

레이저 및 열상장비의 기술동향

全 容 權, 洪 錫 啟
國防科學研究所

현대 전투의 양상은 점차 전자 전장화 되어, 이제 첨단과학기술에 의해 초기에 전세가 결정된다. 대표적인 예가 1991년 1월 중순에 다국적군의 대공습으로 시작된 “사막의 폭풍” 작전이라고 불리웠던 걸프(Gulf)전이다. 이 전쟁은 선진국의 첨단정밀병기의 실전배치를 통한 표본적 시험장으로 미래전의 방향을 제시하고 있다. 전자광학장비(electro optical system)도 이러한 첨단정밀병기의 한 분야로, “사막의 폭풍” 작전 개시 초기에 다국적군이 전자광학장비를 이용하여 야간에 이라크군의 주요 지휘 통제 군사시설을 정밀타격하여 전장에서 기선을 제압한 것은 잘 알려져 있다. 이들 전자광학장비중에서도 최근에 가장 활발히 연구되고 있는 분야가 능동형(active) 장비로서의 레이저 기술 분야와 수동형(passive) 장비로서의 열상 기술 분야이다.

레이저는 일종의 전자기파이나 일반적인 마이크로파와 광파에서 볼 수 없는 단색성과 간섭성, 지향성 등을 가지고 있다. 특히 지향성은 레이저의 군사적 응용과 가장 밀접한 성질로, 레이저 광이 대기중을 진행하면서 거의 퍼지지 않는 특징을 말한다. 1960년 미국의 물리학자 T.H.Maiman이 적색 가시광을 내는 루비 레이저를 처음으로 발진시킨 이래, 1961년 첫 기체 레이저인 헬륨네온 레이저가 발명되고, 뒤이어 이산화탄소 레이저, 비소화갈륨 반도체 레이저, 색소 레이저, 화학 레이저, 자유전자 레이저 등 수많은 종류의 레이저가 개발되었다. 이렇게 다양한 레이저들은 군사, 산업, 통신, 기초과학, 의학 등 거의 모든 분야에 커다란 영향을 미치고 있으며, 컴퓨터 광기억 장치, CD 등 일상생활에 까지 영향을 주고있다.

레이저의 최초 응용장비는 레이저거리측정기(LRF : Laser Rangefinder)로 레이저가 발명된지 불과 2년후인 1962년에 개발되었으며, 1969년 미육군의 M60A1 전차에 채택되어 군에 보급되면서 전차의 명중률을 크게 향상시켰다. 그후 레이저 유도폭탄과 레이저 표적 지시기(laser target

designator)가 개발되어 지상표적을 정확히 선별하여 공격할 수 있게 되었으며, 레이저빔에 편승하여 고속으로 움직이는 대공표적을 추적, 공격하는 유도탄도 가능하게 되었다. 이외에도 움직이는 물체의 속도와 거리, 영상을 동시에 얻을 수 있는 레이저레이다에 관한 연구가 진행중에 있으며, 원거리에서 화생방 물질을 측정하여 지역적인 분포도를 얻을 수 있는 라이다(LIDAR: Light Detection and Ranging), 기존의 기계식 자이로를 대체할 수 있는 레이저 자이로 등 다양한 종류의 레이저 응용장비가 개발되고 있다.

1983년 3월에는 레이건 대통령이 전략방위구상(SDI: Strategic Defense Initiative)계획을 발표하면서 고에너지 레이저(HEL: High Energy Laser)의 실전배치 가능성을 확인하기 위하여 많은 투자가 이루어졌으며, 이로 인하여 고출력 이산화탄소 레이저, 불화수소 화학레이저, X-ray 레이저, 자유전자 레이저 등에 관한 연구가 집중적으로 수행되었다. 현재 동서냉전이 붕괴된 시점에서 미국의 연구방향이 수정되어 최근 새로 발족된 BMDO(Ballistic Missile Defense Organization)를 중심으로 전술적 차원의 고에너지 레이저 응용 가능성을 확인하기 위하여 꾸준히 연구가 진행되고 있다.

열상장비(thermal imaging system)는 전자광학 영상장비의 하나로서 물체 온도에 따른 적외선 영역의 고유한 복사에너지 차이를 검출한 뒤, 적절한 전기적 신호처리 과정을 거쳐 눈으로 볼 수 있는 가시광선 영상으로 변환시키는 장비이다. 여기서 복사 에너지란, 엄밀하게는 절대온도 0도($0\text{ K} = -273.15^\circ\text{C}$) 이상의 모든 물체에서 그 온도에 상응하여 항상 방출하고 있는 파장별 단위 면적당 단위 시간당의 복사 에너지 즉, 복사 에미턴스(emittance)를 의미한다. 일반적으로 상온(통상 300 K 로 표현)의 군사표적이 발하는 복사 에너지의 파장영역은 가시광선의 스펙트럼($0.38\sim 0.77\mu\text{m}$)과는 거의 독립적으로 통상 $10\mu\text{m}$ 의 적외선 영역에서 최대 방출 파장을 갖는다.

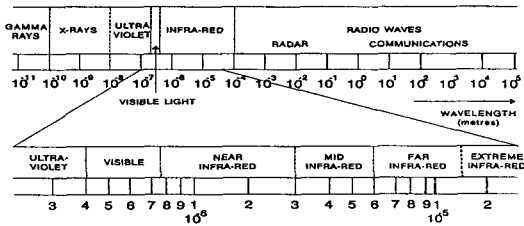
이러한 적외선 성질을 이용한 열상장비는 빛의 유무나 반사되는 빛의 세기 차이가 아닌 물체의 단위 면적당, 단위 시간당 방출하는 복사 에너지의

차이를 영상화하므로 빛이 전혀 없는 야간이라 할 지라도 관측이 가능하고 시계가 불량한 대기조건에서도 비교적 양호한 표적 탐지능력을 갖는 첨단 기술의 영상장비로서 1930년대 부터 개발되기 시작하였다. 1950년대 초반까지는 적외선 검출기의 응답시간 지연으로 실시간 열영상 구현이 불가능했지만 이후 검출재질의 개발과 냉각방식의 도입으로 짧은 시정수를 갖는 소자가 제작되어 1956년 최초의 실시간 장파장 열상장비가 미 공군의 협력하에 시카고 대학에서 개발되었다. 이후 1960년과 1974년 사이에 적어도 60여종 이상의 열상장비가 출현하였으며, 1970년대 중반이후 본격적으로 군사용의 야간 관측이나 사통장비의 센서로 이용되기 시작한 이래 현재는 산업용이나 의료용으로도 광범위하게 응용되고 있다.

본 고의 구성은 다음과 같다. II장에서는 일반적인 전자광학장비의 특성을 살펴보고 III장에서는 레이저의 응용분야를 저에너지 레이저 응용분야와 고에너지 레이저 응용분야로 나누어서 기술현황과 발전전망을 기술한다. IV장에서는 열상장비의 구성과 발전추세를 기술하고 특히 검출기와 신호처리 기술에 대하여 소개하며 V장에서 결론을 맺는다.

II. 전자광학장비의 특징

군사적 용도로 사용하는 전자광학장비의 경우, 대부분 눈으로 볼 수 있는 가시광선 영역과 적외선 영역의 파장대역을 이용한다. 그림 1은 전자파의 파장영역중 가시광선과 적외선의 위치를 표현한다. 즉, 가시광선은 $0.38\sim 0.77\mu\text{m}$ 파장대역으로 사람의 눈으로 감지할 수 있는 파장영역이고, 적외선은 $0.77\mu\text{m}\sim 1\text{mm}$ 파장대역으로 가시광선과 Radar/Radio 파장영역 사이에 존재하는 전자파이다. 적외선은 학자에 따라 다르기도 하지만 대개 $0.77\mu\text{m}\sim 3\mu\text{m}$ 까지를 근적외선(near infrared), $3\mu\text{m}\sim 6\mu\text{m}$ 까지를 중적외선(mid infrared), $6\mu\text{m}\sim 15\mu\text{m}$ 까지를 원적외선(far infrared)이라고 하고 $15\mu\text{m}$ 이상 1mm 까지를 극원적외선(extreme

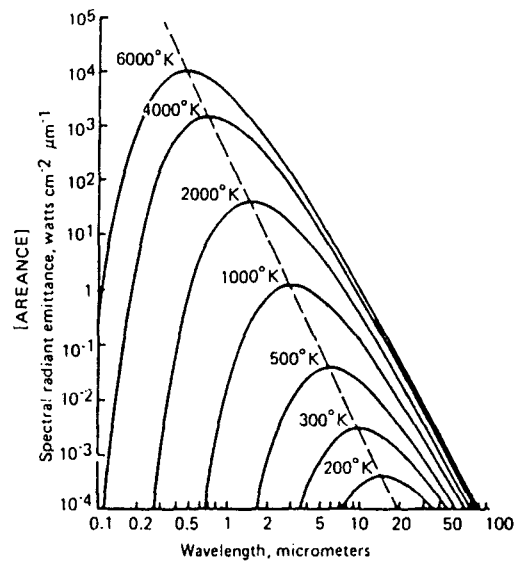


〈그림 1〉 가시광선/적외선의 파장대역

infrared)이라고 분류한다.

