되는 총 복사 에미턴스를 구할 수 있는데 이는 Stefan-Boltzmann 법칙으로 다음과 같이 표현된다.

$$W(T) = \int_0^{\infty} W_{\lambda}(\lambda, T) d\lambda = \left(\frac{211^5 k^4}{15c^2 h^3} \right) T^4 = \sigma T^4 \quad (2.3)$$

여기서 각각의 계수는 식 (2.1)에서의 계수와 동일하며 σ 는 Stefan-Boltzmann 상수로 5.67 $\times 10^{-12}$ [watt/cm²°K⁴]이다.

한편 열상장비로 표적을 관측한다는 개념은 표적과 배경의 복사 에미턴스의 차이를 검출한다고 볼 수 있는데 배경의 복사 에미턴스를 W_B , 표적의 복사 에미턴스를 W_T , 흑체 온도 T의 변화에 따른 복사 에미턴스의 변화량을 $\partial W / \partial T = 4\sigma T^3$ 으로 놓았을 때 복사 대조비(radiant contrast) C_R 은

$$C_R = \frac{W_T - W_B}{W_T + W_B} = \frac{2\Delta T}{T} \quad (T \gg \Delta T \text{ case}) \quad (2.4)$$

로 표현가능하다. 여기서 ΔT 는 표적과 배경의 온도

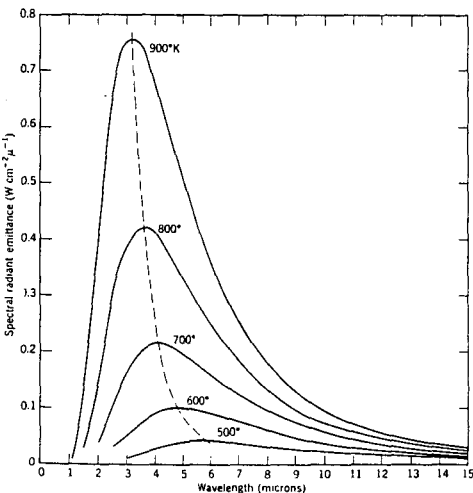


그림 2. 특정온도를 갖는 흑체의 분광 복사 에미턴스

차이다. 식 (2.4)의 의미는 표적과 배경을 각각 대응되는 흑체로 보았을 때 열상장비는 두 물체의 복사 에미턴스의 차이를 감지하여 영상화하는 장비 또는 두 물체 사이의 온도차를 감지하여 영상화하는 장비라고 표현할 수 있음을 나타낸다.

표적이나 배경의 적외선 영역의 열복사는 대기중의 가스분자, 분자덩어리(aerosols), 비, 눈이나 연무, 안개, 아지랭이 등 수증기 성분에 의해 흡수되거나 산란되어 그 양이 감쇄되기 마련이며 흡수분자들로는 이 밖에 이산화탄소, 오존등을 들 수 있다. 특히 흡수분자에 의한 대기투과특성은 그림 3과 같은 데 그 중 6.3 μ m의 수증기 밴드와 2.7 및 15 μ m의 이산화탄소 밴드는 대기투과특성에 심하게 영향을 미쳐 2개의 투과특성이 우수한 영역이 형성된다. 이 영역 즉, 3-5 μ m의 영역과 8-14 μ m의 영역을 대기창(atmospheric window)이라고 부른다. 열상장비는 통상적인 관측 대상물이 상온에 존재하여 10 μ m 파장대에서 가장 큰 복사 에미턴스를 방출한다는 특성과 8-14 μ m 파장대가 대기투과특성이 우수하다는 점을 이용하여 주로 8-14 μ m 파장대역에서 복사 에너지를 집속, 검출 및 전기적 신호처리를 통해 다시 가시광선으로 재현시키게 되는 데 3-5 μ m 파장대를 이용하기도 한다.

