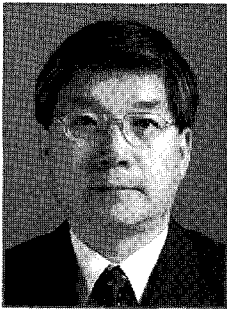


전자광학기술의 군사적 응용 및 전망



홍석민

충남대 전자공학 박사(1995)로, 1979년 국방과학연구소에 입소한 이래 연구원, 열상장비팀장, 전자광학실장, 광학/열상센서 팀장, 미 육군 ARDEC 연구소의 교환연구원을 거쳐 현재 전자광학기술부장으로 재직 중이다. 군사용 전자광학분야 기술 공로로 국방과학연구소의 국방과학상 금상(1993)을 수상하였으며 올해의 ADD인으로 선정(2007)되었다.

군사용 전자광학장비는 1970년대 중반부터 국방과학연구소를 중심으로 관련 방산업체들이 협력하여 연구개발한 결과, 비교적 짧은 시간에 선진국 수준의 기술들이 확보되었다. 특히 생산된 전자광학장비는 군의 감시정찰 능력 증대에 활용되었고 대부분의 전술급 감시정찰 영상 장비나 사격통제용 영상센서들이 이제는 독자 개발, 생산되고 있다. 전자광학장비는 선진국에 비해 비용대비 투자 효과면에서 우위를 점하고 있기 때문에 국내 수요 뿐 아니라 세계시장을 겨냥한 수출을 적극적으로 추진해야 할 시점으로 보여지며 기술 확보를 위한 방산전문업체와 우수 중소기업의 참여 확대가 요구되고 있다.

1. 서론

전자광학장비는 각종 전자광학 소자를 이용하는 장비를 통칭하며 광파 주로 가시광선 및 적외선 영역의 정보를 검출하여 전기적인 신호로 바꾼 후, 이 신호들을 적절히 처리하여 눈으로 보게 하거나 데이터를 얻게 하는 장비를 말한다. 전기적 신호로 변환한 뒤 이를 이용한다는 점에서 망원경 등의 일반 광학장비와는 구분을 하고 있다.

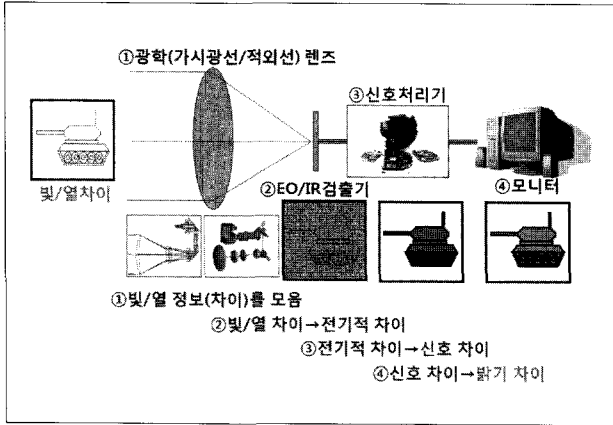


그림1. 전자광학장비의 구성과 원리

방위산업이 본격적으로 시작된 1970년대 국내 광학 산업 또는 전자광학 산업 현황은 민수용 쌍안경과 안경 및 소형 카메라 렌즈를 가공하는 수준으로 열악하기 그지없었다. 따라서 정밀한 광학 영상의 획득 또는 계측을 요구하는 군사용 광학 장비들은 선진국, 특히 미국의 군사원조에 의존하는 형편이었다. 더군다나 선진국은 기존 감시정찰이나 사격통제에 활용되는 쌍안경, 포대경 등 주간용 광학장비들로부터 점차 야간 관측 기능을 부가하거나, 레이저를 연동하여 거리를 측정하는 등 전자광학기술로 발전 중이어서 그 격차는 점차 크게 벌어지게 되었다.

1970년대 중반부터 국방과학연구소를 중심으로 방산업체들의 협력 아래 여러 군사용 광학/전자광학 장비들의 개발이 진행되었다. 1980년대까지는 모방개발 수준을 벗어나지 못했지만 1990년대에 접어들면서 점차 독자모형을 연구개발하여 생산하게 되었고 2000년대에 들어서면서 부터는 선진국 동등 수준의 기술을 확보하게 되었다. 본 고에서는 국내 전자광학 기술들이 군사적으로 어떻게 활용되었나를 살펴보고 국내 기술 발전 방향과 기술 확보 전략 등을 살펴보고자 한다.