전자광학장비는 표적의 관련 정보를 가시광선 또는 적외선 영역의 대기 매질을 통하여 획득하게 되므로, 장비 자체의 특성이 표적의 특성이나 매질의 특성과 잘 일치하여야 한다. 즉, 전자광학장비의 경우는 장비 자체의 성능도 중요하지만 표적과 배경의 특성, 광원(light source)이 존재하는 경우 광원의 특성과 광원이 표적이나 배경에 미치는 영향, 전달매체로서 가시광선이나 적외선의 대기투과특성등이 설계에 중요한 고려 요소가 된다.

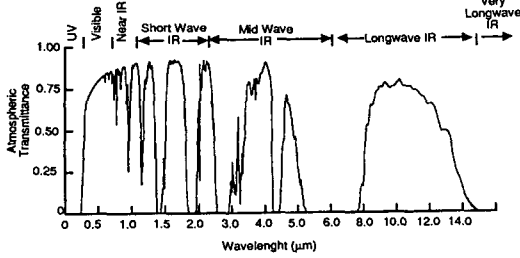
절대온도 0 K 이상의 모든 물체는 물체 내부의 원자 및 분자의 진동과 회전에 의해 자체적인 복사 에너지를 방사하며 복사 이론에 따르면 에너지의 최대 방출 파장은 물체를 흑체(blackbody)로 가정하였을 때의 온도와 상관관계를 갖는다. 그림 2는 물체의 온도에 따른 파장별 복사 에미턴스를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 절대온도 6000 K의 태양광은 가시광선 영역에서 최대 복사 에너지를 방출하며 상온인 300 K 표적은 대략 10 μm 파장의 적외선 영역에서 최대 복사 에너지를 방출함을 알 수 있다. 또 대략 1000K의 온도로 표현되는 항공기의 엔진 열이나 유도탄 등은 3 μm 파장대의 적외선 영역에서 최대 복사 에너지를 방출한다. 따라서 군사 전자광학장비에서는 가시광선 영역을 제외하고 대략 3 μm 와 10 μm 파장대의 중적외선과 원적외선 영역이 관심 파장임을 유추해 볼 수 있다. 즉, 관심 표적이 위에 제시된 영역의 파장을 최대로 방출하므로 이 영역에서 감응하는 검출기와 검출기에 복사 에너지를 집중시키는 적외선 광학계가 필요하게 된다. 반면에 장비 자체가 광원이기도 한 레이저 시스템의 경우는 광원이 별도의 단색 파장을 가지고, 표적으로부터 반사되어 오는 그



〈그림 2〉 물체(흑체)의 온도에 따른 파장별 복사 에너지

파장에 감응하는 검출기를 이용하게 되므로 표적 자체의 방출 특성 보다는 반사 특성에 의존하게 된다.

한편, 적외선은 그림 1에서 보는 바와 같이 가시광선 영역과 Radar/Radio 파장 영역 사이에 존재하기 때문에 가시광선과 Radar/Radio 파장의 특성을 함께 가진다. 즉, 파장에 알맞게 설계된 렌즈, 반사경, 프리즘 등을 통하여 광학적으로 집속, 직진, 확산 시킬 수 있으며 Radar/Radio 파와 같이 가시광선이 투과하지 못하는 불투명체도 통과할 수 있다. 그러나 적외선 영역의 에너지라 할 지라도 대기의 산란(scattering) 현상이나 이산화탄소(CO_2), 수증기(H_2O), 오존(O_3) 등의 흡수 현상으로 파장에 따라 대기투과특성이 부분적으로 크게 감쇄하게 된다. 이에 따라 그림 3와 같이 대기투과특성이 우수한 몇몇 영역이 존재하게 되는 데 이를 대기창(atmospheric window)이라고 부른다. 그림에서와 같이 3-5 μm 와 8-14 μm 파장대의 대기창이 존재하게 되어 많은 적외선 장비들은 이 영역에서 감응도가 높은 검출기와 광학계를 이용하게 된다. 특히 대부분의 관측용 열상장비의 경우는 상온에서의 군사 표적들이 10 μm 파장대에서 가장 높은 복사 에너지를 방출한다는 복사 법칙과 8-14 μm 파장



(그림 3) 적외선 영역의 대기투과특성

대에서 대기투과특성이 우수하다는 성질로 말미암아 통상이 파장영역에서 동작하도록 설계되고 있다.

III. 레이저 응용 및 발전기 기술

1. 저에너지 레이저 응용분야 및 발전기 기술

펄스당수 mJ 또는 수백 mJ 급의 비교적 낮은 에너지의 레이저들은 사거리측정을 위한 거리측정, 레이저 유도탄을 위한 표적지시, 원거리 탐지등과 같이 다양한 분야에서 군사적 용도로 실용화되어 있다. 레이저 응용장비중 가장 많이 소요되고 있는 장비는 레이저거리측정기로서 거의 모든 사격통계 장치의 핵심부품이 되고 있다. 레이저거리측정기는 레이저광의 강한 지향성을 이용한 장비로서, 표적까지의 거리를 신속하고 정밀하게 측정가능하게 하므로, 포사격의 명중률 향상을 위하여 필수적으로 소요된다. 레이저거리측정기의 작동원리는 레이저광이 표적에 반사되어 돌아오는데 걸린 시간을 측정한 후 빛의 속도를 고려하여 표적까지의 거리로 정밀하게 환산하는 것이다. 레이저거리측정기의 측정거리는 날씨가 양호할 경우 지상표적에 대하여 20km이상 가능하나, 일반적으로 약 10km 이내의 표적거리측정에 사용되고 있다.

레이저거리측정기의 레이저 광원으로 70년대 초반까지는 루비 레이저가 사용되었으나 출력파장이 0.69 μm 로서 가시광선이므로 군사적 운용에 제약이 있었다. 따라서 70년대 후반 부터는 파장 1.06 μm 로서 근적외선(비가시광선) 영역에서 작동하는 Nd:YAG(Neodymium:YAG)레이저가 사용

되기 시작하였다. Nd:YAG 레이저는 고체결정을 매질로 사용하므로 소형화가 가능하고, 높은 효율을 가지는 장점이 있으므로 대부분의 레이저거리측정기에 사용되어 왔다. 그러나 Nd:YAG 레이저광은 사람의 눈에 입사될 경우 망막을 손상시킨다. 따라서 눈에 안전한 레이저가 개발되어 레이저거리측정기에 이용되고 있다. 현재까지 이용되고 있는 눈에 안전한 레이저로는 이산화탄소(CO_2) 레이저(파장 10.6 μm), 어븀뮴(Erbium) 레이저(파장 1.54 μm), 라만(Raman shifted Nd:YAG)레이저(파장 1.54 μm)등이 있다.

레이저 레이더(Laser radar)는 원거리에서 레이저를 조사하여 표적으로부터 반사된 레이저 신호를 Heterodyne 혹은 Homodyne 등의 검출기법을 이용하여 움직이는 표적의 속도와 거리를 측정하기 위하여 사용된다. 레이저 레이더는 마이크로파 레이더와 같이 거리, 속도, 목표물의 반사율 및 방위각과 고저각을 측정할 수 있으며, 파장이 마이크로파보다 훨씬 짧기 때문에 빔의 발산 및 대기투과, 표적에서의 반사등이 매우 상이하여 각분해능과 거리 분해능이 아주 높으므로 작은 표적을 정밀하게 탐지하는데 이용될 수 있다. 근적외선 영역의 소형 고체레이저 또는 반도체레이저를 이용한 레이저 레이더는 항공기의 충돌방지 장치, 저공비행 항공기의 운항중 방해가 되는 전선과 같은 장애물을 탐지하기 위한 장치 등으로 이미 실용화가 되고 있다. 미국은 레이저 레이더를 탄도미사일 요격시스템에서 실제표적과 레이더 교란용 물체(Decoy)를 구별하기 위한 장치로 사용하기 위한 계획을 추진한바 있다. 이 경우는 탐지거리가 수백 km에 달하므로 15kW의 고출력 CO_2 레이저를 사용하여 시험을 수행하였다.