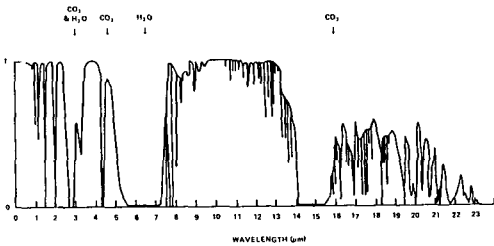


그림 3. 대기투과특성의 예(300m 거리)

Ⅲ. 열상장비의 구조 및 구성

단일 검출기(single detector)를 이용한 이축 주사(dual-axis scan) 구조의 열상장비 기본구성을 그림 4에 표현하였다. 그림에서 적외선 광학계는 표적의 복사 에너지(에미턴스)를 적외선 검출기면 상에 집속시키는 역할을 한다. 하나의 검출기에는 장비의 시계(field-of-view)내의 극히 일부분의 영상정보가 특정 순간에 집속되어 대응되는 전기적 신호로 변환되는

데 이때의 작은 영상정보 영역 즉, 하나의 검출기가 순간적으로 정보를 획득할 수 있는 공간적인 영역을 순간시계라고 한다. 이축 주사장치는 전체 시계내의 영상정보가 순간시계의 영상정보로 분할되어 순차적으로 적외선 검출기에 입사되도록 함으로써 하나의 검출기를 가지고 2차원의 영상이 재현될 수 있도록 한다. 적외선 검출기는 입사되는 표적의 복사조도에 따라 그에 대응되는 전기적 신호를 주사장치의 이동에 따라 연속적으로 발생시키며 신호처리부에서는 모니터에 재현하기 적절하도록 증폭하고 처리하며 주사장치와 동기를 일치시킨다.

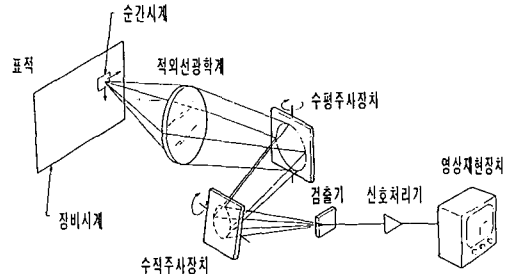


그림 4. 단일 검출기를 이용한 열상장비의 구성

열상장비에 사용되는 원적외선 광학계는 파장대역이 원적외선이고 그에 따라 사용되는 광학초자만 다를 뿐 일반적으로 가시광선 광학계와 같은 역할을 한다. 이 경우 사용가능한 광학초자는 비결정성(amorphous)인 일반 광학유리와는 달리 단결정(crystal) 또는 다결정(polycrystalline) 재질이 대부분이며 굴절률이 매우 크고 온도변화에 따른 굴절률 변화가 크다. 굴절률이 크므로 같은 굴절능의 렌즈를 만들 경우 상대적으로 곡률반경이 작아져 수차가 작아지는 장점이 있으나, 반면에 공기와의 굴절률 차이가 크기 때문에 표면에서의 반사가 커져 광투과율을 높이기 위한 무반사 코팅(anti-reflection coating)이 매우 중요함을 알 수 있다.

영상을 화면에 재현하여 실시간으로 관측하기 위해서는 화면을 1초에 적어도 16번 이상(실제로는 25-30번) 재현하여야 하므로 단일 검출기로 영상을 구현하는 경우 주사속도가 대단히 빨라지고 요구되는 신호 대역폭이 커져 출력은 그에 상응하는 많은 잡음을 가지게 된다. 따라서 단일 소자 검출기를 이용하는 열상장비는 그 성능이 제한되어 점차 여러개의 검출

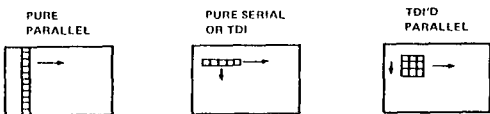
기로 구성된 동일특성의 배열 검출기(detector array)가 실용화됨으로써 현재의 열상장비들은 검출기의 배열방법에 따른 독특한 주사장치를 갖는다.