2. 전자광학기술의 군사적 응용

1970년대 중반 열악한 기술 환경 하에서 국내 전자광학 방위산업은 먼저 군사원조제품들에 대한 모방개발로

시작되었다. 쌍안경, 조준경 등 일반 주간용 광학장비나 포대경 등 포병 사격기재의 모방 연구개발은 당면한 군 기본병기의 국산화를 위한 것으로 최초 국방과학연구소를 중심으로 대한광학, 한국광학(현 이오시스템)등이 참여하였다. 1980년대 중반 이후에 관련 기술이 국방과학연구소에서 방산업체로 이전되어 업체 독자적인 개발 능력을 구축하게 되었다.

야간 감시정찰 및 사통 분야는 탐조등, 광증폭야시장비 및 열상장비 등으로 발전하였다. 탐조등류로는 특수 목적의 야간투광조준경, 30인치 카본 탐조등, 60인치 카본 탐조등, 14인치 제논 탐조등 차광장치 등이 개발되었는데 방산업체로는 한일기기전자, 한국광학, 동명전기, 제일정밀, 대우중공업, 동아자동차 등이 참여하였다. 그런데 탐조등류는 전장을 조명하여 야간 작전에 유리하게 활용되지만 적군에게도 쉽게 야군의 위치가 노출되는 단점이 있어 군 운용측면에서 점차 쇠퇴하게 되었다.



그림2. 1970~80년대 개발된 군사용 전자광학장비 사례

광증폭야시장비는 야간에도 존재하는 달빛이나 별빛을 이용하여 물체에서 반사되는 미약한 빛을 수 만배 증폭하여 관측하는 장비로 초기에 별빛망원경으로 불리기도 하였다. 1970년대 중반부터 1980년대 중반까지 1세대 및 2세대 광증폭야시장비를 모방개발하여 야간관측경, 개인화기 야간조준경, 공용화기 야간조준경 등을 전력화하였다. 참여 방산업체로는 대한광학, 대한전선, 한국광학, 삼성정밀(현 삼성탈레스) 등으로 최초에는 대한광학이 시스템 분야를 담당하였으나 2세대로 전환되면서 점차 삼성정밀이 시스템을 담당하게 되었고 광학부품은 한국광학이 주로 참여하여 생산하였다. 국방과학연구소는 1980년대 중반 이후에 관련 기술을 모두 방산업체로 이전하여 이후에는 삼성탈레스와 이오시스템이 상호 협력과 경쟁 관계를 유지하며 3세대 이상의 광증폭야시장비에 대한 독자적 기술개발 능력으로 발전시키고 있다.

국내 최초의 광증폭야시장비의 개발을 통해 야간관측 장비에 대한 시스템 설계, 제작 및 시험평가 기법이 획득되었다. 광학적 측면에서 보면 국내에서 직경 최대 200mm 급의 카세그레인형 대물광학계의 설계와 제작이 가능하게 되었다. 특히 반사방지 다층증착을 통해 각 렌즈의 투과율이 입사광 5600 Å~8250 Å 범위에서 99% 이상을 달성할 수 있게 되었다. 또 가공이 까다로운 애눌러 형(anular type) 렌즈를 국내 최초로 가공할 수 있게 되었으며 대물부 하우징 및 전원부 하우징은 당시 선진 기술에 해당하는 인베스트먼트 주조법이 활용되었다. 다만 기술의 제한과 초기투자자의 제약으로 가장 핵심구성품이라 할 수 있는 영상 증폭관은 아직 해외도입에 의존하고 있다.

물체가 방출하는 적외선 파장 대역의 에너지를 이용하여 주야간 영상 획득이 가능한 열상장비는 1980년대 중반 병렬주사방식으로 휴대용 열상장비를 개발하여 최초 열영상을 획득한 이래, 1990년대 중반에는 당시 첨단인 직병렬주사방식으로 전방감시용 열상장비(TOD: Thermal Observation Device)를 개발 완료하여 전력화하였다. 전방감시용 열상장비는 직병렬주사방식으로 기존 도입 운용장비에 비해 영상 선명도가 3배 증대되었고 탐지거리가 향상되었으며

고속 디지털 영상처리 기법을 이용하여 안정된 영상을 획득, 주야간 정확한 표적 식별 능력을 갖추게 되었다. 열상장비는 초기에 삼성탈레스가 시스템 시제품체로 참여하였고, 광학부품은 대부분 이오시스템에서 제작하였다. 최근에는 LIG 넥스원이 시스템 시제품체로 추가 참여하고 있고 이오시스템도 자체적으로 소규모 열상장비들을 개발하고 있다.