라이더(LIDAR)는 독가스와 같은 대기중의 화학물질, 세균, 방사능 물질 등을 원거리에서 레이저를 이용하여 검출하기 위한 장치로서 개발이 진행되고 있는 분야이다. 원거리에서 레이저를 이용하여 특정 분자의 농도를 측정하는 방법은 여러가지가 있는데, 인접한 두 파장의 흡수차이를 이용하는 방법(DIAL: Differential Absorption Lidar)이 가장 많이 응용되고 있다. 이 방법은 두 개의 파장

중 하나는 탐지할 분자의 흡수 최대치와 일치하는 것을 선택하고, 다른 하나의 파장은 그 분자에 의하여 흡수되지 않는 것을 선택하므로써 측정 가능 거리가 길고, 대기중의 먼지나 매연 등에 의한 방해 요인을 제거할 수 있는 장점이 있다. 이러한 용도로 다중파장의 CO₂ 레이저가 사용되고 있다. 형광 라이다방식은 두 가지의 파장을 가진 레이저를 사용하여 한 파장의 빛이 목표물에 흡수되어 내는 형광과 흡수되지 않고 반사되어 돌아오는 빛의 차이를 비교 분석하는 방법이다. 도플러 라이다는 대기의 분자, 먼지, 에어로졸 및 바람의 움직임을 도플러 효과를 이용하여 측정하는 방법이다. 도플러 효과에 의한 진동수의 변화는 아주 미소하지만, Heterodyne 검출기법을 이용하여 측정할 수 있다. 항공기의 꼬리 부분에서 발생하는 소용돌이를 측정하는데 이용할 수도 있다.

기타 저에너지레이저의 응용장비들로는 청록색 레이저를 이용한 수중 탐지장비, 기체 또는 고체 레이저를 이용한 링레이저 자이로(ring laser gyro) 등이 실용화 되고 있다. 군사적 용도로 사용이 기대되고 있는 레이저는 섬광등 또는 반도체 다이오드 레이저(LD: Laser Diode) 펌프 고체 레이저들이며, 가장 많이 실용화되었거나 연구되고 있는 고체레이저들을 표 1에 수록하였다. 현재 가

격이 고가이기는 하나 평균출력 수십 와트(watt) 수준의 다이오드 레이저가 개발됨에 따라 수십%의 효율을 가지는 소형 고체레이저의 개발이 가능하게 되었다. 섬광등 펌프 고체레이저의 효율은 1~2% 수준이다. 다음 절에서는 근래에 중점적으로 연구되고 있는 기술분야인 라만레이저와 광 파라메트릭 레이저에 대하여 기술한다.

(1) 라만 레이저(Raman laser)

일반적으로 빛이 어떤 매질을 통과할 때 매질을 이루는 분자들의 진동운동을 수반하는 상호작용에 의하여 일어나는 산란현상을 라만산란(Raman scattering)이라 하며, 산란된 빛의 진동수는 분자의 고유진동수만큼 감소하거나 증가하게 된다. 일반적으로 산란된 빛은 지향성이 없으나 충분한 세기의 레이저광이 입사할 경우 산란광 역시 강한 지향성을 가지게 되며, 이러한 현상을 유도라만산란(stimulated Raman scattering)이라 한다. 이때 입사된 레이저광을 펌프광(pump beam), 유도 라만 산란에 의하여 발생한 진동수가 감소된 레이저광 즉, 파장이 증가된 레이저광을 스토크스광(stokes beam)이라 한다. 반대로 진동수가 증가된 레이저광은 anti stokes 광이라 한다.

현재 레이저 거리측정기에 응용되고 있는 라만 레이저의 매질은 메탄(CH₄)가스로서 파장 1.

〈표 1〉 고체레이저

명칭	구조식	발진 파장(μm)	형광수명(ms)	유도산란 단면적(10 ⁻¹⁹ cm ²)
Ruby	Cr ³⁺ : Al ₂ O ₃	0.6943(R1), 0.6929(R2)	3.0	0.25
Nd : YAG	Nd : Y ₃ Al ₅ O ₁₂	1.064	0.230	2.8-7.6
Nd : Cr : GSGG	Nd : Cr : Gd ₃ Sc ₂ Ga ₃ O ₁₂	1.061	0.242	3.2
Nd : YLF	Nd : LiYF	1.053(σ), 1.047(π)	0.480	1.2(σ), 1.8(π)
Nd : YAP	Nd : YAlO ₃	1.0645, 1.0729, 1.0795, 1.340	0.18	-
Nd : YVO ₄	Nd : YVO ₄	1.064	0.098	20.0
Er : YAG	Er : Y ₃ Al ₅ O ₁₂	2.94	0.11	0.3
Er : Glass	Er : phosphate glass	1.54	8.0	0.08
Alexandrite	Cr : BeAl ₂ O ₄	0.7-0.818	0.260	0.1
Ti : Sapphire	Ti : Al ₂ O ₃	0.67-1.07	0.0032	4.1(p c), 2.0(p ⊥ c)
Cr : Li : SAF	Cr ³⁺ : LiSrAlF ₆	0.78-0.92	0.067	0.5

064m의 Nd : YAG 레이저를 파장 1.54m의 눈에 안전한 레이저로 변환시키기 위하여 사용되고 있다. 라만 레이저 발전기에서는 펌프광의 세기를 높이기 위하여 집속렌즈가 사용되고 있으며, 이색성 반사경(dichroic mirror)을 이용하여 후방산란된 광은 되반사 시키므로서 출력효율을 증대시키도록 하고 있다. 실제의 경우 메탄가스속에서는 유도라만 산란과 함께 여러 가지 비선형 광학적 현상이 거의 동시에 일어난다. 가장 중요한 현상으로는 펌프광에 의하여 발생된 음파가 펌프광을 되반사시키는 산란현상 즉 유도브릴루앙산란(stimulated Brillouin scattering)이 있으며, 라만변환과정에 큰 영향을 주고 있다. 유도브릴루앙산란된 광은 펌프광과 진동수의 차이가 아주 작으며, 펌프광의 파면(wave front)과 위상이 반대되는 현상 즉 위상공액(phase conjugate)특성이 있으므로 많은 연구가 되어 왔다.

(2) 광학적 파라메트릭 발전기(OPO : Optical Parametric Oscillator)

광학적 파라메트릭발전기(OPO)는 레이저광이 비선형 결정(nonlinear crystal)을 통과할 때 결정 속에 유도되는 비선형 편극(nonlinear polarization)에 의하여 새로운 파장의 빛이 발생하는 현상을 이용하고 있다. 어떤 결정내에서 같은 방향으로 진행하는 3개의 레이저광들에 대하여 각각의 진동수를 ν_p, ν_s, ν_i 라고 할때 다음과 같은 식이 성립하면 위상정합(phase matching)조건을 만족한다고 한다.

$$\nu_p n_p = \nu_s n_s + \nu_i n_i$$

여기서 n_p, n_s, n_i 는 각각의 진동수 및 편광상태에 의하여 결정되는 굴절률이다. 위상정합조건이 만족되면 진동수 ν_p 인 레이저광(pump wave)에

의하여 결정 내에 유도된 편극이 매개가 되어 진동수 ν_s 인 레이저광(signal wave) 과 진동수 ν_i 인 레이저광(idler wave)이 발생할 수 있다. 표 2는 적외선 영역의 레이저를 발생시키기 위하여 OPO용으로 이용되고 있는 대표적인 비선형 결정들을 보이고 있다.

OPO는 라만 레이저와는 달리 고체결정을 이용하며, 입사각도를 조정함으로써 레이저파장을 가변시킬 수 있는 중요한 장점들을 가지고 있다. 현재 OPO는 Nd : YAG 레이저의 파장을 파장 1.5~1.6 μm 의 눈에 안전한 레이저로 변환시키기 위하여 연구되고 있으며, 일부 실용화되어 있다. 눈에 안전한 OPO 레이저를 발생시키기 위하여 가장 많이 응용되고 있는 비선형 결정은 KNbO₃, KTP이다. 특히 레이저거리측정기 또는 LIDAR 등에 응용하기 위하여 다이오드 펌프 Nd : YAG 레이저를 펌프광으로 사용한 눈에 안전한 OPO 레이저를 개발하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이러한 레이저는 마이크로칩(microchip) 형태의 레이저로 발전될 수 있을 것으로 전망된다. 가시광선영역에서 거의 연속적으로 파장가변인 OPO 레이저가 이미 상용화되고 있는 추세이며, 적외선영역의 파장가변 레이저는 연구단계에 있다.