선형 배열 검출기를 이용한 열상장비의 경우 검출기 배열 방법에 따라 주사방법이 병렬주사(parallel scanning)와 직렬주사(serial scanning)로 나뉜다. 병렬주사 방식은 그림 4와 같이 수직배열의 검출기에 표적영상을 수평방향으로 주사시킴으로써 한 영상면(field image)을 형성한다. 이때의 주사율은 모니터의 화면률과 같으면 되므로 요구되는 신호대역폭이 작아 높은 신호대 잡음비를 얻을 수 있다. 그러나 신호처리회로가 수직으로 배열된 검출기의 갯수만큼 개별적으로 요구되고 검출기 소자, 증폭기, 재현장치(LED)배열등의 개개 성능이 극도로 균일하여야 한다. 만약 그렇지 못하면 영상에 줄무늬가 지게 된다. 직렬주사 방식은 역시 그림 4와 같이 소수의 검출기 N 개를 수평방향으로 배열하여 대상장면을 수평방향으로 매우 빠르게, 수직으로 화면률을 가지고 주사한다. 각 검출기의 출력신호는 병렬주사 방식과는 달리 적분지연선(integrating delay line)을 통하여 더해지므로 한 대상점에 대하여 하나의 영상신호가 형성된다. 이 방식은 궁극적으로 단일 검출기에 의해 주사되는 시스템과 유사하나 이론적으로 \sqrt{N} 배의 신호대 잡음비 개선효과를 얻을 수 있다. 직렬주사 방식은 병렬주사 방식의 근본적 결함인 주사선 간의 영상 불균일성을 해결할 수 있고 별도의 주사변환 없이 표준 TV 모니터에 맞는 직렬신호를 얻기가 용이하다는 장점이 있으나, 수평주사의 속도가 대단히 빠르므로 구동 메카니즘의 구현이 어렵고 또 성능상 제한 요소가 따르게 된다. 최근에 개발되고 있는 열상장비들은 검출기를 행렬(matrix)로 배열하여 직렬주사의 균일한 영상 및 신호대 잡음비 개선효과 그리고 병렬주사의 낮은 주사속도 및 작은 신호 대역폭의 장점을 결합시킨 직병렬주사(serial-parallel scanning) 방식을 취하는 것이 보통이다.

적외선 검출기는 크게 열 검출기(thermal detector)와 양자 검출기(quantum detector: photon detector와 superconducting detector로 구분될 수 있으나 주로 photon detector를 의미)로 나누어 진다. 열 검출기에 투사되는 적외선 복사 에너지의 차이는 작은 온도변화를 가져오게 되어 검출소자의 전기적 특성이 바뀌게 한다. 열 검출기는 냉각장치를 필요로 하지 않으나 양자 검출기에 비하여 반응속도가 매우 느리므로 화재 및 침입자의 검출, 원격조정 감지기(remote sensing)등 비영상 시스템(nonimaging system)으로 많이 이용된다. 열검출기에 속하는 것으로는 열전대(thermocouple), 볼로미터(bolometer), 초전기 비디콘(pyroelectric vidicon) 등이 있는 데 초전기 비디콘은 다른 열 검출기와는 달리 표적온도의 시간변화에 반응하기 때문에 영상소자로 이용할 수 있지만 냉각시킨 양자 검출기에 비하여 감도가 떨어진다.

열상장비에 이용되는 대부분의 검출기는 양자 검출기이다. 양자 검출기에 입사되는 복사 에너지는 그의 강도(intensity)에 따라 초과반송자(excess carrier)들을 발생시키는 데 이의 반응속도는 매우 빨라 보통 μ sec 단위이다. 양자 검출기는 밴드갭(bandgap) 에너지가 검출되는 광자 에너지 보다 작은 반도체이다. 그 에너지의 양은 3-5 μ m 검출의 경우 약 0.25eV이고 8-14 μ m 검출의 경우는 약 0.1eV이므로 반도체 재질로 잘 알려진 실리콘(1.15eV)이나 게르마늄(0.75eV)등은 적합하지 않다. 오늘날 이에 가장 적합한 물질은 PbSnTe와 특히 HgCdTe(CMT 또는 MCT로 표기)로써 그들의 조성비를 변화시킴으로써 8-14 μ m 또는 3-5 μ m의 파장대에 각각 사용할 수 있다.

상온에서 적외선 양자 검출기의 신호출력은 매우 미약하고 반도체에서 전자-정공 쌍의 랜덤(random)한 생성 및 재결합에 의한 열 잡음(thermal noise)에 압도되어 버리기 때문에 검출기를 표적 영상이 관측되도록 작은 온도차이도 식별될 수 있게 민감(sensitive)하게 만들고 열잡음으로부터의 반응과 명백히 구별할 수 있게 하기 위하여 검출기는 냉각온도(cryogenic temperature)까지 냉각되어야 한다. 냉각온도는 보통 3-5 μ m 파장대의 검출에는 약 193°K(-80°K)이고 8-14 μ m 파장대의 검출에는 80°K(-193°K) 정도이나 경우에 따라서 즉, 검출기의 재질에 따라서 각각 다르며 4°K 정도까지 헬륨을 이용하



(a) 병렬주사 (b) 직렬주사 (c) 직병렬주사

그림 5. 기본적인 주사 방법

여 냉각시키기도 한다.

