

주요국 국방·군사 동향 시리즈 15-02

지향성에너지 무기 전망과 현안

Prospects of Directed Energy Weapons and Pending Issues





발간사

미국은 고에너지 레이저, 고출력 극초단파, 고주파 등과 같은 지향성에너지를 오랫동안 무기로 개발하여 왔으며, 1980년 3월 스타워즈라는 별칭을 가진 전략방위구상(Strategic Defense Initiative)이 발표되면서 지향성에너지 무기 개발의 전성기를 누렸습니다. 하지만 미국의 레이저무기 연구를 위한 방위비 지출은 1989년에 최고점에 달한 이래, 2014년 지출 규모는 1989년 대비 15% 수준인 24억 달러로 감소하였습니다. 이러한 배경에는 지향성에너지 무기(Directed Energy Weapons)가 접근하는 탄도미사일을 격추시킨다는 원래의 목표를 달성할 수 없는 것으로 판명된 이후부터 자금 지원이 감소하고 있기 때문입니다.

그러나 지향성에너지 무기는 비용 대비 효과가 매우 우수한 장점이 있기 때문에 각국에서는 지속적으로 연구개발을 하고 있으며, 일부 국가에서는 지향성에너지를 무기로 개발하여 운용 중에 있습니다. 미국은 2012년에 대전자장비용인 고출력 극초단파를 이용하여 목표물을 성공적으로 무력화한 것으로 알려졌으며, 미 해군에서도 폰스함에 레이저 무기를 배치하여 걸프만에서 운용시험 중에 있습니다. 중국과 러시아는 고출력 극초단파 및 기타 첨단 고주파무기체계를 적극적으로 개발하고 있으며, 북한 역시 고출력 극초단파 장비로 전파방해를 시도한 적이 있습니다. 이처럼 최근 급변하는 무기체계 개발추세에 적극적으로 대처하기 위해서는 우리나라도 지향성에너지 무기 개발이 절실한 실정입니다. 따라서 본서에서는 미국의 지향성에너지 무기 개발과정에서 발생된 문제점들을 사전에 살펴봄으로써 우리나라가 개발시에 겪을 수 있는 시행착오를 예방하고자 하였습니다.

본 간행물은 지향성에너지 무기에 대한 미국의 최근 보고서인 ‘지향성에너지 무기 가능성과 전망과 ‘합상용 레이저무기 배경과 의회 현안’ 내용을 번역·편집하여 합본 형태로 발간한 것입니다.

제1장은 지향성에너지 무기에 대한 가능성과 전망으로서, 미국이 30년 이상 지향성에너지 무기를 개발해 오는 과정에서 탄도미사일 타격한계로 인하여 점차 줄어드는 관심을 개선시킬 목적으로 신미국안보센터가 2015년 4월에 지향성에너지 무기의 개발추진 방향을 국방부에 제시한 내용입니다. 여기에서는 그동안 추진 과정에서 부풀려 지거나 과장된 내용, 개발 과정의 문제점을 사실적으로 기술하고 있습니다. 제2장은 2015년 예산확보를 위해 대함, 대공 및 미사일 방어용 합상 레이저무기의 개발배경 및 현안을 기술하고, 향후 추진 방향과 로드맵을 미국 의회에 제시한 2014년 12월 보고서 내용입니다. 아무쪼록 본 간행물이 방위 산업 분야에 종사하시는 여러분의 업무에 도움이 되었으면 합니다.

2015년 8월

국방기술품질원장 이 현 곤



목 차

발간사	2
목 차	4
요 약	7

제1장

지향성에너지 무기 가능성과 전망

I. 서론	14
II. DE 무기의 가능성	18
III. 고주파 무기 및 전자기 효과	22
대전자장비 경고용	22
작전에 적합한 비핵 EMP 체계 탐구	24
IV. 고에너지 레이저 무기	28
2000년 초 국방부 스타즈 도달 고에너지 레이저 투자	29
국방부 전투용 전술 화학레이저 가망성 전망	32
대형 실패 사례 이후 엄중한 평가	33
전술용 교체 및 결합 광섬유 레이저 성숙단계 도래	37
V. DE 무기 위상 변화의 여파	39
현대식 고출력 극초단파 체계 단거리 비핵 EMP 타격 및 방어 옵션 구현	39
신형 고에너지 레이저 무기 제한적 방위 옵션 구현	44
VI. 결과 및 제언사항	48
1. DE 무기에 대한 국방부 차원의 전략적 계획 수립 및 전파	49
2. 국방부 DE 무기 담당자 권한 및 책임 부여	50
3. 효과적인 예산 이용	52
4. 손쉬운 목표 달성 - 실전 배치	54
5. 성과 지향 - 성공을 위한 장기적 투자	55
6. 해외 개발상황 실제평가 및 적극적 모니터링	57

제2장
합상용 레이저 무기
배경과 의회 현안

7. DE 무기 전체 맥락차원 접근 - 전자기 스펙트럼 역량에 대한
 광범위한 보강 59

8. 성공을 위한 계획 수립 - DE 무기, 정규 자원에 편입 60

I. 머리말 64

 의회 현안 64

 범위, 출처, 용어 65

II. 배경 66

 합상 레이저 일반 66

 합상 사용을 위해 개발 중인 레이저 유형 73

 해군 수상 함대의 합상 레이저의 일반화된 비전 78

 남아 있는 기술적 난관 79

 최근 개발 현황 80

III. 의회 현안 89

 계속 개발할 레이저 유형의 수 89

 합정 설계 및 획득에 미치는 영향 92

IV. 의회의 선택 95

V. 2015년 입법 활동 96

 2015년 자금 요청 96

 2015년 국방수권법(H.R. 3979) 96

 2015년 국방부 세출예산법(H.R. 83/P.L. 113-235) 98

부록

부록 A. 표적 대응에 필요한 레이저 출력 수준 102

부록 B. 레이저 개발에 관여하는 해군 조직 104

부록 C. 레이저 무기체계(LaWS)에 관한 추가 정보 105

부록 D. 전술 레이저 체계(TLS)에 관한 추가 정보 109

부록 E. 해양 레이저 시연기(MLD)에 관한 추가 정보 111

부록 F. 자유 전자 레이저(FEL)에 관한 추가 정보 115

부록 G. 혁신적 해군 시제품
 (Innovative Naval Prototype, INP) 120

부록 H. 기술 성숙도(Technology Readiness Level, TRL) 121

부록 I. 실명 레이저 무기에 관한 국제 협약 122

부록 J. 우주 공간 물체의 조명 125

부록 K. 2000년 국방수권법(P.L. 106-398) 220절 126



표목차

표 1	킬로와트(kW)/메가와트(MW) 단위 빔 출력	31
표 2	해군의 함상 고에너지 레이저 일반화된 비전(2011년 5월 기준 초고)	78
표 A-1	일정 표적에 영향을 미치는 데 필요한 레이저 출력의 대략적 수준	102

그림목차

그림 1	1962년 'Starfish Prime' 핵 EMP 실험 장면 사진(미국 공군)	22
그림 2	대인(對人) 밀리미터파 능동거부체계(Active Denial System)(미국 공군)	25
그림 3	대전자장비 고출력 극초단파 AMP(Advanced Missile Project)	26
그림 4	중적외선 개량화학레이저(Mid-Infrared Advanced Chemical Laser)	29
그림 5	공중발사 레이저(Airborne Laser) 시험대(YAL-1) 비행기	30
그림 6	레이저 무기체계(미국 해군)	34
그림 7	고출력레이저 이동식 실증기(HEL MD)	36
그림 8	이동식 지상발사 방공 DE 개념도	36
그림 C-1	LaWS 시제품 사진	107
그림 C-2	CIWS 마운트에 통합된 LaWS 이미지	108
그림 D-1	Mk 38 기관포 마운트에 통합된 TLS 이미지	110
그림 E-1	트레일러에 실린 MLD 사진	114
그림 E-2	MLD 개략도	114
그림 F-1	FEL 시설 사진	118
그림 F-2	FEL 작동 원리를 단순화한 도해	119
그림 F-3	FEL 개략도	119




요약

미 국방부는 매우 제한된 재정 환경 속에서도 점점 증가하는 접근차단 작전에 대응하기 위해 군 현대화를 해야만 한다. 국방부는 미국의 군사적 우위 확보·유지를 위한 유망 기술 및 작전 개념 발굴을 위해 새로운 국방혁신계획을 추진하고 있다. 이런 맥락에서 고에너지 레이저(High-Energy Laser, HEL), 고출력 극초단파(High-Power Microwave, HPM) 및 관련 고주파 기술과 같은 지향성에너지(Directed-Energy, DE)는 비용 대비 효과적인 정밀공격 혹은 국지방어능력의 향상 가능성을 보여주며, 전투원에게는 비운동역학을 활용한 무기를 제 공해 줄 수 있다.

그러나 미국 방위태세에서의 DE 무기의 역할, 적절성, 중요성을 다루려면 처음부터 불편한 진실 즉, 가능성은 부풀려지고, 실제 성능은 기대에 미치지 못한 그간의 상황들을 다루어야 한다. 국방부가 오랜 기간 탄도미사일방어를 위해 HEL 개발을 추구해온 것 — 지난 수십 년간 공중발사 레이저, 우주배치 레이저와 같이 막대한 예산이 소요된 잘 알려진 대규모의 사업들 — 은 가능성의 예술로 발전시켰지만 궁극적으로는 확인된 위협에 대해 작전상 실현 가능한 해법을 제공하지는 못했다. 역설적이지만 현재는 DE 무기의 잠재력을 한껏 활용하기에는 예산 제약이 따르는 상황이지만, 레이저 및 극초단파 무기체계들이 마침내 전투 활용단계에 도달하고 있다는 상당한 증거가 속속 드러나고 있다.

사실상 DE 무기는 충분한 기술적 성숙단계에 진입해 있어서 향후 10년 안에 다양한 임무에 활용하기 위해 해군, 공군, 육군 전력구조에 편입될 수 있을 것으로 보인다. 이전 대규모 DE 무기 사업에 비해 힘과 역량에서 다소 떨어지지만, 현대식 HEL 및 HPM 무기들은 일부 어떤 형태의 공격으로부터 선박과 기지를 방어하는 데 도움이 되고, 기존의 전투식별, 자기 방어 및 기타 체계의 성능을 향상시키며, 신개념 대 전자공격 옵션을 제공해 준다.

미 국방부가 수십 년간 진행해 온 고에너지 군사용 레이저 개발은 약 1마일 거리에서 특정 수상 표적 및 공중 표적에 대응할 수 있는 레이저를 향후 몇 년에 걸쳐 해군 수상함에 탑재할 수 있는 단계에 이르렀다. 그 이후에 더욱 강력한 함상 레이저 탑재가 가능해지면



해군 수상함은 최대 약 10마일 거리에서 보다 광범한 수상 및 공중 표적에 대응할 수 있는 능력을 갖추게 된다.

해군과 국방부는 광섬유 고체 레이저(Solid State Laser, SSL), 슬래브(slab)형 SSL, 자유 전자 레이저(Free Electron Laser, FEL) 등 해군 수상함에서 잠재적으로 사용할 수 있는 세 가지 주요 레이저 유형에 관한 개발을 수행해왔다. 레이저 무기체계(Laser Weapon System, LaWS)는 해군이 개발한 광섬유 SSL 시제품 시연기 중 하나이다. 해군은 작전 환경에서 함상 레이저를 지속적으로 평가하고자 2014년 여름, 페르시아 만에서 전방배치 임시해상기지(Afloat Forward Staging Base, AFSB[II])로 운용되고 있는 USS 폰스(Ponce)함에 LaWS를 탑재하였다. 전하는 바에 따르면, 해군에서는 함상 레이저 추진등재사업이 '2018회계연도'에 이루어질 것으로 예상하며, 2020년에서 2021회계연도에는 함상 레이저 초기운용능력(Initial Operation Capability, IOC)을 확보할 것으로 내다보고 있다.

국방부는 커져가는 외국의 군사 역량을 상쇄할 차세대 기술 및 작전개념을 추구함에 있어, DE 무기의 전투 '잠재력'과 현재까지의 실제 '성능' 간의 지속된 격차를 줄이도록 노력해야 한다. 눈에 띄는 기술적 진보가 이루어진 것은 분명하지만 명백하게 성공한 것은 아무 것도 없다. 그리고 현재의 발전상황이 미국의 전투력을 증강시킬 일련의 전투무기들로 이어질 수 있을지 모르지만 아직까지는 판도를 바꿀 위력을 가지지는 못했다.

궁극적으로, DE 무기가 중대한 상쇄 후보(즉, 미국군이 적에 대해 전투우위를 유지할 수 있게 해주는 기술)가 되기 위해서 국방부는 이 무기들의 개발에 진지하게 임해야 한다. 일부 기술 분야가 상업용 기술의 발전을 발판으로 삼을 수는 있지만, 고도의 위협을 효과적으로 대응하는 체계에 대해서는 상업적 시장이 존재하지 않는다. 따라서 성능이 더 뛰어난 DE 무기체계를 개발하기 위해서는 국방부가 적극적으로 차세대 요구역량을 구현하는 것이 필요하다. 핵심(mission-critical) 분야에 대한 고위급 지도자의 집중적이고 지속적인 관심만이 이런 역량을 구현하고 효과도 발휘하게 될 것이다.

제1장 '지향성에너지 무기 가능성과 전망'에서 제시한 것은 비용 대비 효과적이며, 시간에 효율적인 방법으로 DE 무기의 역량개선 잠재력을 실현하기 위해서 국방부는 다음 사항을 이행해야 한다.



- 국방부 차원의 전략적 계획을 수립하고 전파한다. 전형적으로 DE 무기에 대한 국방계획 수립 노력은 그 속성상 ‘앞으로 일어날’ 일에 대한 것으로, 향후 역량에 맞추어져 있었다(그것도 만약 개발되는 날이 온다면 말이다). 오늘날, 선별된 무기체계들이 일부 임무와 관련해 운용 성숙단계에 도달한 듯 보이기 는 하지만, 방위태세에 있어서 그 체계들의 역할 — 그리고 후속 체계들의 역할 — 은 불분명하다. 국방부는 전략이 필요하다. 즉, 국방부의 최우선순위 과제들을 위해 적절한 DE 무기체계들을 개발하고 배치할 제도적 전략이 필요하다.
- 국방부 담당자에 대한 권한을 부여하고 책임지게 한다. 오늘날의 DE 관련 개발은 이익 추구 공동체라는 기틀 하에 대체로 개별적이며, 조율이 느슨하게 전개되고 있다. 그런 접근은 희소한 자원으로 작전역량의 격차를 메우는 데 효과적으로 집행하지도 못하고, 작전상 적합한 무기체계의 개발을 국방부의 전략 우선순위와 연동시키지도 못한다. 국방부는 기존의 HEL-합동기술사무소(HEL-JTO)를 근간으로 합동 DE 무기사업 사무소를 설립함으로써 시간과 예산의 제약 하에서도 임무별로 계획화된 결과를 도출할 수 있도록 해야 한다.
- 효과적으로 예산을 투입한다. 현재의 재정적 상황은 분명 선택이 어려운 여건이지만, 2014회계연도 DE 무기 관련 투자는 약 4억 530만 달러로 추산되고 있다. 국방부가 2007년 지출액의 36%(물가상승 조정치)만 지출하는 셈이다. 만약 국방부가 작전에 의미 있는 DE 무기를 실전에 배치하려 한다면, HEL의 경우에는 2~3배, HPM의 경우에는 5~10배 지출을 늘려야 한다. 이런 증액분이 더해지면, 지출은 냉전시절 말 국방부 DE 무기 지출의 약 절반 가까이 육박하게 될 것이다.
- 쉬운 목표를 달성한다. 국방부는 일부 DE 기술을 통합하기 시작했지만 고출력 고주파 무기 개발에 대한 성공적인 시연은 아직 완벽하게 이루어지지 못했다. 동시에 고체 및 결합 빔 섬유 HEL 사업이 향후 10년 안에 전투무기로 완성될 가능성이 있다. 국방부는 가능성이 가장 큰 개발을 진척시켜야 하며, 궁극적으로 우선 전투지역에서 전투역량의 격차를 해소할 수 있는 체계를 제한된 수량이라도 구매하는 것을 고려해야 한다.
- 장기적 성공을 위해 투자한다. 국방부는 잠재적인 적이 예상치 못한 기술을 획득하기



위해 연구개발을 수행한다. 그러나 현재 개발상황은 대체적으로 위협도가 낮은 위협(예를 들어, 무인항공기나 소형보트)에 맞추어져 있다. 궁극적으로 위협도가 높은 위협(예를 들어, 고속 탄도미사일이나 순항미사일)이 훨씬 더 성능이 좋은 레이저 또는 HPM 무기체계를 필요로 한다면, 국방부는 가용 자원의 더 많은 부분을 효과적인 고성능 DE 역량 개발 및 배치에 할당해야 한다.

- **실체평가를 수행하고, 적극적으로 해외 개발상황을 모니터한다.** 세계화는 기술적 우위의 지속기간을 줄어뜨리게 하며, 동시에 차세대 기술의 개발을 가속화시킨다. 미국의 잠재적인 적 또한 동일한 기본적 기술 추세로 혜택을 보고, 일부 경우에는 맹렬히 미국의 군사적 우위를 무력화하고자 한다. 국방부는 조기경보, 그리고 기술적 돌파구와 잠재적 기회 파악을 위해 해외의 과학/기술 개발을 보다 폭넓게 섭렵해야 한다. 또한 해외 개발상황이 미국 방위태세에 미치는 영향에 대해 실체평가를 수행해야 한다.
- **DE 무기를 전체 맥락에서 다룬다.** DE 무기는 묘책(silver bullet)이 아니며, 보다 다양한 진 전투도구 중 하나이다. 종합적으로 볼 때, DE·사이버보안·전자전 분야가 병행 발전하면 — 이것이 하나의 응집력 있는 체계로 운영될 경우 — 국가는 중요하고도 역동적인 정성적 군사우위를 달성하게 된다. 이러한 기능적 분야들이 원칙상 연계되어 있지만, 기술적으로 서로 동떨어져 있고, 작전상 제대로 통합되어 있지 못하다. DE/전자전/사이버실험 및 위게임 결합에 보다 중점을 둬으로써 국방부가 적절한 전투 개념, 원칙적 접근, 기술개발 전략, 작전 계획수립 등을 조정하는 데 도움이 될 것이다.
- **성공을 위한 계획을 세운다.** 마지막으로, 현재까지의 DE 무기 진척상황이 미흡한 부분이 많지만, 국방부는 향후 DE 무기의 성공을 위한 계획을 수립해야 한다. 단기적 체계들이 작전상 틈새 역할을 하거나 미국의 전투력을 다소 증대시킬 수 있으나, 이들의 보다 의미 있는 가치는 그 속성상 문화적, 조직적인 측면이라 할 수 있다. 즉, 판도를 바꿀만한 효과를 지닌 더 뛰어난 역량의 차세대 DE 무기를 위한 준비 역할이다. DE 무기를 성공적으로 전력구조에 편입시키기 위해서는 전략, 조직, 훈련, 물류, 정책 및 다른 측면 모두에 걸쳐 조정이 필요하다. 고성능 DE 무기의 지속적 개발과 실전 배치는 작전 위협을 감소시키고, 더 나은 전투옵션을 제공하며, 궁극적으로 새로운 작전 방식을 가능하게 한다. 제대로 실행된다면, 지휘부와 군은 새로운 역량 — 국방부에 의해



효과적으로 구성된 역량 — 의 제공으로 준비태세를 갖추게 될 것이다. 이것이 바로 경쟁력 있고 지속적인 군사적 우위의 핵심이며, 국방 지도자들이 추구하는 상쇄 전략의 근간이다.

제2장 '함상용 레이저무기 배경과 의회 현안'에서 해군은 레이저 기술과 잠재적 함상 레이저 시제품을 개발 중이며, 함상 레이저에 대한 일반적인 미래 구상을 하고 있으나, 현재 양산용 함상 레이저 조달을 위한 추진등재사업(Program of Record, POR)은 이루어지지 않고 있다. 향후 해군 수상함의 레이저 탑재 가능성에 따라 다음을 비롯한 여러 가지 잠재적 현안이 의회에 제기된다.

- 해군 재원의 제약을 감안할 때 얼마나 다양한 유형의 레이저를 계속 개발할 것이며, 현재 개발 중인 각 유형의 상대적 장점은 무엇인가
- 해군이 2016회계연도부터 조달에 착수하고자 하는 Flight III DDG-51 구축함 등 해군 함정의 설계와 획득에 함상 레이저가 미치는 잠재적 영향은 무엇인가

제 1 장

지향성에너지 무기 가능성과 전망

- 서론
- DE 무기의 가능성
- 고주파 무기 및 전자기 효과
- 고에너지 레이저 무기
- DE 무기 위상 변화의 여파
- 결과 및 제안사항

지향성에너지 무기 가능성과 전망
(Directed-Energy Weapons : Promise and Prospects)



1. 서론

전자기와 스펙트럼은 현대 군의 핵심적인 기술이고 전장 우위의 즉각적인 원천이자, 잠재적인 아킬레스건이기도 하다. 1956년 냉전의 초기, 레이더, 항법, 통신 기술이 무르익던 무렵에 당시 소련의 세르게이 고르쉬코프(Sergei Gorshkov) 제독은 과감히 “다음 전쟁은 어느 쪽이든 전자기와 스펙트럼을 가장 잘 활용하는 진영이 승리할 것”이라고 선포했다. 2011년 — 반세기 간 여러 분쟁과 무수히 많은 전자전 대책 및 대응책 사이클이 이어진 이후 — 미국 해군참모총장 조나단 그리너트(Jonathan Greenert) 대장은 “향후 20년 동안에는 [전자기파 환경이 우리의 가장 핵심적 전장이 될 수도 있다]”고 전망했다. 그는 전자기와 스펙트럼의 중요성을 정보기술 혁명의 관점에서 조망하며 “정보의 통제 - 대개 전자기와 스펙트럼을 통한 통제 - 가 현대전에서 이미 영토의 통제보다 중요성이 커지고 있다”고 덧붙였다. 이러한 중요성 덕에 세계 전자전 시장 — DE 기술 포함 — 은 지속적으로 성장하여 2010년 77억 2천만 달러에서 2014년에는 121억 5천만 달러 규모로 증액되었다. 많은 국가에서 국방지출을 줄여야 한다는 목소리가 있지만, 분석기들은 지출이 앞으로 지속적으로 증가해 2020년에는 156억 달러 규모까지 커지는 등 10년 만에 세계 전자전 시장이 두 배로 커질 것이라고 내다보고 있다.¹⁾

지난 수십 년에 걸쳐 전자전 체계, 그리고 그 하부 개념인 전자공격, 전자방어, 전자전 지원 임무를 뒷받침 하는 요소기술에 있어 상당한 발전이 이루어져 왔다.²⁾ 현대 전자전

1) 2014~2020년 기간에 대한 추산에 대해서는, <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/electronic-warfare-market-1301.html> 참조, 2010년 추산에 대해서는 <http://www.prlog.org/10941614-new-emerging-technologies-in-electronic-warfare-ew-market.html> 참조, 플랫폼에 대한 각 평가는 보수적으로 되어있다. 전 세계 시장은 F-35 또는 F-22와 같은 전투기를 포함할 경우 상당히 증가할 것이다. 예를 들면, 공중공격의 경우, F-35 전투기에 대한 2012회계연도 미국 시장은 90억 달러 이상이며, 예상되는 5개년 예산주기 전체 기간에는 거의 600억 달러가 될 것이다. 미 회계감사원, 공중 전자공격: 임무 목표 달성은 획득과제를 극복하는 데 달려 있음(Airborne Electronic Attack: Achieving Mission Objectives Depends on Overcoming Acquisition Challenges), GAO-12-175 (March 2012), 63.

2) 합동발간물 3-13.1, *Electronic Warfare* (Joint Chiefs of Staff, February 8, 2012), viii 에 의하면, “전자전”을 “전자기 스펙트럼을 통제하거나 적을 공격하기 위해 전자기 에너지 및 지향성에너지 사용을 포함하는 군사적 조치”로 정의하고 있다. 전자전은 전자공격(교리적으로 적의 전투능력을 공격하기 위한 전자기 에너지, 지향성에너지 또는 대방사 무기 사용을 포함하는 사격의 한 형태임), 전자방호(이군, 중립국, 적이 전자기적 스펙트럼을 사용하는 것으로부터 방호하기 위해 취하는 조치), 전자전 지원(위협인식, 표적획득, 미래작전의 계획 또는 실시 등의 목적을 위해 방사되는 전자기적 에너지를 탐지, 요격, 식별, 위치결정, 출처를 국지화하는 조치) 등 3개 분야로 구성되어 있다.

체계는 무게와 동력 형상에 있어서 크기가 작아지면서도 컴퓨터 계산능력과 신호처리 능력의 기하급수적 발전으로 수혜를 받아 왔다. 이러한 발전은 미국군이 기술적 우위를 유지하는 데 없어서는 안 될 요소로서, 미국의 진보된 감시 통신 타격 능력을 가능케 하는 동시에 이를 뒷받침해왔다. 스텔스 및 정밀타격 무기와 같은 여러 다른 투자와 더불어, 전자전 역량은 40년 넘게 미군과 동맹군에 절대적인 작전상 우위를 가능하게 해 준 첨단기술 기반의 핵심 요소였다. 그러나 다른 핵심 기술 분야와 마찬가지로, 주요 해외 경쟁세력의 군사역량이 지속적으로 커지면서 전자기파 스펙트럼에서의 우위가 약해지고 있다. 2014년 9월에 알 샤퍼(AI Shaffer) 국방부 연구개발 차관보는 “우리가 전자기파 스펙트럼을 잃었다”며, 시판 중인 고출력/저비용 전자전 장비 확산에 대해 공개적으로 우려를 표명했다.

대두되고 있는 외국의 위협, 어려움에 처한 국방자원의 기반, 기술적 우위의 약화에 자극을 받아, 국방부 고위 지도부는 국방혁신계획(Defense Innovation Initiative)을 내놓았다. 2014년 8월, 척 헤이글(Chuck Hagel) 당시 국방부장관은 “우리는 해상, 공중, 우주 — 사이버공간은 말할 것도 없고 — 에서의 미국의 우위가 더 이상 당연시될 수 없는 시대로 접어들고 있다”고 천명했다. 이에 대해 국방부는 새로운 계획의 일환으로 주요 분야에서 미국의 기술적 우위를 탈환하고 혁신적인 ‘승부수’를 마련하기 위한 장기 연구개발 계획수립사업(Long-Range Research and Development Planning Program)이 제기되었다. 이런 투자는 로버트 워크(Robert Work) 국방부 장관이 주창한 ‘제3의 상쇄 전략(third offset strategy)’을 통해 미국의 군사적 우위를 회복하고 유지하기 위한 것이다.

이런 맥락에서 DE 무기는 대두되는 안보 환경에서 방위 우선순위를 부각시킬 수 있는, 성숙해가는 몇 안 되는 파괴적 혹은 비대칭적 기술 중의 하나이다. 원칙상, DE 무기는 뛰어난 방어 역량으로서 또한 효과적인 전자공격 대안으로서 판도를 뒤바꿀만한 기술적 우위를 제공할 수 있을 것이다.