2. 고에너지 레이저 응용분야 및 발전기 기술

고에너지 레이저는 먼 거리에 떨어진 표적을 빛의 속도로 공격할 수 있는 효과적인 병기로서의 응용이 기대되어, 60년대초에 레이저가 출현된 이래 많은 연구가 되어왔다. 80년대초 연속출력 MW급인 화학레이저가 개발되므로서, 전술적 차원의 실용화 가능성이 커지게 되었다. 현재 미공군에서 개발중인 항공기 탑재레이저(ABL : Airborne Laser)는 부스트단계(미사일이 발사대를 떠난 직

(표 2) OPO용 비선형 결정

명	칭	결정 형태	투과 영역(μm)
KNbO ₃ , Potassium Niobate		negative biaxial	0.4-4.5
LiNbO ₃ , Lithium Niobate		negative uniaxial	0.33-5.5
LiIO ₃ , Lithium Iodate		negative uniaxial	0.3-6.0
KTP(KTiOPO ₄), Potassium Titanyl Phosphate		positive biaxial	0.35-4.5
AgGaS ₂ , Silver Thiogallate		negative uniaxial	0.5-13
BBO(β -BaB ₂ O ₄), beta-Barium Borate		negative uniaxial	0.198-2.6
LBO(LiB ₃ O ₅), Lithium Triborate		negative biaxial	0.16-2.6

후부터 마지막 단계의 추진모터가 분리될 때까지)의 탄도미사일을 파괴하기 위한 목적으로 사용될 계획이며, 화학레이저인 COIL(Chemical Oxygen Iodine Laser)이 사용되고 있다. 레이저는 광속으로 전파되므로 부스트단계의 미사일을 요격할 수 있는 이상적인 수단으로 생각되고 있다. 미해군에서는 고에너지 레이저를 함정방어시스템(SSDS : Ship Self-defense System)용으로 사용하기 위한 연구를 하고 있다. 함정방어용 레이저의 경우 대함 미사일을 직접파괴하거나 미사일의 적외선 탐색기(infrared seeker)만을 파괴하는 방안이 검토되고 있다. 미육군 역시 단거리 로켓탄을 요격할 수 있는 전술적 차원의 고에너지 레이저무기를 개발중이다.

고에너지 레이저를 발생시키기 위한 레이저 발전기는 종류가 많으나, 군사용으로 사용하기 위하여서는 소형화가 가능하여야 하며, 연속출력 또는 펄스반복률이 높아야 한다. 군사용으로 사용이 검토되고 있는 고에너지 레이저발전기로는 CO₂ Gas Dynamic laser(GDL), 화학 레이저(chemical laser), 자유전자 레이저 등이 알려져 있다. Gas dynamic laser에서는 고열로 가열된 기체를 단일 팽창시키므로 레이저매질의 여기효과를 얻고 있으며 펄스당 에너지가 100KJ급인 레이저까지 개발이 되었으며, 80년대에 항공기탑재형으로써 공대공 미사일 요격실험에 사용된바 있다.

화학레이저는 발열화학반응을 이용하여 레이저매질의 여기효과를 얻고 있으며, 표 3에서 보인바와 같이 여러종류의 레이저가 알려져 있다. 미국의 전략방위구상(SDI)에서 우주배치를 위하여 야심적으로 추진되었던 Alpha레이저는 HF 화학레이저였으며 출력 5-10MW의 연속발진을 목표로하고 있었다. HF 화학레이저는 효율은 높으나 출력파장이 2.6-3.5m로서 대기투과특성이 좋지 않으므로 우주배치용으로만 검토되었다. DF 화학레이저는 효율은 HF 레이저에 비하여 낮으나 출력파장이 3.5-4.1m로서 대기투과특성이 양호하므로 지상용 레이저 무기로써 개발되었다. 80년대에 미해군에서 추진하였던 대함미사일파괴용 MIRACL(Mid-Infrared Advanced Chemical Laser)은 DF 화학

레이저였으며, 출력 2.2MW의 연속발진을 목표로 하고 있었다. 화학산소 요오드 레이저(COIL)는 1978년 미공군 무기연구소에서 첫 발전이 이루어졌으며 주 발진 파장은 1.315 μ m이다. 이 레이저는 연속발진, 맥상발진이 모두 가능하고 비선형 결정이나 원자증기를 이용한 주파수가변 가능등의 여러 장점이 있다. 화학산소 요오드 레이저는 여기상태의 산소분자(O₂^{*})의 에너지를 요오드로 전달시키므로서 레이저 매질인 요오드를 여기시킨다. 화학산소 요오드 레이저 역시 HF/DF 레이저와 마찬가지로 반응기체의 혼합, 분산노즐을 통한 초음속, 아음속의 가스역학기술을 이용한다. 현재 미공군에서 시험중인 항공기탑재 레이저는 화학산소 요오드 레이저이며 출력은 연속발진으로 1-2MW 이다.

자유전자레이저는 기존의 레이저 발전 방법과는 달리 고속으로 가속된 전자들로부터 레이저를 발전시킨다. 전자의 운동에너지는 주기적으로 자석이 배치되어 있는 위글러(wiggler) 또는 언듈레이터(undulator)로 불리는 장치에 의해 레이저광으로 변환된다. 자유전자레이저의 출력파장(λ)은 다음과 같은 공식으로 표현될수 있다.

$$\lambda \approx \frac{\Lambda}{2\gamma^2}$$

여기서 Λ 는 언듈레이터 자석들의 주기이며, γ 는 전자의 정지질량에너지(0.5MeV)를 단위로 한 상대론적 운동에너지이다. 이 공식은 자유전자레이저의 파장은 언듈레이터 자석들의 주기 또는 전자의 운동에너지에 따라 가변될 수 있음을 보이고 있다. 이러한 특성은 자유전자레이저의 가장 큰 장점으로, 현재까지 발전에 성공한 자유전자레이저들로부터 mm 정도의 장파장에서부터 0.2 μ m 정도의 자외선에 이르는 광범위한 영역에서 레이저 발전이 이루어졌다. 언듈레이터는 나선형(helical)이거나 극교차(alternating polarity) 형태로 배치된 전자석 또는 영구자석들로 만들어 지나, 장파장의 레이저 광 자체가 가지는 전자기장이 이용될 수도 있다. 자유전자레이저는 1976년에 첫 성공적인 발전이 이루어졌고 이때의 레이저 파장은 10.6 μ m 이었다. 자유전자레이저의 개발에는 고에너지

〈표 3〉 주요 화학 레이저

레이저	화학 반응식	발전 파장(μm)
I	$O_2^* + I \rightarrow O_2 + I(\text{transfer})$	1.3
HF overtone	Same as HF	1.3-1.4
HF	$F + H_2 \rightarrow HF^* + H$ $H + F_2 \rightarrow HF^* + F$	2.6-3.5
HCl	$H + Cl_2 \rightarrow HCl^* + Cl$	3.5-4.1
DF	$F + D_2 \rightarrow DF^* + D$ $D + F_2 \rightarrow DF^* + D$	3.5-4.1
HBr	$H + Br_2 \rightarrow HBr^* + Br$	4.0-4.7
CO	$CS + O \rightarrow CO^* + S$	4.9-5.8
CO ₂	$DF^* + CO_2 \rightarrow CO_2^* + DF(\text{transfer})$	10-11

입자가속기에 사용되는 각종 가속기 기술, 언들레이타기술, 대전류전자 발생장치 등이 소요된다. 전자의 가속을 위해 Induction linear가속기(Linac), Van de Graff 가속기, Microtron RF 가속기, RF linear가속기 등이 사용되고 있다.

미국의 전략방위구상(SDI) 추진기간중에는 지상에 설치된 자유전자레이저로부터 발사된 레이저를 인공위성의 반사경으로 집속시키므로써 대륙간 탄도미사일을 요격하기 위한 연구가 진행되었으며, 막대한 예산이 소요되므로 냉전종식과 함께 이 계획도 중단되었다. 자유전자레이저는 평균출력이 높은 파장가변성 레이저이므로 군사용으로 뿐만 아니라 학술적 또는 산업적 응용이 기대되어 현재 까지 활발하게 연구되고 있다. 근래에 테이블위에 설치할 수 있는 소형의 적외선 자유전자레이저(CIRFEL: Compact Infra-Red FEL)가 개발되었으나, 기존의 레이저에 비길만한 고에너지 레이저 광선은 아직까지 획득되지 않았다.

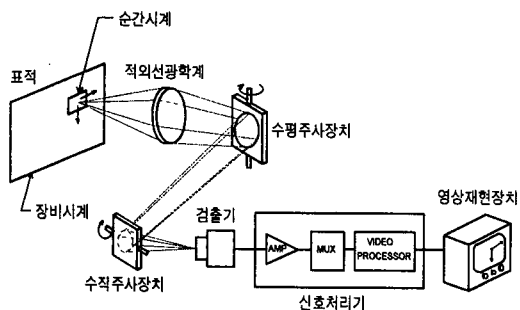
IV. 열상장비 기술과 응용

1. 열상장비 개요

최근에 운용되고 있는 야간관측장비 즉, 야시장비(night vision system)는 크게 미광증폭 야시장비

와 열상장비로 구분할 수 있다. 이중 미광증폭 야시장비는 야간에 자연에 존재하는 별빛, 달빛, 천공광 등의 미약한 빛을 영상증폭관(image intensifier)을 통해 수천-수만배 증폭하여 관측하는 방식으로 주로 야간에만 사용가능하며 또 미약한 빛이 존재하지 않는 경우 탐지거리가 대폭 제한된다. 반면에 열상장비는 물체에서 방출하는 열 에너지를 검출하는 방식으로 자연의 빛의 상태와는 무관하며, 단지 물체와 배경의 온도차에 기인하여 방출되는 적외선 영역의 에너지 차이를 영상화한다.