열상장비의 신호처리부는 적외선 검출기에서 나오는 전기적 영상정보를 재현장치(display)에 가시광선으로 재 구성하는 역할을 한다. AC 결합으로 검출기에서 나오는 신호정보는 수 μV - 수 mV 정도로 매우 미약하므로 영상재현에 필요한 전압레벨로 바꾸어 주는 증폭기, 동시에 몇개의 검출소자로 부터 나오는 병렬신호를 비디오 영상재현에 적합한 직렬신호로 변환하는 다중기(multiplexer 또는 scan converter), 비디오 복합영상 신호를 구현하고 화면 조정 기능을 수행하는 영상처리기 및 주사장치와 재현장치의 동기를 일정하게 맞추어 주는 동기신호 발생기가 신호처리부의 기본 구성이 된다. 이밖에도 각 전자회로 부분에 전원을 공급하여 주는 전원공급기가 있으며 수평 및 수직주사 거울을 구동하기 위한 모터 구동 및 제어회로도 필요하다. 이러한 신호처리부는 실제로는 검출기의 특성과 배열의 형상에 따른 주사형태 및 요구되는 재현장치의 형태에 크게 의존하여 구성된다. 따라서 병렬주사 방식과 직렬주사 방식에 따라 신호처리부의 기본 구성이 달라지게 되며 직접 육안 관측 방식과 모니터 재현 간접관측 방식등 관측 방식에 따라서도 신호처리부의 구현방식이 달라진다.

IV. 열상장비의 신호처리

병렬주사 방식에서는 영상정보의 수직 시계를 검출기의 수직 행(row)들이 모두 cover하므로 기본적으로 수평방향의 진동 평면경(oscillating flat mirror)만으로 전체 영상신호를 획득할 수 있다. 따라서 검출소자의 갯수만큼의 증폭기로 신호정보를 증폭한 뒤 검출기 배열과 동일한 형태를 갖는 발광 다이오드(LED)배열에 빛으로 재현시킨다. 이때 주사 거울은 앞, 뒷면을 모두 이용하며 뒷면을 통하여 발광다이오드 배열에서 나타나는 영상의 수직 선(line)정보를 수평방향으로 주사시킨다. 그림 6은 이러한 병렬주사-병렬 영상 시스템(parallel scan - parallel video system)의 대표적 구성도이다. 통상 검출기의 갯수는 60개, 120개 또는 180개등이나 검출기 소자 배열간격을 소자 크기의 2배 정도로 하고 진동 평면경을 양방향(bidirectional)으로 주사되되 되돌아 올때에 주사거울을 검출소자 간격만큼 기울여(tilt) 주

사하여 2:1 비월주사(interlace)를 함으로써 검출소자수의 2배에 해당하는 재현선(display line)을 얻을 수 있다. 이 방법은 하나의 주사장치로 영상정보의 획득과 재현이 동시에 이루어지므로 별도의 동기신호 발생기가 필요하지 않으며 시스템 구성이 단순해 지는 장점이 있다. 그러나 모든 채널 즉, 검출기로부터 발광 다이오드에 이르는 각각의 소자및 회로에서 특성이 균일하여야 하며 이 채널의 어느 한 부분이라도 결합이 생기면 곧바로 영상 신호선의 해당되는 부분이 관측되지 않는다.

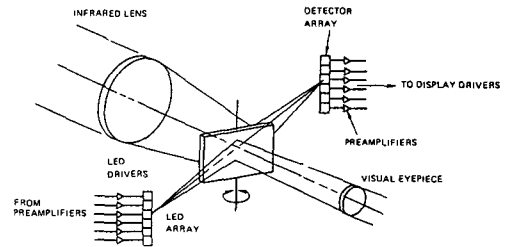


그림 6. 병렬주사-병렬영상 재현 시스템의 개념도

병렬 주사 방식에서 획득된 영상정보를 기록, 보존하기 위해서는 병렬주사-표준 영상 재현(parallel scan-standard video) 방식을 이용하며 이는 표준 TV모니터에 영상을 재현하게 된다. 기본적인 영상신호 획득및 재현의 개념은 병렬주사-병렬 영상 재현 방식과 동일하며 병렬 영상 재현 방식으로 재현된 가시광선 신호를 비디콘(vidicon) 카메라로 받아 표준 TV 영상 재현에 필요한 영상신호로 변환(convert)한 뒤 TV모니터에 재현한다.