그러나 역사적 기록을 통해 볼 때, DE 무기의 전투 ‘잠재력’과 현재까지의 실제 ‘성능’ 간에는 상당한 격차가 있다. 찬성하는 측은 실질적이고도 중요한 기술적 진보를 눈여겨보는 반면, 회의론자들은 진정한 성공을 위해서 궁극적으로 해당 기술이 실험실에서 실제 작전 상황에 적용될 필요가 있다고 지적한다. 사실상, 최근의 조사자료에서 DE 무기

기술이 거론되고 있음을 알 수 있다. 2014년 2월 조사에 응한 국가안보 전문가들의 약 20%가 DE 무기기술이 향후 6~10년 안에 안정적인 관련 군사체계에 전격 편입될 것으로 전망하고 있으며, 또 다른 30%는 20년 안에 그렇게 될 것이라고 내다봤다. 그러나 절반에 이르는 전문가들은 이런 상황이 최소 20년 안에는 실현되지 않을 것이라고 전망하거나, DE가 결코 이런 목표를 달성하지 못할 수도 있다고 의구심을 나타냈다.

확실히, 현대 전장에 DE 무기를 개발 및 배치해야 할 임무를 수행하는 사람들이 적지는 않다. 국방부가 태평양 전역에서 군사력 재균형을 위해 시도한 끊임없는 노력과 남/남서아시아 지역에서의 계속된 교전 모두 저평가되었으나, 지역 내 접근차단/지역거부 위협에 대한 미국의 방위태세를 강화하는 것은 대단히 중요하다.

지향성에너지(Directed Energy)

합동교리(Joint doctrine)에서 정의하는 DE(Directed Energy)는 고주파 전자기 에너지와 원자/아원자(subatomic) 입자를 만들어내는 기술을 통칭하는 말이다. DE 무기는 DE를 이용해 적군의 장비, 시설 및 병력을 약화, 파손, 무력화시키는 체계를 의미한다. DE전은 적의 장비, 시설 및 병력을 약화시키거나 직접 피해를 입히거나 파괴하고, 혹은 파손/파괴/교란을 통해 적이 전자기파 스펙트럼 사용을 결정, 이용, 감소 혹은 방지하기 위해 DE 무기/장치/대응을 사용하는 군사행동을 말한다. 여기에는 아군의 장비, 시설, 병력을 보호하고 아군의 전자기파 스펙트럼 사용을 지속하기 위한 행위도 포함된다. DE 기술이 성숙되어 감에 따라 무기화된 DE 체계가 점점 더 확산되고 강력해지고 있으며, 전자전 임무에서 중요한 부분이 되어가고 있다.

군대 보호를 어렵게 하는 요인들은 무인항공기 사용부터 소형보트, 로켓/미사일 공격까지 다양하다. 적국이 역량을 갖춘 경우에 이들은 미국의 작전 전진기지과 주둔군을 위협에 빠뜨리고, 미국이 병력을 파견하지 못하게 하거나 전력투사 및 잠재적인 확산-통제(escalation-control) 옵션들에 대한 국가의 능력을 약화시킬 수 있다. 조금 더 포괄적으로 말하면, DE 기술 역량이 커지면서 핵심 기반시설이나 특화된 방위역량을 위협에 빠뜨릴 가능성이 늘어나기 때문에, 외국의 DE 무기 개발은 미국의 전략적 억제력과 국토방위태세에 영향을 미친다. 각각의 경우 모두, 미국과 적국의 DE 무기 개발을 둘러싼 공격/방어력이 발전하고 있으며, 이것은 기술적 경쟁의 판도를 공정하게 하는 글로벌 기술전파라고 하는 보다 광범위한 맥락에서 이루어지고 있다.



궁극적으로, DE 무기가 단기(5년 미만)/중기(10년 미만)의 신뢰할 만한 상쇄 후보 — 즉, 미국군이 어떤 적에 대해서도 전투우위를 유지할 수 있게 해주는 기술 — 가 되기 위해서는 국방부는 답이 먼저냐 달걀이 먼저냐 같은 난제를 해결해야 한다. 즉, 그 무기의 지속적인 ‘가능성’을 이용하기 위해 필요한 만큼 투자를 늘릴 것인지, 그리고 어떤 기술 분야에서 늘릴 것인지를 결정해야 한다. 그 시발점으로, DE 무기 분야를 강화하기 위해서는 과장된 기대, 기술적 미진함, 작전상 부적합성과 같은 그간의 문제들을 극복해야 한다. 그러나 현대 DE 무기는 주요 기술 분야에서 점차 더 많은 진보를 해왔고, DE의 가능성을 알아채기 시작한 작전 진영으로부터 지지를 얻어가고 있다. 그렇기 때문에 DE 무기는 주요 권역의 전투 도전 상황에 대해 적합한 비대칭적 전력승수가 될 수 있을 것이다. 지금은 한발 물러서서 상황을 주시하면서 현재의 예산 제한 상황과 새로 드러나는 국방력 우선순위, 변화하는 국제안보환경이라는 맥락 속에서 DE 무기에 대한 새로운 나아갈 길을 모색할 때이다.

II. DE 무기의 가능성

DE 무기가 가지는 가능성은 분명하다. 일반적으로 다음과 같다.

- 방어적/공격적인 비운동역학 공격 옵션을 가능케 한다. DE 체계는 준정밀 무기로, 비운동역학 형태의 종합적인 화력이다. 현대식 고에너지 레이저(HEL)와 고출력 극초단파(HPM) 체계는 방어임무 수행에 가장 적합하나, 장기적으로는 공격용 타격 임무로까지 확장하려는 바람도 있다. 궁극적으로 장거리의 고정 및 이동 목표물에 대한 신속, 정확한 지속적인 조준 및 타격 가능성은 고가치의 작전역량이다. DE 무기는 저살상부터 고살상까지, 그리고 일시적 불능부터 영구적 파괴까지, 맞춤형 효과를 낼 수 있는 가능성을 제공해 준다. DE 무기가 원거리 작전이 가능하고 눈에 띄지 않기 때문에 비밀작전 및 공개적 사용 모두에 유용할 수 있다.
- 비용 대비 효과적인 전력승수의 역할을 한다. 운동학적 무기체계와 마찬가지로, DE 무기도 방대한(그리고 아마도 비용이 많이 드는) 개발 및 인증 과정을 거친다. 그러나 일단 실전 배치되면, 운동학적 무기에 비해 대단히 유리하며 비용 대비 효과적이다. 체계당 단위 비용은 다를 수 있지만, 1~20달러 수준의 일반적인 발사당 비용을 보면 저렴한 무기에 속한다. 본 최신식 전자체계는 배치된 곳에서 장비 자체에서 충전이 가능하다. 이 때문에 교전당 여러 발을 쏘는 데 비용이 많이 들지 않고 민감한 목표물에 대해 신뢰할 만한 효과를 낸다. 운동학적 무기와 병행해 다층적 방어 역량으로 쓰이는 경우에는 DE 무기가 전체적으로 충분한 탄을 쏠 수 있고 플랫폼 생존성(platform survivability)을 향상시킬 수 있다.
- 운용 유연성을 제공한다. 서로 다른 유형의 DE 무기를 다양한 공중/지상/해상 그리고 어찌면 우주 기반 플랫폼에 포함시킬 수 있게 되면, 여러 전투 옵션을 가질 수 있게 된다. 형태에 따라서 DE 무기는 전진해 배치될 수도, 후방 지역에서 운영될 수도 있으며, 방어임무나 공격임무를 부여받을 수 있다. 일부 무기는 특정한 교전 내에 다양한 효과를 얻기 위해 여러 차례 조정될 수도 있다. 어떤 형태의 DE 무기는 기상상황이 순조로워야 하는가 하면, 어떤 형태는 전전후로 이용될 수 있다. 어떤

경우에는 DE 무기가 다중 임무 수행 잠재력이 있을 수도 있다. 즉, 무기이면서 또한 감시, 항법, 통신, 조준 및 기타 역량을 띤 형태일 수 있다.

미국 국방정책목표에 의거해 DE 무기의 개발과 배치는 막강한 전력승수의 역할을 할 수 있을 것이다. 원칙상, 이와 같은 역량은 미국의 전략적 억제력 및 국토방위태세를 강화시켜 미사일방어나 우주통제역량을 개선시킬 수 있다. 접근차단/지역거부 상황의 작전에서 DE 무기는 미국의 전력 투사 자산을 강화하고 적 공격으로부터 고정 시설 및 원정부대를 방어할 수 있다. 태평양 지역의 경우, DE 무기는 작전상 도전적인 다발공격(raid-density) 시나리오에 대비해 궁극적으로 육·해·공 역량을 강화할 수 있을 것이다. 적절한 DE 무기체계를 갖출 경우, 미국의 전력 투사 자산은 ‘거부’ 지역에서 보다 안정적으로 작전을 수행할 수 있게 되어 항공기, 전진배치 해군세력, 해당 권역 주둔 시설로 하여금 작전상 위협이 적은 상태에서 더 오랜 시간 동안 전투를 할 수 있게 할 것이다. 중동 지역에서는, DE 무기가 소형 보트, 무인항공기, 혹은 로켓/대포/박격포/미사일 공격에 맞서 병력을 더 잘 보호할 수 있게 해줄 것이다. 잘 개발될 경우 10년쯤 후면 이 무기는 적의 통합 방공체계 혹은 지휘, 통제, 통신 노드에 대한 유연한 비운동역학적 공격 옵션을 제공함으로써 잠재적으로 가치 있는 확전통제 옵션들이 될 수 있을 것이다. 또한, 주둔 병력을 지원해 강력한 공대지(air-to-ground) 타격 역할에 도움을 줄 가능성도 있다.

DE 무기 개발

여러 형태의 DE 무기들이 지난 반세기 동안 개발 혹은 제안되어 왔다. 지난 20년 동안, HEL, HPM 및 밀리미터파 기술이 국방부의 초미의 관심사였다. 아래 도표는 복잡한 기술 분야를 과도하게 단순화해 보여주는 하지만, DE 무기를 어떻게 바라봐야 할지에 대한 유용한 사고의 틀을 제시해 준다.

- 고에너지 레이저(HEL)는 1960년대 이래로 국방부의 DE 무기 개발의 주류에 해당되는 무기로서, 체계 파괴를 통한 일시적 센서 마비 등 다양한 효과의 가능성을 제시해준다. 전략적 미사일방어 목적으로 고안된 일부 화학레이저는 메가와트급 결과를 보이고 있다. 그러나 화학레이저와 관련된 대규모 소요 공간, 복잡한 물류, 다양한 기술적 과제들로 인해 결국 취소되기에 이르렀다. 현재 개발단계에 있는 메가와트급 체계는 자유전자 레이저(free-electron laser, FEL) 및 DPAL(diode-pumped alkali laser) 기술들이다. 주로 전술적 교전을 위해 고안된 고체 및 광섬유 레이저의 최근 개발품들은 전진배치용 플랫폼을 위한 저출력 체계를 선보이고 있다. 출력 확장, 빔 품질, 열관리 — 그리고 적절한 작전 플랫폼에 이용하기 위한 패키징 — 등과 같은 기술적 과제들에 효과적으로 대처하는 것이 이것의 향후 전망을 결정할 것이다.

- 고주파 무기는 원칙상 전자장비 대응용 무기이다. 'Starfish Prime' 및 기타 냉전시대 시험들은 전자장비에 대한 핵 EMP의 효과를 입증했고, 더욱 더 현대식 폭발적/전자적 방식의 고출력 극초단파 장비들은 비핵 EMP 효과를 나타낸다. 고출력 극초단파 무기는 비교적 단거리의 경우에 현대식 전자장비를 교란시키거나 심지어 파괴할 수 있을 만한 기가와트급 출력을 낼 수 있다고 입증되었다. 고주파 무기는 또한 군중 통제나 외곽 경계 같이 대인(對人) 용도로 밀리미터파를 사용할 수도 있다.



주: 이것이 다양한 레이저 및 고주파 무기들의 유효거리 및 출력을 일반화해 나타낸 것이긴 하지만, 어느 체계건 실제 성능은 사실상 체계마다, 상황마다 다를 수 있다. 레이저 및 고주파 무기 효력의 속성과 형태는 매우 다르다. 구체적 기상여건, 대기효과, 무기 사용 고도 및 기타 변수들도 체계의 실제 성능에 영향을 준다.

출처: 국방부 및 기타 공개된 정보를 토대로 저자 재작성.

각각의 경우, DE 무기는 기존 무기 기술을 보완하는 역할을 함으로써 비용 대비 효과적으로 발사탄 수를 늘리고, 전투 식별력을 향상시키며, 주요 위협에 대한 방어적 대응책을 가능케 하고, 전쟁지역 사령관들에게 적국의 비대칭적 역량에 맞서 효과적 작전을 펼칠 수 있도록 필요한 작전상 유연성을 부여해 준다.

이런 비전은 매력적이다. 이를 포함한 여러 가지 이유로 국방부는 1960년대 이후 공격 및 방어 임무용으로 다양한 DE 기술에 투자해 왔다. 저출력 레이저 같은 일부 기술은 이미 오래 전부터 통신, 항법, 거리측정, 목표물 지정 등의 용도로 사용되어 왔다. 더 어려운 것은 고에너지 레이저, 입자 빔, 고출력 극초단파, 밀리미터파 및 그 밖에 무기로 사용 가능한 고주파 기술을 개발하고 배치하는 일이었다. 지난 반세기 동안 상당한 연구



가 진행되었지만, 기술적으로 신뢰할 만하고, 작전상 사용 가능하며, 정책 관점에서 수용 가능한 DE 무기는 사실상 실현하기 어렵다고 입증되었다. 앞으로는 선별된 고출력 극초단파, 밀리미터파, 고에너지 레이저 체계가 단기/중기적으로 전망이 가장 크게 보인다.³⁾

3) 범위 주: 국방부가 물질대응 DE 무기 활용에 일차적 중점을 두고 있는 것과 맥을 같이 하여, 본 보고서는 최근 이루어진 지속적 고에너지 레이저 및 고출력 극초단파 개발에 초점을 맞추고 있다. 이 기술들이 대인(對人) 공격 기술이어서 ADS(Active Denial System) 같은 밀리미터파 기술은 일련의 미묘한 정책적 고려가 수반되며, 본 보고서에서는 상세히 논의되지 않았다. 그러나 군사용으로 개발된 성숙단계의 DE 무기로서는 필요한 경우 논의 대상에 포함시켰다. 저출력레이저 등 다른 관련 DE 기술들은 본 보고서의 범위에 들지 않는다. 마찬가지로, 전자레일건(electromagnetic railgun) 같은 비DE 전자무기 기술도 본 보고서의 범위에 포함되지 않는다.

III. 고주파 무기 및 전자기 효과



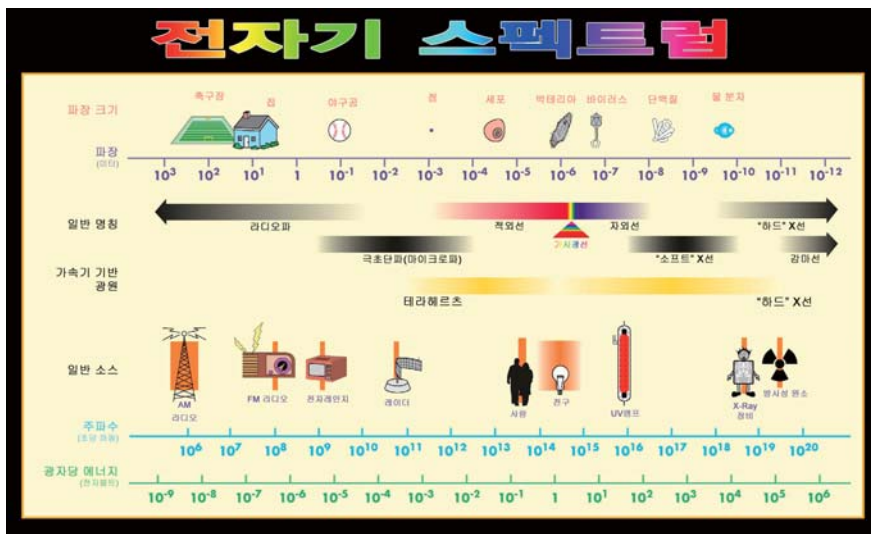
그림 1 1962년 'Starfish Prime' 핵 EMP 실험 장면 사진(미국 공군)

대전자장비 경고용

고주파무기(Radiofrequency weapons)는 “의도적으로 목표한 전자장비를 교란 혹은 파손시키기 위해 전자기 에너지를 만들어 방출하는 장비”이다. 일찍이 1960년대에 고공 핵 실험을 통해 전자기펄스(EMP)가 사정거리 내 전자체계에 영향을 미칠 수 있다는 가능성을 확인하였다. 1962년 7월, 'Starfish Prime'이라는, 1.4메가톤급 핵폭탄이 태평양의 존스 톤 섬 상공 400km 상공에서 폭발한 실험에서 하와이 — 1,400km 이상 떨어진 지역 — 에서는 가로등이 꺼지고 경보가 오작동 하였으며, 다른 전자 기반시설들이 영향을 받았고 지구 저궤도 상공의 위성 일부가 파손되었다. 같은 해 10월에는 소련이 실시한 카자흐스탄 실험장 상공의 다양한 고도에서 300킬로톤 급 폭탄을 폭발시키는 실험을 했으나, 실험 결과는 일관되게 영향을 주었다. 핵폭발은 570km 전화선로, 1,000km 전력선, 변압기, 발전기, 기타 기반시설 항목 및 하부체계 등 사정거리 내 전자체계에 피해를 입혔다.

두 경우 모두, 군 및 민간 시설에 미치는 핵 EMP 효과성으로 인해 새로운 군사과학적 전자기 공격 옵션은 물론 관련된 방어적 요구가 생기게 되었다. 1990년대에 접어들어서 안보분석가들이 전자기폭탄 혹은 기타 ‘전자적 대량살상’ 무기의 가능성을 공개적으로 타진했다. 어떤 이들은 고주파무기에 대해 “이미 말의 고삐는 풀렸다”며 관련 내용을 기정사실화했고, 그런 무기가 “만약의 문제가 아니라... ‘언제’ 나오느냐”의 문제라고 진단했다. 10년 후, 의회 차원의 미국에 대한 전자기펄스 공격 위협평가 위원회는 “EMP는 우리 사회를 심각한 위협에 빠뜨릴 수 있고 우리 군의 패배를 초래할지도 모르는 소수의 위협 중 하나”라고 경고했다.

전자기 스펙트럼



전자기 스펙트럼은 모든 종류의 전자기 방사선을 망라해 일컫는 말이다. 전자기 방사선 — 에너지, 파장, 혹은 주파수로 표현 가능 — 은 광자(photon)라고 하는 질량이 없는(mass-less) 입자의 연속적 흐름(stream)으로 표현할 수 있는데, 각각이 파장과 같은 패턴을 그리며 빛의 속도로 이동한다. 각각의 광자는 일정량의 에너지를 포함하고 있다. 각기 다른 종류의 방사선은 광자에 들어 있는 에너지량으로 정의된다. 라디오파는 낮은 에너지의 광자로 되어 있고, 극초단파는 라디오파보다 다소 많은 에너지를 가지고 있고, 적외선광자는 그보다 에너지가 더 많고, 그 외에 가시광선, 자외선, X선, 그리고 에너지가 가장 많은 감마선이 있다. 고에너지 레이저는 종종 스펙트럼 중 가시광선 영역이나 적외선 영역에서 작동하며, 고출력 극초단파는 스펙트럼 중 극초단파 영역에서 작동한다.

출처: 미 항공우주국, “Switchboard in the Sky,” Glenn Research Center에서 각색.

작전에 적합한 비핵 EMP 체계 탐구

고출력 극초단파 및 기타 고주파 기술에 대해 구체적으로 국방 관련 연구 내용은 일반 대중들에게 공개되지 않지만, 관련 활동의 대략적 윤곽을 가늠하는 것은 가능하다. 그 첫 단계로, 달그렌 해군수상전센터(Naval Surface Warfare Center Dahlgren)의 스투어트 모런(Stuart Moran)은 'Starfish Prime' 실험 이후 “군이 멀지 않아 적의 전자장비를 파손시킬 무기를 만들 목적으로 고출력 진동 전기장을 생성시킬 방안들을 고려하기 시작했다”고 전했다. 무엇보다 달그렌은 특수효과탄두(Special Effects Warhead) 사업을 진행했는데, 이를 통해 “단발성 하이피크 출력 EMP를 사용해 적의 레이더와 미사일 체계를 파손시키는 일”의 실현가능성을 타진하고자 했다.

그러나 공군연구소(Air Force Research Laboratory)에 따르면 1980년대까지는 “가용한 마이크로파 출력에 비해 손상개시한계(damage threshold)가 높았다.” 이후 기가와트급 출력이 가능한 마이크로파 원의 개발이 이루어지고, “앞선 장치들에 비해 훨씬 낮은 출력 수준에서도 교란/파손이 가능한” 마이크로 일렉트로닉스에 대해 군이 더 의존하게 되는 상황이 펼쳐지면서 판도가 바뀌었고, 공군연구원들은 고출력 극초단파를 발사하는 무기가 “미래의 전장에서 중요한 역할을 할 수도 있다”는 결론에 도달하게 되었다.

미국의 핵무기 연구소들은 원천 및 요소기술, 효과실험, 전자장비 경화 및 시연 사업 등 고출력 극초단파 체계 설계에 관한 각군 연구소들과 긴밀히 협력했다. 1990년대 중반, 국방장관실은 “고주파 무기 제조를 위한 기술이 나와 있다”고 인정했고 1995~2001년 기간에 걸친 연구 개발 시험 평가(RDT&E)를 위해 2억 8천 3백만 달러가 넘는 예산을 요구했다.

지난 10년 동안 과학계는 고출력 극초단파 기술 부문에서 주목할 만한 진척을 이루었다. 예를 들어, 마이크로파 발생원, 안테나설계, 그리고 작전에 적합한 크기/무게/출력 형상 구현에 대한 오랜 기술적 제약들이 개선되었다. 종합적으로 보면, 이러한 발전들은 HPM 체계가 차지하는 물리적 공간을 축소시키는 역할을 하였고, 이로써 잠재적 활용 플랫폼의 범위를 넓혀주었다. 또한 체계의 출력밀도(power density)를 높이고 유효거리를 늘려 체계의 작전상 효율을 개선시켰다. 또한 체계가 여러 주파수에서도 효과적으로

작동할 수 있도록 능력을 개선시키고, 개선된 성능을 가지고 여러 종류의 목표에 대해서도 사용할 수 있게 되었다. 종합하면, 이러한 개선들은 체계가 목표한 대전자장비에 대한 효과를 크게 향상시킬 가능성을 키운 것이다.



그림 2 대인(對人) 밀리미터파 능동거부체계(Active Denial System)(미국 공군)

전자기펄스 및 효과 “101”

전자기펄스(EMP)는 핵무기가 폭발하거나 비핵 EMP 무기를 사용할 때 만들어지는 전자기 방사선이 폭발적으로 방출되는 것을 말한다. 자연적으로 발생하는 태양날씨도 EMP와 유사한 효과를 나타낸다. EMP는 번개나 정전기 불꽃처럼 고주파일 수도 있고, 오로라의 한 현상처럼 저주파일 수도 있다. EMP는 발생원에 따라 나노초(nanosecond)보다 짧게 나타나기도 하고 24시간 이상 지속되기도 한다. EMP로 인해 초래되는 결과는 영구적인 물리적 손상부터 일시적 체계 장애까지 다양하며, 화재, 인체나 장비에 대한 전기쇼크, 심각한 서비스 중단사태 등을 초래할 수 있다. EMP는 대체로 다음과 같이 4가지로 분류된다.

- 고고도 핵 EMP(High-altitude nuclear EMP), 일반적으로 지상으로부터 15마일 이상 고도에서 핵폭발이 일어날 때 발생하며, 광범위한 지역에 영향을 미칠 가능성이 있다.
- 발원지 핵 EMP(Source region nuclear EMP), 핵무기가 대기권 내의 비교적 낮은 고도에서 폭발할 때 발생하며 보다 제한적인 지역에 영향을 미친다.

- 체계발생 핵 EMP(System-generated nuclear EMP), 대기권 상층부에서 핵무기가 폭발할 때 발생하며(지상 시설이 아닌) 우주 체계에 영향을 미치는 유해한 X선을 방출한다.
- 비핵 EMP(Non-nuclear EMP), 폭발 혹은 전기적 방식의 고주파 무기에 의해 발생하며 전자부품, 체계, 네트워크에 영향을 미친다.
- 공군연구소는 고주파체계에 의해 나타날 수 있는 전자적 영향을 4가지 주요 유형으로 분류하고 있다.
- 업셋(Upset)은 하나 이상의 노드에서 전기적 상태를 일시적으로 변경시켜 더 이상 정상 작동하지 못하게 하는 것이다. 정상 작동은 신호가 제거되고 나면 재개된다. (예. 재밍(jamming))
- 락업(Lockup)은 그에 준하는 업셋 효과를 나타내지만, 신호가 멈춘 후에 기능을 회복하기 위해서는 전기적 리셋이 필요하다. (예. 컴퓨터 리부팅)
- 래치업(Latch-up)은 더 강화된 형태의 락업으로, 노드에 전해지는 전력이 끊기거나 노드가 제대로 작동하지 않게 된다. (예. 단절 퓨즈)
- 번아웃(Burnout)은 노드가 물리적으로 파괴된 경우이다. (예. 녹은 회로판)

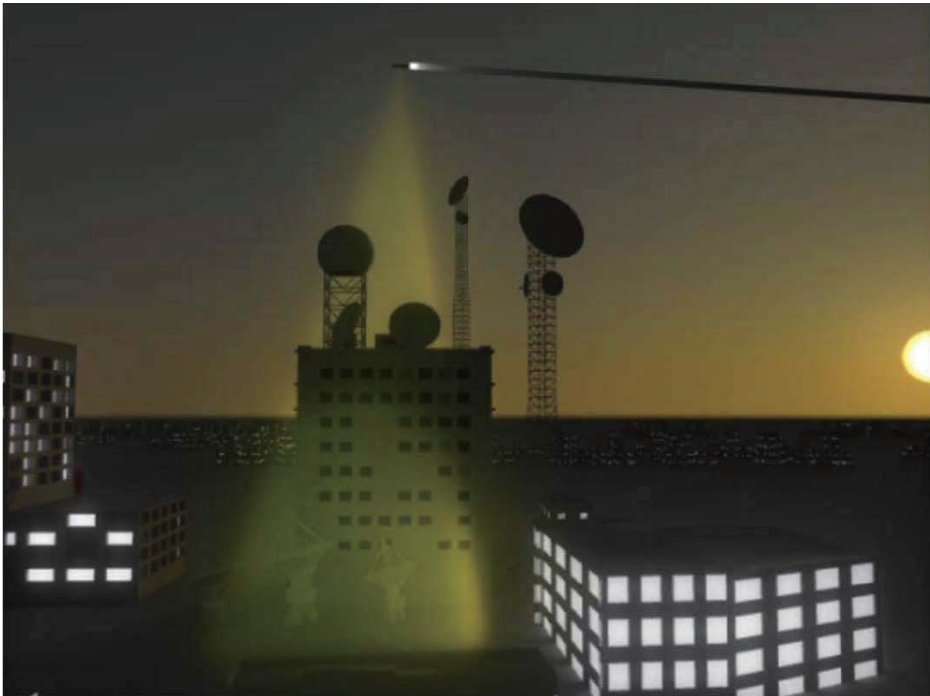


그림 3 대전자장비 고출력 극초단파 AMP(Advanced Missile Project)



일부 선별적 사업 데이터만 대중에게 제공되는 가운데 최소 4개 사업이 공개되었다. ADS(Active Denial System)라고 하는 비살상용 밀리미터파 대인(對人) 체계는 2010년에 아프가니스탄에 배치된 것으로 알려졌으나 사용되기 전에 철수되었다. 두 가지 지상기반 대전자장비 고출력 극초단파 체계, 즉, NIRF와 MAXPOWER는 개발되어 급조폭발물을 대상으로 실험이 이루어진 것으로 알려졌다. 최근에는, 대전자장비인 고출력 극초단파 AMP(CHAMP)라고 하는 고출력 극초단파 탑재체를 싣는 공중발사순항미사일이 2012년 10월 시험에서 여러 전자 목표물을 성공적으로 파괴한 것으로 알려졌다. 지난 수년 동안 탄약용이나, 차량/배를 몇개 하는 비살상 도구용, 그리고 그 밖에 잠재적 대전자장비 임무용 고출력 극초단파 무기가 제안되었다. 그와 동시에 분명한 것은 중국과 러시아의 안보위원회가 고출력 극초단파 및 기타 첨단 고주파무기체계를 적극적으로 모색하고 있다는 점이다.