열상장비의 기본구성은 그림 4와 같다. 열상장비는 그림과 같이 시계(FOV: Field Of View)내의 표적이 발하는 적외선 영역의 에너지를 검출기 면상에 집속시켜 주는 적외선 광학계(infrared optics), 일정 시계내의 부분 영상 에너지를 순차적으로 적외선 검출기 면에 나열시켜 화면을 구성토록 하는 수평 및 수직 주사장치(scanner), 투사된 적외선 에너지를 전기적 신호로 변환시켜 주는 검출기(detector), 검출기로부터 얻은 전기적 영상신호를 최적조건으로 증폭, 조정하여 이를 다시 순차적으로 TV 모니터 등의 재현장치에 공급하는 신호 처리기(electronic processor), 전기신호를 가시광선으로 바꾸어 눈으로 관측 가능케 하는 재현장치(display) 등으로 구성된다. 즉, 열상장비에서 적외선 영상은 광학적으로 집속되고 기계적으로 검출



(그림 4) 열상장비의 기본 구성

기면 상에 주사되며, 전기적으로 변환된 검출기 출력을 신호처리 과정을 통하여 가시광선 영상으로 나타내게 된다.

여기에서 요구되는 성능에 따라 검출기는 하나, 혹은 여러개의 소자로 구성되며 이때 광학계, 주사방식, 검출기의 배열 형태 및 신호처리 전자회로들이 서로 밀접한 관계를 갖는다. 특히 단일소자 검출기를 이용하는 열상장비는 그 성능이 제한되어 점차 여러개의 검출기로 구성된 동일특성의 배열 검출기(detector array)로 실용화되므로써 현재의 열상장비들은 검출기의 배열방법에 따라 독특한 주사형태를 갖게 되었다.

열상장비의 광학계는 파장대역이 적외선 영역으로, 사용하는 광학 초차만 다를 뿐 기본적인 설계 방법은 일반적인 기하광학 이론을 따른다. 그러나 굴절률(refractive index) 및 분산계수(dispersion index)가 서로 다른 초차가 100여 종에 이르는 가시광선 영역과는 달리 원적외선 영역에서 사용 가능한 초차의 종류는 10여 종에 불과하다. 그 중에서도 열상장비의 광학초차로서 이상적인 재질의 조건은 다음과 같다. 먼저 굴절률이 크면 클수록 같은 굴절능(optical power)을 갖기 위한 렌즈면의 곡률반경(radius of curvature)이 커도 되므로 수차(aberration)가 작아진다. 다음으로 균용장비로서 넓은 범위의 온도 조건에서 사용하려면 온도에 따른 굴절률의 변화 즉, 열분산(thermal dispersion)이 작아야 한다. 또 사용하는 파장 범위가 크기 때문에 색수차(chromatic aberration) 보정을 위해서는 분산이 작을수록 좋으며 그 파장대역에서의 흡수(absorption) 또한 작아야 한다. 굽힘이나 마모에

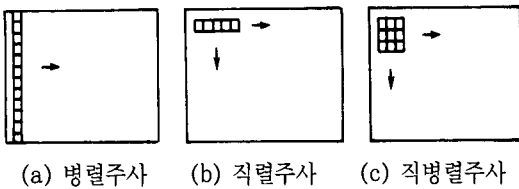
견디기 위해서는 표면의 경도가 높아야 하고 기계적인 강도가 클수록 진동충격에 견디면서도 렌즈를 얇게 만들 수 있다. 이밖에 굴절률이 커짐에 따라 렌즈 표면에서의 반사가 커지므로 반사방지 코팅이 용이하고 코팅막의 내구성이 좋아야 하며 외부 환경조건에 견디기 위해서는 물이나 습기에 대한 용해도가 작아야 한다. 이상과 같은 모든 조건을 다 만족하는 초차는 없지만 Ge, ZnS, ZnSe 등이 비교적 위의 조건을 만족한다. 특히 주사 광학계를 포함한 광계통의 설계에는 주변의 열잡음이 검출기에 영향을 미치지 않도록 주의해야 한다.

전술한 바와 같이 현재 군용으로 개발된 대부분의 열상장비 화면구성은 주사방식에 의해 이루어진다. 이는 그동안 적외선 검출기를 중간용 전하결합소자(CCD: Charge Coupled Device) 같이 매우 많은 소자 배열로 제작하는 것이 불가능하였기 때문이다. 따라서 검출소자 배열에는 전체 장비 시계내의 일부분 영상정보가 순간적으로 집속되어 대응되는 전기적 신호로 변환되는 데, 이때의 작은 영상정보 영역 즉, 검출배열이 순간적으로 정보를 획득할 수 있는 공간적인 영역을 순간시계(instantaneous FOV)라고 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.

단일소자 검출기가 아닌 선형배열(linear array) 검출기를 이용한 열상장비의 경우에는 검출기의 배열방법에 따라 주사방법이 크게 병렬주사(parallel scan)와 직렬주사(serial scan)로 구분된다. 병렬주사 방식은 그림 5(a)와 같이 수직배열의 검출기에 표적 영상을 수평방향으로 주사시킴으로써 한 영상면을 구성한다. 반면에 직렬주사 방식은 그림 5(b)와 같이 소수(N개)의 검출기를 수평방향으로 배열하여 수평방향으로 매우 빠르게,

수직방향으로 화면률(frame rate)을 가지고 주사한다. 각 검출기의 출력신호는 병렬주사 방식과는 달리 적분지연선(integrating delay line)을 통하여 더해지므로 한 대상점에 대해 하나의 영상신호가 형성되나 단일검출기에 의해 주사되는 시스템에 비해 \sqrt{N} 배의 신호대 잡음(S/N)비 개선효과를 갖는다.

각 주사방식은 표 4와 같은 장단점을 갖고 있으므로 그림 5(c)와 같이 검출기를 행렬로 배열하여 직렬주사의 균일한 영상 및 신호대 잡음비 개선효과, 그리고 병렬주사의 낮은 주사속도 및 작은 신호대역폭의 장점을 결합한 직병렬주사(serial-parallel scan) 방식으로 발전하였다.



(그림 5) 기본적인 주사방법

최근에 전자공학의 급격한 발전과 적외선 분야 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 검출소자들 즉, 초점면 배열 적외선 검출기(IRFPA's: InfraRed Focal Plane Arrays)가 선진국에서 개발됨에 따라 이 검출기를 이용한 2세대 열상장비들이 계속 연구되고 있으며 '90년대 말 이후 군사적으로 실용화될 전망이다.

초점면 배열 적외선 검출기의 가장 큰 특징은 적외선 검출재질과 실리콘(Si) 판독회로(readout circuit)가 상호결합되어, 전단 증폭(pre amplifying)과 부분적인 다중화(multiplexing)를 검출기 내부에서 처리할 수 있게 되었다는 점이다. 또한 기존 검출기의 소자배열 보다도 대단히 큰 배열제작이 가능해 졌다는 점을 들 수 있다. 최근 개발되었거나 연구중인 검출기 배열은 군용으로 많이 이용되고 있는 MCT(HgCdTe) 재질의 경우, 240(일

부 국가는 288)×4, 480×4, 960×4, 256×256 및 480×640 등이다. 앞의 3가지 배열의 경우는 1세대 열상장비와 같이 병렬주사를 행하는 주사방식(scanning type)의 2세대 검출기들이다. 1세대 배열과 다른 점은 첫째, 수직방향의 검출소자수가 1세대 병렬주사방식 검출배열보다 증가하고 소자의 크기가 감소하여 화면의 선명도가 대폭 증대되었고 둘째, 수평방향의 4소자 검출기로는 동시에 시간 지연 적분(TDI: Time Delay Integration)을 행하여 신호대 잡음비를 2배정도 향상시켰으며 셋째, 전술한 바와 같이 부분적인 다중화까지 검출기 내부에서 처리한다는 점이다. 반면에 뒤의 2가지 배열의 경우는 일반적인 주간 CCD 카메라에서와 같이 주사장치가 필요없는 비주사 방식(staring type)의 배열이다. 비주사 방식의 검출기를 이용하면 역시 기본적인 신호처리등을 검출기내에서 해결할 수 있고, 검출기의 거주시간(dwell time)이 길어져 신호 특성이 좋아지며 기계적 주사장치가 필요없게 되어 비디오 신호처리부등 극히 제한된 회로만으로 간단히 장비를 구성할 수 있는 장점이 있다. 대신 초점면 배열 적외선 검출기를 이용하는 경우, 검출소자의 다른 특성에 따른 불균일성의 보정, 최적 영상 재현을 위한 많은 형태의 영상 신호 처리 알고리즘들이 개발되고 있다.