그림3. 1990~2000년대 개발된 군사용 전자광학장비 사례

국방과학연구소는 2000년대 초 원적외선 2세대 및 중적외선 3세대 열상장비 개발에 성공하였다. 탑재 안정화 기술과 표적영상 추적기술을 확보하여 주간, 야간 및 레이저 거리측정기능을 복합한 지상 전투차량, 함정, 항공기에 탑재되는 전방관측 적외선장비(FLIR : Forward Looking InfraRed)와 전자광학 추적장비(EOTS : Electro-Optical Tracking System)들을 방산업체들과 협력하여 전력화하고 있다. 이를 통해 선진국과 동등 기술 수준인 30만 화소 이상, 40배율 이상의 고성능 삼중배율/연속 줌 적외선 광학계를 설계, 제작하였으며 고속 전자 신호처리로 고선명, 고화질의 열영상 획득이 가능하게 되었다. 적외선 광학부품 측면에서는 Ge, ZnS, ZnSe 등의 정밀가공을 통해 투과율 98% 이상, 반사율 0.5% 이하 성능을 확보하였다. 또 비구면 반사광학계의 경우도 직경 0.7m 이상, 1/15 λ rms 이상의 가공 성능을 확보하였다. 아울러 추적 안정화 기술에 있어서도 중심추적, 상관추적의 이중 영상 추적방식을 독자적으로 개

발하여 채택하게 되었고 탑재체와 표적 쌍방간의 이동 중에도 영상의 흔들림을 10km 거리에서 수 십cm 이내로 보정하는 등 우수한 영상 안정화 성능을 보이고 있다. 이러한 확보 기술을 중심으로 1998년 말에는 야간에 여수 앞바다로 침투하는 북한의 반잠수정을 최초 탐지, 격침하는 데 크게 기여한 바 있으며, 고성능 항공 및 우주 관련 감시정찰 기술로 계속 발전중이다.

3. 국내 기술 발전 방향

국내에서는 1970년대 중반부터 비교적 늦게 군사용 전자광학기술 연구개발에 착수하였지만 국방과학연구소를 중심으로 한 전문 방산업체와 우수 중소기업들의 노력에 힘입어 최초 모방개발로부터 독자개발에 이르기까지 많은 기술적 성과를 가져왔다. 특히 1990년대 이후부터는 일부 부품을 제외하고 대부분 국내에서 독자적인 설계, 제작, 평가 및 생산이 가능하다. 그럼에도 불구하고 선진국의 전자광학기술 역시 빠르게 발전하고 있기 때문에 미래 선진 기술을 선도할 수 있기 위해서는 다음 분야들에 대해서 배전의 기술 확보 노력이 필요한 실정이다.

3-1 센서 융합 기술

군사용 전자광학장비는 특성상 소량 다품종 형태로 요구되는 경우가 많다. 반면 군사용 장비는 군의 소요로부터 설계반영, 제작, 시험평가, 양산, 운영 및 정비 유지, 폐기까지 전 순기에 이르는 단계와 절차가 민수용 장비에 비해 복잡하고 경직되어 있는 경우가 많다. 따라서 여러 국가에 수출까지 고려한 다양한 수요에 대한 맞춤형 대응을 위한 고부가가치 센서 융합 기술로의 발전이 필요하다.

즉 주간영상장비, 야간영상장비, 레이저장비들에 대한 각각의 기술도 중요하지만 이를 군 수요나 요구사항에 따라 유연하게 결합시킬 수 있는 시스템적 개발 능력의 확보가 중요하다. 우선 이들 센서에 대한 고부가가치 융합이 필요하다. 주·야간 관측은 물론 표적

까지의 거리측정, 표적 영상의 추적, 영상 안정화, 표적의 레이저 조사 및 지형, 위치정보와의 융합에 이르기까지 요구사항을 충족시킬 수 있는 결합 센서의 최적화 설계가 이루어져야 한다. 아울러 생산, 정비유지를 고려한 모듈화, 저가화, 저전력화 등이 충족되면 수출에 유리한 위치를 차지할 수 있다. 따라서 전자광학을 담당하는 방산 전문업체는 다양한 군사 요구에 대응할 수 있는 맞춤형 설계, 제작 능력을 갖추어야 한다.

