

국방분야에서의 광학기술 활용 현황과 전망

글 : 김재기 책임연구원/국방과학연구소

국방 분야에서 광학 기술의 활용은 세계 최초로 갈릴레오에 의해 제안되었으며, 그 이후 무기의 성능 향상을 위해 많은 광학장비들이 사용되었고 걸프전과 같은 현대전에서도 그 진가를 충분히 발휘하였다.

갈릴레오는 1609년 망원경을 제작하여 라틴어로 'persillum' 이 이탈리아어로 'ochiale' (주: 안경이라는 뜻)라 불렀는데 후에 페데라고리체지가 'telescope'라는 이름을 붙였다. 갈릴레오는 1609년 8월24일 베네치아의 총독과 원로원에 망원경의 군사적 중요성을 서면으로 제안하였다. "이것을 사용하면 9마일 떨어져 있는 물체를 1마일 떨어져 있는 것과 같이 가까이 볼 수 있습니다. 따라서 해상이나 육지에서 아주 먼 거리에 있는 적군의 배나 돛을 그들이 보기 몇 시간 전에 미리 발견

하여 함선의 수와 성능을 이미 인가 아니면 도망할 것인가를 파악할 수 있으므로 교전할 것 판단하여 준비할 수 있는 시간

포병용 레이저거리측정기 개발현황

국 명	모델명 (제작사)	출력파장 (레이저)	측정거리	거리오차	개발단계
미 국	AN/GVS-5 (VARO)	1.06 μ m (Nd : YAG)	10km	10m	양 산
	AN/PVS-6 (IMO)	1.54 μ m (Erbium)	10km	5m	양 산
러 시 아	LBD-1 (Kazan)	1.06 μ m (Nd : YAG)	9km	5m	양 산
중 국	SC-83-11 (Norinco)	1.06 μ m (Nd : YAG)	10km	5m	양산추정
프 랑 스	TM 18B (CILAS)	1.06 μ m (Nd : YAG)	10km	10m	양 산
	DHY 307 (CILAS)	1.54 μ m (Raman)	10km	-	양 산
	TM 22B (CILAS)	1.06 μ m (Nd : YAG)	10km (Gyrostabilized)	10m	양 산
독 일	HALEM I (Carl Zeiss)	1.54 μ m (Raman)	10km	5m	개발중
노르웨이 /영국	LP7 (Simrad)	1.06 μ m	10km	5m	양 산

을 충분히 가질 수 있습니다.……” 총독과 원로원은 심사숙고한 결과 발명품의 군사적 활용성이 매우 높다고 판단하였으며, 전례가 없었던 높은 봉급으로 갈릴레오를 파도바 대학에 평생동안 고용하겠다는 것을 제안하였다. 그 이후 여러 광학장비가 전투력 향상을 위하여 국방분야에 도입되었으며, 초기에는 순수한 광학기술로 만들어진 단순한 광학장비로 출발하여 근래에는 전자공학기술과 광학기술이 집약되어 있는 전자광학장비(electro-optic equipment)들이 주로 사용되고 있다.

전자광학장비가 전쟁에서 전투력에 미치는 영향은 몇 년 전에 일어났던 걸프전을 통해

서 충분히 확인할 수 있었다. 열상장비와 레이저 유도 폭탄으로 무장한 다국적 군의 전투기는 야간 기습공격을 감행하여 목표물을 거의 대부분 완벽하게 파괴하므로서 이라크군에게 치명적 피해를 안겨주어 전쟁을 승리로 이끄는 데 전인차 역할을 하였다. 앞으로의 모든 전쟁은 걸프전과 마찬가지로 단순한 재래식 무기로부터 기동 장비, 고성능 항공기, 전장 감시장비, 전자전 장비, 정밀 타격 무기, 야간 전투를 위한 야시장비 등이 총체적으로 동원되어 수행되는 입체전양상이 그 특색이 될 것이며 그 중에서도 정보 획득의 신속도 및 정확도가 전세를 결정하는 주 요소가 될 것이 분명