또 병렬 주사 방식의 경우 획득된 영상정보를 LED를 통하지 않고 직접 전자적 변환을 통해 음극선관(CRT: cathod ray tube)에 영상을 재현하거나 전송 영상 데이터(transmit video data)로 만들 수 있는데 이를 병렬주사-의사 표준영상 재현(parallel scan-pseudo standard video)방법이라 한다. 여기서 전자적 주사 변환 장치란 그림 7과 같은 전자다중기(E-MUX : electronic multiplexer)를 의미하는데 동시에 들어오는 검출소자들로 부터의 영상신호를 전자적으로 순차적인 직렬 비디오 신호로 변화하는 장치를 말한다.

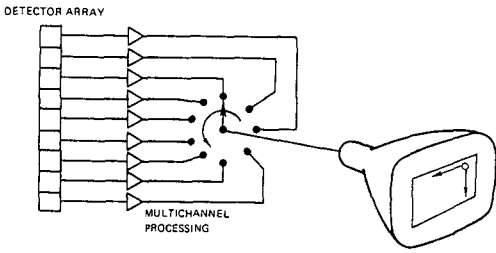


그림 7. 전자 다중기의 구조

최근 많이 사용되고 있는 직병렬 주사-표준 영상재현(serial parallel scan-standard video)방식의 구성에서는 수직 방향으로 몇개의 검출 소자 행(row)을 가지는데 수평 방향의 검출소자 열은 거의 모두 시간지연적분(TDI) 검출기의 구조를 가지며, 수직 방향의 검출기 행은 주사속도를 감소시키고 검출기 행(row)수 만큼의 영상신호를 병렬로 발생시킨다. 따라서 이 경우 병렬 신호를 직렬신호로 바꾸어 주기 위한 주사변환장치(scan converter)가 전자 다중기(E-MUX)의 형태로 필요하게 된다. 그러나 병렬주사의사 표준 영상 재현방식의 전자 다중기의 경우와는 달리 표준TV모니터에 수평방향의 직렬 신호로 변환해야 하므로 통상 1회의 수평방향 주사시 영상정보를 메모리등에 저장하였다가 다음 수평 주사 기간동안 모니터에 검출기의 한 행씩 직렬로 재현시킨다.

그림 8은 수직방향으로 8개의 행(row)을 갖는 모자이크 형태 검출기의 직병렬 주사 신호처리 방식의 한 예이다. 각각의 신호는 적절히 증폭되어 표본화(sampling)된뒤 디지털 신호로 변환되어 1회의 수평 주사분 영상신호가 각각 8개의 메모리에 저장된다. 이 저장 단위를 메모리 뱅크(memory bank)라 하며 이 시스템에서는 두개의 메모리 뱅크가 있다. 다음 수평 주사 기간동안 획득된 또 다른 영상정보 즉, 수직방향으로 검출기 8개 만큼 내려와서의 영상정보는 두번째 메모리 뱅크에 저장되게 되며 이 기간중 첫번째 저장된 8행의 영상정보가 순서대로 1행씩 직렬 신호를 이루며 영상 신호처리부로 입력 나간다. 직렬신호들은 다시 아날로그 신호로 변환되며 동기신호와 여백신호(blanking signal)등을 동기신호처리부에서 받아 TV모니터에 재현 시킨다. 그림 8은 단순히 직병렬 주사 신호처리 방식의 한 예에 불과하며 실제 이를 구현하는 방법은 매우 다양하다.

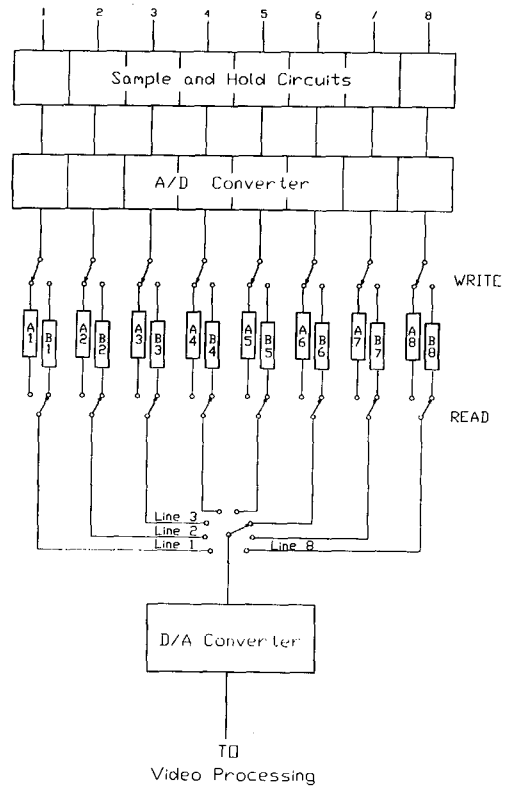


그림 8. 직병렬 주사방식 열상장비의 전자 다중기 구조(예)