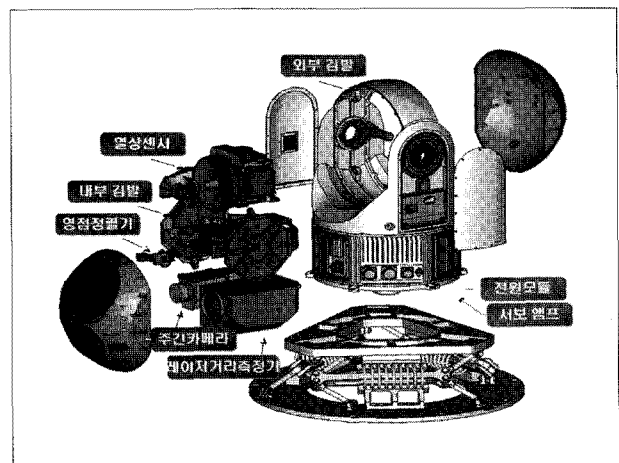


그림4. 센서융합을 통한 주야간 전자광학 추적장비 구성

3-2 핵심 부품의 국산화

전자광학장비의 부품, 특히 검출기나 영상증폭관 등은 초기 설비투자나 기술이 많이 소요되는 핵심 부품이다. 따라서 초기 군사용 장비의 핵심부품은 대부분 해외 도입에 의존해 왔으며 큰 어려움 없이 국내 조달용 전자광학장비에 적용되어 왔다. 그러나 국내 기술이 발전하여 점차 고성능의 전자광학장비를 독자 개발하게 되면서 핵심부품의 수급에 차질이 발생하게 되었고, 국내 수급에 차질이 없는 경우에도 해외 수출에 영향을 줄 수 있게 되었다. 광학 소재나 검출 제질 및 부품의 독자 개발, 검출기 고배열 하이브리드 기술, 특수 목적의 영상 신호처리 전자 부품들 중 특정 용도에서의 적합성이나 수출 제한 회피 등을 위한 목적을 가지고 점진적인 부품 국산화 노력이 병행되어야 한다. 이러한 측면에서 우수 중소기업 또는 벤처기업의 적극적인 참여가 기대되고 있다. 예를 들어 적외선

검출기는 초기, 도입에 의존하였으나, 최근 MCT(HgCdTe) 재질의 320×240급 완전 2차원 배열을 갖는 중적외선 적외선 검출기를 국내에서 산학연 주관으로 개발 완료하였고 이어서 고밀도 2차원 배열 검출기를 냉각형(중적외선)과 비냉각형(원적외선)으로 각각 개발 중이다.

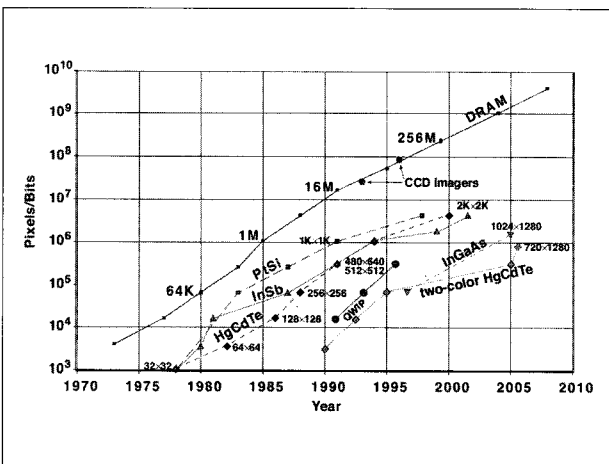


그림5. 적외선 검출기의 재질별 소자 발전 추세(해외논문자료)