2. 열상 검출 기술 발전추세

적외선 검출기는 크게 열 검출기(thermal detector)와 양자 검출기(quantum detector로 주로 광 검출기(photon detector)를 의미)로 구분할 수 있다. 열 검출기의 경우, 투사되는 적외선 복사 에너지의 차이가 검출소자의 전기적 특성을 변화시킨다. 열 검출기는 냉각장치를 필요로 하지는 않으나 양자 검출기에 비하여 감도가 낮고 응답 속도가 매우 느리므로 화재 및 침입자의 탐지, 온도계 등 비영상 시스템에 많이 이용된다. 열 검출기에 속하는 것으로는 열전대(thermocouple), 볼로미터(bolometer), 초전형(pyroelectric) 검출기 등이다. 최근에 표적온도의 시간 변화에 반응할 수 있는 볼로미터나 초전형 검출기는 냉각장치가 필요없다는 점에서 소형 경량화된 휴대용 비냉각 열상장비

(표 4) 병렬주사와 직렬주사 방식의 장·단점

	병렬주사	직렬주사
장점	<ul style="list-style-type: none"> ○ 높은 온도 식별력 ○ 주사장치 소음이 작다 ○ 주사장치가 간단 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 균일한 영상 획득 ○ 검출기 및 증폭기 갯수가 작다 ○ 표준 TV 영상 획득이 용이
단점	<ul style="list-style-type: none"> ○ 검출기 갯수가 많다 ○ 영상이 불균일 ○ 전자소자가 많이 소요 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 낮은 온도 식별력 ○ 주사장치의 고속 회전이 필요 ○ 주사장치가 복잡

(uncooled thermal imager)로 개발되었으며 소자배열도 100×100 배열의 10000 소자로부터 80000 소자에 이르기 까지 생산되고 있다.

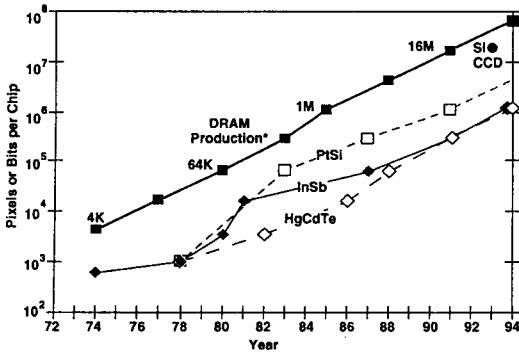
그러나 현재 군용 열상장비에 이용되는 대부분의 적외선 검출기는 양자 검출기 즉, 광 검출기이다. 1917년 T.W.Case가 적외선 영역에서 사용할 수 있는 TIS(thallous sulfide) 재질의 최초의 광 검출기를 개발한 이래 제2차 세계대전 중 독일에서 PbS 검출기를 개발하였고 이어서 1940년대 후반과 1950년대 초반에 중적외선 영역에서의 이용이 가능한 PbSe, PbTe 및 InSb 재질이 개발되었다. 또 1950년대 말에는 III-V, IV-VI 및 II-VI족 반도체 화합물들이 소개되었다. 양자 검출기에 입사되는 복사 에너지는 그의 강도(intensity)에 따라 자유반송자(free carrier)로 바뀌는 데 이의 응답속도는 매우 빨라 보통 μsec 단위이다. 양자 검출기는 밴드갭(bandgap) 에너지가 검출되는 광자 에너지보다 작은 반도체이다. 밴드갭 에너지의 양은 3-5 μm 검출의 경우 약 0.25eV 이고 8-14 μm 검출의 경우 약 0.1eV 이다. 현재 많이 이용되고 있는 적외선 검출재질의 대표적 예로는 PtSi, MCT(HgCdTe) 및 InSb 이다. 이중 PtSi 와 InSb는 민수용 열상카메라에 광범위하게 이용되고 있고 HgCdTe, InSb 및 외인성 실리콘(extrinsic Si) 등은 군용 장비에 많이 이용되고 있다. 특히 HgCdTe 재질의 경우 큰 밴드갭 에너지를 갖는 CdTe(1.6eV)와 0의 밴드갭 에너지를 갖는 HgTe의 조성비를 변화시키므로서 적절한 밴드갭 에너지를 갖게할 수 있어 다양한 파장대역에서의 이용이 가능하다. 상온에서 적외선 양자 검출기의 신호출력은 매우 미약하고 반도체에서 전자-정공쌍의 랜덤(random)한 생성 및

재결합에 의한 열 잡음(thermal noise)에 압도되어 버린다. 따라서 검출기를 표적 영상이 관측되도록 작은 온도차이도 식별할수 있게 민감(sensitive)하게 만들고 열잡음으로 부터의 반응과 명백히 구별할 수 있게 하기 위하여 검출기는 냉각온도(cryogenic temperature)까지 냉각되어야 한다. 냉각온도는 보통 3-5 μm 파장대의 검출에는 약 193K (-80° C)이고 8-14 μm 파장대의 검출에는 80K(-193° C) 정도이나 경우에 따라서 즉, 검출기의 재질에 따라서 각각 다르며 4K 정도까지 헬륨을 이용하여 냉각시키기도 한다. 표 5는 각종 검출재질의 작동온도와 이에 따른 차단(cutoff) 파장을 나타낸다.

한편 검출기 소자 배열의 크기는 그림 6과 같이 몇 년의 시간 차이를 가지고 DRAM(dynamic random access memory)의 기억용량 크기의 발전속도를 따르고 있다. 검출 재질과 파장에 따라 차이가 있기는 하지만 비주사방식 열상 검출기의 경우 1978년 32×32의 배열크기로 부터 현재는 최

(표 5) 적외선 검출 재질의 작동온도와 차단 파장
「단위 : μm 」

검출재질	온도(K)			
	300	190	80	1.5~60
PbS	3.0	3.3	3.6	-
PbSe	4.4	5.4	6.5	-
InSb	7.0	6.1	5.5	5.0
PtSi	-	-	4.8	-
PV HgCdTe	1~3	1~5	3~12	10~16
PC HgCdTe	1~11	3~11	5~25	12~25
Extrinsic Si	-	-	-	8~32
Extrinsic Ge	-	-	-	7~200



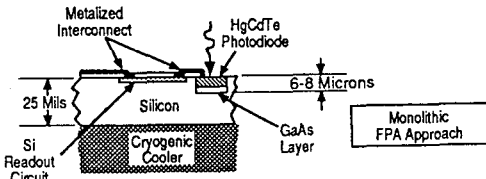
〈그림 6〉 적외선 검출기 소자 배열 크기의 발전 추세

대 1024×1024 배열 크기까지 확장되었고 앞으로 HDTV의 화소 수준까지 발전할 전망이다. 열상 검출기의 소자 배열 크기가 DRAM 기억용량 크기에 비해 몇 년 뒤지는 이유는 검출기가 직접적으로 실리콘 판독장치(readout)와 연결되며 이때 DRAM이 일반적으로 단위 셀당 하나의 트랜지스터로 이루어진 데 비하여 판독장치는 단위 셀당 3개 이상의 트랜지스터로 구성되고, 또 DRAM이 $0.5 \mu\text{m}$ 정도의 선 굵기를 갖는 데 비하여 판독장치는 1.25 내지 $1.5 \mu\text{m}$ 의 선 굵기를 갖도록 설계되기 때문이다.