실시간 신호처리를 통한 열상장비는 초기에는 야간 관측등 주로 군사적 목적을 달성하기 위해 연구되었다. 특히 1950년대 이후 열상장비에 이용될 수 있는 여러 종류의 양자 검출기의 출현으로 미국에서는 주로 병렬 영상재현 방식의 열상장비가 1970년대 중반에 본격적으로 개발되었고 영국, 프랑스등 유럽에서는 직병렬주사-표준 영상재현 방식의 열상장비가 1980년대 초에 개발되었다. 민수용 산업기기로 이용되는 열상장비의 경우는 TV 화면들과 같은 정도의 실시간 영상획득이 요구되지는 않으므로 저속 주사장치를 단일검출소자에 적용하여 그 상을 사진판에 기록하거나 화면단위로 영상정보를 기록한 뒤 별도의 신호처리 과정을 거치게 함으로써 보다 저렴하고 신뢰성 있는 장비의 개발이 가능하게 되었다. 특히 최근에는 PC를 이용하여 영상정보를 화면단위로 저장하며 온도차이에 따른 칼라영상 재현(pseudo-color display)으로 의뢰기기로도 이용하고 있다.

V. 차기세대 열상장비 기술동향

마이크로 프로세서(micro-processor)와 기억소자(memory)등 전자공학의 급격한 발전과 적외선 분야의 소재 산업의 발전으로 열상장비는 복합 소자의 이용이 가능해져서 구조적으로 보다 단순해 지고 성능은 점차 향상되어 가고 있는 실정이다. 특히 고밀도(high density)고성능의 이차원 배열 검출소자들의 IRFPA's(infrared focal plane arrays)가 선진국에서 개발됨에 따라 이 검출기를 이용한 2세대 열상장비들이 계속 연구되어 90년대 중반 이후 실용화될 전망이다. 진술한 바와같이 열상장비의 기술은 검출소자의 기술에 크게 의존하기 때문에 적외선 영상 검출소자의 개발은 꾸준히 발전되어 왔으며, 특히 IRFPA's의 기술은 1970년대 중반이후 본격적으로 착수되어 왔다. 1970년대에 들어 개발된 전하결합소자(CCD:charge coupled device) 기술은 대규모 집적회로(VLSI) 기술 및 새로운 적외선 검출재료의 결정성장 기법의 개발들과 함께 2세대 열상 검출기인 IRFPA's(infrared focal plane arrays)의 제작에 큰 기여를 하게 되었다. 활상소자중 가시광선 영역에서 영상획득에 이용되고 있는 실리콘 전하결합소자(Si CCD)의 경우 현재 통상적으로 600×600 화소 배열의 검출소자가 이용되고 있으며 특수용도로 2048×2048 화소 배열의 검출소자도 제작되어 있다. 가시광선 영역의 활상소자들은 고체상태(solid state)의 영상획득 소자들로서 주간 카메라의 센서로 그동안 많이 이용되어 왔던 비디콘이나 플럼비콘(plumbicons) 등의 진공관 영상획득소자들에 대체되어 이용되고 있으며 특히 영상정보를 저장하여 순차적으로 모니터에 전달하는 다중화(multiplexing) 기법의 처리가 용이하다

적외선 영역에서 위와 같은 실리콘 전하결합소자(검출재료 및 다중기에 모두 실리콘을 사용)가 사용될 수 없는 이유는 이미 기술된 바와 같이 3-5μm 파장대와 8-14μm 파장대에서 통상 요구되는 밴드갭 에너지가 0.25eV-0.1eV로써 실리콘이 적합하지 않기 때문이다. 따라서 일반적으로 IRFPAs는 작은 밴드갭 에너지를 갖는 반도체 검출소자와 실리콘 다중기의 구조로 이루어 진다. 실제 이들 재료간의 연결은 제작상의 큰 문제점으로 나타난다. 또 적외선 영역에서 지상표적의 영상신호 대조비(contrast)는 가