3-3 신개념 영상센서 기술 개발

기존 전자광학장비는 가시광선 영상장비, 적외선 영상장비, 레이저 장비 등을 그 구성품으로 하여 공간 주파수 영역을 넓히거나 정밀화하는 방법으로 그 해상도나 정밀도를 증대시켜 왔다. 이러한 장비나 기술들은 국내에서도 이미 선진국 동등 수준에 도달해 있다. 해상도를 공간적으로 증대시키기 위해서는 광학계를 키우거나 검출소자를 대폭 증대시키거나 신호처리 속도를 빠르게 해야 하는 등 하드웨어는 물론 소프트웨어 측면에서도 점차 한계에 이르거나 부담으로 작용하고 있다. 따라서 공간해상도를 키우는 대신 분광 영상 개념을 도입하여 분광해상도를 높여 표적의 식별력을 증대시킨다든지, 그동안 사용하지 않던 테라헤르츠(THz) 영역의 영상획득기법을 활용한다든지 하는 새로운 개념의 영상센서들이 제시되고 있으며 이들 신개념의 영상센서 기술 확보와 구현이 매우 중요하다. 선진국이 추진 중인 새로운 개념의 영상획득 기술 중 몇 가지를 소개하면 다음과 같다.

○ 초분광 영상감지 기술

최근 선진국에서 연구·개발 중인 신개념 전자광학 영상센서의 하나는 초분광 영상감지센서(HSI : HyperSpectral Imager) 기술이다. 이 기술은 기존 영상센서들이 가시광선이나 적외선 등의 파장영역에서 단일, 또는 수개~10여개 수준으로 파장을 분리하여 영상을 획득하던 방법에 비해 100~수 백개 수준(분광분해능 $\Delta\lambda / \lambda = 0.01$)으로 파장 정보를 대폭 증가 시킴으로서 표적 식별력을 획기적으로 개선한 기술이다. 이 센서들은 먼저 군용으로 항공기나 위성에 탑재되어 표적 식별에 활용되어 왔으며, 민수용으로도 농작물의 경작 상태, 광물의 분포, 지구 환경 조사 등 원격 탐사 분야에 이용되고 있다. 또 가시광선 영역 뿐만 아니라 보다 다양한 기상상태에서 활용이 가능하고 주야간 시간 제약을 받지 않는 적외선 영역으로 점차 확대 되어가고 있다.

○ 우주용 적응광학 기술

지구의 대기는 공기의 밀도와 온도 분포가 일정하지 않을 뿐 아니라 국부적으로 흐름이 불균일하기 때문에 시·공간적으로 요동하고 있어 지구 대기를 투과하는 빛은 시·공간적 요동에 의해 왜곡된다. 적응광학(adaptive optics) 기술은 여러 가지 원인에 의하여 찌그러진 광의 파면을 실시간으로 보상해 주는 기술이다. 즉, 파면의 찌그러진 모양을 실시간으로 측정하고 찌그러진 모양과 크기가 같고 위상이 반대가 되도록 반사경의 표면에 변형을 주어서 최종적으로 원래 광원에서와 같은 파면을 갖도록 보상해 주는 것이다. 적응광학 기술을 이용할 경우, 대기에 의하여 찌그러진 파면을 보상할 수 있기 때문에 대기를 통과하는 우주급 망원경의 성능을 혁신적으로 향상시킬 수 있다. 우주에서 우주를 관측하는 것과 대등한 수준으로 지상 망원경을 이용하여 고정밀 우주 관측이 가능해짐에 따라, 전 세계의 많은 천체 과학자들이 대기보상기술 연구에 노력을 기울이고 있다.