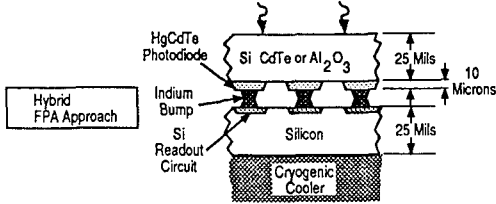
사실상 최근의 적외선 검출기 기술에서 상당 부분 성능을 제한하는 요소가 검출재질 자체 보다도 판독장치에 있다고 말할 정도로 판독장치의 역할이 중요해지고 있다. 판독장치의 회로 설계시 요구되는 사양은 높은 전하 축적 능력, 높은 전송 효율, 낮은 잡음 및 낮은 전력소모 등이다. 또 기술적으로 처리해야 할 문제들로는 번지 지정에 따른 antiblooming 제어와 혼선(crosstalk) 감쇄 등이다. 초점면 배열 적외선 검출기는 광자의 검출(photon detection), 영상정보의 저장(charge storage)과 전달 및 부분적인 다중화 신호처리(multiplexed readout)를 동시에 처리하므로 검출재질과 판독장치와의 결합(hybridization) 기술도 매우 중요하다. 현재 많이 이용되고 있는 결합 구조는 그림 7과 같은 monolithic 기술과 hybrid 기술이다. Monolithic 기술은 검출 소자와 판독장치 기능을 통합하는 방법으로 웨이퍼 처리를 이용하여 동일 칩(chip)상에서 수행한다. PtSi 재질이나 외인성 Si

검출재질을 이용하는 많은 초점면 배열 적외선 검출기들이 monolithic 구조로 제작되고 있다. 이들 검출 소자의 재질은 실리콘의 성질을 가지고 있으므로 검출 소자의 배열을 실리콘 판독 회로의 한 부분으로 제작할 수 있다. 단점으로는 물론 실리콘계의 검출재질이 아니면 이러한 구조의 검출기를 제작할 수 없다는 것이다. Hybrid 기술의 경우는 일반적으로 작은 밴드갭 에너지를 갖는 반도체 화합물의 검출재질과 실리콘 판독장치를 전기적으로 직접 연결시키는 것이다. 연결 방법도 여러가지이나 대표적인 방법으로는 그림과 같은 Indium ball을 이용한 bumping 방법이나 실리콘 판독장치의 표면을 정교하게 연마한 뒤 하나의 칩으로 접촉시키는 loophole 방법을 들 수 있다. Hybrid 기술을 사용한 배열 크기의 한계에 대한 논쟁은 계속되고 있지만 대부분의 적용 분야에서 대규모 배열은 우수한 수율로 생산되기 어렵다.

기존 검출재질 이외에도 최근 비교적 높은 액체 질소 온도에서도 극원적외선 영역의 장파장 검출이 가능한 양자 우물(quantum well) 효과를 이용한 검출재질도 활발히 연구되고 있다. 여러 화합물 구성 형태로 연구되고 있으나 대표적으로 밴드갭이 큰 2개의 AlGaAs층 사이에 밴드갭이 작은 GaAs층으로 형성된 이종접합(heterojunction)으로 구성되는 양자 우물 검출기의 경우, 중적외선으로 부터 극원적외선 영역까지 확장된 적외선 영역을 감지할 수 있는 매우 유망한 소자로 관심을 끌고 있으며 균일성, 제작비용의 측면에서도 MCT 재질에 비하여 유리할 것으로 판단되고 있다. 현재 $8.5 \mu\text{m}$ 를 최대 파장으로 하는 256×256 배열의 원적외선 양자 우물 검출기를 이용한 열상장비가 개발되어 있으나 아직까지는 낮은 감도로 원거리 표적의 탐지가 어렵다는 단점을 갖는다. 군사용으로 광범위하게 이용되고 있는 MCT 재질의 경우는 최근 MBE (Molecular Beam Epitaxy) 박막성장 기술의 개발로 전기적 성질이 보다 향상되어 가고 있으며 2개 이상의 적외선 파장 대역을 동시에 감지할 수 있는 다중 칼라(multiple color 또는 dual band) 초점면 배열 적외선 검출기의 방향으로 연구되고 있다. 이밖에 InGaAs 재질을 이용한 근적외선 영역 열상



(a) monolithic 형태



(b) hybrid 형태

〈그림 7〉 Monolithic 및 hybrid 형태의 MCT 검출기 구성

장비 개발도 보고되어 있다.

3. 신호처리 기술 발전추세

군사용으로 열영상을 화면에 재현하여 실시간으로 관측하기 위해서는 화면을 1초에 적어도 16번 이상(실제로는 25-30번) 재현하여야 하므로 단일 검출소자로 영상을 구현하는 경우 주사속도가 대단히 빨라지고 요구되는 신호 대역폭이 커서 출력은 그에 상응하는 많은 잡음을 가지게 된다. 따라서 단일 소자 검출기를 이용하는 열상장비는 그 성능이 제한되어 점차 여러개의 검출기로 구성된 동일특성의 배열 검출기가 실용화되었기 때문에 열상장비의 신호처리 기법 역시 검출기에 대응되는 형태로 발전되어 왔다.

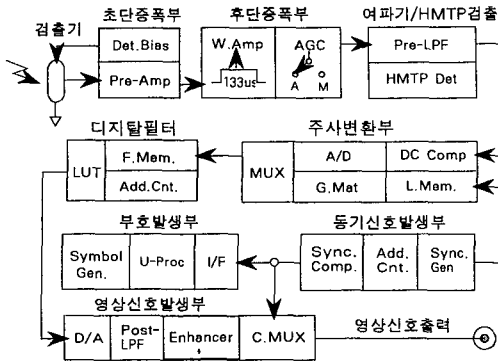
열상장비의 신호처리부는 적외선 검출기에서 나오는 전기적 영상정보를 재현장치에 가시광선으로 재구성하는 역할을 한다. 검출기에서 나오는 신호 정보는 수 μ V-수mV 정도로 매우 미약하므로 영상 재현에 필요한 전압 레벨로 바꾸어 주는 증폭기, 동시에 몇개의 검출소자로 부터 나오는 병렬신호를 비디오 영상재현에 적절하게 직렬신호로 변환하는 다중기(multiplexer 또는 scan conveter), 비디오 복합영상 신호를 구현하고 화면 조정 기능을

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 따라 크게 달라진다.

1세대 선형배열 검출소자를, 이용한 열상장비중 병렬주사 방식에서는 영상정보의 수직 시계를 검출소자의 수직 행(row)들이 모두 cover하므로 기본적으로 수평방향의 진동 평면경(osillating 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 주사시키면 거의 자동적으로 검출기에 입력되는 적외선 영상정보와 가시광선 재현정보 사이에 광학적인 동기가 이루어 진다. 그러나 모든 채널 즉, 검출기로부터 발광 다이오드에 이르는 각각의 소자및 회로 특성이 균일하여야 하며 이 채널의 어느 한 부분이라도 결함이 생기면 곧바로 영상 신호선의 해당되는 부분이 관측되지 않는다.

직렬주사 방식은 전술한 바와 같이 동일 표적 정보가 N개의 검출기에 순차적으로 주사되게 되면 시간 지연 적분의 효과로 신호대 잡음(S/N) 비가 향상되는 것 만 다를 뿐 기본적인 재현방식은 단일소자 검출기의 경우나 다를 바 없다. 특히 열영상정보가 시간적인 전기적 직렬신호로 제공되기 때문에 RS-170 형태의 비디오 영상재현에 대단히 유리하다.

최근 군사용으로 많이 사용되고 있는 직렬주사 방식의 구성에서는 검출기가 M×N 형태의 소자 배열을 갖는다. 수직 방향의 검출기 행(row)은 주사속도를 감소시키며 검출기 행의 수 만큼의 영상신호를 병렬로 발생시키며 수평 방향의 검출소



(그림 8) 직병렬주사 방식 열 영상 신호처리기(예)

자 열(column)은 직렬주사 방식에서와 같이 시간 지연 적분의 효과로 신호대 잡음비를 증대시킨다. 그림 8은 직병렬주사 방식 열상장비의 신호처리기의 한 예이다.

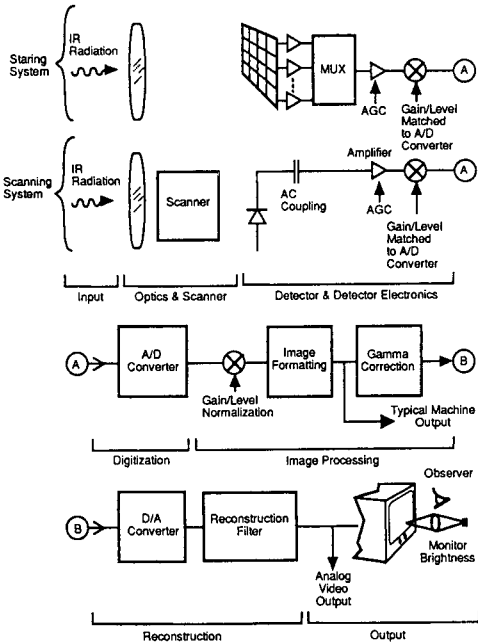
초단 증폭부에서는 광전도성(PC: Photo Conductive) MCT 검출기의 바이어스 회로와 전단 증폭회로로 구성된다. 전단 증폭회로는 잡음을 최소화한 $M \times N$ 개의 초저잡음 증폭기로 구성되며 이때 N 개의 열에는 각각 적분 지연 소자가 부착되어 신호를 더하므로써 실제 출력은 M 개만 동시에 병렬 형태로 나타나게 된다. 검출기의 출력 전압이 매우 낮기 때문에 후단 증폭부에서 다시 증폭을 하며 여기에서는 실제 주사 기간중 영상신호가 들어오는 기간을 제외하고 다른 부분은 신호를 차폐시킨다. 또 M 개의 채널 신호간의 이득정합과 자동이득 제어를 위한 조절회로가 포함된다. 미약한 검출기 신호를 수천-수만배 증폭하기 위하여는 AC 결합(coupling)이 수반되며 그 결과 DC 레벨이 변하게 된다. 이로 인해 동일 입력에 대한 출력 신호레벨이 일정치 않고 각 채널 상호간의 DC성분 차이가 발생하여 전체 영상이 불안정 해질 수 있다. 따라서 여파기/HMTP 검출부에서는 DC 보상을 행한다. 또 주사장치로 부터의 동기 기준 신호인 HMTP(Horizontal Motor Trigger Pulse) 신호를 검출한다. 주사장치를 통해 영상을 획득하는 열상장비의 경우는 주사장치와 신호처리기 사이의 정확한 동기가 무엇보다도 중요하다. 이후 M 개의 아날로그 신호들은 비교적 신호처리가 쉬운 디지털 신호로 변