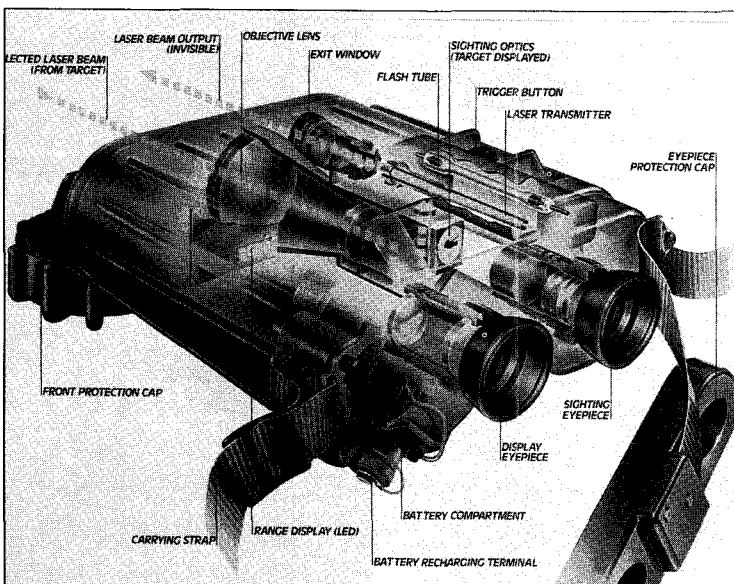
하다.

현대에 사용되고 있는 군용 전자광학장비에는 레이저광을 이용하여 표적까지의 거리를 측정하는 레이저 거리측정기, 화학 물질의 공중 분포를 탐지하기 위한 라이다(LAIDAR : light detection & ranging), 유도탄 유도용 레이저 조사기(designator) 및 탐색기(seeker), 항공기 항범용 링레이저 자이로 등과 같은 레이저 응용장비와 사람의 눈으로 관측이 불가능한 캄캄한 밤에 물체의 영상을 얻기 위한 야시장비(night vision system), 수 백km의 원거리 관측을 위한 항공기 및 위성용 전자광학센서 등과 같은 영상장비들이 있다.

이외에도 경보, 안전, 수중 탐지, 운고 측정, 정밀측량 등 여러 분야에 걸쳐서 전자광학기술이 활용되고 있다. 특히 레이저 거리측정기와 야시장비는 군의 주 전력인 전차, 전투기, 함정 등 여러 무기체계에 걸쳐서 광범위하게 활용되고 있다.

나의 생존을 위해서는 상대방을 굴복시켜야 한다. 인간의 철학도 사랑도 필요하지 않고 오로지 나에게 필요한 것은 적보다 우수한 무기일 뿐이다. 이 전쟁터에서 나는 적을 선제 공격해야 한다.

포 사격에서 표적을 명중시



포병용 레이저 거리측정기의 구조

키기 위해서는 포에서 표적까지의 정확한 거리가 필요하다. 과거에는 삼각측량의 원리를 이용한 광학식 거리측정기를 사용하였는데 수 킬로미터의 거리에 대한 측정오차가 수 십미터 정도로 매우 크다. 이에 반하여 레이저 거리측정기는 측정거리와 관계 없이 측정오차가 5미터로 일정하며, 거리측정에 소요되는 시간은 매우 작다. 전쟁에서는 장비의 신속성과 정확도는 승패를 결정하는 매우 중요한 요소이므로 세계 각국은 상당히 오래 전부터 레이저 거리측정기를 개발하여 야전에 배치하였다. 최대 측정거리가 10km이고 1초에 1회 정도 거리측정이 가능한 포병용과 전차용, 최대 측정거리가 20km이며 1초에 10~20회 정도 거리측정이 가능한 헬기 및 항공기용 등이 있다.