○ 테라헤르츠 영상감지 기술

적외선 영역은 가시광선 영역에 비해 파장 대역이 넓

은 편이나 대기 투과특성의 제한으로 근적외선(SWIR : Short Wave InfraRed, 0.77~2.5 μm), 중적외선(MWIR : Mid Wave InfraRed, 3.0~5.0 μm) 및 원적외선(LWIR : Long Wave InfraRed, 8.0~12.0 μm) 대역만 감시정찰 영상구현용으로 활용하며, 이중 근적외선은 가시광선과 같이 빛의 정보 영역으로 이용하고 중적외선 및 원적외선은 물체의 에너지 방출 차이(온도 차이)를 검출하는 에너지(열영상) 영역으로 이용한다. 그러나 대기투과특성과 크게 관계가 없는 근거리의 보안용 영상장비에는 최근 300GHz(1000 μm) 이상의 적외선 영역에서 3THz(100 μm) 파장 영역까지의 테라헤르츠 영역이 활발히 연구되고 있다. 테라헤르츠 영상장비의 투사 에너지는 X-선 영상장비에 비해 100만분의 1정도에 불과해서 옷 속에 숨긴 흉기나 폭발물을 찾기 위해 인체에 투사하여도 부작용이 거의 없는 것으로 알려져 있다. 또한 대부분의 물질이 테라헤르츠파의 주파수 내에서 특정 영역을 흡수하기 때문에 테라헤르츠 영상은 X-선으로 판별해 내기 어려운 가루 형태의 폭발물이나 마약, 플라스틱 흉기 등도 분별해 낼 수 있다. 또한 조직이 치밀하지 않은 암세포에는 쉽게 침투하고 정상 조직에는 잘 침투하지 못하는 특성을 이용해 피부암이나 유방암처럼 주로 피부 바로 아래에 생기는 암을 비교적 손쉽게 진단할 수 있다.

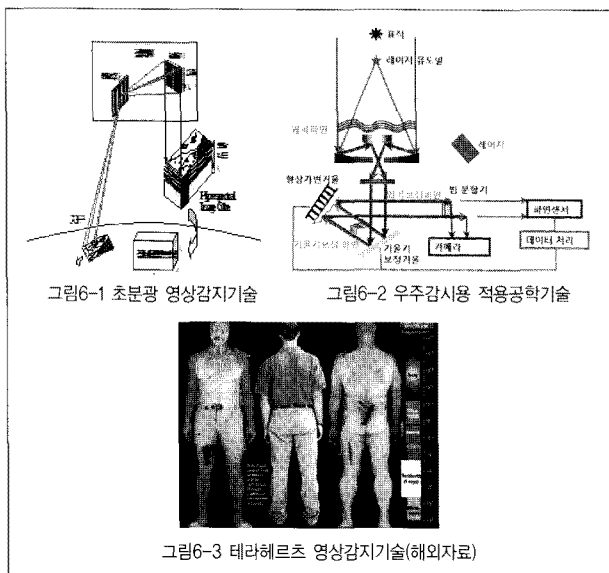


그림6-1 초분광 영상감지기술

그림6-2 우주감시용 적용공학기술

그림6-3 테라헤르츠 영상감지기술(해외자료)

그림6. 신개념 영상센서 기술

3-4 고정밀 광역 탐재체 기술

그동안 전차, 장갑차 등의 전투차량을 비롯하여 함정, 헬기 등의 항공기에 탑재되는 정밀 전자광학장비가 개발, 생산되어 우리 군에 배치되었으며 감시정찰에 있어서 많은 역할을 담당하고 있다. 전자광학장비는 주·야간 선명한 영상획득으로 우수한 감시정찰이 가능하지만 대기투과특성에 따라 기상 영향 받아 장거리 영상획득은 제한을 받아왔다. 특히 대기밀도가 높은 지상 전장 환경하에서는 대기 중의 습도나 이산화탄소 농도에 따라 표적의 에너지 정보가 감쇄되어 탐지거리가 축소되곤 하였다. 이러한 영향을 본질적으로 회피할 수는 없지만 고고도로 올라갈수록 이 영향은 비교적 줄어들 수 있다. 선진국에서는 중고고도 이상의 항공정찰 및 위성정찰에 전자광학 탑재체를 활용하고 있고, 우주 감시로까지 확대하고 있다. 따라서 기존 전술급 전자광학장비로부터 고정밀 광역 전자광학장비로의 기술 발전이 요구되고 있다.

4. 산학연 역할 분담 및 기술 획득 추진 전망

최근 언론 보도에 따르면 대통령 직속 미래기획위원회는 '국방선진화를 위한 산업발전전략' 보고를 통해 앞으로 국방과학연구소는 미래·핵심 기초 기술 개발 및 전략·비닉 무기 개발에 주력하고 상대적으로 기밀성이 낮은 일반 무기의 생산 및 성능 향상은 2015년까지 단계적으로 민간 기업에 넘기게 된다고 한다. 국내 군사용 전자광학 기술의 발전은 많은 관련 분야에서 최초 국방과학연구소 주도로 진행되어 왔지만 이와 병행하여 기술 분야별로 단계적으로 방산업체에 개발 및 생산 업무를 기술 이전해 왔다. 따라서 주간 광학장비 분야와 야간광학장비 중 광증폭야시장비 분야는 이미 1980년대 중반 이후 국내 방산업체가 주도적으로 모방 또는 독자 개발 후 생산을 하여 왔고 열상장비 분야도 2000년대 초반 개인화기 야간조준경을 업체가 독자적으로 전력화한 이래 포병용 주야간 관측장비, 신형 전방감시용 열상장비 등을 개발 완료하였다. 또 국방과학연구소의 기술지원하에 장갑차