IV. 고에너지 레이저 무기

고출력 극초단파 및 관련 고주파 기술과 비교해 고에너지 레이저 체계는 역사적으로 더 관심을 끌었다 — 일정 부분, 고에너지 레이저의 무기 가능성에 대한 인식 폭이 넓고 기술발전이 조기에 알려진 데 따른 결과이다. 사실, 1960년부터 1975년 사이에 최초의 루비레이저가 만들어졌다. 새로운 불화수소 1킬로와트급 레이저 체계가 시연되었고, 금방 100킬로와트로 상향되었으며, 합동 해군 고등연구기획청(Navy-Advanced Research Projects Agency)의 한 사업에서는 실험실 상황에서 250킬로와트의 화학레이저 체계를 시연했다. 1980년대 초반 무렵, 이러한 선구적 개발에서 드러난 급속한 발전은 안보공동체로 하여금 지상은 물론, 우주기반 탄도미사일 방어용 고에너지 레이저 무기 가능성을 적극 탐색하도록 자극했다. 이후 20년에 걸쳐, 방공 및 미사일방어 필요성이 고에너지 레이저 연구 개발의 주요 동력이 되었다. 중적외선 개량 화학레이저(Mid-Infrared Advanced Chemical Laser, MIRACL)를 통해 국방부는 메가와트급 화학레이저가 빠르게 움직이는(정면이 아니라 옆에서 오는) 목표물을 포착할 가능성이 있음을 증명했다. 냉전 종료 무렵 자금지원이 늘어났다가, 2000년 무렵 고에너지 레이저 연구 개발 자금지원이 4억 7천 5백만 달러로 정상화되었다 — 이는 고출력 극초단파 및 기타 DE 무기기술에 배정된 4,240만 달러보다 11배나 많은 액수이다.

당연히 이러한 발전 속도를 토대로, 국방장관실은 레이저가 21세기에 “미국의 국가안보이익을 뒷받침할 주요 무기기술 중 하나로 등극”할 가능성이 있다고 보았다. 2000년 발간된 보고서에서 국방부 관리들은 고에너지 레이저가 “오늘날 몇몇 가장 도전적인 공격/방어용 무기에 쓰일 준비”가 되어 있고 “가까운 미래에 적국 대비 비대칭적 기술 우위를 유지할 수 있는 가능성을 제시”한다고 주장했다. 국방과학위원회는 2001년에 국방부의 고에너지 레이저 활동을 별도로 검토하였고 마찬가지로 “고에너지 레이저는 향후 군사작전을 극적으로 바꿔놓을 잠재력을 지녔다”며 낙관적인 의견을 내놓았다. 위원회는 엄청난 과학적, 기술적, 공학적 과제를 극복해야 한다는 것을 인정하면서도 “고에너지 레이저 기술이 향후 20년에 걸쳐 여러 용도에 쓰일 수 있고 항공기, 우주선, 함선, 지상

용 자동차에 체계가 포함될 수 있을 수준까지 성숙했다"고 결론지었다. 두 단체 모두의 결론은 국방부가 다양한 방위임무에 실전 배치 가능한 레이저 무기체계를 개발하겠다는 목표 하에 개선된 역량의 고에너지 레이저 개발에 더 많은 자원을 투입해야 한다는 것이다.



그림 4 중적외선 개량화학레이저(Mid-Infrared Advanced Chemical Laser)

2000년 초 국방부 스타즈 도달 고에너지 레이저 투자

첫 지상에 기반한 시험은 종말단계 미사일 방어용의 고정형(fixed-site) 메가와트급 화학레이저 체계의 가능성을 시사했다. 그러나 국방부의 두 가지 대규모 고에너지 레이저 추진계획은 종말단계에서 미사일을 방어하는 대신 가치가 더 높은 것으로 생각되는 미사일 발사단계 요격 옵션인 공중발사 레이저(Airborne Laser)와 우주배치 레이저(Space-Based Laser)에 중점을 두었다.



그림 5 공중발사 레이저(Airborne Laser) 시험대(YAL-1) 비행기

공중발사 레이저 사업은 메가와트급 화학레이저를 747 항공기에 실어 20~40기를 배치할 계획이었고 2010년까지 최초 운용능력을 수행할 예정이었다. 기동이 가능하고 신속하게 대응할 수 있는 전역(戰域) 미사일방어체계로서의 공중발사 레이저의 1차적 역할 외에, 프로그램에 대한 작전 요구사항은 아래와 같이 보다 광범위한 임무들을 제안했다.

- 항공기에 대한 무선주파수, 전자광학, 적외선 및 음향 위협을 탐지 및 경고하고 그에 대한 대응책 개선
- 적의 방공(防空) 무력화
- 핵, 화학, 생물학 목표물 탐지 제공 및 오염회피 개선
- 공격적 우주통제력 제공⁴⁾

우주배치 레이저는 지구상 어느 곳에서나 발사되는 모든 발사단계의 미사일을 타격하고 파괴할 수 있는 우주 궤도형 무기로 구상되었다. 개발과정 초기에는 다음 주요 일정이 10년 이상 남아있었고 최초 운영능력 — 개발 추진 결정이 최종적으로 내려진다면 — 은 2020년 이후에 시연되는 장기적인 프로젝트였다. 우주배치 레이저는 2000~2005년

4) '상승단계'는 발사된 탄도미사일의 초기 비행특징을 지칭하며, '종말단계'는 비행의 마지막 단계를 지칭한다. 상승단계를 대상으로 설계한 미사일 방어체계는 원칙적으로 초기 교전 옵션을 제공하며, 종말단계 방어를 위해 설계한 미사일 방어체계는 최종단계 요격 가능성을 제공한다.

기간 동안의 연평균 예산이 약 1억 4천만 달러로 예상되어 규모가 큰 사업이었지만, 같은 기간 연평균 예산 1억 6천 5백만 달러 규모의 공중발사 레이저보다는 적었다. 이 두 사업을 합하면 국방부의 고에너지 RDT&E 활동의 2/3 이상을 차지했다.

도표로 보는 고에너지 레이저 무기의 치명적 효과

관심 목표물의 치사율을 추정하는 것은 과학이라기보다는 예술에 가깝다. 동력출력, 빔 품질 같은 변수들이 가장 중요하게 꼽힌다. 우선, 동력출력이 클수록 고에너지 레이저 무기가 치명적 효과를 나타낼 가능성이 커진다. 그러나 빔이 얼마나 치밀하게 모아질 수 있는지를 나타내는 빔 품질 역시 결정적으로 중요하다. 레이저의 경우, M^2 변수는 빔이 모아진 실제 점의 크기와 동일 파장에서 작동하는 이상적인(가우시안) 빔의 비율을 나타낸다. M^2 가 '1'이면 빔 품질이 완벽하다는 것을 나타내는 반면, 완벽하지 않은 실제 빔은 M^2 값이 1보다 크게 된다. 이것은 빔이 완벽한 가우시안보다 M^2 배만큼 더 빨리 확산된다는 것을 의미하며, 즉, 달리 말해 빔의 초점을 맞출 때, 점의 지름이 완벽한 가우시안의 지름보다 M^2 배 크다는 의미이다. 구체적 목표물의 민감도(susceptibility), 목표물까지의 거리, 대기(大氣) 상태, 잠재적 대응책, 특정 파장 및 추가 변수 같은 다른 고려사항들이 효과 확률(probability of effect) 계산을 한층 복잡하게 한다.

구체적인 추정치는 다르겠지만, 여러 종류 목표물에 대한 치사율의 전반적인 윤곽을 판단할 수 있는 충분한 데이터가 존재한다. 의회조사국이 발간한 아래 표는 이와 같은 다양한 치사율 추정치를 명료하게 보여주고 있다. 첨단 모델링 및 시뮬레이션 도구와 추가적인 경험적 실험을 하면, 고에너지 레이저 무기 효과에 대해 더 잘 이해하게 될 것이다.

표 1 킬로와트(kW)/메가와트(MW) 단위 빔 출력

SOURCE	킬로와트(kW)/메가와트(MW) 단위 빔 출력				
	~10 kW	수십 kW	~100 kW	수백 kW	MW
해군 브리핑 (2010)		UAV			
		소형 보트			
				미사일(500 kW부터)	
2차 해군 브리핑 (2010)		UAV, Ram, MANPADS에 대한 단거리 작전(50 kW - 100 kW; low BQ)		교차경로 비행하는 UAV, RAM, MANPADS, ASCM에 대한 장거리 작전 (> 100 kW, BQ of ~2)	초음속 고기동 ASCM, 천음속 공대지 마히일 및 탄도미사일에 대한 작전 (>1 MW)
업계 브리핑 (2010)		UAV 및 소형 보트 (50 kW)	RAM(100+ kW), 아음속 ASCM(300 kW), 유인항공기(500 kW)		초음속 ASCM 및 탄도미사일



SOURCE	킬로와트(kW)/메가와트(MW) 단위 빔 출력				
	~10 kW	수십 kW	~100 kW	수백 kW	MW
국방과학위원회 보고서 (2007)		1~2 km 거리의 지상 위협		지상 방공 및 미사일 방어, 그리고 5~10km 거리의 로켓, 포, 박격포 대응	5~20km 거리의 '전투군 방어' (1~3 MW)
노드롭그루먼 연구보고서 (2005)	단거리 소프트 UAV	항공기 및 순항미사일	장거리 소프트 UAV	장거리 항공기 및 순항미사일, 그리고 로켓포 (수백(~500)kW) 초근거리 탄도미사일에 대한 포탄 및 중점요격방법 (수백(500~)kW)	

약어: UAV = 무인항공기(Unmanned Aerial Vehicles)
 RAM = 로켓/야포/박격포(Rockets, Artillery, and Mortars)
 MANPADS = 휴대용 방공미사일(Man-Portable Air Defense System)
 ASCM = 대함순항미사일(Anti-Ship Cruise Missiles)

출처: Ronald O'Rourke, Navy Shipboard Lasers for Surface, Air, and Missile Defense: Background and Issues for Congress (Washington, D.C.: Congressional Research Service, August 12, 2010), pp. 34-35; on M2, http://en.wikipedia.org/wiki/M_squared 참조.*

국방부 전투용 전술 화학레이저 가망성 전망

국방부는 고에너지 레이저 체계를 개발하는 주 이유는 미사일방어이기 때문에 체계 개발을 통해 메가와트급 출력 — 즉, 그 정도로 어려운 목표물을 성공적으로 타격하기 위해 필요한 출력 수준 — 을 달성하고자 하였다. '조금 더 소프트한' 목표물을 대상으로 하는 방어 임무는 아마도 더 낮은 출력 체계로도 타격이 가능할 것이다. 그에 따라 HELSTAR(High-Energy Laser System-Tactical Army) 산하 사업 및 공군의 첨단 전술레이저(ATL)도 개발 중이었지만, 비교적 공을 많이 들이지는 않았다. 자원 우선순위가 조금 낮았지만, 낮은 출력의 전술레이저 기술은 상당한 기술적 발전을 이루었다.

주로 군의 전술적 고에너지인 HELSTAR 사업은 군의 전장 방위력을 향상시키기 위해

제안되었으며, 당장의 주안점은 로켓, 대포, 박격포 공격에 대응하는 것이었다. 공군 전술레이저 사업은 공대지 교전 시 정밀타격 역량을 달성하는 것을 목표로 했다. 비교적 우선순위가 낮고 장기에 걸친 개발 과제였지만 이들 임무에 계획된 작은 크기 플랫폼은 화학레이저가 차지하는 물리적 공간을 줄이고 고체레이저 체계를 더 고도화시키는 데 있어 한계를 극복할 수 있는 돌파구가 되었다. 대체로 전통식 고체레이저는 화학레이저에 수반되는 복잡한 문제들을 비껴가고, 작은 플랫폼에 맞게, 그리고 아마도 다양한 플랫폼에 맞게 모듈형 탑재체로 패키징이 가능하며, 체계 및 순기비용이 낮아질 가능성이 있다. 원칙적으로 이러한 기술적 진화는 고에너지 레이저 체계를 보다 다양한 플랫폼과 폭넓은 임무에서 활용할 수 있게 해줄 것이다.

다양한 군 사업이 있었기 때문에 분명 이러한 적합한 기술발전의 활용 방안에 대한 아이디어들은 넘쳐났다. 방위 당사자들은 이와 같은 레이저 체계를 C-130, V-22, F-22, CH-47 같은 전술적 항공/리프트 자산, 험비나 스트라이커 같은 차량, 어쩌면 해군 플랫폼에까지 배치하고자 했다. 외부 관측가들도 마찬가지로 낙관적이었다. 예를 들어, 노드롭그룹의 리처드 던(Richard Dunn)은 2005년에 “효과적인 레이저 무기가 이미 개발되어 시험이 이루어졌으며” 기술 개발 관점에서 볼 때 “작전용 레이저 무기가 바로 코앞에 와 있다”고 언급했다.

대형 실패 사례 이후 엄중한 평가

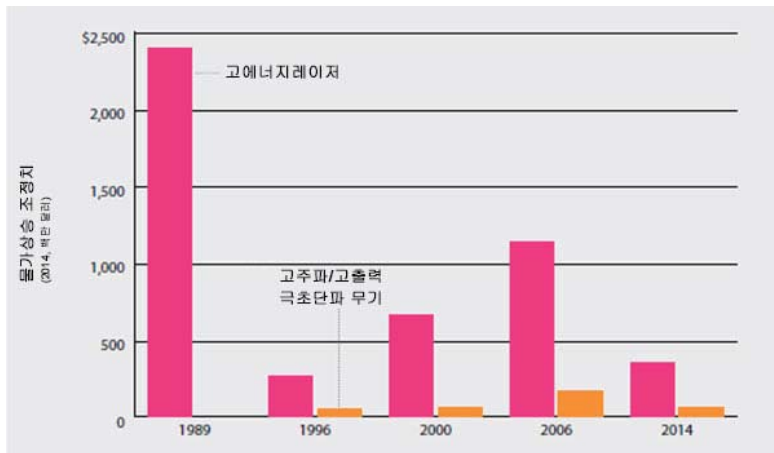
안타깝게도, 추진 중이던 다양한 전술적 화학레이저들이 여러 어려운 개발상 문제에 봉착했다. 그 분야에 대해서는 공중발사 및 우주배치 레이저 사업 등과 같은 국방부의 장기, 위험도가 높은 개발 활동들이 중대한 기술적 문제 및 비용이 증가하는 상황에 처했다. 동시에, 국방부 지휘부는 단기 운동학적 미사일 방어 옵션을 다시금 강조했고, 이로써 오랜 기간 추진해온 고에너지 레이저 개발에 대한 열의가 감소되었다. 무엇보다 이것은 국방부의 대표적 고에너지 레이저 사업, 즉, 우주배치 레이저, 그리고 추후에는 공중발사 레이저 사업의 중단으로 이어졌다.



그림 6 레이저 무기체계(미국 해군)

국방부의 역대 DE 무기 지출

국방부는 1960년대 초부터 DE 무기를 추진해 왔으며, 간혹 연간 주요 항목 지출에서 변동을 보이기도 했다. 아래 도표는 대중에 공개된 정보를 기반으로 정해진 주기별로 HEL과 고주파/HPM 기술에 대한 국방부 투자가 어떤 모습을 보였는지 간략히 보여주고 있다. 물가상승 조정치(2014년 달러 기준)로 볼 때, 국방부는 고에너지 레이저 무기에 대해 오늘날 2007년 대비 약 36% 수준 — 그리고 1989년 대비 15%보다 적은 수준 —의 지출을 하고 있다. 마찬가지로 국방부의 레이저에 대한 지출은 시간이 흐르면서 다른 DE 기술을 큰 폭으로 상회했다.



주: 대중에 공개된 국방부 정보를 기반으로 한 저자의 추정치. 1989년과 1996년 HEL 데이터는 추정치임. 1989년과 1996년 고주파 데이터는 공개되지 않았고 지출계획을 나타냄. 2000년과 2006년 HEL 및 고주파 추정치는 국방과학위원회 산출내역에서 도출됨. 2014년 HEL 및 고주파 추정치는 2015회계연도 RDT&E 예산자료에서 도출됨. 물가상승 조정 계산내역은 미국 노동통계국 제공.

출처: 국방부장관실*

*) 획득·기술담당 국방차관실, 1996회계연도 전자전계획; 국방부 국방과학국 고에너지 레이저 무기체계 적용 담당 태스크포스; 국방부장관실, 고에너지 레이저 집행부 검토패널 보고서; 국방부 레이저 종합계획; 지향성에너지 무기담당 국방부국방과학국 태스크포스; 온라인으로 이용 가능한 국방부장관실, 각군 및 국방부 기관의 다양한 예산자료.

이런 변화는 정통한 소식통에 따르면 ‘미실현된 약속의 역사’와 최소 1970년대까지 거슬러 올라가는 ‘과도한 낙관론’에 기초하여 경험적 기록을 지속시키는 것 같았다.

국방과학위원회는 2007년에 첨단 기술 수준을 평가하면서 국방부의 DE 활동에 대해 훨씬 더 비관적인 검토 의견을 제시했다.

[DE]가 획기적으로 ‘판도를 변화시킬 기술’로서 계속해서 가망성을 보이고 있다 ... 수년간 투자해 왔지만 현재 운영 가능한 고에너지 레이저 역량은 도출되지 않은 상태[이고 이와 같이] 진전이 없는 실망스러운 상황에서, 작전 군, 군 공급업자, 업계 측의 관심이 눈에 띄게 줄어들었다.

국방과학위원회는 여러 해 동안 개발이 이어졌지만 국방부가 아직 DE 무기체계를 하나도 실전 배치하지 못했으며, 2007년 시점에는 6년 전 검토 당시의 사업 수보다 줄어들었다고 밝혔다. 국방과학위원회는 또한 기술자/운영자 간 단절이 있음을 강조하며, 작전 수요가 우선적으로 DE 무기 개발을 지원할 때에만, 그리고 “지금의 나누어진 과학과 기술 프로젝트/사업들이 실전 배치체제로 이어지기 위한 R&D 사업을 집중할 때에만 고에너지 레이저나 고출력 극초단파 무기 실전 배치에 신속한 진전을 기대할 수 있다”고 언급했다. 위원회는 이와 같은 분석이 2001년 전망과 크게 대조적이라고 인정했는데, 그것은 레이저를 효과적인 무기체제로 개발하는 것이 ‘예측한 것보다 더 어렵다는 것’을 입증하게 되었다.

이와 같이 고에너지 레이저의 잠재력에 대한 한층 더 엄중한 평가는 자금 지출의 급격한 감소로 이어졌다. 2007회계연도에, 국방부는 고에너지 레이저에 9억 6천 1백만 달러를 지출했다. 그러나 4년 안에 해당 액수는 4억 1천 4백만 달러, 즉, 거의 57% 낮은 수준으로 떨어졌다.



그림 7 고출력레이저 이동식 실증기(HEL MD)



그림 8 이동식 지상발사 방공 DE 개념도

그리고 2014년까지는 17%가 더 줄어들어 약 3억 4천 4백만 달러가 되었다.

전술용 고체 및 결합 광섬유 레이저 성숙단계 도래

해당기간 동안에 메가와트급 레이저에 대한 국방부의 기대와 투자가 대폭 낮아졌지만 전술 레이저의 기술적 경지는 한층 높아졌다. 미사일방어국(MDA)의 DPAL(diode-pumped alkali laser) 기술이나 해군의 FEL(free-electron laser) 같은 일부 개발 노력이 계속해서 전통적인 메가와트급 출력 목표를 추구하고 있는 반면, 국방부의 대부분의 노력은 현재 10에서 100킬로와트 남짓의 저출력 수준에 집중되어 있다. 이런 출력 수준에서는 전술 레이저가 탄도미사일을 파괴할 정도의 출력은 갖지 못하겠지만, 드론이나 소형 보트와 같은 위협, 그리고 어쩌면, 일부 로켓, 포, 박격포 위협에 대해서는 효과가 입증될 수 있다.

설계 중인 레이저 종류도 바뀌었다. 오늘날은 고체 및 결합 섬유 방식에 중점을 두고 있고, 이 분야는 진척이 이루어지고 있다. 공군과 미국 국방고등연구기획국(DARPA)은 항공기 자체방어용 고에너지 액체레이저 방위체계(HELLADS)를 개발 중이며, B-1 폭격기 같은 플랫폼에서 시연할 예정이다. 육군과 해병대도 각각 이동식 고에너지 레이저 시험장비와 이동식 지상배치 방공 DE 체계 개발에 대한 노력을 이어가고 있다. 그리고 해군은 무인항공기와 소형 보트 등 소프트 목표물에 대한 해상 레이저 방어체계를 시연했다. 이러한 노력이 성숙단계에 접어들면서, 작전커뮤니티는 그 역량과 잠재적 임무 활용도에 점점 관심을 보이고 있다. 해군 정보 부차관실 내 역량 개념 담당 고위 관리자인 데이빗 스타우트(David Stoudt)는 고에너지 레이저 및 고출력 극초단파 기술에 대해 다시 불붙은 이러한 폭넓은 기대를 기술했다. 즉, 이 기술들은 작전을 위한 테스트 및 평가, 그리고 일부는 전장에서 작전에 사용될 단계까지 와 있다. 2000년대 초반 국방부가 내놓은 이전의 낙관적 추정과 달리, 이와 같은 주장들은 DE 무기가 언젠가는 등장할 것이라는 입증되지 않은 가능성에 근거한 것이 아니라, 곧 운용시험 및 실전 배치로 전환될 현재 성숙 중인 역량에 기반하고 있다.

고주파무기의 실제 사용

관계부처 합동 조직인 기술지원실무그룹(Technical Support Working Group)과 해군의 DE전국(Directed Energy Warfare Office)에 따르면, 고주파 무기는 의도적으로 목표한 전자장비를 교란 혹은 파손시킬 목적으로 전자기에너지를 만들고 방출하는 장치이다. 전자장비가 쓰이는 것이면 무엇이든 고주파 무기에 의해 잠재적으로 영향을 받을 수 있는 대상이 되는데, 이 무기는 전자장비를 파손시키고 심지어 내장된 고장안전(fail-safe) 메커니즘을 훼손하는 등 오작동을 일으킬 수 있다. 레이더 및 극초단파 통신송신기 등 중립적인 용도로 만들어진 일부 고주파 방출장치들이 고주파 무기로 사용될 수 있다.

오작동의 여파는 어떤 장비가 영향을 받았는지, 언제, 어떻게 영향을 받았는지, 어떤 기능을 수행하는 장비인지에 따라 달라진다. 해당 전자장비가 핵심 프로세스를 제어하는 역할을 한다면, 경제적 손실, 방어력 감소, 기반시설의 가동 중단 등으로 야기되는 그 여파는 심각할 수 있다. 과거에 고주파 무기는 안보체계의 제거, 감도행각, 경찰통신의 무력화, 화재 유발, 은행 컴퓨터 교란 등에 사용되었다. 예를 들면 다음과 같다.

- 네덜란드에서는 대출을 거부당한 한 개인이 현지 은행의 컴퓨터 네트워크를 교란시켰다. 그는 서류가방 크기의 고주파 무기를 제작했는데, 인터넷에서 제작 방법을 익혔다.
- 일본에서는 두 명의 야쿠자 일원이 숨겨 들어간 고에너지 고주파 총을 이용해 파친코 기계의 컴퓨터를 교란해 우승을 조작하는 방식으로 기계에서 돈을 훔쳐냈다.
- 러시아에서는 한 범인이 반복적인 고주파생성기로 경보체계를 해제시킨 뒤 보석가게를 털었다. 이것을 제작하는 것은 가정용 전자레인지로 조립하는 수준 정도로 복잡하지 않았다.
- 모스크바의 미국대사관을 상대로 경보 오작동을 일으키고, 민감구역 내 화재를 일으키는 등 고주파 무기가 별도 사건에 사용되었다.
- 고주파 무기로 사용 가능한 장치들은 의도치 않게 항공기 추락/준 추락 사태, 수송용 파이프 폭발, 대규모 가스 누출, 컴퓨터 손상, 의료장비 오작동, 심각한 브레이크 장애와 같은 자동차 오작동, 무기의 조기점화 및 폭발, 범람 위험을 초래하는 상수도 오작동 등을 일으켰다. 예를 들면 다음과 같다.
- 1992년에 레이더를 켜 상태로 파나마해협을 통과하던 미국 해군선박이 인근의 컴퓨터 체계들을 거의 망가뜨렸다.
- 1999년에 로빈슨 R44 뉴스진행 헬기가 고주파 방송용 안테나 옆을 비행하다 거의 추락할 뻔했다.
- 2001년에 워싱턴주 브레머턴 지역에서 항공모함 칼빈슨호 도착과 동시에 수천 대 차량의 스마트 원격개폐장치가 집단 교장을 일으켰다.
- 1980년대 후반, 네덜란드에서 지름 36인치 천연가스 수송파이프가 대규모로 폭발을 일으켰다. 해군 레이더에서 나온 고주파에너지가 감시제어 데이터수집(supervisory control and data acquisition, SCADA) 체계에 영향을 미쳐, 레이더스캔 주파수에 대규모로 가스흐름통제밸브가 열렸다 닫히도록 하였고, 그 결과 압력파가 수송용 파이프를 따라 이동하다 결국 파이프 폭발로 이어졌다.

출처: 기술지원 실무그룹 및 지향성에너지 기술실 합동 발간물, The Threat of Radio Frequency Weapons to Critical Infrastructure Facilities, August 2005에서 각색.

I V. DE 무기 위상 변화의 여파

완벽한 상황 조건하에서, DE 무기는 다음과 같은 특징을 갖는다.

- 고출력과 저출력이 모두 확장 가능하다.
- 폭넓은 주파수대에서 효과적으로 작동할 수 있다.
- 콤팩트하고 매우 효율적이어서 전력, 냉방 및 기타 체계 구성 요건을 최소화한다.
- 모듈형 설계로 되어 있어 다양한 플랫폼에서의 장착 및 작동이 가능하다.
- 훈련이나 특별한 취급을 거의 필요로 하지 않는다.
- 병참선(logistics tail)과 소모품 소요공간이 작다.
- 필요 시 가용하며, 신속하고 지속적인 작전 수행이 가능하다.