초기 1960년대에는 루비 레이저를 이용한 거리측정기가 사용되었으나, 광 파장이 가시영역이어서 야간에 적에게 노출될 위험성이 높다. 그 이후 눈에 보이지 않는 근적외선 영역의 광 파장을 갖는 네오디뮴 야그(Nd:YAG) 레이저 거리측정기가 1970년대에 개발되어 현재까지도 사용되고 있다. 그러나 Nd:YAG 레이저광은 10^{-5}J/cm^2 정도의 미약한 에너지일지라도 눈의 망막을 손

상시킬 수 있어 아군끼리 편을 나누어 수행하는 훈련에 큰 제약을 주고 있다. 1980년 대부터는 훈련시 아군의 눈에 손상을 줄 염려가 없는 시각보호(eye safe) 레이저 거리측정기에 대한 관심이 높아져 많은 연구가 착수되었다. 시각보호 레이저로서 파장이 $1.54\mu\text{m}$ 인 Raman shifted Nd:YAG 레이저와 어비움(Erbium) 레이저, 파장이 $10.6\mu\text{m}$ 인 CO₂ 레이저 등이 있는데 CO₂ 레이저는 고온 다습한 날에 대기 투과성이 좋지 못하고 어비움 레이저는 레이저봉의 열전도도 및 강도가 낮다. 일반적으로 군용장비는 전투환경에 적합해야 하며 운용성을 충족해야 하므로 어비움 레이저와 CO₂ 레이저는 활용상 문제점을 내포하고 있다.

레이저 거리측정기는 시간 펄스폭이 매우 짧은 레이저광을 표적해 보내 반사되어 되돌아 올 때까지 걸린 시간을 측정하여 이미 우리가 알고 있는 빛의 속도를 곱하여 거리로 환산하고 그 값을 눈으로 읽을 수 있도록 표시관(display)에 나타낸다. 이러한 기능을 발휘하기 위해서 레이저 거리측정기는 레이저 발진기, 송광 광학계, 수광 광학계, 검출기 및 신호처리 회로, 전원 공급기 등으로 구성되어 있다.

일반적으로 송광 광학계는 레이저 발진기로부터 나오는 광을 4배로 확대하기 위하여 beam expander(Gallian type)로 구성되어 있으며, 수광 광학계는 레이저광을 표적에 조준하는데 필요한 망원경 광학계와 공용으로 사용된다. 즉 망원경 내부의 투사된 조준점에 표적을 맞추고 레이저를 발사하면 송광 광학계를 통하여 나간 레이저광은 표적에서 반사되어 망원경 광학계에 의하여 집광되어 검출기로 보내진다. 앞에서 설명한 장비를 이축(bi-axis) 레이저 거리측정기라고 하는데, 최근에는 송광 광학계와 수광 광학계를 공용하는 일축(uni-axis) 레이저 거리 측정기가 전차용으로 개발되어 사용되고 있다. 신호처리 회로에는 매우 짧은 시간을 정밀하게 측정할 수 있는 clock이 있어 레이저가 발사된 순간부터 표적에서 반사되어 검출기에 들어 올 때까지의 시간을 측정하고, 이로부터 거리를 산출한다. 이 거리값에 해당하는 전기적 신호를 망원경에 내장된 표시관에 보내어 사용자가 눈으로 거리를 직접 읽을 수 있게 하여준다.

이 캄캄한 어둠의 공포로부터 탈출하고 싶다. 살갱이 처럼 소리 하나 없이 다가오는 자들. 신이여 저에게 올빼미같은 눈을 주소서. 그리하여 어둠 속에서 저지

르는 그들의 사악한 행동을 막게 하소서.

야시장비는 야간에 정보 획득, 감시, 표적 포착 행위 등을 목적으로 사용되는 모든 영상장비를 통칭하는 것으로 야간 기습 공격이나 선제 공격을 사전에 유효 적절하게 감시, 방어하는데 사용할 뿐만 아니라, 기습 및 선제 공격을 위해서 사용하기도 한다. 야시장비는 용도, 거리, 사용 파장 및 사용 방법에 따라 분류하기도 하나, 보통 인공광의 조명 유무에 따라 능동형 및 수동형으로 분류한다. 능동형은 인공광을 표적에 빔추어서 반사되어온 광을 검출하여 표적의 영상을 얻고, 수동형은 달빛 또는 별빛 등의 미약한 자연광을 증폭시키거나 물체 자체가 발하는 빛을 검출하여 표적의 영상을 얻는다.