시광선 영역과는 달리 대단히 낮고 양자잡음(photon noise)이 크게 나타나므로 잡음을 낮게 유지하기 위하여 검출소자의 냉각이 필요하게 된다. 그러므로 저온에서 고성능을 유지하는 아날로그 회로의 설계 및 제작이 IRFPAs 제작상의 큰 문제점으로 대두된다. 이밖에 기구적인 밀봉과 전기적 접합등도 냉각장치 결합상의 주요 고려사항이다. IRFPAs 검출기는 기존 검출기에 비하여 고밀도 2차원 배열 형성이 가능하고 신호처리를 초점면상에서 직접 행할 수 있어 적외선 광학계의 직경의 축소, 스펙트럼 대역폭의 감소 및 빠른 화면물을 얻을 수 있다. 또 일반적으로 개개의 검출소자에 필요한 전단증폭기와 다중화 처리기의 소자수를 대폭적으로 줄일 수 있다. 특히 다중화 처리를 냉각용기(dewar)내에서 행할 경우 영상신호 처리기는 마치 하나의 검출소자를 갖는 열상시스템과 같이 단순화시킬 수 있다.

고밀도 적외선 검출기의 집적 소자수는 현재 주요 검출재료들로 이용되고 있는 PtSi, InSb 및 CMT(HgCdTe)의 경우에 마치 18개월 정도마다 2배의 속도로 집적도가 높아지고 있는 dynamic RAM IC에 비교될 정도로 지수적인 증가 추세를 보이고 있다. 검출기 소자수는 그림 9 에서와 같이 다만 5-10년 정도의 시간차이만 있을 뿐 DRAM의 집적도와 동일한 비율로 증가하고 있다. 특히 PtSi 검출기의 경우 이미 512×512 소자 배열 검출기가 생산중이며 1024×1024 소자 배열 검출기도 개발완료 단계이다. CMT 및 InSb 검출기의 경우는 현재 256×256 소자 배열 검출기가 제작되고 있다.

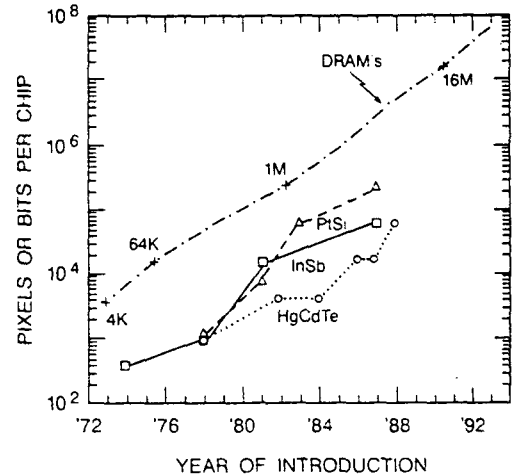


그림 9. 적외선 검출기 집적도의 발전추세

한편 이러한 초점면 배열 검출기를 사용하여 열상 장비를 구성하는 방법은 기계적 주사 방식과 비기계적 주사방식의 두가지 형태로 구분될 수 있다. 고밀도 IRFPAs 검출기를 이용한 열상장비에서 주사(scanning array)방식을 이용하면 시간지연적분(TDI: time delay integration) 효과를 갖게되어 검출기의 감도가 증가한다. 이러한 시간지연적분 효과는 현재 직병렬 주사방식을 사용하여 제작하고 있는 1세대 열상장비에서도 얻을 수 있는 데 차기세대인 IRFPAs에서는 전하결합소자 기술을 이용하여 검출기내에서 자체적으로 신호처리를 하므로 별도의 증폭기나 시간지연선, 다중화 장치등이 필요하지 않게 된다. 또 비주사(staring array)방식에 비하여 검출소자의 수가 파격적으로 제한되므로 제작이 용이하고 전력소모, 냉각용량의 측면에서도 유리하다. 비주사방식의 검출기를 이용하면 반대로 거의 모든 신호처리등을 검출기내에서 해결하며 기계적 주사장치가 필요없게 되어 비디오 신호처리부등 극히 제한된 회로만으로 간단히 장비를 구성할 수 있는 장점이 있다.

열상장비 기술은 궁극적으로 비주사방식의 형태로 발전할 전망이지만 아직까지는 검출소자들의 균일성, 냉각용량의 증대와 역시 균일한 냉각, 제작상의 어려움등으로 주사방식이 병행되어 개발되고 있으며 시제품들이 출현하고 있는 상태이다. 1세대 장비에 비하여 월등한 성능이 기대되지만 2가지 형태 모두에 대해 제작상의 복잡함과 가격등의 요인으로 개발완료되더라도 앞으로 상당기간 동안은 1세대 열상장비와 병용될 전망이다

VI. 결론

본 논문에서는 물체가 방출하는 에너지 차이를 검출하여 영상화하는 열상장비 기술의 현황과 전망에 대해 신호처리 방법을 중심으로 기술하였다. 열상장비 관련기술은 수동형 센서(passive sensor) 및 영상정보 획득분야에서의 첨단기술이며 여러가지 구현방법이 제시되고 있다. 또 장비의 응용측면에서도 산업계 및 의료계 등 많은 분야에 확산되고 있다.