특정 고출력 극초단파 및 고에너지 레이저 요소와 활용기술이 상기 특징 중에서 다수를 충족할 수는 있지만, 이 특징 모두를 충족하는 통합체계는 아직 과학소설에나 나오는 얘기이다. 오랜 기간 동안 부풀려진 전망과 부실한 성과가 이어진 터라, 신생 DE 무기기술이 단기, 중기에 걸쳐 무엇을 제공할 수 있고, 또 제공할 수 없는지를 이해하는 것이 중요하다. 오랜 제작 단계를 거친 일부 DE 무기들은 마침내 향후 10년 내로 육군, 해군, 공군 체계에 포함될 수 있을 정도의 충분한 기술적, 운용 성숙도를 보이게 되었다. 과거 높은 사양의 개발단계 체계에 비해 출력 면에서 낮지만, 입증된 DE 무기 개발품은 주로 저위협 위협 대비 방어임무에 적합한 차세대 전투역량의 실전 배치를 가능케 한다.

현대식 고출력 극초단파 체계 단거리 비핵 EMP 타격 및 방어 옵션 구현

반세기 이상 전에 이루어진 ‘Starfish Prime’이란 핵실험은 핵발생 EMP가 전자체계에 미치는 영향에 대해 관심을 촉발시켰다. 좀 더 최근에는 EMP 위원회가 미국 영토 상공에서의 고공 핵폭발 위협에 촉각을 곤두세우고 있는 상황이다. 그러나 점차 역량을 갖춰

가고 있는 비핵 고출력 극초단파 체계가 전자체계와 방위 및 국토 핵심 기반시설에 점점 더 위협을 가하고 있는데, 이는 시장의 세계화로 ‘기술적 경쟁의 장이 공평’해지고 있는 상황에서 기인한다.

동시에, 전자장비에 대한 사회의 의존도와 핵심 기반시설의 상호의존도가 높아짐에 따라 전자 공격에 대한 취약성이 증대되고, 단일지점의 취약성을 넘어 장애의 연속적 파급효과 가능성이 생겨나고 있다. <IEEE Spectrum>의 객원편집자 로버트 샤레트(Robert Charette)는 “점점 더 많은 전자기적 소프트 디지털 장비가 상호연동성과 내부 상호의존성이 높아지는 디지털정보 인프라에 포함됨에 따라, 이 위협은 시간이 갈수록 누적적으로 커질 것”이라고 진단했다. 그리고 EMP 강화 옵션이 존재하지만 — 어떤 추정치에 따르면, 초기 설계에 포함될 경우 체계 비용의 1~3%가 더 소요된다고 함 — 현재까지는 방위나, 핵심 인프라 체계 혹은 성분 규격 어느 곳에도 일반적으로 이런 옵션이 포함된 바가 없다.

이런 관점에서 2014년 8월 국방부 정책을 통해 전자기 효과를 획득 순환주기 설계 기준으로 통제하도록 명시한 국방부 지침 3222.03은 향후 군사 플랫폼과 체계, 하부체계, 장비에 대한 취약성을 감소시킬 반가운 조치이다.

분명, 이와 같은 광범위한 취약성은 미국에만, 혹은 미국의 방위부문에만 국한된 것이 아니다. 사실 텍스트상자에서 설명하고 있는 것처럼, 미국이 현재까지 겪은 비핵 EMP 관련 사건들은 지방의 치안이나 국토안보 자산에 더 많은 관련이 있는 것들이었다. 그러나 지금까지의 기록을 보면 엄청난 전자 공격을 감행하기 위한 군사적 무기 역량이라기 보다는, 소규모 실험이나 취미용 과학에 관련된 것들이다. 분명, 대중문학에서는 테러리스트나 다른 분파주의자들이 ‘전자폭탄’을 손에 넣을 경우에 대한 공포 상황을 자주 다루고 있다. <Discover Magazine>의 제작편집인 마이클 에이브람스(Michael Abrams)는 ‘조약한’ 형태의 HPM 기술을 누구나 손쉽게 구할 수 있고, “기술적 소양이 있는 사람이면 누구든 자기 집 차고에서 단순한 전자폭탄을 제조할 수도 있을 것”이라고 내다봤다.⁵⁾ <Popular Mechanics>의 과학편집인 짐 윌슨(Jim Wilson)은 “테러리스트들은 400달러 정

5) 국방부 지침 3222.03는 전자기적 환경영향을 통제하기 위한 요구조건을 요구하고 있다. 여기에는 고출력 마이크로파 및 전자기적 펄스파의 영향을 완화하고, 군사적 플랫폼·체계·하부체계·장비 등의 획득수명주기 전반에 대해 시행하는 데 사용되는 요구조건이 포함된다. 국방부는 특정한 요구조건이 획득수명주기의 위험감소단계에서 개발되며, 생산 및 배치 이전에 완전히 설정되고 평가될 것으로 예상된다.

도만 가지고 문명을 200년 전으로 돌이킬 수 있을 전자폭탄을 제조할 수 있고,” “제3세계의 후원을 받는 테러의 시대에, 전자폭탄은 위대한 평형장치 역할을 한다”고 분석했다. 전 방위정책분석가 마이클 말루프(Michael Maloof)는 간단한 EMP 생성기 혹은 기타 고주파 무기에 관한 단계별 제조법을 소개하고 있다는 공개 인터넷소스 여러 곳을 확인했다.

비핵 EMP 생성 무기가 가능하고 국지적인 파괴 효과를 나타낼 수 있을 테지만, 이런 주장들 중 일부는 분명 과장된 것이다. 고출력 극초단파 무기가 전천후 작전 능력이 있다 하더라도 그 유효 거리는 물리 법칙(예. 빔 감쇠에 관한 법칙)으로 영향을 받을 수 있고, 유효성은 잠재적으로 차폐 혹은 기타 대응책에 의해 감소할 수 있으며, 현대식 체계에 대한 제한된 시험 데이터는 무기 치사율에 상당한 오류가 있을 수 있음을 시사한다. 또한 국방부 핵무기국 전 부국장 조지 울리치(George Ullrich)의 말처럼, 대중잡지는 두 가지 매우 상이한 위협 시나리오 — 즉, 핵폭발로 고공 EMP 위협과 보다 국지적인 비핵 EMP의 위협 — 를 융합해 “현대의 전자장치 기반 인프라에 대한 전자폭탄 공격의 여파를 터무니없이 과장”하는 경향이 있다.

그러나 기술의 진보를 외면할 수는 없다. 비핵 EMP 장치에 대한 기술적 기반이 수십 년 동안 존재해왔기 때문에, 울리치의 견해로는, “그런 장치를 제작하는 데 필요한 부품을 모두 상업적으로 구할 수 있다”거나 “실용적인 전기 방식의 EMP 장치 및 폭발 방식의 전자폭탄이 가능한 수준까지 펄스 파워 기술과 [HPM] 발생원이 성숙했다는 것이 놀라운 일은 아니다.” 사실, 정부가 관련 과학/기술 역량을 지속적으로 발전시키고 있지만, e2V 나 Diehl 같은 민간 기업들은 이미 치안 및 차량정지 같은 다른 용도로 고주파장치를 제공하고 있으며, 시간이 가면서 제품들을 개선하고 확대할 것으로 보인다. 따라서, 준 국가단체들이 제한적 전자기 효과를 지닌 상업적 HPM 장치를 제작 혹은 구매하는 일은 가능하다. 그러나 이것은 분명하다. 서구 문명이 400달러로 Fry's Electronics나 Best Buy와 같은 매장에 가서 물건을 살 수 있는 준 국가단체 불만세력 때문에 붕괴할 위험에 처해 있지는 않다.

군의 입장에서 보면, 수 기가와트 출력밀도가 가능한 신생 고출력 극초단파 기술은 신개념의 전력 방어 및 정밀타격 옵션을 제공해줄 수 있을 것이다. 과거 국방과학자들이 보통 폭탄 등의 형태요소로 HPM을 무기화하는 방법을 고려했다면, 공군의 CHAMP 같

은 신세대 역량은 개선된 원거리(stand-off) 타격 역량을 제공한다. 동시에, HPM 구현 기술은 진화했다. 이전의 폭발 방식 HPM 기술은 전통적으로 단일펄스, 고정파형 출력이 가능했고, 일부 목표물에 대해서는 효과를 낼 확률이 잠재적으로 낮았다. 조금 더 최신의 HPM 장치들은 전기 방식이며, 높은 반복률과 보다 민첩한 파형, 더 높은 출력을 보인다. 이것은 장치 크기를 줄이고 보다 다양한 목표물에 대해 무기 치사율을 크게 개선시킬 수 있는 가능성을 지닌다.

대표적 고에너지 레이저 체계

‘레이저’라는 용어는 ‘유도방출에 의한 광증폭(light amplification by stimulated emission of radiation)’이라는 의미를 담고 있다. 광자(photon)라고 하는 작은 에너지 꾸러미들로 구성되어 있는 빛은 일종의 전자기 복사이다. 레이저 장치는 특정 파장, 혹은 파장의 작은 집단에서 고에너지 빛을 만들어낸다. 에너지의 양이 바로 파장을 결정한다. 레이저는 보통 적외선(1mm~750nm)이나 가시광선(750~400nm)이다.

레이저는 가는 광선을 방출하고, 이는 점차 시간이 지나면서 회절하거나 확산된다. 어떤 전자기 복사 빔이든 그 회절 정도는 파장과 개구(aperture) 크기에 따라 달라진다. 파장이 비교적 작기 때문에, 같은 개구 크기에서 레이저는 극초단파보다 1만 배 적게 회절한다. 이것은 빔이 목표물 상의 집중된 에너지가 모이는 면적의 크기를 작게 유지하면서 더 먼 거리를 갈 수 있게 해 준다.

일반적으로, 레이저 무기는 적을 상대로 사용되는 50킬로와트 이상부터 메가와트까지의 전력 — 상업용 레이저보다 훨씬 강한 출력 — 을 가진 레이저면 모두 해당된다. 여러 장비 기술들로 인해 매우 다양한 출력 수준과 빔 품질이 도출될 것이다.

HEL 무기체계를 제작하는 것은 단순히 특정 출력 수준을 지닌 레이저 장치를 제공하는 것 이상의 일이다. 여기에는 광집속장치에서 레이저빔이 목표물에 치명적 조사강도(fluence)를 전달할 수 있는 수준의 레이저 출력을 얻도록 할 방법도 필요하다(조사강도는 레이저가 목표물에 조사한 단위면적당 에너지를 말한다). 레이저 에너지는 효율적으로 목표물에 연결되어야 하고, 속도의존적이며, 목표물별로 다른 일부 실패 기준(failure threshold)을 초과해야 한다. HEL 무기체계에 보통 포함되는 요소에는 레이저장치, ‘로컬루프(local loop)’나 빔 전송체계, 빔이 목표물에 충격을 전달할 수 있도록 해 주는 ‘타깃루프(target loop)’, 전파단계(propagation stage), 목표물 커플링 및 레이저와 관련된 치사성 메커니즘 등이 있다.

지난 반 세기에 걸쳐, 국방부는 다양한 임무 용도의 광범위한 고에너지 레이저 무기 기술에 투자해왔다. 여러 종류의 레이저가 있지만, 지난 몇 년간 국방부가 가장 관심을 가진 종류는 다음과 같다.

- 공중발사레이저나 중적외선 개량 화학레이저(MIRACL) 같은 레이저는 메가와트급 동력 출력을 낼 수 있음이 입증되었다. 2000년대 초 각 군에서 개발 사업을 진행하고 있었고, 목표는 공대공, 공대지, 미사일방어 등의 용도였다. 그러나 이들은 작은 플랫폼에 맞도록 공간을 줄이는 문제, 복잡한 병참 관리 및 유독물질 취급 문제, 그리고 예상치 못한 기술적 난제로 인한 비용 증가 해소 등 중대한 문제에 봉착하였다. 1990년대부터 2000년대까지 추진된 화학레이저 사업은 모두 취소되었다.
- 고체레이저는 전기 방식이다. 이 레이저의 동력 출력은 화학레이저보다는 낮지만, 복잡한 병참문제 및 화

학레이저 취급에 따른 문제는 대부분 벗어날 수 있다. 고체 체계는 보통 모듈형으로 확장 가능하다. 국방부의 관심 대상인 결합 섬유 체계는 몇 가지 레이저를 하나로 연결해 100킬로와트가 넘는 출력밀도를 달성해 전투용으로 쓰이는 것을 목표로 하고 있다. 아직까지는 이런 기술이 작전상 적합한 크기, 무게, 출력 형상 측면에서 얼마나 확장 가능한지 분명하지 않지만, 수백(~500) 킬로와트는 가능할 것으로 보인다. 아직 입증되지는 않았지만, DPAL 같은 일부 고체 체계는 궁극적으로 전술적 플랫폼에서 메가와트급 수준을 달성할 수 있을 것이다.

- FEL은 고에너지 입자가속기를 선박/전함 방어용으로 개조하고자 한다. 아직 입증되지는 않았지만, 이 종류의 레이저는 궁극적으로 메가와트급 수준을 달성할 수 있을 것이다.

대표 임무	예상 효과	필요 출력 (kW)	대표적 체계	레이저 종류	주요 고려사항
기동장치 대응용 (무인항공기, 소형보트)	불능화/파괴	10s	레이저 무기체계 (해군)	고체/섬유	개발단계 (100kW+ 목표)
대 로켓, 포, 박격포	파괴	10s-Low 100s	HELLADS (DARPA/공군)	고체	개발단계 (150kW 목표)
			HELSTAR (육군)	화학	사업 취소
항공기 자체 방어	불능화	1-10s	DIRCM(공군)	고체	구매 사업
공대공 교전	파괴	Low/Mid-100s	전술적 HEL 전투기(공군)	화학	사업 취소
공대지 정밀 타격	파괴	Low/Mid-100s	ATL(합동)	화학	사업 취소
			Excalibur (DARPA)	고체/섬유	개발단계 (100kW 목표)
방공 및 미사일 방어	파괴	Mid-100s- 1000s	공중발사 레이저 (MDA/공군)	화학	사업 취소
			DPAL(MDA)	고체	개발단계 (1MW+ 목표)
			FEL(해군)	자유전자	개발단계 (1MW+ 목표)
우주 통제	불능화/파괴	다양함	지상발사 레이저(공군)	화학	사업 취소

출처: Melissa Olson, "History of Laser Weapon Research," *Leading Edge*, 7 no. 4 (n.d.), 26-35; and Office of the Secretary of Defense, Report of the High Energy Laser Executive Review Panel: Department of Defense Laser Master Plan, DOD/S&T/00-001 (March 24, 2000) 등에서 각색. 표는 일반에 공개된 데이터를 기초로 저자가 작성함.*

이러한 개발로 비핵 EMP 생성 기술의 전투현장 실전 배치를 위한 장이 마련되었다. 이 기술들이 'Starfish Prime'에서와 같은 장거리 효과를 얻지는 못했지만, 지금까지 시연된 체계를 상당히 개선시킬 뿐만 아니라 작전상 적합한 HPM 역량을 전투현장에 배치할 수

있도록 해 줄 기술적 진보이다.

접근차단/지역거부 작전의 경우, 적의 영공에 침투해 통합 방공, 지휘통제 혹은 기타 전자체계를 상대로 맞춤형 효과를 발휘할 수 있는 것은 매우 가치 있는 역량이다. 일단 실전에 배치되면, 이런 역량은 치열한 작전 환경에서 군의 병력 파견 능력에 핵심적인 부분이 될 것이다. 어떤 상황에서는 사령관들에게 공격 옵션을 제공함으로써 확전통제에 사용될 수도 있을 것이다. 어떤 측면에서는 적의 핵심 체계에 대한 HPM의 공격 잠재력으로 인해 접근 문제가 뒤집힐 수도 있다. 상승효과를 위한 결합형 운동역학/무형의 전구작전(theater warfighting) 개념에 적절히 통합된다면, 그런 역량은 중국이 주창한 ‘암살자의 철퇴(Assassin's Mace)’ 개념의 미국식 버전에서 쓸만한 도구가 되어줄 수 있을 것이다. 동시에, 고출력 극초단파 체계의 국지방위 목적 효용 기능성은 이 체계가 다양한 전술 시나리오에서 중요성을 갖는다는 점을 잘 드러내준다.

신형 고에너지 레이저 무기 제한적 방위 옵션 구현

기술적 성숙도를 갖춘 새로운 고에너지 레이저 무기들은 방어 용도에 가장 적합하다. 출력 수준을 높이면 효과적인 타격 무기가 될 수도 있다. 국방부 관계자들의 관심이 고조되고 있는 고체 및 섬유결합 레이저 체계는 과거의 화학레이저에 비해 출력은 제한적이지만, 로켓, 포, 박격포 및 소형 보트나 무인항공기 같은 소프트 표적으로부터 원정 혹은 이동식 육군/해군/공군 자산을 국지 방어하는 데 있어서는 잠재적 효용이 더 높다. 사실, 고에너지 레이저 무기기술의 진화가 미친 더 두드러진 영향은 지난 10~15년에 걸쳐 무기 개발의 목표가 극명하게 재정의되었다는 점이다. 국방부 지도자들이 1980년대부터 2000년대 초까지 전략적 미사일 방어용으로 고에너지 레이저 무기에 큰 관심을 보였다면, 오늘날 메가와트급 체계는 관심에서 밀려났다. 이런 임무를 위해서는 기술적으로 어려운 요구사항을 충족시켜야 하기 때문에 비용이 많이 소요되고, 상당한 기술적 발전을 이루기는 했지만 당시의 기술은 대체적으로 해당 임무에 충분한 수준이 아닌 것으로 확인되었다. 메가와트급 출력을 달성하는 일은 여전히 원대한 목표이나, 이 목표의

달성 가능성이 가장 높은 기술 — 화학레이저, DPAL, FEL — 에 대한 국가적 노력이 축소된 것은 사업의 주안점이 달라졌다는 것과 임무 우선순위가 바뀌었다는 것을 의미한다. 이는 또한 예산에 대한 제약이 극심하기 때문에 장기적이고 위험도가 높은 개발을 수행하고 유지하는 일이 어렵다는 것을 암시하기도 한다.

동시에, 국방부의 킬로와트급 레이저 무기 개발은 상대적 중요도가 높아졌다. 예상되는 속도, 거리, 유연성, 정밀도 특징 덕에 DE 무기는 공군이 향후 30년 동안 추진할 5가지 전략적 기술 분야 중 하나가 되었다. 특히, 연구 활동은 주로 항공기 자체방어를 목적으로 하는, 약 10~15킬로와트급 레이저 체계를 우선순위로 하고 있다. 해군은 2025년이면 전자기 기동전이 전투의 주된 방식이 될 것으로 내다봤다. 해군의 궁극적인 목표는 탄도미사일 대비 FEL, 항공모함전투군(CBG) 방어를 개발하는 것이지만, 현재의 노력은 조금 더 성숙한 저출력 체계에 집중되고 있다. 약 33킬로와트급 광섬유 레이저 체계인 레이저 무기체계(LaWS)가 2014년 11월에 수송상륙함 USS Ponce에 탑재되어 실험이 이루어졌고, 해군은 계속해서 후속 기술성숙화 노력을 기울이고 있다.

이 시제품과 고체 해상레이저시험기(MLD) 시제품은 주로 무인항공기 대응, 해상선박 대응, 관련 전투식별 및 병력 보호용으로 고안되었다. 의회조사국 론 오루르크(Ron O'Rourke) 분석관은 해군 수상선에 고에너지 레이저를 장착하게 되면 궁극적으로 “해군의 기술력에 1950년대 함정용 미사일의 등장에 버금가는 변화 — 판도를 바꿀 변화 — 를 가져올 수 있다”고 내다보았다.

지상군 용도와 관련해 육군은 DE 무기가 적의 장비나 역량을 무력화, 손상, 파괴시킬 수 있는 잠재력을 가지고 있다고 보고 있다. 획득군수 기술 차관보 하이디 슈(Heidi Shyu)가 전반적인 육군 현대화 ‘죽음의 소용돌이(death spiral)’에 대해 우려하고 있지만, 육군의 고에너지 레이저 개발 노력은 지속 중이며, 육군측 과학자들은 전자장이나 안테나 같은 분야에 계속해서 관여하고 있다. 육군과 해병대의 경우 모두 장기적 고에너지 레이저 개발 옵션은 로켓, 야포, 박격포 대응 방어력 — 전진배치 혹은 기동병력에 대한 동시공격에 대비해 유용할 것으로 보이는 방어 역량 — 을 개선하기 위한 것이다.

한편, 다소 규모는 줄어들었지만, 장차 메가와트급 레이저 확보를 위한 연구가 계속 진행 중이다. DARPA나 미사일방어국 같은 방위 조직들은 빔결합 광섬유 레이저와 고효율/확장가능 DPAL 기술과 관련된 작업을 계속해서 추진 중이다. 링컨연구소와 로렌스

리버모어 국립연구소가 진행한 최근 연구는 광섬유 레이저 체계의 출력을 크게 늘려 수백 킬로와트 체계의 가능성을 열 수도 있다고 시사했다. 리버모어 연구소의 빌 크롭케(Bill Krupke) 전 부국장보에 따르면, 고출력레이저 다이오드의 지속적 개발은 “덩치가 큰 고체레이저의 효율, 출력, 소형화(compactness)를 크게 개선시키고” 더불어 장기적으로 메가와트급 잠재력 가능성을 제시한다.

동시에, 현재 진행 중인 기술 개발의 한계를 확인하는 것이 중요하다. 레이저 무기는 표적까지의 가시선(line-of-sight)(혹은 보다 정교한 중계거울(relay mirror) 개념)을 필요로 한다. 이 무기의 장거리 유효성은 빔 전파(beam propagation)와 광학추적 관련 문제로 인해 약화될 수 있다. 작동은 열관리 및 취급 주의사항으로 제약을 받을 수 있다. 그리고 치사율은 환경적 요인과 상대측 대응으로 저하될 수 있다. 개발 진행 중인 고에너지 레이저 무기는 현 상태로는 성격상 주로 방어용이다. 일부 예외 가능성이 있지만, 이 무기는 찬성론자들이 제안했던 공대공, 지대지, 혹은 공대지 교전을 지원할 효과적 공격옵션 역할에 필요한 출력을 아직 갖추지 못했다. 또한 탄도미사일이나 초음속 순항미사일 같은 가장 위험한 형태의 일부 새로운 위협에 효과적으로 대응할 준비가 되어있지도 못하다. 텍스트상자에서 시사하는 것처럼, 그와 같이 빠르게 움직이는 목표물을 맞히기 위해서는 고품질의 빔과 상당히 개선된 출력이 요구된다. 고체 혹은 결합 섬유 체계가 결국 수백 킬로와트 출력밀도를 달성하게 되면, 이 분야에 다소의 역량을 제공할 수 있게 될 것이다. 원하는 효과 달성에 필요한 출력 수준을 보다 정확히 가늠하기 위해서는 대표적 관심 목표물을 상대로 추가 민감도(susceptibility) 테스트가 필요하다. 결국, 보다 효과적인 해결책은 어려운 탄도미사일 및 초음속 순항미사일 대응 임무를 위한 메가와트급 체계의 개발을 앞당기는 것이 될 것이다.

성공적 시연 활동이나 예기치 않은 기술적 돌파구에도 불구하고, (2014회계연도 현재) 개발 중인 DE를 이행시킬 확실한 사업에 대한 기록이 없다.

설령 있다 해도, 고체 및 광섬유 레이저의 출력확장 잠재력이 33킬로와트 LaWS로 증가한다거나, 105킬로와트 MLD가 작전상 더 의미 있는 300킬로와트 (혹은 그보다 높은) 체계로 증가할 가능성은 아직 확실치 않다. 분명, 해군은 USS Ponce 시연 및 병행 실시된 수년간의 고체레이저의 기술성숙화 개발 노력이 모두 성공함에 따라 “장차 획득 사업

으로 이어져 우리가 전 함대에 걸쳐 이 역량을 제공할 수 있게 해줄 것"이라고 시사했다. 그러나 현재의 재정 환경으로 인해 새로운 DE 무기 사업에 대한 자금지원이 쉽지 않을 전망이다. 이는 기술적 성공을 거두더라도 국방부가 이를 신속히 활용하거나, 서둘러 추가 개발을 추진하거나, 혹은 신속히 획득 사업으로 이행할 수 있는 입장이 아니라는 의미이다.

모든 것을 감안할 때, 적절한 작전 환경에서 시연된 킬로와트급 체계로의 단기적 전환은 DE 무기 개발에 긍정적이다. 그러나 현재의 자원 상황에서 예상되는 기술 개발 일정을 고려해 볼 때, 그것이 단기간에 운용 배치 가능한 무기체계로 이어질 가능성은 없어 보인다. 이와 같은 현 세대 체계의 예상 임무 중 다수는 이미 나와 있는 운동역학(탄약) 대안으로 지원이 가능하다. 대부분 이 체계들이 현재 고유한 전투 역량을 제공하고 있지는 않다. 대신, 일단 실전에 배치되면, 이 시제품 DE 무기들은 전력승수(force multiplier)의 역할을 하여 사격시간을 증가시키고 교전 거리를 확대시키며 전투식별능력을 개선시킬 것이다. 같은 관점에서, 만약 이 무기들의 부가가치가 개발 및 통합 비용을 정당화하기에 충분하지 않다면, 성공적 시연이 공식적인 획득 사업으로 이어지지 않을 수 있다. 게다가, 현재의 개발단계 체계들은 보다 강도 높은(수백 킬로와트) 임무에 준비되어있지 않고 성과에 대한 과장된 기대를 받고 있다는 점에서 내재적 위험을 가지고 있다. 비살상무기인 밀리미터파 능동방어체계(Active Denial System, ADS)(성공적으로 실전 배치되지 않음)와 적외선지향성 기만장치(DIRCM)(성공적으로 실전 배치됨)에 대한 최근 경험은 기술 채택 가능성을 반박할 수 있는 예에 해당한다. 적어도, 이 경험들은 막 태동한 DE 무기기술이 충분히 성숙해지기 위해서 상당한 잠재적인 사회적, 정책적, 혹은 운영적 장벽을 극복해야 한다는 점을 강조한다.

하지만, 이와 같은 저출력 무기는 축소된 임무용으로는 적합해 보인다. 이들 무기의 채택은 DE 무기 요건에 대한 과학계와 작전커뮤니티 간의 오랜 입장 차이를 좁혀줄 수 있을 것이다. 저출력 무기는 빔 통제나 추적 같은 분야에서의 괄목할 만한 기술 발전을 제대로 활용할 수 있을 것이다. 어쩌면 가장 중요한 점은, 이 무기들이 작전용 DE 무기에 손쉬운 승리를 제공할 수도 있다는 것이다. 그로써, 보다 폭넓게 DE 무기기술의 현대식 르네상스를 열게 될 것이다.

Ⅵ. 결과 및 제안사항

20년 전 공군과학자문위원회는 이 시기쯤이면 고출력 극초단파와 고에너지 레이저 무기 모두 미래의 공중 플랫폼 어디에나 장착될 것이라고 내다봤다. 그 이후 발전 양상은 일관되지 않았다. 이전의 대규모 꺾직한 사업들이 취소된 이후 국방부의 DE 무기 개발이 무산 위기에서는 벗어났는지 모르지만, 현재 국방부 전체의 목록을 보면 일관된 ‘사업’이라기보다는 ‘프로젝트들’이 기이하게 혼재된 양상이다.