능동형 야시장비로는 조명장비와 영상변환장비가 있다. 조명장비는 육안으로 관측하기가 곤란한 정도로 자연 조명이 낮은 어두운 밤에 빛의 세기가 매우 강하고 집속력이 좋은 가시광을 관측하고자 하는 표적에 조명시키는 장비이다. 군사적으로 사용하고 있는 대표적 장비는 탐조등을 들 수 있다. 탐조등은 전기 방전을 이용하여 발생하는 빛을 반사경으로 집속하여 먼 거리에 있는 표적에 조명한다. 초기에는

아크방전을 이용한 카본 탐조등이 사용되었으나 근래에는 제논 램프를 이용한 제논 탐조등이 주로 사용되고 있다. 영상변환장비는 육안으로 물체를 탐지하기 어려운 야간에 인공적으로 적외선을 물체에 조사시켜 얻어진 적외선 영상을 영상변환관(Image converter tube)을 사용하여 사람의 눈으로 볼 수 있는 가시광 영상으로 변환하여 준다.

따라서 영상변환장비는 반드시 적외선 조명장비와 함께 사용되어야 한다. 위에서 설명한 능동형 장비들은 인공적인 광원을 사용하기 때문에 적에게 탐지당하기 쉽고, 또한 장비 전체가 무겁고 조작이 불편하므로 근래에는 특수한 목적(대공, 해안경계, 특정지역 야간감시)외에 불가피한 경우를 제외하고는 별로 사용하고 있지 않다.

수동형 야시장비는 영상증폭장비(image intensifier system)와 열상장비(thermal imaging system)가 있는데, 영상증폭장비는 달빛 또는 별빛 등에 의하여 조명된 표적으로부터 반사된 미약한 빛을 영상증폭관을 사용하여 증폭, 육안으로 관측 가능한 영상을 만들어 준다. 미국의 RCA사가 1961년 3개의 영상증폭관을 직렬로 연결하는데 성공하므로써 군사적 응용의 효시가 되었

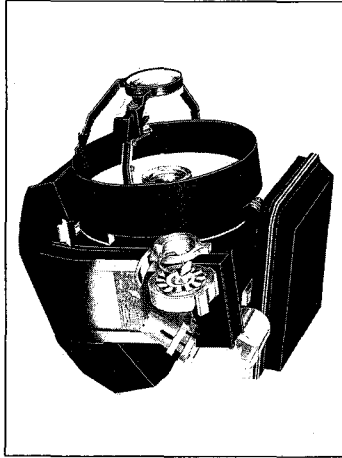
다(1세대). 그 후 마이크로채널 플레이트(MCP)라고 불리는 새로운 영상증폭관이 개발되어 1개의 영상증폭관으로도 매우 좋은 영상을 얻을 수 있었다(2세대). 최근에는 광전면의 재질을 변화시켜 효율을 높인 3세대 야시장비가 개발되어 야전에 배치되고 있다. 특히 영상증폭장비는 소형 조준경, 기동장비 조종수 야간잠망경, 헬리콥터 조종수 야간경 등으로 많이 사용되고 있다.