국내에서 적외선 검출기나 직병렬 주사장치를 이용한 열상장비 연구는 1980년대 중반이후 및 1980년대 후반 이후부터 추진되고 있으나 아직 기술적으로 보

완되어야 할 부분이 많다. 또 IRFPAs 검출기나 차기세대 열상장비의 연구는 진행되고 있지 못하다. 열상장비에 적용되어야 하는 기술들로는 적외선 검출재료의 우수한 결정성장 기술, 극도로 균일한 소자 배열 제작 기술, 초고속의 전하결합소자 신호처리 기술, 검출배열과 전하결합소자 배열간의 결합 기술, 아날로그 소신호의 증폭기술, 아날로그/디지털 영상 신호처리 기술, 초고속 소형 히스테리시스 동기모터 제작과 정밀 제어 기술, 적외선 광학계 설계 및 고투과율 코팅/제작 기술, 폐회로 냉각장치 제작 및 액화기(cryostat)/냉각용기(dewar) 제작기술과 시스템 설계/평가 기술등으로 앞으로 전반적인 산업기술의 발전을 위해서 꼭 확보되어야 할 것으로 판단된다. 이들 기술의 확보를 위해서는 보다 활발한 산.학.연간의 정보 교류와 기술 협조, 꾸준한 연구노력, 또 산업체나 연구소 차원의 적극적인 지원 활동이 절실히 요청된다.

參考文獻

- [1] J.M.Lloyd, *Thermal Imaging Systems*. Plenum Press, N.Y., 1975
- [2] R.D.Hudson Jr, *Infrared System Engineering*. John Wiley & Sons Inc., N.Y., 1969
- [3] W.L.Wolfe and G.J.Zissis, ed., *The Infrared Handbook*. 2nd ed., IRIA Center, 1985
- [4] E.L.Dereniak and R.T.Sampson, ed., *Infrared Detectors and Focal Plane Arrays*. Proc.SPIE, vol.1308, April 1990
- [5] M. A. Karim, ed., Special section on Infrared Imaging Systems. *Optical Engineering*, vol.30, no.11, Nov. 1991
- [6] E.L.Dereniak, ed., Special section on Infrared Focal Plane Arrays. *Optical Engineering*, vol.26, no.3, Mar.1987
- [7] D.A.Scribner, M.R.Kruer, and J.M.Killiany, "Infrared focal plane array technology," *Proc. IEEE*, vol.79, no.1, pp.66-85, Jan. 1991.

[8] 홍석민, 송인섭, 권우근, 김재기, “적외선 열 영상장비의 기본원리 및 기술동향”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집 (B), PP.1255-1259, 1992년 7월

[9] 송인섭, 유위경, 윤은숙, 이영철, 홍석민, “직병렬 주사방식 열상장비의 신호처리 기 설계 연구”, 대한전자공학회 논문지 B권, 게재예정

筆 者 紹 介



洪 錫 啟
 1957年 11月 1日生
 1979年 2月 광운대학교 무선통신학과 졸업
 1990年 8月 충남대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1991年 3月 충남대학교 대학원 전자공학과(박사과정)

1979年 3月 국방과학연구소 연구원
 1993年 10月 ~ 현재 국방과학연구소 선임연구원, 열상장비 연구팀장

주관심 분야 : 영상 시스템 설계 및 강인 제어기 설계 등임



尹 銀 淑
 1964年 5月 27日生
 1987年 2月 충남대학교 전자공학과 졸업

1989年 11月 국방과학연구소 연구원
 1993年 10月 ~ 현재 국방과학연구소 연구원

주관심 분야 : 영상신호처리 등임

宋 仁 燮
 1956年 7月 23日生
 1980年 2月 서강대학교 전자공학과 졸업
 1992年 8月 충남대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1993年 3月 충남대학교 대학원 전자공학과(박사과정)

1979年 12月 국방과학연구소 연구원
 1993年 10月 ~ 현재 국방과학연구소 선임연구원

주관심 분야 : 영상신호처리 및 데이터 압축 등임