궁극적으로, DE 무기가 국방부의 새로운 상쇄 정책의 주요 후보가 되기 위해서는 국방부는 개발에 진지하게 임해야 한다. 국방부는 지난 수년간 고출력 극초단파 및 고에너지 레이저 모두에서 상당한 기술적 발전을 이루었고, 기술의 경지로 볼 때 주요 분야에서 개발 가속화가 가능할 것으로 보인다. 그러나 현재 진행 상황으로 볼 때, 온전한 규모의 기술과 구성요소 기술에 대해 진행되고 있는 개발과 예상되는 개발 활동이 향후 몇 년 안에 작전상 적절한 DE 무기체계의 실전 배치로 이어질 가능성은 낮아 보인다. 오래 전부터 이어져온 DE 무기에 대한 가능성은 여전히 유효하지만, 반드시 성공한다는 보장은 아무것도 없다. 또한, 현재의 발전 상황이 미국의 전투력을 증강시킬 일련의 전투용 무기들로 연계되더라도, 아직까지 판도를 바꿀 위력을 가지지는 못했다. 현재의 개발을 발판 삼아 발전시켜 나가는 것이 가능하지만, 만약 DE 무기체계가 신뢰할 만한 단기/중기적 전력승수로서의 역할에 충실하기 위해서 필요하다면 지금은 중간단계의 궤도 수정이 필요한 때이다. 국방부 고위 지도부는 짜임새 있는 상호보완적 8단계 접근법에 따라 DE 무기 개발을 추진해야 한다. 각각의 아이템은 그 자체로도 유용하나, 한데 모였을 때 현대식 DE 무기 개발에 대한 새로운 정성적 접근의 기초를 제공한다.

1. DE 무기에 대한 국방부 차원의 전략적 계획 수립 및 전파

여러 해 동안, 방위커뮤니티와 과학계는 DE 무기체계의 다양한 공격 및 방어 역할들을 고려해 왔다. 그러나 그런 역할들은 성격상 향후 역량에 연동한 — 즉, 만약 해당 무기체계가 실제로 개발된다는 전제하에서의 — ‘예상치’였다. 오늘날 일부 고에너지 레이저, 고출력 극초단파, 밀리미터파 기술이 운용 성숙단계에 다다른 것으로 보이는 상황에서, 현재의 방위 태세에서 DE 무기가 어떤 역할을 할지는 불분명하다. 장기적으로 기술의 경지가 더 높아지리라 예상되는 향후 시점의 역할에 대해서도 확실치 않기는 마찬가지이다. 이와 같은 전반적인 전략적 비전의 부재는 일부 경우 분명 예외가 있다. 예를 들어, 최근 해군이 DE 로드맵을 개발했고 — 아직 공개하지는 않음 — 공군과 육군연구소 모두 주기적으로 수년에 걸친 연구 계획을 발표한다. 그러나 무기가 효과적으로 현장으로 배치되려면, 그리고 ‘국제 공유지에서의 접근 및 기동작전을 위한 합동 개념(Joint Concept for Access and Maneuver in the Global Commons)’과 같은 접근법들이 근본적으로 공동의 성격을 띠려면, 국방부가 DE 개발에 대한 전군 통합 접근법을 마련하고 공표해야 한다. 국방부는 또한 DE 개발이 국방부의 우선적 임무 지원과 관련된 작전지휘 역량 격차를 효과적으로 해소할 수 있도록 노력해야 한다.

이런 관점에서 2000년 국방부가 개발한 고에너지 레이저 마스터플랜이 행동의 합리적인 출발점이 될 수 있을 것이다. 이 계획은 법령에 의해 전군과 국방장관실을 아우르는 기대수준 조율 장치로서의 역할과 후속 연도 개발을 위한 계획수립 촉매로서의 역할을 수행한다. 이 문서가 만들어진 이후 15년 동안 많은 것이 달라졌다. 이제는 새로운 시기가 필요한 때이다. 새로운 계획은 DE 무기 계획 전체를 담고 있어야 하고 적절한 합동 DE 무기 개발 전략 및 군별 작전 개념, 해당 전구(戰區) 계획에 대한 실행방침 개발을 지원해야 한다.

2. 국방부 DE 무기 담당자 권한 및 책임 부여

국방부 장관은 국방부 내에 DE 무기 담당자를 지정해야 한다. 일단, 대부분의 DE 무기 활동이 성격상 개발 활동이었기 때문에 과거에는 국방부 연구기술국장(DDR&E)이 그 역할을 맡았다. 이 비공식적 역할을 위해 연구기술국장(현재는 국방부 연구기술차관보)은 DE 무기 개발에 크게 관여하고 있는 기관들을 감독하고, 예산을 지원하거나, 그 밖의 방식으로 긴밀하게 공조했다. 예를 들어, 국방부의 2007년 연구기술 전략에는 DE 역량 격차, 연구 우선순위, 임무 적용이 적시되어 있었다.

오늘날, 국방부는 DE 분야에서 일관된 집중력을 잃었다. 국방부의 2014년 연구기술 전략은 DE 무기를 강조하지 않고, 다만 전자전과 장거리 타격역량의 필요성을 강조하고 있다. 고에너지 레이저 공동기술청(HEL-JTO) 같은 기관들이 지속적으로 군 공통의 기술적 요구를 다루고 있으나, 이와 유사한 국방부 차원의 고출력 극초단파 관련 합동 조직은 없는 상태이다. 그리고 합동 기술 개발의 장점이 분명 있기는 하지만, 합동 사업청이 있다면 확인된 시간과 예산 제약하에서 집중력 있는 사업 결과를 도출하는 데 더 강력한 역할을 할 수 있을 것이다. 게다가, 해군이 자체 DE 사업을 관리할 단일 사무소로 책임을 집중화시킨 반면, 다른 군은 그만큼 분명한 세력 중심을 갖고 있지 않아 보인다. 대신, 국방부의 현재와 같은 방임적 개발 방식은 국방부장관실이 조직한 연합형 ‘이해공동체(Communities Of Interest, COI)’에 의해 이끌어지고 있다.

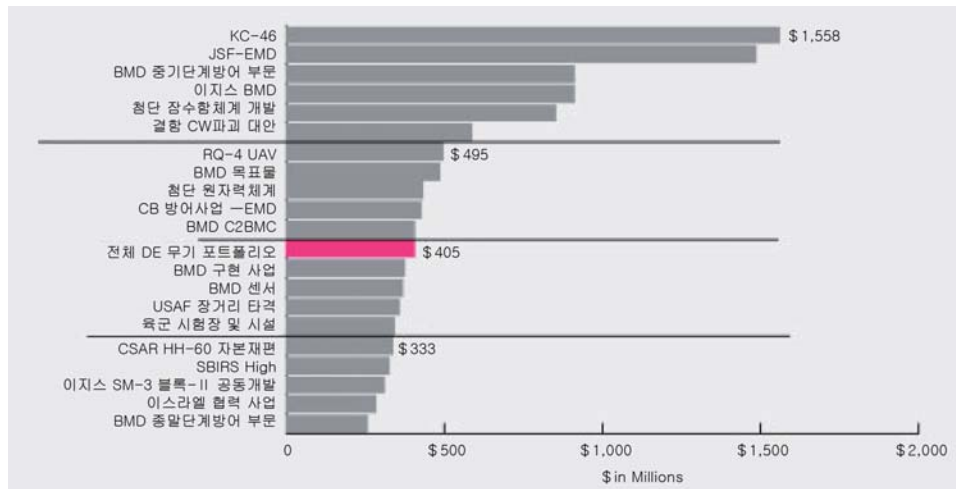
국방부 연구기술차관보실에 따르면, COI는 부처 전체의 과학 및 기술 전략 조율을 위한 장이다. DE 무기기술 전담 COI는 없다. 대신, 관련 DE 기술은 현재 있는 17개 COI 여러 곳에 걸쳐져 있다. 여기에는 당연히 무기기술 및 전자전 COI, 그리고 첨단 전자장비 관련 COI들도 해당되며, 센서 및 처리, 자재 및 프로세스, 우주, 지상/공중/바다 플랫폼 COI 등도 있다. 그러나 기술 협력이 이로울 수는 있지만 — 특히 비용 제약이 있는 환경에서는 — 설계상 어느 한 곳도 조종간을 잡고 주도적으로 하고 있지는 않다. 그리고 COI가 교차 기술 중점영역에서의 기관 간 조율과 협업을 장려하려는 취지를 가지고 있지만, 국방부 조직에 치중하고 있다. 이해되는 측면은 있지만, 이는 사실상 시각을 넓혀 타 연방 기구 및 연구소의 관련 과학/기술 역량에 집중하는 것을 가로막고, 결국 이들

의 협력 가능성을 더욱 위축시킨다. 그 결과, 현 상황은 천 개의 사업이 국방부 내에서 꽃을 피우게 할 수 있을지는 모르지만, 희소한 자원이 작전 운용능력 격차를 줄이는 데 효과적으로 배분되도록 하거나, 국방부의 필요에 따라 작전상 적합한 DE 무기체계 개발이 필요에 의해 연동되어 이루어지도록 하는 역할은 하지 못할 것이다.

국방부 DE 무기

RDT&E 포트폴리오와 선별된 2014회계연도 RDT&E 사업 비교

2014회계연도에, 국방부는 연구 개발 시험 평가 활동에 약 631억 달러를 지출했다. 이 중 약 4억 530만 달러 — 1%의 6/10 — 가 DE 무기 포트폴리오에 쓰였다. 이에 비해, 국방부는 이 금액의 3배에 달하는 액수를 JSF(Joint Strike Fighter) 전투기나 KC-46 유조선 같은 주요 방위사업 관련 RDT&E에, 2배 넘는 액수를 이지스 항공모함에, 조금 더 큰 액수를 RQ-4 무인항공기 같은 플랫폼에, 또 탄도미사일 방어 목표물/지휘통제/중기단계 방어에, 그리고 첨단 원자력체계/잠수함 체계 개발 및 화학무기 파괴에도 지출했다. 이것은 국방부의 단기 구매 우선순위와 개발단계 DE 무기체계에 대한 단기적 기대를 반영하는 것으로 볼 수 있다.



출처: 2015회계연도 국방부 예산 제출안 각색.

사실, 현재의 COI 구조에서 DE 무기는 기술적 고아 — 다수로부터 영향을 받지만 어디에도 소속되지 않은 — 나 다름없다.

3. 효과적인 예산 이용

“돈이 과학을 가능케 한다(no bucks, no Buck Rogers)”라는 오랜 격언은 DE 무기 분야에도 적용된다. 현재의 재정적 상황은 분명 선택이 어려운 상황이지만, 작전상 적합한 DE 무기가 완전 성숙단계에 이르도록 하기 위해서는 자원이 필요하다. 이것은 놀랄 일이 아니다. 2014년에 국방부가 대략 4억 530만 달러를 지출했는데, 물가상승 조정을 거치면 이는 2007년 지출 규모의 36%에 불과하다. 이는 경쟁이 치열한 전자기 환경에서 경쟁력 있는 전자전 태세를 유지하기 위해서는 국방부가 전자전 투자에 연간 20억 달러를 목표로 추가 투자를 해야 한다는 최근 국방과학위원회의 의견과도 일치하는 것이다⁶⁾ (2015회계연도의 경우 국방부는 전자전 부문 연구 개발 시험 평가에 약 5억 달러를 요청했다).

각각의 경우, 예산은 여러 민간 과학/기술 시도, 일부 첨단 개발 및 시연 활동, 그리고 그보다 적은 수의 체계 구매 건에 배분된다. DE 무기 부문의 경우, 경쟁 관계인 개발 수요와 사업 조직들이 존재한다. — 이는 혹여 있을 성공적 개발이 전투원에게 전환되는 가능성을 감소시킨다.

다른 역량 부문과 비교해 DE 무기에 대한 국방 지출은 크지 않은 편이다. 2014년에 국방부는 재래식 미사일과 탄약 조달에 약 90억 달러를 썼고 미사일방어 관련 조달에 추가로 82억 달러를 지출했으며, 관련 RDT&E를 위해 전군에 걸쳐 수억 달러를 추가 지출했다. 예를 들어, 국방부는 RDT&E에 약 7천 3백만 달러를, 그리고 첨단 중거리 공대공 미사일 구매에 추가로 4억 5백만 달러를 썼는데, 이는 전체 DE 무기 포트폴리오의

6) 2014회계연도에 지향성에너지 무기 분야 지출을 4억 530만 달러로 추산한 금액은 <http://comptroller.defense.gov/budgetmaterials.aspx#> 사이트에서 일반에 공개된 국방부 예산소명 자료들을 기초로 저자 자신이 수정하여 산출한 것이다. 이 분야의 지출을 추산하는 것은 여러 가지 이유로 어려운 일이며, 플러스, 마이너스 10% 범위 이내에서 논란이 있을 수 있다. 부분적으로 추산과정의 불확실성은 '기본적인 연구를 먼저 하느냐에 따라 무기투자 금액이 결정된다'는 고전적인 문제를 반영하고 있다. 특히 예산활동 6.1 영역에 그르거나, 6.2 영역으로도 연장되며, 기초과학과 응용 연구 간의 선을 긋기가 어렵다. 예를 들면 기초과학은 무기 및 비무기 개발 분야 모두에 적용된다.

또한 다양한 국방부 관련기관 간에 제시되는 데이터에도 일치하지 않은 부분이 많이 있다. DARPA, MDA, 특수작전사령부, 그리고 (일부 항목의 경우) 국방부 전체 계정은 상당히 간단하다. HEL-JTO를 위한 자원을 포함하고 있는 공군은 적절한 예산선으로 간주하는 것을 끌어낸다. 육군과 해군은 명확하게 추산하기가 더욱 어려우며, 이것은 부분적으로 이들이 지향성에너지 기술에 대한 기초 연구에 실질적으로 예산을 여러 번 적용하기 때문이다. 이와 같은 두 경우에는 높은 추산, 중간 추산, 낮은 추산 방법을 개발하고 이들이 연구를 추진하는 전체적인 맥락에서 가장 합리적으로 보이는 것을 선택했다. 이러한 맥락에서 고에너지 레이저에 대한 국방부의 지출은 개략적으로 3억 4천 450만 달러, 무선주파수 무기에 대한 지출은 6천 80만 달러로 추산된다.

연간 총액보다 크다. 또한, 9천 백만 달러에 달하는 이지스 탄도미사일 방어체계 관련 RDT&E 지출은 모든 DE 무기 활동에 대한 국방부 지출의 2배를 초과한다. 마찬가지로, 트라이던트 II 잠수함발사 탄도미사일 수정에 2014년 RDT&E 및 조달활동을 통틀어 약 14억 5천만 달러가 소요되었다 — 이는 전체 DE 무기 관련 활동에 쓰인 총 지출의 약 3.5배에 달하는 금액이다. 간단히 말해, 국방부의 예산 배분 현황을 보면 국방부가 현재 DE 무기체계를 높게 평가하고 있다거나 이 부문에서의 단기적 성과를 기대하고 있지 않다는 것을 간접적으로 확인할 수 있다.

국방부가 DE 무기 개발 전망에 영향을 미치는 세계 기술 동향의 덕을 볼 수 있지만, 군사용 DE 무기 시장은 엄밀히 수요자 독점 시장이다. 카트리나 맥파랜드(Katrina McFarland) 국방부차관보는 “우리가 우위를 확보할 수 있도록” 민간업체가 전자전 같은 부문에 독립적 R&D 투자를 해줄 것을 간청했고, “지금 전략적 투자를 하는 기업들이 성공할 것”이라고 주장했다. 그러나, 업계가 현재까지 DE 무기 부문에서 국방 고객들로부터 받은 제한적 수요 신호는 이러한 주장을 약화시킬 수 있다. 기업들 입장에서는 향후 상당한 규모의 구매가 이루어질 것인지 의심스러운 상황에서 자체적으로 기술 성숙화를 위해 투자할 재정적 동기를 찾기 어렵다. 그리고 기록상으로는 많은 기업들이 경기침체기 동안 R&D를 강화하려 하는 것으로 드러나지만, 최근의 증거를 보면 기업들 — 특히 시장불확실성이 장기화되고 있는 업종에 속한 기업들 — 은 R&D 활동에 더 보수적인 입장을 취하고 있다. 이런 상황에서 국제전략문제연구소(Center for Strategic and International Studies)는 2012년부터 2013년까지 국방부 재원에 의한 전체 계약집행이 16% 줄어들었다고 밝혔는데, 이는 연방 예산 삭감에 따른 감축으로서, 연구 개발 계정에 과도한 영향을 미쳤다.

만약 국방부가 보다 광범위한 상쇄 전략의 일환으로 DE 무기를 적극 추진하고자 한다면, 이 분야의 중요성을 강조함과 동시에, 의도한 사업 결과를 얻기 위해 충분한 예산을 배정해야 한다. 현재로서는 국방부가 이 부문의 중요성 강조를 위해 충분한 예산을 집행하고 있지 않고, 업계로 하여금 단기/중기적으로 실현될지 불투명한 시장에 대해 부족한 내부 자원을 지출하도록 유도하고 있지도 못하다. 작전상 중요성을 지닐 DE 무기가 단기/중기적으로 현실화되도록 하기 위해서 국방부는 현재의 HEL 관련 연간 지출을 2~3

배, HPM 및 관련 고주파무기 투자를 5~10배 더 늘려야 한다. 이를 합하면, 국방부 DE 무기 관련 총 지출은 13억 달러에 이를 것이다. 물가상승 조정을 거치면, 이는 1989년 베를린장벽 붕괴 당시의 고에너지 레이저 관련 국방부 지출의 절반 정도에 해당하게 된다.

4. 손쉬운 목표 달성 - 실전 배치

여러 기술 개발 활동이 동시다발적으로 진행되는 것의 장점은 개발단계 체계의 기술 역량과 작전상 효용을 드러낼 단기적 기회가 하나 이상 있을 수 있다는 점이다. USS Ponce에 탑재되어 시험 중인 해군의 LaWS가 그 선봉장이다. 해군이 2014년 11월의 걸프만 시험에서 약속했다고 알려진 바대로, 이 33킬로와트 체계는 100~150킬로와트(혹은 그 이상)로 확장된 체계 개발을 추진할 합리적인 기반을 마련해준다. 해군연구소장을 역임한 매튜 클런더(Matthew Klunder) 해군소장은 이런 체계는 가치가 높은 드론/보트에 대한 대응력 및 전투식별 역량을 제공할 수 있다고 주장했다. 이 체계가 수용 가능한 빔 품질 상태에서 이 정도의 고출력 규격을 달성하게 된다면, 해군은 필요한 작전 전구에 대한 작전 배치용으로 제한수량 구매를 고려해야 한다. 같은 맥락에서, 일단 공군-DARPA 고에너지액체레이저 지역방위체계가 실험실에서 수용 가능한 빔 품질로 150킬로와트 출력을 나타내면, 이 체계는 작전상 적합한 환경에서 시험이 이루어져야 한다. 공군이 전술항공기에 대한 자체방어 옵션을 개선시키고자 할 경우, 공군은 단기적 대안으로 일부 대형 항공기에 탑재된 비교적 저출력의 기존 DIRCM(Direction Infrared Countermeasure) 체계를 수정하는 방안을 고려할 수 있다.

이와 더불어, 최소 2개의 최신형 고출력 극초단파 체계가 이미 성공적으로 시연을 마쳤다. 밀리미터파 대인 ADS(Active Denial System)는 이론상 정해진 곳이나 파견 상황에서 가치 있는 비살상 병력 보호책 역할을 할 수 있다 - 단, 대인 DE 무기와 관련된 정책 우려가 효과적으로 해소될 수 있어야 한다(작전상 효용이 결여된 이유는 기술적 성숙도의 부족이 아닌 정책적 고려 때문이다). 나머지 성숙단계 체계인 CHAMP 고출력 극초단파 순항미사일은 특유의 단기 무인 대전자장비 대응 역량과 전역 사령관에 대한 잠재적

확전(혹은 전쟁 축소) 옵션을 제공하기 때문에 이 역시 제한수량 구매가 고려되어야 한다. 공군연구소 토마스 마시엘로(Thomas Masiello) 소장은 고출력 극초단파 순항미사일이 2012년 시험에서 매우 성공적이었다고 보고했다. 그러나 만약 공군참모진 혹은 공군 전투사령부 지휘부가 이 무기가 더 성숙할 필요가 있다고 결론 내렸다면, 국방부는 통합 공대지 원거리미사일(JASSM)이나 토마호크 공대지미사일 같은 플랫폼에 장착할 차세대 고출력 극초단파 장치 개발을 가속화하는 방안을 고려해야 한다. 이 경우 이 두 가지 모두 수용 가능 거리에서 의도한 효과를 내기에 충분한 적재용적(payload volume)을 가지고 있을 것이다. 다른 지상 체계의 경우, 만약 육군이나 해병대가 현재 보유한 개발단계 고에너지 레이저 체계가 결국 해군의 LaWS와 비슷한 작전 성숙단계에 도달한다면, 육군이나 해병대 역시 제한된 — 그리고 가능하면 합동 방식의 — 구매를 고려할 수도 있을 것이다. 혹은, 공군-DARPA 고에너지액체레이저가 현장에서 성능이 입증되면, 육군과 해병대는 이것이 지상용(주둔식 혹은 이동식)에 맞도록 성공적으로 조정될 수 있는지를 타진해야 한다. 작전상 필요로 보다 신속한 조치가 필요하다면, 이들은 이스라엘의 아이언 빔(Iron Beam)이나 록히드마틴 사의 아담(Area Defense Anti-Munitions, ADAM) 같은 다른 지상기반 체계들이 자신들의 요구사항을 충족시키는지 평가해야 한다.

5. 성과 지향 - 성공을 위한 장기적 투자

국방부는 잠재적인 적국의 허를 찌를 기술 개발을 위해 연구와 엔지니어링을 수행한다. DE는 전자기 레일건 같은 다른 전자무기 기술과 더불어, 비용 대비 효과적인 미사일 방어 및 그 밖의 어려운 임무에 쓰일 수 있는 엄청난 가능성을 지니고 있다.

그러나 DE 무기가 모든 종류의 작전상 군사 도전을 생산적으로 해소할 수 있을지 모르지만, 현재의 개발은 대개 위협 단계 중 낮은 쪽에 맞추어져 있다. 그리고, 비록 훨씬 더 역량을 갖춘 고에너지 레이저 및 HPM 체계가 가능할 것으로 보이지만, 이처럼 더 어려운 작전 임무를 위한 차세대 DE 무기를 준비하기 위한 국방부 차원의 포괄적 계획

은 존재하지 않는다. 더 높은 역량의 DE 무기 솔루션이 성공적으로 개발된다고 가정할 때 이 무기가 적합한 대안이 될 수 있는 고 위협에 직면할 수 있다. 크게 개선된 전방 작전기지의 고정식 방어, 경합 지역 내 함대방어 능력 개선, 국토 및 전구 후방지역 내 탄도 및 순항미사일에 대한 신뢰할 만한 효과적 전략 방어 등이 대표적 예에 해당한다. 이들은 탄도미사일 방어에 대한 비용 대비 효과적 접근을 가능케 함으로써 주요 접근차단과 같은 도전들을 역전시키고, 이로써 미국군이 적의 위협영역 내에서 보다 효과적으로 작전을 수행하게 하며 미국의 병력파견 기회 및 국토 방어능력을 개선시킨다.

결국 중요한 것은, 만약 가장 힘든 작전 과제 중 일부 — 순항 혹은 탄도미사일 방어 — 가 대응을 위해 훨씬 더 역량 있는 레이저 또는 극초단파 체계를 필요로 한다면, 국방부는 이 분야에 적지 않은 투자를 해야만 한다. 1980년대 개발 체계들의 기술적 ‘성능’이 많이 미흡하기는 했지만, 기저의 ‘논리’는 썩 나쁘지 않았다. 중요한 문제는 30년이 지난 후의 기술 상태가 마침내 어려운 결과를 수행할 수 있는 수준인지의 여부이다. 만약 그렇지 않다면, 그와 같은 대형 역량이 운용으로 실현되기 위해서는 어떤 것이 이루어져야 하는지의 문제이다. 분명, 주요 기술 부문의 근본적인 추세가 국방부에 이득이 될 수 있고, 이 중 일부 부문은 민간용 목적의 재료, 부품, 혹은 하부체계 단위에서 민간부문이 주도하고 있다. 그러나 궁극적으로는 고출력 DE 무기체계 시장은 제한되어 있고 기술적 돌파구의 가능성은 적어 보인다. 대안이 될만한 추진세력이 없기 때문에 국방부는 원하는 DE 무기체계의 진용을 갖추기 위해 적극적으로 나서야 한다. 진정으로 판도를 바꿀 만한 더 높은 출력의 DE 무기를 갖추기 위해서는 치명도/민감도/취약도 테스트, 재료과학 및 핵심 부품 기술, 하이파이 모델링 및 시뮬레이션, 작전 관련 정보를 갖춘 실험 등에 투자가 이루어져야 한다. 궁극적으로, 구체적인 투자는 절실한 전투적 필요라는 맥락 안에서 기술적 성숙도와 잠재적 기회를 바탕으로 추진되어야 한다. 국방부는 단순히 공중발사 및 우주배치레이저 사업 같은 고예산, 고위험 사업으로 회귀해서는 안 되고, 대신 효과적 역량을 제공할 고에너지 레이저 및 고출력 극초단파 무기를 성숙시키고, 또 적절한 경우 구매를 하기 위한 투자를 서서히 늘려나가야 한다. 어려운 방위 임무와 관련한 가능성의 예술을 확대해 나가는 등, 국방부는 적극적으로 한계를 넘어서는 일을 지속해야 한다.

6. 해외 개발상황 실체평가 및 적극적 모니터링

세계화는 민간 및 군사 부문에서의 미국의 기술적 우위를 가능케 하는 동시에 위협하기도 한다. 미국이 세계의 총 R&D 지출 중 약 1/3을 차지하기는 하지만, 추세선을 보면 중국, 일본, 한국과 같은 국가들이 해가 갈수록 점점 더 비중을 늘려가고 있음을 알 수 있다.

2020년 무렵이면 중국이 전체 R&D 지출 규모 면에서 미국을 추월할 수도 있다. 어떤 면에서 이것은 세계화되는 시장에서 경쟁 우위를 유지하기가 점점 더 어려워진다는 것을 시사한다. 다른 한편으로는 길고 부담이 큰 무기 개발과정을 단축시키기 위해 외국의 과학 기술 개발을 채택/참고하거나 혹은 달리 활용할 기회를 제공하기도 한다. 두 경우 모두 근간이 되는 추세를 살펴보면, 기술 관련 시간/공간이 지속적으로 단축되고 있음이 두드러지게 나타나고 있고, 속도와 민첩성이 중시되며, 기술로 인한 리스크가 더 커지고, 현대적 방식의 연구 및 구매 관행이 필요하게 되었다. 한마디로, 글로벌화되는 세계속에 가속화되어가는 시간을 만나, 이 두 가지가 결합해 기술적 우위의 지속기간을 단축시키고 차세대 기술 개발을 촉진시킨다.

이런 현상이 불러오는 결과 중 한 가지는 의외의 기술발전 가능성이 커진다는 것이다. 미국의 잠재 적국들은 동일한 기술적 추세로 득을 볼 수 있고, 어떤 경우에는 맹렬하게 미국의 군사적 우위를 무너뜨리려 한다(하원 군사위원회도 마찬가지로 2014 회계연도에 미국 군사체계에 대한 해외의 DE 위협에 대해 보고하도록 국방부에 요청했다). 변화하는 세계 DE 기술 환경을 더 잘 이해하기 위해서 국방부는 DE에 대한 실체평가를 실시해야 한다. 최대한 유용한 평가가 되려면 다음의 특징을 가져야 한다.

- 첩보전문가와 기술전문가로부터 모두 정보를 얻는다.
- 주요 기술발전과 지속된 역량 격차를 모두 강조한다.
- 주요 취약성 및 그에 대한 잠재적 대응책을 집중 조명한다.
- 미국의 방위태세에 대한 주요 위협과 도전을 파악한다.
- 정책, 작전, 구매 커뮤니티에 옵션들을 제시한다.