영상증폭장비는 물체의 영상을 영상증폭관의 광전면(photo-cathode)에 맺어 주는 대물렌즈, 미약관의 형광면에 맺어진 영상을 눈으로 볼 수 있도록 해주는 대안렌즈, 영상증폭관을 동작시키기 위해 고전압을 공급해 주는 전자회로들로 구성된다. 광전면에 맺어진 영상의 밝기에 비례하여 발생된 전자들은 전자렌즈인 anode cone에 의하여 그 영상 형태를 유지하면서 가속되고 형광면(phosphor screen)에 충돌하여 가시광의 영상을 만들어 준다. 2세대나 3세대 영상증폭관은 MCP(micro-channel plate)라는 전자증배장치를 사용하고 있는데, 이것은 직경이 10~20 μ m인 미세한 구멍이 많이 뚫린 얇은 특수한 유리판으로, 두께는 구멍 직경의 40~70배 정도가 된다. 구멍의 내벽은 반도체 피막으로

되어 있고, 판의 양면은 금속 도체로 되어 있어 양단에 전압을 걸어주면 내벽을 따라서 DC전류가 흐르게 된다. 광전면으로부터 온 광전자가 구멍에 들어와 내벽을 때리면 2차 전자 방출이 일어나고, 발생한 2차전자는 전장에 의해서 가속되어 조금 더 깊은 벽을 때려 더 많은 2차 전자를 방출한다. 이러한 과정을 반복하면서 전자의 수는 급격히 늘어나 구멍을 나올 때는 상당량의 전자가 된다. 이와 같이 증배된 전자들은 형광면에 충돌하여 육안 관측이 가능한 밝은 영상을 만들어준다. 또한 MCP 양단의 전압을 조절하므로써 영상의 밝기를 관측자의 눈에 적합하도록 조정할 수 있다.

과학기술의 발전과 더불어 인간의 욕망도 끝없는 목표를 추구하게 되었다. 그들은 빛이 존재하지도 않는 캄캄한 어둠까지도 지배하고 싶었다. 그리하여 그들은 신의 눈을 창조했다.

영상증폭장비는 달빛 또는 별빛 등 미광이 없는 경우에는 사용할 수 없으며, 또한 연막차장지역을 투시할 수 없고, 미광이 존재하는 경우라도 관측거리가 비교적 짧기 때문에 근래에 들어서 세계 각국은 열상장비(thermal imaging system)라를 야시장비를 개발하여 배치 운용하고 있다. 이



▲ 뉴턴형 적외선 망원경과 특이한 직병렬 주사장치를 사용하고 있는 미국 콜모르겐사의 소형 열상장비

장비는 표적 자체가 방출하는 8~12 μ m의 원적외선을 탐지하여 육안으로 관측가능한 영상으로 재현시켜 준다. 표적과 주위 배경에서 방출되는 적외선은 물질 자체 온도와 물질의 복사율에 관계되므로 이 장비를 사용하면 나뭇잎으로 위장하거나 숲속에 매복하여 있는 표적의 관측도 가능하며, 연막차장 및 무월광, 무성광 시에도 관측 가능하다.

열상장비의 효시는 1930년대 Evaporagraph라는 장비인데 주사장치가 없고 탐지능력이 매우 낮아서 열상장비의 기능을 제대로 발휘하지 못했다. 그후 불연속적인 배열검출기를 이용한 것 또는 적외선 vidicon 같은 장비들이 개발되었다. 군용 열상장비의 효시는 1960년대에 미국의 Perkin-

Elmer사가 개발한 미육군 지상용 열상장비인 Prism Scanner로 알려져 있다. 그러나 1970년대에 이르러서야 야전운용에서 성능을 제대로 발휘할 수 있는 장비를 개발할 수 있을 정도의 기술들이 성장되었고, 현재 선진국에서 야전에 배치하여 운용하고 있는 장비의 대부분은 이 시기 또는 이후에 개발된 것들이다.

열상장비는 멀리 떨어진 표적에서 방출한 적외선을 집광하기 위한 적외선 망원경 광학계, 관측하고자 하는 시계를 순차적으로 훑어 주기 위한 주사장치(scanner), 원적외선을 검출할 수 있는 HgCdTe검출기 및 냉각장치, 검출기에서 나온 미약한 신호를 증폭하고 처리하는 신호처리부, 육안 관측을 위한 영상 재현장치, 필요한 전력을 공급해 주는 전원공급기들로 구성된다. 열상장비는 사용하고 있는 검출기의 배열방법에 따라 주사방식 및 신호처리 방법이 달라지나 기본원리는 동일하다.