환되어 메모리에 각각 저장되었다가 다중기에 의해 순차적으로 빠른 속도로 직렬신호로 변환된다. 주사 변환된 직렬 디지털 영상신호는 여러 가지 신호처리과정을 거친 뒤 D/A 변환기에 의해 직렬 아날로그 영상신호로 바뀐다. 이 신호는 저역 통과 필터와 영상의 윤곽선을 강조시키는 화질 개선 처리를 거쳐 모니터 재현을 위한 동기신호들과의 합성을 통해 최종적으로 RS-170 신호규격의 복합영상신호로 만들어 진다.

한편 초점면 배열 적외선 검출기를 이용한 다양한 신호처리 기법들이 선진국에서 계속 연구되고 있다. 그림 9는 초점면 배열 적외선 검출기를 이용한 2세대 열상장비에서 비주사방식 또는 주사방식에서의 일반적인 신호처리 개념도이다. 기본적인 열영상 획득을 위한 신호처리 이외에도 2세대 열상장비에서는 검출 소자의 수가 대폭 증가하여, 검출기 소자열 또는 소자 자체의 상호 불균일성에 대한 보정이 필요하게 된다. 또 검출소자의 동적범위(dynamic range)도 기존 검출기 보다 커져 12~14 비트(bits)의 신호처리가 가능한 데, 실제 모니터 상에서 재현할 수 있는 신호 레벨은 7~8 비트이므로 이러한 경우에도 최적 영상이 재현되게 하기 위한 알고리즘 개발도 병행되고 있다. 이밖에 디지털 필터를 이용한 실시간 영상 잡음 제거 기법, 민수용 영상장비에서도 많이 연구되고 있는 부분 영상 대조비 강조(local area contrast enhancement) 기법 및 전자적 영상 줌(zoom) 기법 등이 다양한 방법으로 연구되고 있다. 또 별도로 자동표적인식(ATR: automatic target recognition) 알고리즘을 구현하여 탐지/인지 거리를 증대시킨 다든지 사통장비의 안정화 장치와 연동하여 영상의 떨림을 방지하고 충실도를 개선하는 등의 노력이 계속 진행중이다.

V. 결 론

균용으로 이용되고 있는 전자광학장비중에서 레이저장비와 열상장비는 사격 통제와 영상정보의



(그림 9) 2세대 열상장비 신호처리 개념도

획득에 주요한 수단으로 발전되어 왔다. 이들 장비의 개발로 주야간 빛의 유무와 관계없이 정확한 표적 영상을 확보하게 되었으며 정밀타격도 가능하게 되었다. 또한 레이저 및 열상장비는 군사적 이용으로 부터 산업용/의료용 등 민수용 응용으로 그 용도가 확산되고 있다.

레이저 응용장비는 저에너지 레이저 분야와 고에너지 레이저 분야로 나눌 수 있다. 저에너지 레이저는 레이저거리측정기 레이저표적지시기, 레이저저레이다 등으로 이미 실용화되었으나 레이저의 효율 증대, 소형화 및 다양한 전장환경에 적용하기 위한 파장가변기술이 연구되고 있다. 고에너지 레이저의 경우, 현재 미국의 전략방위구상(SDI) 계획은 중단되었으나, 전술적 차원의 탄도 미사일 요격, 대함 미사일 요격 등의 목적으로 실용화될 가능성이 보이고 있다.

수동형 적외선 장비에는 열상장비 이외도 군용으로 미사일의 탐색기(seeker), 저고도 대공 방어용 적외선 탐색 및 추적장비(IRST: InfraRed Search and Track), 항공기 탐재 지상 감시장비인

적외선 선형 주사장비(IRLS: InfraRed Line Scanner), 위성 탐재 감시장비 및 기상관측/지질탐사 등에도 이용되고 있으나 영상 획득을 위한 기본 구성이나 신호처리 개념은 열상장비와 크게 다르지 않다. 군용 열상장비의 경우 점차 선형배열 또는 행렬배열의 적외선 검출기를 이용한 1세대 장비로 부터 2차원 배열의 초점면 배열 검출기를 이용한 2세대 장비로 발전되고 있으며 경우에 따라 주사방식 또는 비주사방식으로 구성한다. 민수용으로는 최근 적외선 영상 복사계(infrared imaging radiometer)가 주로 비주사방식으로 개발되어 산업용/의료용으로 활용되고 있다. 여기서 적외선 영상 복사계라는 것은 물체에서 방사되던 물리적 복사량을 측정하던 기존 복사계와는 달리, 열상장비의 개념으로 물체의 열영상을 먼저 획득한 다음 정확한 기준 온도와 검출기들의 보정을 통하여 물체 영상 각 부분의 온도 분포를 실시간에 알 수 있게 하는 장비이다. 이 경우도 광학적 분해능과 온도 분해능이 개선된 장비로 계속 개발되고 있으며 냉각방식의 열상장비에 비하여 감도는 떨어지지만 상온에서 냉각장치 없이 동작하는 비냉각 열상장비의 경우도 앞으로 민수용 응용이 확대될 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] Clair L. Wyatt, *Radiometric System Design*, Macmillan Pub. Co., 1987.
- [2] Michael C. Dudzik, Edit., *Electro-Optical Systems Design, Analysis, and Testing*, The Infrared and Electro-Optical Systems Handbook(volume 4), Infrared Information Analysis Center and SPIE Optical Engineering Press, 1993.
- [3] John L. Miller, *Principles of Infrared Technology*, Van Nostrand Reinhold, 1994.
- [4] M. Schlessinger, *Infrared Technology Fundamentals*, 2nd edit., Marcel Dekker, Inc.,

- 1995.
- [5] Paul R. Norton, "Infrared image sensor status(invited paper)," Proceedings of SPIE (Infrared Detectors : State of the Art II), vol. 2274, pp.82-92, 1994.
 - [6] Gerald C. Holst, *Testing and Evaluation of Infrared Imaging Systems*, JCD Pub. Co., 1993.
 - [7] 홍석민, 송인섭, 윤은숙, "실시간 열 영상 획득 및 신호처리 기술" 전자공학회지, vol. 20, no. 10, pp. 116-124, 1993년 10월
 - [8] 홍석민, 송인섭외, "직병렬 주사방식 열상장비의 설계 및 제작," 응용물리(한국물리학회), vol. 8, no. 3, pp. 289-295, 1995년 5월
 - [9] W. Koechner, *Solid-State Laser Engineering*, 4th edit., Springer-Verlag, 1996.
 - [10] D. Pines, Edit., "Reviews of Modern Physics," The American Physical Society, vol. 59, no. 3, part II, July 1987.
 - [11] J. Hecht, *The Laser Guidebook*, 2nd edit., McGraw-Hill Inc., 1992.

저자소개



全 容 權

1955年 3月 23日生
 1978年 2月 서울대학교 사범대학 물리교육학과(학사)
 1980年 2月 서강대학교 대학원 물리학과(석사)
 1994年 2月 한국과학기술원 물리학과(박사)
 1979年 12月~현재 국방과학연구소 응용광학실 선임연구원

주관심 분야: 레이저 발전기 설계 및 응용



洪 錫 旼

1957年 11月 1日生
 1979年 2月 광운대학교 공과대학 무선통신학과(학사)
 1990年 8月 충남대학교 공과대학 전자공학과(석사)
 1995年 8월 충남대학교 공과대학 전자공학과(박사)
 1979年 3月~현재 국방과학연구소 응용광학실 선임연구원

관심분야: 열영상시스템 설계, 시스템 제어