이런 노력은 의외의 상황에 대한 가능성을 줄일 뿐 아니라, 그로 인한 여파를 감소시킨다. 실제평가는 거부에 의한 억지(deterrence-by-denial) 전략을 개선하고 위기 안정성, 확전 및 강요(compellence) 옵션을 강화하기 위한 방안들의 든든한 출발점이 되어줄 것이다. 또한 국방부가, 예를 들어, 우주 관련 DE 무기 옵션을 추진해야 할지(그리고 얼마나 진지하게 추진해야 할지)를 결정하는 데 도움을 줄 것이다.

미국의 핵무기 연구소들과 국방부측 관련 담당기관들은 해외 DE 무기 개발상황에 대해 신뢰할 만하고 기술적 식견을 기반으로 한 경고를 해야 할 특별한 역할을 지니고 있다. 미국의 과학 기술 기반은 로렌스 리버모어, 샌디아, 로스 알라모스 등 국립 연구소들, 그리고 커틀랜드 공군기지 내 공군연구소, 달그렌의 해군해상전투센터, 차이나레이크 같은 군 연구소와 전투센터, 그리고 방위산업을 포괄한다. 미국이 국가기술기반을 — 온전히 이용하는 것은 고사하고 — 유지하기 위해 기울이는 노력은 해외의 DE 개발 속도, 범위, 잠재적 영향에 미치지 못하며, 특히 고주파무기 기술과 관련해 그러하다. 제안된 예산 증액의 일환으로, 국방부는 범부처 관련 기관들과 협력함으로써 국가 차원의 통합적 DE 연구 사업 개발을 고려해야 한다. 그 첫 단계로, 공급자와 참여자들은:

- 미국과 해외 DE 무기 개발상황, 추세 흐름, 예상되는 향후 방향을 비교하면서 실제 평가를 수행한다.
- 확인된, 그리고 새로운 국가적 우선순위에 걸맞는 RDT&E 노력을 파악하고 우선순위를 정한다.
- 초석이 되는 DE 과학과 기술을 발전시킨다.
- 에너지부, 사법부, 국토안보부 등 연방 관계기관들에게 필요한 공격 및 방어 역량을 제공한다.
- 의외의 출현기술에 대한 충격과 영향을 완화하기 위한 권고를 한다.
- DE 무기 혁신을 위한 보다 굳건한 민관 파트너십의 토대를 마련한다.

국가의 우선적 임무들과 긴밀히 조율하기 위해서 이와 같은 노력에 대해 국가 기관의 지도부로 구성된 운영위원회, 지정된 행정 대리인, 혹은 그 밖의 감독 장치에 의한 감독이 이루어져야 한다.

7. DE 무기 전체 맥락치원 접근 - 전자기 스펙트럼 역량에 대한 광범위한 보강

국방부가 결국 담당자를 지정하기로 하든, DE 무기를 전담할 별도의 이해공동체를 수립하든, 혹은 그 외의 방식으로 신규 방위태세에서 점점 중요해지는 DE 무기의 역할을 강조하든, 그것이 그저 또 다른 고립된 기술 영역이 되지 않도록 하는 것이 중요하다. DE 무기는 그 자체의 장점 — 각기 다른 기능을 위해 고안된 개별 체계들 — 이 있다. DE 무기는 묘책(silver bullet)이 아니며, 보다 다양해진 전투도구 중 하나이다. DE 무기가 발사(fires)와 보호 같은 운용적 개념에서 도출되었지만, 현재로서는 전자전의 범주 하에 버려지고 있다. 한편, 전자전과 컴퓨터 네트워크 작전은 모두 보다 광범위한 정보 작전영역의 하부 개념이다. 그러나 사업 차원에서는 영역 간 조율이 충분히 이루어지지 않았고, 영향력을 행사할 장치가 거의 없었으며, 현재까지 실현된 작전상 시너지도 거의 없었다. 체계적 접근법 — 즉, 개개의 노력보다 거대한 전투역량의 합을 제공할 통합된, 영역 간 접근법 — 이 필요하다.

여러 다양한 전투용 운동역학 기술들 중 DE가 차지하는 위치를 고려할 때 분명 특별한 고려가 이루어져야 한다. 역사적으로, 방위 커뮤니티는 DE 무기 개발을 특별한 역량으로, 익히 잘 알고 있는 활동형 무기들의 대응물(혹은 대응물)로 보고 추구해왔다. 예를 들어, 공중발사레이저가 미사일방어 전용 레이저무기 플랫폼으로 개발되었던 것처럼, 공군은 차세대 전투기에 공대공 교전용 레이저무기를 결합시키려 한다. DE 무기가 자산 목록에 포함됨에 따라 국방부는 좀 더 강력한 DE 중심의 정책 개발을 고려해야 한다. 전자기 스펙트럼을 이용하는 다른 운동역학 기술들은 일반적으로 ‘무기’라기보다는 광의의 전력 패키지에 속한 ‘활용기술’로 여겨진다. 사이버전 기술 및 전자전 기술들은 두 가지 중요한 작전 도구기술들이다. 이 기술들과 DE 무기가 점차 융합된다는 것은 “컴퓨터 및 통신 네트워크가 하나로 통합되어” 감에 따라 적지 않은 융합 관련 잠재력이 있음을 시사한다. 현재까지는 DE 무기체계가 상대적으로 성숙도가 떨어지다 보니 전자기 스펙트럼 무기기술에 대한 좀 더 통합적이고 효과적인 접근이 불가능했다. 전체적으로 볼 때, DE 무기, 사이버보안 툴 및 기타 전자전 기술들이 병행해 발전하게 되면 — 그리고 이들이 하나의 체계로 운영된다면 — 미국은 중요하고도 역동적인 정성적 군사 우위를

연계 될 것이다.

전구 지휘통제, 통합 방공, 통신 혹은 기타 가능한 관심대상 군사 목표물 대응용으로 적용될 경우, 이들의 통합 역량은 전자기 스펙트럼의 여러 영역에 걸쳐 보다 정교한 운동역학 타격 옵션들을 구현할 수 있을 것이다. 각 운동역학 틀은 체계의 한 부분이며, 결합 운용됨으로써 접근차단/지역거부 환경에서의 미국의 병력 파견 능력을 강화시키되 리스크는 줄여줄 것이다. 통합적 DE/전자전/사이버 실험/위게임에 보다 더 중점을 두게 되면 국방부가 전투 개념, 전략 접근, 기술 개발 전략 및 작전 계획수립을 적절히 조정할 수 있게 될 것이다.

8. 성공을 위한 계획 수립 - DE 무기, 정규 자원에 편입

마지막으로, 현재까지의 DE 무기 진척상황이 미흡한 부분이 많지만, 국방부는 DE 무기의 성공을 향한 계획을 수립해야 한다. 그 출발점으로, 현 세대 선도적 무기들은 군사 작전시 일부 역할을 맡거나 점진적으로 전투력을 다소 증강시킬 수 있다. 그러나 실전 배치될 경우, 이들의 좀 더 의미 있는 가치는 그 속성상 문화적·조직적인 측면이라 할 수 있다. DE 무기를 보다 폭넓은 전력구조에 편입시키기 위해서는 전략, 조직, 훈련, 물류, 정책 및 다른 측면 모두에 걸친 조정이 필요하다. 종합해 볼 때, 이런 조정은 고출력 극초단파 및 고에너지 레이저 체계가 확인된 전투 수요 해소에 사용되도록 해 줄 것이다. 이는 새로운 DE 무기기술에 대한 의구심을 없애줄 구체적인 선행조치가 되어줄 수 있다. 이들은 국립 아카데미 등이 제안한 기고-견고-뛰는 접근방식에 부합할 것이다. 그리고 국방과학위원회와 외부 분석가들이 지적해 온 그간의 과학기술전문가/운영전문가 간의 간극을 좁히는 데에도 어느 정도 도움이 될 수 있을 것이다.

좀 더 폭넓게 보면, 고성능 DE 무기의 지속적 개발과 궁극적 실전 배치는 작전 리스크를 감소시키고, 더 나은 전투옵션을 제공하며, 궁극적으로 새로운 작전 행동방침을 가능하게 한다. 이 때문에 DE 무기기술은 적절한 임무 분야에서 가상 훈련, 지휘소 훈련, 기타 국방부 훈련들을 고려해야 한다. 이 기술들은 국방부 전략 및 합동전략, 지휘중심



작전 및 긴급상황 계획수립 및 각군 작전 개념에 빠져서는 안 된다. 마차를 말보다 너무 앞서 가게 하는 것(즉, 선후관계를 과하게 뒤바꾸는 것)은 위험하지만, 현 상황, 즉 단지 말이 달릴 준비가 되어 있다고 해서 말을 마차로부터 분리시키는 것 역시 그에 못지 않은 위험이 있음이 분명하다. 제대로 실행된다면, 지휘부와 군은 새로운 역량 — 국방부에 의해 효과적으로 구성된 역량 — 의 제공으로 준비태세를 갖추게 될 것이다. 이것이 바로 경쟁력 있고 지속적인 군사적 우위의 핵심이며, 국방 지도자들이 추구하는 상쇄(offset) 전략의 근간이다.

제 2 장

함상용 레이저무기 배경과 의회 현안

- 머리말
- 배경
- 의회 현안
- 의회의 선택
- 2015년 입법 활동

함상용 레이저무기 배경과 의회 현안
(Navy Shipboard Lasers for Surface, Air and Missile Defense
: Background and Issues for Congress)



I. 머리말

의회 현안

미 국방부(DoD)가 수십 년간 진행 중인 고에너지 군사용 레이저 개발은 약 1마일 거리에서 특정 수상 및 공중 표적에 대응할 수 있는 레이저를 향후 수 년 내에 해군 수상함에 탑재할 수 있는 단계에 이르렀다. 그 이후에 더욱 강력한 함상용 레이저 탑재가 가능해지면, 해군 수상함은 최대 약 10마일 거리에서 보다 광범위한 수상 및 공중 표적에 대응할 수 있는 능력을 갖추게 된다.

해군은 작전 환경에서 함상 레이저를 지속적으로 평가하고자, 페르시아 만에서 전방 배치 임시해상기지(Afloat Forward Staging Base, AFSB[II])로 운용되고 있는 USS 폰스함에 레이저 무기체계(LaWS)로 명명된 고체레이저 시제품을 2014년 여름에 탑재하여 배치하였다. 해군에서는 함상 레이저 추진등재사업⁷⁾이 '2018회계연도'에 이루어질 것으로 예상하며 2020년에서 2021회계연도에는 함상 레이저 초기운용능력(Initial Operation Capability, IOC)을 확보할 것으로 내다보고 있는 것으로 알려졌다.

레이저는 미사일과 화포 같은 기존의 함정 자체방어체계에 비해 비용 대비 보다 효과적으로 수상, 공중, 탄도 미사일 표적에 대한 대응 수단을 해군 수상함에 제공할 수 있다. 레이저와 기존 자체방어체계의 조합을 갖춘 함정은 이러한 다양한 표적에 맞서 보다 효과적으로 스스로를 방어할 수 있다. 해군 수상함에 레이저가 탑재되면 해군 전술, 선박 설계, 함상 무기 조달 계획 등에 변화를 이끌어낼 수 있고, 이는 1950년대의 함재 미사일 등장에 비교될 만한 판도를 바꿀 획기적인 기술변화를 해군에 불러일으킬 수 있다.

7) 추진등재사업(Program of Record), 즉 POR은 국방부 관계자들이 쓰는 용어로 일반적으로 공인된 필요에 대응하여 새롭고, 개선되거나 지속적인 소재, 무기 또는 정보체계가 군 역량을 제공하기 위한 미래국방계획(FYDP) 내 사업을 뜻한다. 이 용어는 때로 궁극적으로 운용무기체계의 조달 및 배치로 연결될 수도 있기 때문에 연구개발과 대조되어 운용무기조달 및 배치를 위한 군 예산 내 사업을 지칭하는 데 쓰인다. 연구개발이 운용무기체계 조달을 위한 사업이나 등재사업으로 전환되면 국방부의 무기체계 획득 관리과정에 따라 사업을 실행할 수 있다.

잠재적 함상 레이저 개발을 위해 행정부에서 제안한 예산 수준을 승인하거나 수정할지, 함상 레이저 개발 및 조달 사업과 관련한 추가적인 지시를 해군이나 국방부에 내릴지가 의회의 핵심 현안이다. 의회의 잠재적 현안에는 구체적으로 다음의 내용이 포함된다.

- 해군 재원의 제약을 감안할 때 얼마나 다양한 유형의 레이저를 계속 개발할 것이며, 현재 개발 중인 각 유형의 상대적 장점은 무엇인가
- 해군이 2016회계연도부터 조달에 착수하고자 하는 Flight III DDG-51 구축함 등 해군 함정의 설계와 획득에 함상 레이저가 미치는 잠재적 영향은 무엇인가

함상 레이저와 관련된 의회의 결정은 미래 해군 전력과 자금요구사항, 미국의 군사용 레이저 산업기반, 기존 함상자체방어체계의 산업 기반에 큰 영향을 미칠 수 있다.

범위, 출처, 용어

본 보고서는 해상, 공중, 탄도 미사일 위협에 대응이 가능한 해군 함상 레이저에 초점을 맞추고 있다. 여기서는 해군 항공기 또는 잠수함에서의 레이저 사용이나 타군의 레이저 사용은 논의하지 않는다. 본 보고서는 해군, 업계 및 RAND 등 연구기관의 공개 평문 정보에 기초한 것이다.

본 보고서의 목적상 ‘단거리(Short Range)’라는 용어는 일반적으로 1~2해리의 거리를 가리키며, 장거리(Longer Range) 또는 사거리 연장(Extended Range)은 최대 약 10해리의 거리를 가리킨다.⁸⁾ 레이저는 지향성에너지 무기(Directed Energy Weapon, DEW)의 일종으로, 그 밖의 DEW에는 마이크로파 무기, 밀리미터파 무기 등이 있다(해군이 개발 중인 또 다른 신무기인 전자기 레일건은 전기로 작동되는 무기지만 발사체를 발사하므로, 엄밀히 말하자면 지향성에너지 무기는 아니다).

8) 다른 방어체계에 관한 논의에서는 단거리와 장거리가 상당히 다른 의미일 수 있다. 가령 군용 항공기나 탄도 미사일을 논의할 때 단거리는 수백 마일을 의미할 수 있으며 장거리는 수천 마일을 지칭할 수 있다.

II. 배경

함상 레이저 일반

함상 레이저의 장점과 한계

해군과 그 밖의 관측통들이 가능성 있는 함상 무기로 레이저에 주목하는 이유는 레이저가 특정 수상, 공중, 탄도 미사일 표적 대응에서 특별히 장점이 있기 때문이다. 이러한 표적에 대응하는 데 있어 함상 레이저는 한계 역시 가지고 있다. 그 장점과 한계는 아래에서 논의한다.

장점

수상, 공중, 탄도 미사일 표적 대응에 있어 함상 레이저의 장점은 다음과 같다.

- **발사당 낮은 한계 비용.** 함상 레이저는 낮은 발사당 한계 비용으로 수상, 공중, 탄도 미사일 표적에 대응할 수 있다. 전동 레이저 발사용 전력을 생산하는 데 필요한 함정 연료는 발사당 1달러에 미치지 않는다(몇몇 출처에서는 비용을 센트 단위로 표시한다). 반면 해군의 단거리 대공 요격 미사일은 각각 수십만 달러(혹은 100만 달러 이상)가 들며, 장거리 대공 및 미사일 방어 요격 미사일은 각각 수백만 달러에 달한다. 함정에서는 단순한 무인항공기(UAV) 같은 훨씬 값싼 표적을 상대로 ‘하드 킬(Hard Kill)’⁹⁾ 달성하는 데 값비싼 요격 미사일을 사용하는 대신 레이저를 이용할 수 있다. 낮은 발사당 한계 비용 덕에 해군은 비용 교환비(Cost Exchange Ratio), 즉 공격자의 무기 비용 대 그러한 무기에 대응하기 위한 해군의 발사당 한계 비용을 크게 개선하는 것도 가능하다. 현재, 비용 교환비는 공격자에게 유리한 경우가 많고,

9) ‘하드 킬’이란 어떤 방식으로든 공격 무기를 파괴하는 것을 의미한다. ‘소프트 킬(Soft Kill)’은 목표한 표적에서 무기가 빛나가도록 기만체계나 기타 수단을 통해 무기에 혼란을 주는 것을 의미한다.

매우 유리한 경우 역시 적지 않다. 불리한 비용 교환비를 유리한 비용 교환비로 전환하는 것은 적이 미 해군 함정에 대해 다수의 소형 보트, UAV, 대함 순항 미사일(Anti-ship Cruise Missile, ASCM), 대함 탄도 미사일(Anti-ship Ballistic Missile, ASBM) 배치를 선택하는 데에 맞서 향후 적정한 가격의 방어 체계를 탑재할 수 있는 해군의 역량에 있어 매우 중요하다.

- **충분한 탄약(Deep Magazine).** 해군 수상함이 미사일 발사관에 탑재할 수 있는 요격 미사일의 수는 한정되어 있다. 해군 수상함의 요격 미사일이 소진되면 함정은 새 요격 미사일을 함정에 탑재하기 위해 전투에서 일시적으로 철수해야 한다. 해군 수상함에 탑재되는 팔랑스(Phalanx) 근접 방어 체계(Close-In Weapon System, CIWS)(20mm 포탄을 발사하는 레이더 제어 개틀링 기관포) 역시 마찬가지로 재장전에 어느 정도 시간이 걸려 한정된 수의 표적을 대상으로만 교전할 수 있다. 반면 전력을 생산할 연료와 레이저 폐열을 제거할 충분한 냉각 능력만 있다면 전동 레이저는 반복해서 발사가 가능하다. 레이저는 탄약 적재량이 충분한 무기를 함정에 제공해 준다(일부 관측통은 사실상 무한하다고 이야기한다). 해군 수상함은 함정에 탑재된 요격 미사일과 CIWS 탄약으로 처리할 수 있는 것보다 많은 무기와 기만체계를 갖춘 적에 대해 레이저를 이용하여 보다 효과적으로 방어할 수 있다. 예를 들어, 레이저가 탑재된 함정은 레이저를 사용하여 기만체계의 초기 공격에 대응하는 한편, 사용되지 않은 요격 미사일과 CIWS 탄약으로 적의 뒤이은 공격 무기에 대응할 수 있다. 레이저와 미사일 발사관을 결합토록 설계된 미래 함정은 보다 소형화할 수 있고, 레이저 없이 많은 미사일 발사관을 설치한 미래의 함정보다 조달 비용도 적게 든다.
- **신속한 교전 시간.** 레이저 빔에서 나오는 빛은 표적에 거의 즉시 도달 가능하고(요격 미사일과 같은 요격 경로 계산 불필요), 표적의 특정 지점에 계속 집중하여 몇 초 안에 표적을 작동 불능 상태로 만들 수 있다. 레이저는 하나의 표적을 작동 불능 상태로 만든 후 몇 초 안에 다른 표적을 겨냥할 수 있다. 미사일, 로켓, 포탄, 박격포가 상대적으로 가까운 거리에서 해군 함정에 발사될 수 있는 연안 작전 같은 상황에서는 신속한 교전 시간이 특히 중요할 수 있다.

- 고기동 공중표적 대응능력. 레이저는 일부 대함순항미사일(Anti-Surface Cruise Missile, ASCM) 같은 해군 요격 미사일의 기동 능력에 부담을 줄 수 있는 고기동 공중표적을 쫓고 조준을 유지할 수 있다.
- 항구 지역에서의 정밀 교전 및 일정 유형의 부수적 피해 위험 감소. 정밀 교전 무기인 레이저는 광점(Light Spot)의 직경이 몇 인치에 불과해, 타격 지점에는 영향을 주나 떨어져 있는 근처의 물체에는 일반적으로 최소한 직접적인 영향을 주지 않는다. 해군 함정이 외국 항구에 위치하는 경우에는 위를 향해 발사된 CIWS 포탄이 표적에서 벗어나 항구 지역에 부수적 피해를 입힐 우려가 있기 때문에 날아오는 박격포와 로켓을 대상으로 CIWS를 사용해 스스로를 방어하는 능력이 제한될 수 있다. 반면 위를 향해 발사된 레이저는 표적을 맞이지 못하더라도 계속 직선으로 위를 향해 날아가므로 항구 지역에 부수적 피해를 입힐 가능성을 낮출 수 있다.
- 추가 용도 - 단계적 대응. 레이저는 표적을 파괴하는 것 외에도 표적을 탐지하고 감시하거나 전자 광학(Electro-Optic, EO) 센서에 대한 가역적(Reversible) 재밍과 같은 비치명적 효과를 내는 등의 기능을 수행할 수 있다.¹⁰⁾ 레이저는 표적에 대한 경고부터 표적 체계에 대한 가역적 재밍, 제한적이지만 작동 불능을 초래하지 않는 타격(즉, 추가 경고), 그리고 최종적으로 작동 불능 타격까지 단계적 대응이 가능하다.

한계

수상, 공중, 탄도 미사일 표적 대응에 있어 함상 레이저의 한계는 다음과 같다.

- 가시선. 레이저 광선은 기본적으로 직선 경로로 대기를 통과해 진행하는 경향이 있어 함상 레이저는 가시선 내 교전(Line-of-sight Engagement)으로 제한되며, 가시선 밖의 표적이나 중간에 끼어드는 물체에 가려진 표적에는 대응할 수 없다. 이는 특히 높은 파도에 가려질 수 있는 소형 보트나 저공비행하는 표적을 상대로 한 교전 범위를 제한한다. 그러나 레이저는 큰 파도에 가려지는 보트를 신속히 재조준할 수 있으며, 일부 기존 함포 체계보다 먼 거리의 표적과 교전할 수 있다. 비행기구(Aerostat)

10) 가역적 재밍이란 재밍이 센서를 손상시키지 않으며, 재밍이 끝나면 센서가 정상 작동을 재개할 수 있음을 의미한다.

와¹¹⁾ 같은 항공체에 공중 거울을 탑재하면 함상 레이저에서 발사한 광선을 반사해 비가시선 교전도 가능하지만 이러한 배치가 실행되려면 비용이 추가되고 기술적 난관이 따르며, 조준이 잘못된 함상 레이저나 적의 공격으로 비행기구가 파손될 수 있다.

- 대기 흡수, 산란, 난기류로 전천후 해법은 아님. 대기 중 물질, 특히 수증기뿐 아니라 모래, 먼지, 소금 입자, 연기 및 기타 대기 오염 등은 함상 레이저에서 나온 빛을 흡수, 산란시키며, 난기류는 레이저 빔의 초점을 흐리게 할 수 있다. 이에 따른 영향으로 레이저의 유효 사거리가 짧아질 수 있다. 해양 환경은 공기 중 수증기량이 상당히 많다는 특징이 있으므로, 레이저가 수증기에 흡수되는 경우를 특히 고려해야 한다. 일정한 빛 파장, 즉 전자기 스펙트럼의 ‘최적점’에서는 수증기에 의한 대기 흡수가 눈에 띄게 줄어든다.¹²⁾ 이러한 최적점이나 그 부근에 빛을 발사하여 잠재적 효과를 극대화하도록 레이저를 설계할 수 있다. 일반적으로 흡수는 표적과의 거리에 비례해 증가하므로 보통은 장거리 운용 시보다 단거리 운용 시에 문제가 더 적게 나타난다. 관찰되는 난기류에 대응하여 지속적으로 레이저 빔을 신속하고 미세하게 조정하는 적응 제어광학(Adaptive Optics)으로 대기 난기류의 영향을 상쇄할 수 있다. 그러나 우천 시 또는 안개가 낄 때는 레이저가 제대로 성능을 발휘하지 않거나 아예 작동하지 않으므로 레이저가 전천후 해법인 것은 아니다.
- 열 번짐(Thermal Blooming). 일정 시간 동안에 정확히 동일한 방향으로 레이저를 계속 발사하면, 레이저가 통과하는 공기가 가열되어 레이저 빔의 초점이 흐려지고, 목표한 표적을 작동 불능 상태로 만드는 능력이 제한될 수 있다. 열 번짐으로 불리는 이러한 효과 때문에, 일정한 방향으로 함정을 향해 똑바로 다가오는 표적(즉 ‘다운 더 쓰로트’[Down-the-throat] 표적)에 레이저가 대응하는 효과가 떨어질 수 있다. 이런 표적에 대응하는 데는 요격 미사일이나 근접방어체계(CIWS) 같은 다른 함정 자체방어체계가 더 적합할 수 있다. 대부분의 레이저 체계 시험은 ‘다운 더 쓰로트(Down-the-throat)’ 표적보다는 횡단하는 표적을 대상으로 이루어졌다. 일반적으로

11) 비행기구는 비행선이나 열기구처럼 공중에 정지할 수 있으며, 공기보다 가벼운 물체이다.

12) 선상 사용을 염두에 두고 개발 중인 레이저는 스펙트럼 중 근적외선 부분의 파장을 지닌 빛을 만들어낸다. 스펙트럼의 이 부분의 최적점은 0.87마이크론, 1.045마이크론, 1.24마이크론, 1.62마이크론, 2.13마이크론, 2.2마이크론의 파장이 포함된다(각주 7에 인용된 연구 논문 등 다른 출처에서는 최적점이 수증기만 고려한 것인지 여러 가지 대기 흡수 및 산란원을 고려한 것인지에 따라 다소 다른 수치를 인용하고 있다).

열 번짐은 레이저 빔 출력이 증가함에 따라 문제가 점점 더 커진다.

- **집중포화 공격.** 레이저는 한 번에 하나의 표적만 공격할 수 있고, 표적을 작동 불능 상태로 만들려면 몇 초가 걸리며, 다음 표적을 조준하려면 다시 몇 초가 필요하므로 주어진 시간 동안 그만큼의 표적만을 작동 불능 상태로 만들 수 있다. 이는 개별 레이저가 집중포화 공격, 즉 함정에 접근하는 다수의 무기가 동시에 또는 몇 초 간격을 두고 공격하는 데에 대응하는 능력을 제약한다. 이런 한계는 함정에 하나 이상의 레이저를 탑재하여 완화할 수 있으며, 해군이 일부 함정에 여러 개의 CIWS 체계를 탑재하는 것과 비슷하다.¹³⁾
- **견고한 표적 및 대응책.** 빔 출력이 메가와트(MW)가 아닌 킬로와트(kW)인 출력이 약한 레이저는 차폐물, 내열 재료 또는 고반사 표면으로 구성되어 있거나, 표적 표면의 한 곳에 레이저 광점이 계속 머물지 않도록 빠르게 회전하거나 빙글빙글 도는 표적을 상대로는 효과가 떨어질 수 있다.¹⁴⁾ 소형 보트는 연기나 기타 연막탄을 사용하여 레이저 공격을 받을 가능성을 줄일 수 있다. 그러나 이와 같은 수단은 무기의 비용 및 무게를 늘릴 수 있고, 연막탄은 주변에 무엇이 있는지 소형 보트가 식별하기 어렵게 만들어 보트를 효과적으로 이용하는 능력이 저하된다.
- **항공기 및 위성의 부수적 피해 위험.** 위를 향한 레이저에서 발사된 광선이 표적을 맞지 못하면 계속 직선으로 나아가 항공기와 인공위성에 원치 않는 부수적 피해를 입힐 위험이 있다.