절대 온도 0°K 이상의 모든 물체는 Plank의 복사법칙에 따라 에너지를 전자기파 형태로 방출하게 되는데, 이때 최대 에너지가 방출되는 파장값은 온도의 함수로 주어진다.

따라서 300°K 근처의 상온에 있는 물체는 중심 파장이

10 μ m인 적외선 영역에서 최대 에너지를 복사한다. 이 때 복사량은 물체 온도의 4승에 비례하므로 이를 이용하여 물체를 영상화시킬 수 있다. 즉 물체들의 영상의 밝기는 물체의 온도에 관계되므로 물체 간의 온도차를 이용하여 물체의 모양을 영상화한다. 물론 관측하려는 풍경 속의 동물과 무생물 같이 온도차가 뚜렷한 경우는 말할 필요도 없고, 바위나 건물, 나무, 차량 등과 같은 물체들이 같은 온도에 있는 경우에도 물질에 따라 복사율이 다르기 때문에 실제로 복사량은 물체마다 다르다.

따라서 검출기는 실제로 방출된 복사량을 측정하므로 각 물체가 서로 다른 온도를 가진 것으로 감지하여 물체의 구별된 영상을 얻을 수 있게 한다. 또 하나의 중요한 점은 8~12 μ m 파장 대역이 대기 투과성이 좋아 원거리 관측을 가능하게 한다는 점이다.

열상장비에는 주사장치라는 것이 있어 관측하고자 하는 풍경을 모눈종이와같이 매우 많은 구간으로 나누어 부분 부분을 순차적으로 읽어와 다시 합성하여 한 영상 화면을 만든다. 움직이는 물체를 관측하기 위해서는 1초에 적어도 16회 이상(실제로는 25~30회) 화면을 만들어 주어야하므로 수평과 수직 방향으로 매우 빠르



헬기 조종사용 야시경

게 주어야 한다. 주사장치는 검출기의 배열 형태에 따라 주사 방식도 달라진다. 검출기의 형태는 수평방향 선형배열, 수직방향 선형배열, 모자이크 배열 등의 3가지가 있는데 각각에 대응하여 주사방식도 직렬주사(serial scan), 병렬주사(parallel scan), 직병렬주사(serial-parallel scan)로 주어진다. 광속을 주사하는 주사장치는 보통 진동하는 평면경이나 회전하는 다면경을 이용한다.

열상장비는 상증폭장비보다 부피 및 중량이 크므로 보병 휴대용보다는 차량 탑재형이나 초소 거치용으로 보통 수 km 내외를 관측하는데 사용한다.

따라서 열상장비의 적외선 망원경은 넓은 시야를 볼 수 있는 저배율과 좁은 시야를 크게 확대하여 볼 수 있는 고배율의 이중 배율을 갖거나 또는 관측거리에 맞추어서 연속적

으로 배율 변환이 가능한 줌렌즈 형태로 되어 있다. 적외선 광학계의 재질에는 ZnS, ZnSe, Ge 등이 있으나, Ge이 물질 자체의 흡수가 적고 기계적 강도가 높으며, 가격도 저렴하므로 가장 많이 사용되고 있다. 단 Ge의 굴절률이 높기 때문에 렌즈의 양면에 무반사코팅을 해주어야 한다.

전자광학장비는 무기체계의 눈과 같은 역할을 수행하므로 무기체계의 성능을 결정하는 주 요소이다.

따라서 무기체계의 성능 향상을 위해서 기능이 우수한 장비의 연구개발이 계속해서 추진될 것이다. 또한 이러한 장비에는 기존 장비에 흔히 사용되지 않은 비구면렌즈나 특이한 모양의 다면경과 같은 특수하면서 매우 가공 정밀도가 높은 광학부품들이 많이 사용될 것으로 예측된다.