열상조준경, 휴대용 대공화기 열상조준경, 차기소총 열상조준경 등도 업체가 주도적으로 개발하여 전력화 단계에 이르고 있다.

앞으로 '국방선진화를 위한 산업발전 전략' 이 계획대로 진행된다면 일반 전자광학장비의 개발 및 생산은 방산업체 주도하에 점차 확대될 것으로 판단된다. 그러나 이를 위해서는 몇 가지 보완되어야 할 요소가 있다.

첫째로 현재 수 개 업체에 불과한 전자광학분야 방산업체를 다른 방산 전문업체와 우수 중소기업 등으로 확대하는 것이다. 현재는 시스템 업체 또는 광학 부품 생산 업체가 각각 불과 2~3개 업체 정도로 제한적이므로 군사용 전자광학장비 또는 부품을 생산할 수 있는 기반과 저변을 확대하는 것이 무엇보다 중요하다. 둘째는 국방과학기술 뿐 아니라 국가과학기술과의 연계를 강화해야 한다. 특히 현대전은 네트워크 중심전으로 수행이 되므로 전자광학장비를 통해 획득된 유용한 군사정보들이 국가과학기술이 주도하는 IT 기술과 실시간 연계되어 효율적 작전이 가능토록 지원되어야 한다. 따라서 단순한 전자광학장비가 아니라 C4ISR+PGM(감시정찰/지휘통제/정밀타격을 지칭) 전체의 체계를 이해하고 상호 접목할 수 있는 기술의 구현과 장비 개발이 이루어져야 한다.

셋째로 수출중심으로 연구개발 및 생산체계가 개편되어야 한다. 지금까지는 제한적인 국내 수요를 중심으로 개발 및 생산이 이루어져 왔는데, 앞으로는 계획 단계부터 수출을 겨냥한 장비 개발이 이루어져야 하고, 수출 대상국에 맞춤형으로 개발장비가 제공될 수 있도록 융통성 있는 설계가 수행되어야 한다. 이를 위해서는 방산업체 스스로 독자적 무기 설계, 개발이 가능토록 그 역량을 키워야 한다.

5. 결론

국내 군사용 전자광학분야 기술은 1990년대 이후 많은 발전을 이룩해 왔다. 그럼에도 불구하고 현 시점에서 현 기술 수준을 뛰어 넘을 수 있는 추가적인 기술 확보 노력과 신개념의 전자광학장비 기술 개발이 요

구되고 있다. 한편으로는 다양한 군의 수요를 충족하고 해외에 수출하기 위해서 국가과학 기술과 연계한 고부가가치 또는 맞춤형 센서 융합 설계 기술이 요구되고 있다. 아울러 그동안 해외 도입에 의존했던 일부 핵심 부품의 국산화에도 산업체의 적극적인 참여가 요청된다. 따라서 앞으로 예상되는 군사용 전자광학 장비에 대한 산업체의 역할 확대와 독자적인 기술 증대 노력이 필요하며, 이를 통해 전자광학분야가 방위 산업 신경계 성장 동력화에 앞장 설 수 있게 되기를 기대한다.

참고문헌

- [1] 홍석민, "전자광학 영상센서," 물리학과 첨단기술 (한국물리학회), 제15권, 제1/2호, pp.11-18, 2006
- [2] 홍석민, "전자광학 감시정찰체계 발전방향," 합참 (합동참모본부), 제40호, pp.91-95, 2009
- [3] 홍석민, "군사용 전자광학 기술의 현재와 미래," 한국광학회 창립 20주년 기념 동계 학술발표회 및 워크샵, 초청논문 논문집 pp.20-21, 2010
- [4] Paul Norton, "Third-generation sensors for night vision," Proc. SPIE(Plenary paper), Vol. 5957, pp.59571Z-1~59571Z-15, 2005