위에서 언급한 사항 외에도 함상 레이저는 다른 함상 체계와 마찬가지로 함정에서 공간을 차지하며, 적재 가능 용량 일부를 소모하고, 함정의 전력과 냉각 체계에 부하를 일으키며, 함정의 레이더 반사 면적에 영향을 줄 수도 있다. 함정 효과(Ship Impact)라고

13) 해군은 집중포화공격 대응 능력 향상뿐 아니라 각 함정 주위 범위가 완전히 포함되도록(즉 360도 CIWS) 일부 함정에 복수의 CIWS 체계를 탑재한다. 360도 레이저 공격 범위를 갖추고자 하는 것 역시 복수의 레이저를 한 함정에 탑재하려는 이유가 될 것이다.

14) 2014년 3월 언론 보도는 “미국에서 개발된 것과 같은 레이저 무기는 중국 본토에 연구자들이 빔을 편향시켜 무해하게 만드는 코팅을 개발했기 때문에 중국군에는 거의 위협이 되지 않는다고 본토에 과학자들은 전한다.” (Stephen Chen, “US Lasers? PLA Preparing To Raise Its Deflector Shields,” South China Morning Post(www.scmp.com), March 10, 2014.) 또 다른 관측통은 “치명률 또는 원하는 수준의 군사적 효과는 표적에 가해지는 에너지 플럭스와 소재로부터 열을 내보내는 운반(carriage)과 소재의 고장을 초래하는 벌크 히팅(bulk heating) 간의 ‘경주’와 직접적 함수 관계에 있다. 높은 플럭스 수준에서의 표면 소모(ablation) 과정은 가해진 레이저 에너지를 표면에서 흡수하여 상당한 출력 증대에서 표적을 보호하는 역할을 하는 밀도 높은 진공(outgassing) 구름을 표면 위에 생성할 수 있다.”(James Kiessling, DT&E Space and Missile Defense System의 이메일, 2014년 3월 13일).

총칭되는 이들 고려 사항은 기존 함정의 설비를 바꿔 레이저를 탑재할지 혹은 새 함정 설계에 레이저를 포함할지 여부를 고려할 때 중요해질 수 있다.

함상 레이저의 표적

함상 레이저의 표적으로는 다음과 같은 것들이 있다.

- 대함 미사일 센서를 포함한 전자 광학(EO) 센서
- 소형 보트(군집된 소형선박 포함)¹⁵⁾ 및 기타 해상 장비(제트 스키 등)
- 로켓, 포탄, 박격포(경우에 따라 총칭하여 RAM(Rocket, Artillery Shells, Mortars)이라고 함)
- UAV
- 유인항공기
- ASCM
- ASBM을 포함한 탄도 미사일

해안에 인접해 이루어지는 작전에서 소형 보트, 로켓, 포탄, 박격포는 해군 수상함에 특히 우려스러운 사항이다. 이란은 위기 또는 분쟁 시, 페르시아 만에 진입하거나 해당 지역에서 작전을 펼치고자 하는 미 해군 함정을 상대로 사용할 것을 염두에 두고 다수의 군집 선박을 확보한 바 있다. RAM 무기는 국가 및 비국가 조직에 광범위하게 확산되어 있다. 비교적 단순하고 저렴한 모델을 포함해 UAV는 해군 함정에 관한 표적 데이터를 수집 및 전송하고, 함정에 돌진해 직접 공격하는 데 사용되며, 원거리에서 해군 함정을 공격할 수 있도록 무장을 갖추 수 있다. ASCM은 국가 행위자들에게 널리 확산되어 있는데, 2006년에는 비국가 단체인 헤즈볼라(Hezbollah) 조직이 이스라엘 군함을 공격하는 데 사용한 것으로 알려졌다. 중국에서는 ASBM이 개발되었다. 레이저가 탄도 미사일을 작동 불능 상태로 만들 수는 없더라도 이를 정밀 추적 및 이미징에 사용해 탄도 미사일 방어 능력을 높일 수 있다.

15) 군집 선박이란 무리나 떼를 지어 움직이면서 큰 함정을 공격하는 소형의 고속 보트들로, 큰 함정은 수많은 적대적 플랫폼들이 함정 주위를 각기 다른 방향으로 빠르게 움직이는 복잡한 상황에 맞닥뜨린다.

표적 대응에 필요한 레이저 출력 수준

표적을 작동 불능 상태로 만드는 레이저의 능력은 대체로 빔의 출력과 품질에 좌우된다. 빔의 출력은 킬로와트(kW)나 메가와트(MW)로 측정된다. 빔 품질(Beam Quality, BQ)은 빔의 초점이 얼마나 제대로 맞는지를 측정하는 척도이다.¹⁶⁾ 다음과 같은 요인은 표적을 작동 불능 상태로 만드는 레이저의 능력에 영향을 미치는 추가적 요인으로 꼽힌다.

- 대기 흡수, 산란 및 난기류¹⁷⁾
- 지터(Jitter) - 레이저 체계의 진동이나 기타 움직임 때문에 레이저 광점이 표적 표면 주변에서 튀는 정도¹⁸⁾
- 표적이 레이저 피해를 입는 정도에 영향을 미칠 수 있는 표적의 설계상 특징

부록 A의 표 A-1에는 특정 표적에 대응하는 데 필요한 출력 수준에 관한 일부 정부와 업계의 관점이 요약되어 있다. 이들 시각은 다소 상이하지만 특정 표적에 영향을 미치는 데 필요한 대략적인 레이저 출력 수준에 관한 표에서 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다.

- 출력 수준이 약 10kW인 레이저는 특히 ‘소프트’ UAV(즉, 설계 특성상 레이저에 피해를 쉽게 입는 UAV) 등 일부 UAV에 단거리에서 대응할 수 있다.
- 출력 수준이 수십 kW인 레이저는 UAV 대응 능력이 더 강하고, 최소한 일부 소형 선박에도 대응할 수 있다.
- 출력 수준이 약 100kW인 레이저는 UAV 및 소형 선박 대응 능력이 더 강하고 로켓, 포탄, 박격포 대응 능력도 어느 정도 갖추고 있다.
- 출력 수준이 수백 kW인 레이저는 위에 언급된 표적에 대응하는 능력이 더 강하며, 유인항공기와 일부 미사일에도 대응할 수 있다.
- 출력 수준이 MW인 레이저는 위에 언급된 표적(초음속 ASCM 및 탄도 미사일 포함)

16) BQ가 완벽한 레이저(레이저 광점의 초점이 물리적 회절 한계에 모여 있음을 의미)는 1.0의 BQ를 가진다고 한다. 물리적 회절 한계에 초점이 맞춰진 빔은 자연 법칙이 허용하는 만큼 초점이 잘 맞는다. 본 보고서에서 고려되고 있는, 물리적 회절 한계에 초점이 맞춰진 파장의 레이저는 진공 상태에서 발사할 경우 빔이 광원으로부터 점점 더 멀리 나아감에 따라 레이저 광점을 벗어나 확산되는 경우가 거의 없다.

2.0의 BQ는 주어진 거리에서 레이저 광점의 직경이 다른 조건은 동일하고 BQ만 1인 레이저의 광점보다 2배 만큼 크다는 것을 의미한다. 해군은 1.1에서 5까지의 BQ는 높은 것으로, 5.1에서 20 사이의 BQ는 적당한 것으로 간주한다. 1~5의 BQ를 달성하려면 보통은 체계가 더 복잡해지고 비용이 높아진다. 일반적으로 표적까지의 거리가 길수록 BQ가 더욱 중요하다.

17) 앞서 논의한 것처럼 대기 흡수, 산란, 난기류는 레이저 빛의 파장과 적용 광학의 사용에 영향을 받는다.

18) 지터는 BQ가 개선되고 거리가 늘어남에 따라 더 중요해진다.

에 최고 약 10해리의 거리에서 대응하는 더 강한 능력을 갖추고 있다.

위의 사항 외에도, 한 해군 브리핑에서는 출력 수준이 300kW 이상인 레이저를 탑재한 함정은 본 함정뿐 아니라 구역 내 다른 함정 역시 방어할 수 있다고 밝히고 있다(지역 방어 또는 호송 작전이나 전투단 작전으로 지칭되는 능력).

함상 사용을 위해 개발 중인 레이저 유형

미 해군과 국방부는 해군 수상함에서의 사용을 염두에 두고 다음과 같은 세 가지 주요 레이저 유형을 개발하고 있다.

- 광섬유 고체레이저(SSL)
- 슬래브(slab)형 SSL
- 자유 전자레이저(FEL)

이들 세 가지 유형은 모두 전기식이다.¹⁹⁾ 각 유형은 아래에서 짧게 설명한다. 각 유형에 관한 추가 정보는 부록 C ~ 부록 F에 나와 있다.

광섬유 고체레이저(Fiber SSL)

광섬유 고체레이저(SSL)는 산업계에서 널리 사용되며, 자동차 및 트럭 제조업체에서는 금속 절단과 용접에 수만 개의 광섬유 SSL을 사용하고 있다. 따라서 광섬유 SSL은 매우 믿을 만한 기술로 간주된다.

19) 공군의 ABL(Airborne Laser) 등 일부 군사용 레이저는 화학적으로 작동된다. 함상 레이저 개발 작업은 전동식 레이저에 주력하고 있으며, 이는 전동식 레이저가 함정의 기존 전력 체계로 작동할 수 있는 반면 화학적으로 작동되는 레이저의 경우에는 레이저에서 사용되는 화학물질을 함정에 주기적으로 재보급해야 하기 때문이다. 함정에 화학물질을 재보급하려면 함정이 일시적으로 전투에서 이탈해야 할 수 있다. 또한, 화학물질을 해군 수상함에 공급하려면 새로운 군수 훈련을 수립해야 하며, 이러한 화학물질이 유독한 관계로 이를 함정에 적재하고 저장하면서 선원들에게 취급상 위험이 대두될 수 있다.

레이저 무기체계(LaWS)

해군이 개발한 광섬유 SSL 시제품 시연기인 레이저 무기체계(LaWS)의 빔 출력은 33kW였다. 한때 해군은 EO 센서 무력화 또는 가역적 재밍, UAV 및 EO 유도 미사일 대응, 레이더 추적능력 보강과 같은 임무에 LaWS를 사용하려는 계획을 세웠다. LaWS를 자체 마운트에 탑재하거나 기존 팔랑스 근접 방어 체계(CIWS) 마운트에 추가 장치로 탑재하는 것이 해군의 구상이었다.²⁰⁾ 후자의 방안을 지원하고자 해군은 CIWS에 LaWS를 통합하는 작업에 자금을 지원했다.

해군은 LaWS 시험과 관련하여 다음과 같이 밝혔다.

- 2009년 6월, 캘리포니아 남부 차이나레이크(China Lake) 해군 항공 무기 기지의 사막 환경에서 이루어진 모의 전투 시나리오 시험에서 LaWS는 5대의 모의 UAV와의²¹⁾ 5회 교전 시도에서 성공적으로 교전을 마쳤다.
- 2010년 5월, 남부 캘리포니아 연안 샌니컬러스(San Nicholas) 섬에서 수행된 해상 약 1해리 거리의 모의 전투 시나리오에서 LaWS는 4대의 모의 UAV와의 4회 교전 시도에서 성공적으로 교전을 마쳤다. 또한, LaWS는 RHIB(Rigid-hull Inflatable Boat - 소형 보트의 일종)에서 사용되는 소재를 약 0.5해리 거리에서 파괴하고, 전자 광학/적외선 센서에 대한 가역적 재밍 및 교란 능력을 이들 시험 과정에서 입증했다.
- 2012년 7월에서 9월 사이 LaWS는 샌디에고(San Diego) 앞바다에서 알리 버크(Arleigh Burke)급(DDG-51) 구축함 USS 듀이(Dewey, DDG-105)함에 탑재된 상태로 이루어진 3대의 UAV와의 3회 교전 시도에서 성공적으로 교전을 마쳤다.

해군은 LaWS 빔 출력을 2014회계연도까지 약 100kW로 높일 계획을 세웠다. 100kW를 넘어 궁극적으로 얼마까지 이러한 체계의 출력을 높일 수 있는지는 확실하지 않지만 MW 출력 수준까지 높이는 것은 일반적으로 불가능하다고 여겨졌다.

해군은 2010년 6월 현재, LaWS 시제품의 기술 성숙도(Technology Readiness Level, TRL)가 “관련 해상 환경에서의 체계 시제품 시연에 기초할 때 6에 다가서고 있다”고 밝힌 바 있다.²²⁾ 해군은 LaWS를 TRL 7, 즉 작전 환경에서의 체계 시제품 시연까지 발전시

20) 앞서 언급한 것처럼 팔랑스 CIWS는 20mm 포탄을 발사하는 레이더 제어 개틀링 포이다.

21) 모의(Threat-Representative)란 UAV의 구조와 능력이 적어 운용하는 UAV와 일반적으로 비슷함을 뜻한다.

키는 데에 소요되는 비용이 대략 1억 5천만 달러에 이를 것으로 추산했다. 해군에서는 LaWS 사업을 공식 추진등재사업으로 전환할 준비가 되었다고 보았다. 해군은 함정 CIWS 마운트에 추가 장치로 LaWS 양산형을 탑재 및 조달하는 데에는 CIWS 마운트당 총 1천 7백만 달러 정도가 들 것으로 추산했다.²³⁾

해군은 2014년 여름, 페르시아 만에서 전방배치 임시 해상기지(AFSBII)로 운용되고 있는 USS 폰스(Ponce)함에 LaWS 체계를 탑재해 작전 환경에서 함상 레이저의 지속적 평가를 수행할 계획이다.

더 자세한 설명은 아래 ‘최근 개발상황’에서 ‘USS 폰스함에 탑재, 시험된 LaWS’를 참조. 광섬유 SSL과 LaWS에 관한 추가 정보는 부록 C를 참조.

전술 레이저 체계

해군의 또 다른 광섬유 SSL 사업인 전술 레이저 체계(Tactical Laser System, TLS)는 빔 출력이 10kW인 레이저로, 여러 해군 수상함 갑판에 탑재된 Mk 38 25mm 기관포에 추가되도록 설계되었다. TLS는 Mk 38의 소형 보트 대응 능력을 강화하며, 표적 정밀 추적 역시 지원할 수 있다. 2011년 3월, 해군은 15개월에 걸쳐 TLS 시제품을 개발하는 280만 달러 규모의 계약을 BAE사에 발주했다. 이 프로젝트에서는 보잉(Boeing)사가 BAE사와 협력하고 있다. TLS 사업은 2008년 1월의 이란 소형 보트 관련사건 이후 착수되었다.

2012년 3월 26일자 언론 보도에 따르면, “마이클 린(Michael Rinn) 보잉사 지향성에너지 부사장은 해군에서 소규모 자금을 받고 양 사의 내부 투자로 보충되는 이 프로젝트가 지난 몇 년간 몇 차례 성공을 거뒀다고 말했다. 예를 들어, 작년 여름에 플로리다 주 에글린(Eglin) 공군 기지에서 시행된 주요 구성부품 현장 시험에서는 체계가 주간 및 야간

22) 2011년 6월 14일에 해군이 CRS와 CBO에 제출한 2011년 6월 6일자 해군 정보 보고서. 국방부는 여러 무기 기술 개발상황을 등급화하기 위해 TRL 등급을 사용한다. 국방부 TRL 등급은 1(기본 원리 관찰 및 보고)부터 9(성공적 임무 운용을 통해 실제 체계 입증)까지다. 전체 9개의 국방부 TRL 등급의 정의는 부록 H를 참조한다.

23) 1천 7백만 달러라는 수치는 해군의 CRS 브리핑에서 나온 것이다. 2010년 5월 11일자 언론 보도는 해군 장교의 말을 인용하여 이 비용을 1천 5백만 달러로 추정했다.

“전체 체계는 최종적으로 체계당 1,500만 달러 선이 될 것으로 본다. 여기에는 포 비용도 들지 않고, 포를 유지하는 군수 군무원도 필요 없으며, 포를 정비할 병기창도, 이 포를 움직일 때 화재 진압도 없을 것”이라고 [NAVSEA(Naval Sea Systems Command) 지향성에너지 및 전기 무기 사업 매니저 데이브 키엘(Dave Kiel) 대령이] 말했다.

(Geoff Fein, “Navy Leveraging Commercial Lasers To Shoot Down UAVs,” Defense Daily, May 11, 2010: 3-4.)

에 아군과 적군의 활동을 구별할 수 있음을 보여 주었다.” 해당 보도에서는 전체 레이저 체계 시험이 2012년 여름으로 계획되어 있다고 밝혔다.

2013년 1월 28일자 언론 보도에 따르면 “이달 초 회사 관계자들은 BAE시스템사와 보잉사가 내부적으로 재원을 집중 조달한 시험을 통해 Mark 38 TLS를 시험하고 있으며, 함정 사용이 가능해지는 대로 해상 시험을 위해 함정에 탑재하기를 희망하고 있다고 밝혔다.” 이 기사에 따르면 보잉사 임원인 마크 린(Mark Rinn)은 “2012년 12월의 시험이 순조롭게 이루어졌으며, ‘수천 미터’ 거리에서 성공적인 교전능력을 보여 주었다고 말했다. 그는 Mark 38 TLS의 표적 집단에 무인항공기를 포함시키고자 했지만(이 무기체계는 이미 지상 및 해상 표적에 대한 발사시험을 거쳤다) 두 회사는 제때 허가를 받지 못했다. 그는 올봄에 있을 다음 시험 전까지는 UAV 대응 시험 허가를 얻을 수 있을 것이라고 말했다.”

TLS에 관한 추가 정보는 부록 D를 참조.

슬래브형 고체 레이저(Slab SSL)

미 국방부는 군사용 슬래브형 SSL을 개발하고자 여러 가지 사업을 추진해 왔다. 이 중에서 해양 레이저 시연기(Maritime Laser Demonstration, MLD)는 국방부의 통합 고출력 SSL(Joint High Power SSL, JHPSSL) 사업에 따른 신속 시연 프로젝트의 일환으로 개발된 시제품 레이저 무기이다. MLD는 국방부의 JHPSSL 사업하의 다른 슬래브형 SSL 개발에 활용된 바 있다. 2009년 3월에는 노드롭사가 각각 출력이 약 15kW인 7대의 슬래브형 SSL을 밀착·결합시켜 약 105kW 출력의 빔을 만들어내는 MLD를 시연했다.

2010년 7월, 캘리포니아 주 해군 해상 무기 센터(Naval Surface Weapons Center, NSWC) 포트 와이니미(Port Hueneme)에서는 해상 환경에서 MLD의 소형 보트 추적 능력이 시험되었다. 2010년 8월 말과 9월 초에는 해군 포토맥 강 시험장의 수상 환경에서 모의 소형 보트를 포함한 정지 표적을 대상으로 MLD 시험이 이루어졌다. 2010년 11월에는 체계 구성 부품 중 하나를 교체해야 하는 상황이 발생하여, 소형 보트 표적을 상대로 한 해상 체계 시험이 중단된 것으로 알려졌다. 이는 2011년 4월에 재개되었고, 2011년 4월 6일에 이 체계는 소형 표적 선박과의 교전을 성공적으로 마쳤다. 해군에 따르면

이 시험은 해군 함정에 이러한 에너지 수준의 레이저를 탑재하고 함정에서 전력을 공급 받아, 해양 환경에서 떨어져 있는 표적에 대응한 첫 번째 사례이다. 노드롭사는 2011년 5월, 해군이 사업 재원을 확보해 준다면 4년 안에 무기의 첫 번째 최고출력(Full-power) 설계 및 제조개발단계(Engineering and Manufacturing Development, EMD)의 제품을 제작할 수 있다고 밝혔다.

슬래브형 레이저의 총출력을 300kW로 높이는 데에는 별다른 기술적 난관이 없는 것으로 여겨진다. MLD 같은 슬래브형 SSL을 지지하는 이들은 궁극적으로 600kW까지는 출력 증강이 가능할 것으로 여기고 있다. 일반적으로 슬래브형 SSL은 MW 출력 수준까지 증강이 쉽지 않은 것으로 여겨진다.

해군은 2010년 12월 현재, MLD의 기술 성숙도(TRL)가 5라고 밝혔으며, 이는 관련 환경에서 구성 부품 및 회로모의(Breadboard)를 검증하는 단계를 뜻한다.²⁴⁾

슬래브형 SSL에 관한 추가 정보는 부록 E를 참조.

자유 전자 레이저(FEL)

각 군에서 개발 중인 슬래브형 SSL과 달리 FEL은 육군 또는 해병대 지상 차량이나 공군 전술 항공기에 탑재하기에는 지나치게 크고, 대기 투과 최적점에 일치시키기 위해 파장을 변환할 수 있는 FEL 능력이 해상 환경에서의 작전에 특히 적합하다는 등의 이유로 국방부 내에서 해군 단독으로 개발하고 있다. FEL의 기본 구조는 출력 수준을 1MW 이상까지 증강할 수 있는 확실한 잠재력이 있다.

14.7kW의 FEL이 개발되었으나 아직까지 실험실을 벗어나거나 작전 이동 표적을 상대로 발사되지는 않았다. 미 해군연구처(The Office of Naval Research, ONR)는 이에 이어 혁신적 해군 시제품(Innovative Naval Prototype, INP)으로 100kW FEL 개발을 계획하고 2010~2015회계연도 중에 사업을 시행할 계획이다.²⁵⁾ 100kW FEL 개발은 메가와트급

24) 해군이 2010년 12월 3일에 CRS에 제출한 2010년 12월 3일자 해군 정보 보고서, 각주 23에서 언급한 것처럼 국방부는 여러 무기 기술 개발상황을 등급화하기 위해 TRL 등급을 사용한다. 국방부 TRL 등급은 1(기본 원리 관찰 및 보고)부터 9(성공적 임무 운용을 통해 실제 체계 입증)까지다. 전체 9개의 국방부 TRL 등급의 정의는 부록 H를 참조한다.

25) 저출력 Terahertz Sensor FEL은 INP에서도 개발 중이며, 시제품이 2015회계연도에 나올 예정이다. ONR은 "이 체계의 가능한 용도에는 [표적] 질의, 고가 표적 감지 및 구별, 대량 살상 무기 탐지가 포함된다."고 밝혔다.

FEL 개발에 수반되는 위험을 줄일 것이다. 그러나 2011년 3월 26일자 언론 보도에서는 “해군이 함대에 지향성에너지 무기를 가장 신속하게 제공하는 방안으로 고체레이저(SSL)에 주력함에 따라 이 프로젝트가 보류될 계획”이라고 보도한 바 있다. 이 보도에 따르면 “ONR 해상공중전 및 무기부의 로저 맥기니스(Roger McGinnis) INP 사업 책임자는 해군이 이전에는 메가와트 레이저포를 개발하는 중간 단계로 100kW FEL 포의 개발을 추진했지만 이제는 그 대신에 에너지부 실험실이나 소규모 업계 파트너와 함께 주요 기술 요소의 완성도를 높이는 데 주력하기로 결정했다고 말했다...”

해군은 2010년 12월 현재, FEL 기술 성숙도(TRL)가 4라고 밝혔다(이는 실험실 환경에서의 구성 부품 및 회로모의 검증에 의미한다).

FEL에 관한 추가 정보는 부록 F를 참조.

해군 수상 함대의 함상 레이저의 일반화된 비전

해군의 수상 함대에는 함상 고에너지 레이저에 대한 3단계 일반화된 비전이 있으며 이는 표 2에 요약되어 있다. 이 일반 구상은 일정 출력 수준의 레이저와 해군 함정에 레이저를 탑재할 수 있는 시기를 언급하고 있지만 함상 레이저 양산 조달을 위한 추진사업은 아니다.

표 2 해군의 함상 고에너지 레이저 일반화된 비전(2011년 5월 기준 초고)

	최초 능력	추가 능력	추가 능력
레이저 빔 출력	60kW~100kW	300kW~500kW	> 1MW
임무	UAV, EO 유도 ASCM, 적 ISR 체계, 군집 선박 대응 및 전자기 레일건(EMRG)에 의해 수행되는 방공 임무, 탄도 미사일 방어(BMD) 임무, 함정 레이더 증강, 일반 상황 인식 강화 지원을 위한 정밀 추적에 사용	왼쪽 칼럼의 능력에 사거리 및 다른 함정을 향해 횡단 경로로 날아오는 ASCM에 대응하는 능력 추가	왼쪽 칼럼의 능력에 ASCM과 날아오는 핵탄두(MaRV)를 상대로 한 완전 자체 방어 작전 능력과 완전 BMD 임무 능력 추가

	최초 능력	추가 능력	추가 능력
필요한 함정 출력(kW 또는 MW) 및 냉각 능력(톤) ^a	< 400kW 및 68톤	< 2.5MW 및 560톤	~10~20MW 및 ~1,400톤
현재 무기체계 TRL	5	4	2~3
가장 이른 IOC 가능 시점	2017년	~2022년	2025년 이후
적용 가능 함정	새 함정 탑재는 물론 기존 함정 설비 변경을 통해 탑재 가능	Flight III DDG-51 등 미래 수상 전투함에 탑재 가능	미래 수상 전투함과 합추진 체계를 갖춘 함정 및 항공모함에 탑재 가능

출처: 2011년 5월 20일자 미 해군 브리핑 슬라이드로, 해당일 브리핑에서 CRS 및 CBO에 제공됨.

a. 출력 및 냉각 요건은 67% 사용률로 레이저를 연속 사격하는 경우(즉, 67% 시간 동안 레이저 발사)를 가정한 것이다.

남아 있는 기술적 난관

미 해군과 국방부의 군사용 레이저 연구는 함상 레이저와 관련된 수많은 기술적 난관을 극복했지만 아직도 많은 어려움이 남아 있다. 함상 레이저에서 아직 해결되지 못한 기술적 난관은 크게 네 가지 범주로 나눌 수 있다.

- 빔 품질을 유지하거나 개선하고, 열 관리를 해결(이득 매질(Gain Medium)에서 나오는 폐열 제거)하면서 빔 출력을 더 높은 수준으로 증강
- 레이저 시제품과 시연 버전을 양산, 함상 탑재, 함상 운용 및 장기적 유지 보수에 적합한 버전으로 전환
- 표적 탐지 및 추적, 빔 조준 등 완전한 레이저 무기체계의 기타 부분 설계
- 함정 전력 및 냉각 체계, 함정 전투 체계(즉, 함정의 통합된 센서, 컴퓨터, 디스플레이, 무기)에 레이저 통합

여기에서는 이들 난관을 간단하게 언급하고 넘어가지만 실제로 사소한 것은 아니다. 회의론자들은 과거 국방부의 일부 레이저 개발 사업이 기술적 난관 극복 전망과 운용 가능한 무기 생산 측면에서 지나치게 낙관적이었다는 점이 드러났다고 주장할지 모른다. 이들 회의론자는 수십 년간 개발이 진행되었음에도 국방부가 운용 가능한 고에너지 레이저 무기체계를 아직도 배치하지 못했음을 지적할 수도 있다.

최근 개발 현황

해군 지향성에너지 조정 그룹

해군이 해군 지향성에너지 비전, 전략, 로드맵을 개발하고자 2011년 12월에 해군 지향성에너지 조정 그룹(Naval Directed Energy Steering Group, NDESG)을 구성했다고 2012년 6월에 보도되었다. 2011년 12월 12일, 해군의 조정 그룹 설립 제안서는 부분적으로 다음과 같이 밝히고 있다.

다양한 임무 영역에 걸쳐 판도를 바꿀 능력이 있는 첨단 기술을 효율적이고 효과적이며, 신속하게 개발 및 획득, 배치하는 것은 미래 해군 및 해병대 전투 능력의 핵심이다. 레이저와 고출력 마이크로파(High Power Microwave, HPM) 무기를 포함한 지향성에너지 무기(Directed Energy Weapon, DEW) 기술은 판도를 바꿀 수 있는 그러한 잠재력을 우리 해군에 제공할 수 있다….

해군 지향성에너지 조정 그룹(NDESG)은 해군 활동의 교리, 조직, 훈련, 물자, 리더십, 인력영역에 걸쳐 단기적 함대 능력 격차를 해소하고 함대에서 지향성에너지(Directed Energy, DE)의 장기적 비전을 구현하기 위해 일치되고, 재정적으로 투명한 전략을 실행하기 위한 해군 장관(SECNAV) 사업으로 결성된다. NDESG는 이런 노력을 이끄는 공식적 엔진이 될 것이다….

NDESG는 다음을 목표로 한다.

- a. 해군성(DoN) 해군 지향성에너지 비전 및 전략 개발… 지향성에너지 비전은 미 해군에 배치되어 운용될 바람직한 DEW 능력과 DE 역담지에 대한 해군성 고위층의 생각을 나타내는데 필요하다. 이를 뒷받침하는 DE 전략은 해군과 해병대의 DEW 획득 및 배치에 관한 전략적 목표, 지침 원리, 임무영역 우선순위, 역할과 책임, 중요 목표를 확립하는 데 사용될 것이다.
- b. 종합적 DE 로드맵 개발… 중요 비전과 전략에 바탕을 둔다. 제안된 로드맵은 해군 전반의 우선적 임무 요구 및 이러한 임무 요구를 단기(2~5년), 중기(5~10년), 장기(10~20년)적으로 충족하기 위해 배치될 수 있는 관련 DE 기술을 다룬다.
- c. 과학기술(S&T)/연구개발(R&D) 평가를 제공하고, 비물질적 노력을 포함한 DE 체계와 기술 개발 및 함대로의 이전을 감독하여, 이러한 새로운 역량을 기존 운용 개념과 절차에 통합시킨다. …²⁶⁾

26) 비물질적 노력이란 교리나 전술의 변화처럼 새롭거나 현대화된 장비 획득 이외의 조치를 가리킨다.

NDESG는 본 강령의 공포 90일 이내에 내부 실행 계획과 중간 목표가 포함된 비전과 전략 초안을 해군 차관(UNDERSECNAV)에게 제공할 것이다.

미 해군 지향성에너지 비전

앞 절에서 인용한 제안서 (a) 단락에서 언급된 지향성에너지 비전과 전략이 개발되었다. 비전 문서의 본문은 다음과 같다.

미 해군 지향성에너지 비전

2012년 1월에 21세기 국방우선순위(Priorities for 21st Century Defense)에서 공표된 국방부 장관 지침은 “상당한 장기적 이득을 제공할 수 있는 핵심 혁신 흐름을 유지”하도록 국방부에 지시하고 있다. 지향성에너지(DE) 기술은 장기적으로 큰 투자 수익을 거둘 가능성이 있을 뿐 아니라 당면한 통합군 사령관 요구 사항을 해결하고, 접근차단 및 지역거부(Anti-access and Area-denial) 도전 등 새로운 위협에 초점을 맞춘 함대 실험을 가능하게 하여 현재의 미래국방계획(Future Year Defense Plan, FYDP) 내에서 상당한 이익을 가져올 수 있다.

DE 기술의 군사적 응용은 군사 작전의 전 범위에 걸쳐 미군이 전술적, 작전적, 전략적 우위를 점하고 이를 유지할 가능성을 높이고 있다. 이러한 응용은 해상, 공중, 육상, 우주 및 사이버 공간 등 여러 차원의 전투 공간에서 상당한 효과를 볼 수 있다. 지향성에너지 무기(DEW)는 매우 신속한 교전, 경제적인 교전비용, 기본적으로 무한한 탄약, 경제적인 전체 소유 비용 등 잠재적으로 전장의 판도를 바꿀 수 있는 몇 가지 장점을 제공한다. DEW를 적극적으로 추진하는 적을 포함한 잠재적 적에 대해 우리 해군과 해병대 팀이 전투력 우위를 유지할 수 있도록 미래국방계획 전반에 걸쳐 DEW와 관련 플랫폼 통합 기술에 적절한 자원이 제공되어야 할 것이다.

DEW는 비운동성 또는 전자기 에너지를 발사하여 표적에 영향을 미친다. DEW 기술은 전자기 스펙트럼의 어떤 부분에서도 작동이 가능하며, 일반적으로 레이저(저, 중, 고출력)나 고출력 무선 주파수(고출력 마이크로파, 무선 주파수(RF), 마이크로파, 밀리미터파(MMW))의 범주에 속한다. DEW 기술과 체계는 전자기 에너지를 사용하여 비치명적 대인 및 대장비(Counter-material) 응용을 포함해 표적 소재, 전자 장치, 광학 장치, 안테나, 센서에 교란, 가역적 효과 또는 영구적 손상을 입힌다. 이들 무기가 표적을 무력화, 교란시키거나 손상 또는 작동 불능 피해를 입히거나 파괴하는 능력은 실험실, 현장 시험 및 평가와 성공적인 전장 작전에서 이루어진 다수의 치명적 및 비치명적 효과 시연을 통해 입증되었다.

해군성(DoN)은 중대한 해군 및 해병대 역량 격차를 해소하는 기술에 DE 투자를 집중할 예정이

다. 고출력, 장거리 DEW의 군사적 활용에 수반되는 기술적 난관(전력, 냉각, 무게 및 부피 요건 포함)을 극복하기 위한 해상함대의 능력을 감안할 때, 해상함대가 1세대 무기의 잠재력 시연을 선도하는 것이 마땅하다. DEW 전반에 걸쳐 초기 응용은 전진 배치 전력이 급조 폭발물(IED); 포, 박격포, 로켓; 정보, 감시 및 정찰 체계; 고속정; 고정익 및 회전익 항공기; 아음속 대함 순항 미사일 등을 격퇴하도록 지원하는 데 주력할 것이다. 보다 장기적인 목표는 초음속 순항 미사일과 선별된 탄도 미사일을 격퇴할 수 있는 보다 높은 출력의 체계를 배치하는 것이다.

기술 완성도가 높아짐에 따라 에너지 효율이 개선되고 파형률(Form Factor)이 줄어들면, DEW를 지상 차량에 통합하여 전장 환경에서 사격 및 기동을 지원하며, 도시 지형에서 부수적 피해 최소화 타격(Low Collateral Damage Strike)을 가하고 비치명적 DEW를 사용하여 적을 민간인으로부터 분리, 격리시키며, 점점 보편화되는 유도 로켓, 포, 박격포, 미사일로부터 방어하게 될 것이다. 고정익 및 회전익 항공기용 DE 응용은 공대공, 공대함, 공대지 공격 및 방어 임무 양쪽에 초점을 맞출 예정이다. 초기 응용은 함대공 및 소형 보트 위협에 대한 대응과 임무 맞춤형 치명성을 지닌 정밀 타격 수행에 집중할 것이다.

해군성은 향후 우리가 나아갈 바를 알려주는 귀중한 배치 및 운용 교훈을 얻는 동시에 확인된 중요 임무 역량 격차를 해소할 능력을 함대와 작전 병력에게 제공하고자 가까운 시일 내에 최초 DEW 역량을 배치할 계획이다. 혁신은 미 해군의 특징이었다. DEW가 실험실을 벗어나 전장에 배치될 때, 이는 우리 해군 및 해병대 팀이 기술적 우위를 유지하고 국가에서 수행하는 전투에서 승리하도록 도울, 해군의 또 다른 혁신을 상징한다. 이 목표를 위해 해군성은 운용 요구 사항, 기술적 완성도 또는 준비도, 실증된 성능, 체계 통합의 용이성 및 적정 가격을 기반으로 DEW 과학 기술 및 연구 개발 활동과 획득 사업으로의 전환을 향한 신중한 접근법을 취할 것이다.

해군성은 잠재적 적이 입수할 수 있는 DEW의 보급 및 기술적 완성으로 대두되는 국방상 도전을 해결할 것이다. 이러한 노력은 역탐지, DEW 저항 체계, 해양 전투 영역 전반에 걸친 효과적인 비물질적 해법의 개발 및 배치의 지침이 될 것이다. 고출력 DEW는 이를 추진하는 국가들로 제한 되겠지만 저출력 무기를 비교적 저렴한 가격으로 입수할 수 있는 비국가 행위자는 점점 늘어날 것이다.

끝으로 해군성은 우리 해군과 해병대가 DEW를 효과적으로 운용할 수 있도록 타군 및 기관들과 협조하여 정책과 교전수칙을 갖출 것이다. 또한, DEW 자체에 그치지 않고 DEW를 최대한 활용할 수 있도록 하는 센서, 통신, 제어 기술을 여타 군 전력과 조합하여 개발할 것이다.

지향성에너지 로드맵 및 가능한 대안 분석(Analysis Of Alternatives)

2013년 8월 5일자 언론 보도는 해군 장교와의 인터뷰를 근거로, 해군 지향성에너지 조정 그룹이 “드론 및 군집 선박 위협에 대처할 때 운동 무기가 아닌 지향성에너지 무기로 대응할지에 대한 결정에 참고할 정보를 제공할 수 있는 단기 로드맵 준비를 올가을에 마치고, 내년에는 중기 및 장기 로드맵을 뒤이어 마련할 것”이라고 보도했다. 이 보도는 해군 장교의 말을 인용하여, 2014회계연도에 지향성에너지 능력에 관한 대안 분석 실시와 관련된 논의가 있었다고 밝혔다.

유력한 후보 플랫폼으로 알려진 구축함(DDG) 및 연안전투함(LCS)

2012년 8월 20일자 언론 보도에 따르면 해군은 MLD 사업 이후, 다양한 해군 함정 등급의 SSL 수용 능력을 검토하는 연구를 실시하였다. 이 보도는 ONR의 피터 모리슨(Peter Morrison) SSL 사업 매니저의 말을 인용하여, 연구결과에 기초할 때 “구축함(DDG)과 연안 전투함(LCS) 급이 고에너지 레이저 무기 능력에 대한 최근의 요구와 함정 등급의 전력, 냉각, 공간, 무게 예상에 부합해 새로운 능력을 탑재하기에 가장 적합했다.”고 밝혔다. 이 보도는 또한, 해군이 SSL을 다른 유형의 함정에도 탑재할 가능성을 계속 검토 중이라고 밝혔다.

USS 폰스함에 탑재 및 시험된 LaWS, 운용 능력 선언

해군은 군집 선박과 다수의 UAV를 상대로 한 작전 환경에서 함상 레이저를 평가하고자, 페르시아 만에서 전방배치 임시 해상기지(AFSBIII)로 운용되고 있는 개조된 양륙함정 USS 폰스함에 LaWS를 탑재할 예정이라고 2013년 4월 8일에 발표했다. 해군은 2014년 여름에 폰스함에 LaWS를 탑재하고, 이후 12개월간 평가할 예정이라고 밝혔다.

2014년 12월 10일자 ONR(미 해군연구처) 보도 자료는 다음과 같이 밝혔다.

미 해군연구처(ONR)는 미 해군과 해병대에 상당한 신규 전력이 되어줄 첨단 무기인 레이저 무기체계(LaWS)가 페르시아 만에서 해군 함정에 탑재되어 처음으로 성공적인 배치 및 운용이 이



루어졌다고 오늘 발표했다.

USS 폰스(AFSB[I] 15)함에 탑재되어 2014년 9월부터 11월까지 이루어진 이번 운용 시연은 작전 배치된 미 해군 함정에 탑재된 레이저 무기가 작동함을 보여주었을 뿐만 아니라 LaWS가 기존 함정 방어 체계와 완벽하게 연계되어 작동했다는 점에서 역사적으로 큰 의미가 있다...

해군연구처장인 매튜 L. 클런더(Matthew L. Klunder) 해군소장은 “강력하고 비용이 저렴한 레이저 무기는 미래 해군 전투 작전에서 중요한 역할을 할 것”이라고 말했다. “우리는 시제품인 이 특별한 무기를 조금은 혹독한 방식으로 작동하였으며, 우리가 지정한 표적을 정확히 추적하여 거의 즉각적인 치명률(Near-Instantaneous Lethality)로 파괴했다.”

해군연구처(ONR), 해군 해상체계사령부, 해군 연구소(Naval Research Laboratory), 해군 수상전 센터(Naval Surface Warfare Center Dahlgren Division), 업계 파트너와의 협력 사업인 LaWS는 시험 중에 고속으로 다가오는 소형 보트에 탑재된 표적을 명중시키고, 공중에 있는 Scan Eagle 무인항공기(UAV)를 격추시켰으며, 그 밖의 움직이는 해상 표적들을 파괴했다.

해군관계자들은 LaWS가 함상에 탑재된 이후 수개월 동안 매일 LaWS를 작동했으며, 바람이 거세고 덥고 습한 날씨 등 악천후에서도 무기가 완벽하게 작동했다고 보고했다. 이들은 체계의 안정성과 유지 보수성 모두 기대 이상이라고 언급했다.

이 체계는 비디오 게임기와 비슷한 컨트롤러로 조작되며, 광학적 눈부심(Dazzling) 효과와 작동 불능 같은 비치명적 수단부터 필요할 경우에는 치명적 파괴까지 다양한 정도의 옵션을 사용하여 다수의 위협에 대처할 수 있다. 이 체계는 소형 공격 보트와 UAV 등 일명 ‘비대칭 위협’에 맞서는 중추적 자산이 될 수 있다.

폰스함 배치에서 얻은 정확도, 치명률 및 기타 요소에 관한 데이터는 ONR의 고체레이저(SSL) 기술 완성도 사업에 따른 무기 개발의 지침이 될 것이다. 이 무기 개발 사업에 따라, 2020년대 초에 유도 미사일 구축함(DDG)과 연안 전투함(LCS) 같은 함정에 탑재할 수 있는 비용 대비 효과적이고 전투태세를 갖춘 레이저 시제품을 개발할 업계 팀들이 선정되었다...

클런더 해군소장은 “발사당 소요 비용이 1달러에 채 미치지 않아 LaWS가 제공하는 경제적 가치에 관해서는 의문의 여지가 없다.”면서 “국방 예산에서 중요한 사안인 무기 비용문제를 감안할 때, LaWS는 우리 해군과 해병대가 적보다 유리한 입장에서 싸울 수 있도록 자원을 보다 효과적으로 관리해 줄 것이다.”라고 밝혔다.

해군은 이미 다양한 해상 환경에서 레이저의 효과를 입증한 바 있다. 2011년 시연에서는 구축함에서 레이저를 사용하여 다수의 소형 보트를 격퇴했다. 2012년 해군 훈련 중 시험에서는 LaWS가 여러 대의 무인항공기를 격추시켰다. 현재의 시연에서 얻은 데이터가 분석되는 대로 다음 단

계와 시기에 관한 구체적인 사항이 결정될 것이다.

2014년 12월 11일자 업계 신문 보도는 다음과 같이 밝혔다.

페르시아 만에서 작전 중인 함정에 해군 최초로 배치된 레이저가 운용 합격 판정을 받았으며, 이를 통해 승조원들이 잠재적 위협에서 스스로를 방어할 수 있게 되었다고 지난 수요일에 해군연구처 책임자가 말했다.

매튜 클런더 해군소장은 미 중부사령부(CENTCOM)가 위협 발생 시 레이저 사용을 허가했으며, 이 승인은 함장에게까지 전달되었다고 기자회견에서 밝혔다. 레이저 무기체계로 알려진 LaWS는 30kW 레이저로, 8월에 USS 폰스함에 탑재되었다.

클런더 해군소장은 함정이 이후 페르시아 만을 향해 떠났으며, 최근에는 LaWS가 고속정과 드론을 타격하여 운용 시험을 성공적으로 치렀다고 이야기하면서 이는 지향성에너지 무기가 최초로 운용 배치된 '역사적'인 일이라고 덧붙였다.

해군은 2018년에 추진등재사업을, 2020~2021년에 초기운용능력(IOC)을 예상

해군에서는 함상 레이저 추진등재사업이 '2018회계연도'에 이루어질 것으로 예상하며 2020년에서 2021회계연도에는 함상 레이저 초기운용능력(IOC)을 확보할 것으로 내다보고 있다고 2014년 3월에 보도되었다.

2014년 3월 해군 증언

2015년 국방부 과학기술 사업에 관해 2014년 3월 26일 이루어진 하원 군사위원회 정보, 신종 위협 및 역량(Intelligence, Emerging Threats & Capabilities) 소위원회 청문회에서 해군연구처장인 매튜 L. 클런더(Matthew L. Klunder) 해군소장은 다음과 같이 말했다.

현재 진행 중인 성공 사례는 고체레이저 기술 완성사업(SSL-TM)의 일환인 레이저 무기체계(LaWS)입니다. 우리는 에너지 무기, 특히 지향성에너지 무기가 빛처럼 빠른 교전, 충분한 탄약, 다중 임무 기능 및 적정 가격의 해법이라는 면에서 해군과 해병대에 판도를 바꿀 수 있는 역량을 제공한다고 생각합니다. 레이저 무기는 교전비용이 매우 낮습니다. 현재 펄스 에너지 무기의 발사당 비용은 1달러 미만입니다. 현재의 재정 환경에서 이는 대단히 중요합니다.

이들은 고속정, UAV 및 그 밖에 쉽게 구할 수 있는 저비용 무기 등을 이용한 적의 위협을 격퇴

할 수 있습니다. 현재, LaWS로 지칭되는 레이저 무기체계는 적의 수상 및 공중 위협을 식별, 조명, 추적하여 레이저를 발사할 수 있으며, 튼튼하고 견고한 시제품 무기에 사용할 수 있도록 상용 기술의 발전을 활용합니다. 해군은 올해, 정확히는 올여름에 이 LaWS 체계를 페르시아 만에 있는 USS 폰스함에 탑재할 것입니다.

작전상 중요한 이 혹독한 환경이 장기적 체계 성능을 평가할 이상적 기회가 되어줄 것입니다. 해군과 해병대를 위한 효과적이면서 적절한 가격의 무기 배치라는 면에서 우리는 LaWS가 탁월한 성공을 거둘 가능성을 빠짐없이 갖추고 있다고 믿습니다.

청문회 후반에는 다음과 같은 의견 교환이 있었다.

뉴젯트(Nugent) 하원의원(계속): ... 장군, 저도 지향성에너지와 관련된 모든 것에 대단히 관심이 많습니다. 랜저빈(Langevin) 씨와 저는 지향성에너지의 열렬한 지지자라고 생각하는데, 장군께서 폰스함과 관련해 실제 시험과 시험 능력, 시험에 드는 비용, 그러니까 미사일을 1기 발사할 때 100만 달러가 드는 데 비해 1달러가 든다는 점과 관련하여 언급하신 내용 때문입니다.

사업은 현재 개발단계에 있는 것으로 압니다. 하지만 저는 여러 사업이 생산까지는 이르지 못한 상황, 그러니까 무기 배치까지 되지 못한 그런 상황을 많이 봐 왔습니다. 폰스함에 실린 체계는 사업의 미래와 관련해서 상황이 어떻습니까?

클런더: 답변하겠습니다. 우선 질문 감사합니다. 해군부 고위층이 한 가지를 확신하고 있다고 말씀드려야겠군요. 즉, 우리가 이 새롭고 혁신적인 체계를 이를 직접 운용하는 해군과 해병대에 맡겨 검증해야 한다는 것입니다. 개발이 제대로 이루어졌는지, 개발하였는데 일부 보완이 필요한지, 아니면 개발은 했는데 제대로 개발하지 못했는지-이 경우에는 되돌려 보내게 될 것입니다-이들이 우리에게 알려 주었으면 하는 것이지요.

하지만 중요한 점은 해군이나 해병대에 이 체계를 맡겨, 전투 환경에서 효과적인지 가격이 적당한지를 그들이 직접 말해줘야 한다는 겁니다. 그리고 혁신에 관한 언급은 감사합니다. 우리는 혁신이 이 나라가 세워진 방식이자 우리가 적보다 앞서는 방식이라고 진심으로 믿습니다. 우리는 적과 대등하게 싸우길 원치 않습니다. 저는 해군이나 해병대가 적과 대등한 입장에서 싸우기를 바라지 않습니다.

우리가 언제나 승리하고 나라를 수호할 수 있도록 저는 우리 군이 항상 기술적 우위에 서기를 바랍니다. 이번에 우리가 폰스함에서 해낸 것은 매우 신뢰할 만한 것이고, 저야 별로 한 일이 없지만 과학자들과 동료들이 힘을 합쳐 개발한 것입니다. 하지만 달그렌(Dahlgren)에서는 지금도 병사들이 실제로 체계를 작동하고 있습니다. 구석 어딘가에 노트북 하나만 달랑 있는 그런 체계가

아닙니다. 그 함정의 전면 통합 전투 정보 체계에 완전히 통합되어 있습니다.

이 체계에 속해 있는 병사들이 파견되어 체계를 시험할 것입니다. 사실, 지금까지 어떤 것도 실패하지 않았다는 점에서 마음이 매우 놓이기도 합니다. 그리고 이는 해군 참모총장이신 조너선 그리너트(Greenert) 제독께서 “매트, 그걸 꼭 완성시키게.”라고 말한 이유 중 하나입니다. 우리는 하나도 놓치지 않았습니다. 어려운 환경에서의 시험을 통해 어떻게 확인할지 알아냈지만 우리는 자신이 있습니다.

질문 마지막 부분에 대해 더 설명해 드리자면 고에너지 레이저 합동 기술국(High Energy Laser-Joint Technology Office)과 상관없이, 해군과 해병대에는 이 시험이 완료되면 우리에게 유리한 고지를 마련해 줄 모든 자원이 갖춰져 있다고 장담합니다. 잘 아실지 모르겠지만 출력 수준을 훨씬 높은 단계까지 올리기 위한 고체레이저 기술 완성도 사업도 2016년으로 계획되어 있습니다.

폰스함에서 실제 병사들이 시연하는 시험이 끝나고 2016년에 시제품 생산이 완료되면 장기적이고 지속적인 후속 사업을 진행하기가 훨씬 수월해질 거라고 생각합니다.

뉴젯트: 제가 저어하는 점은 영영 시험만 하다 끝날 수도 있다는 겁니다.

클런더: 그렇습니다.

뉴젯트: 그러니까 그 점엔 동의하시리라 믿습니다. 적어도 언제 운용하려 하는지 시간표가 있어야 하지 않나 싶습니다. 다시 CHAMP²⁷⁾ 얘기로 돌아가게 되는데요, 랭저빈(Langevin)씨와 저는 이에 관해 얘기를 나눴습니다. 육군 관련 사업 얘기가 다시 나오는데, 이 문제와 관련해 육군과 해군이 어느 정도 협력하고 있다고 알고 있습니다. 제가 보기에는 육군과 해군의 뛰어난 인재들이 협력해서 같은 정보를 공유하고 이를 통해 우리가 더 안전해질 수 있다면 좋겠습니다.

다시 질문 드리자면 폰스함 시험 후에 기대에 부합한다면, 그러니까 성공한다면 다른 함정에 배치하는 데 있어 어떤 걸림돌이 있습니까?

클런더: 없다고 말씀드립니다. 현재 이 과정에 대한 AOA를 이미 시작했고, 획득사업은 우리가 잘 알고 있습니다. 이미 다양한 함정 등급에 따른 청사진을 모두 마련해 뒀습니다. 그러니까 대부분의 경우, 시험이 성공하면 여러 등급의 함정에서 가능성 있는 무기체계가 될 겁니다. 또 한 가지 중요한 점은 제 오른쪽에 앉아 있는 동료들에게 감사의 말을 전하는 것입니다.

몇 달 안에 의원님이 속한 플로리다 주 에글린에서 육군과 해군의 공동 시험을 실시할 계획이기 때문이지요. 이 역시 지향성에너지에 관한 우리의 공동 노력을 보여 준다고 생각합니다.

27) CHAMP는 또 다른 국방부 사업인 Counter-Electronics High Power Advanced Missile Project(대전자 고전력 강화 미사일 프로젝트)의 약자이다.



2015년 자금 요청

해군의 2015년 예산안은 해군 연구개발 계정항목인 사업요소(Program Element, PE) 0602114N, 전력투사 응용연구(Power Projection Applied Research)의 지향성에너지 부분에서 SSL 기술 등 지향성에너지 기술 연구 개발을 위해 4천 50만 달러를 요청하고 있다.

SSL 기술을 위한 추가 재원은 해군 연구 개발 계정의 또 다른 항목인 PE 0603114N, 전력투사 첨단기술(Power Projection Advanced Technology)의 정밀 타격 기술 부분의 일부를 구성한다.

해군의 2015년 예산안은 해군 연구개발 계정의 또 다른 항목인 PE 0603925N, 지향성 에너지 및 전기무기체계(Directed Energy and Electric Weapon System) 내 프로젝트 9823(해군 응용을 위한 레이저(Lasers for Navy Application))의 SSL에도 870만 달러를 요청하고 있다. 이 요청에 대한 설명의 일부는 다음과 같다.

레이저 기반 무기 솔루션이 군사적으로 시급히 필요한 상황은 미 중부사령부(USCENTCOM)와 해군 참모총장(CNO)에 의해 문서화되어 있다. SSL은 로켓, 미사일, 고속정, 무인항공기(UAV) 등 비대칭 위협을 저지, 파손 및 파괴하는 능력에서의 이러한 격차를 지원하는 역량을 제공한다. 출력 수준이 다양한 SSL 무기체계는 저출력에서 정보 감시 정찰(ISR) 체계를 저지하거나 시야를 가릴 수 있고, 이들을 탑재한 플랫폼(무인항공체계, 소형 보트)을 파괴할 수 있다. SSL은 SSL 신속 대응 능력(Quick Reaction Capability, QRC)과 SSL 기술 완성도(Technology Maturation, TM) 사업에 관한 해군연구처(ONR)의 노력을 활용한다. SSL은 과학기술 개발에서 이루어진 이러한 능력을 추진등재사업(Program of Record, PoR)으로 전환할 것이다...

2015년 계획:

해군 응용을 위한 레이저, 고체레이저(SSL) 개발: 저출력(LPM) 대전자 광학 적외선(EO/IR) 하드웨어/소프트웨어/펌웨어 모듈 제품 개발을 관리/설계하고, 장비와 SSL TM 체계 및 기타 대 ISR 체계와의 공유를 제어한다. 정해지지 않은 수준에서 이 모듈은 전술적으로 유효한 거리에서 ISR 센서의 탐지 기능을 무력화하는 능력을 제공할 것이다.

III. 의회 현안

계속 개발할 레이저 유형의 수

잠재적 전략

의회의 현안 중 하나는 본 보고서에서 논의된 광섬유 SSL, 슬래브(slab)형 SSL, FEL 등 세 가지 레이저 유형 중 몇 가지를 해군이 계속 개발해야 하는가 하는 점이다.

세 가지 유형을 모두 개발 중단하거나 한 가지 유형의 개발만 지속하도록 지지하는 측에서는 합성 레이저(또는 한 가지 이상의 레이저)를 계속해서 개발하는 것이 바람직할지는 모르나 해군에 주어진 자원에 한계가 있는 상황에서는 중요도 순위에서 하위에 위치한 품목들에 대한 투자가 축소될 수 있다고 반박했다. 이들은 가까운 미래에는 운동에너지 무기들 역시, 합성 레이저가 대응할 수 있는 종류의 표적들에 대응할 충분한 전력을 갖추게 될 것이라고 주장했다.

두 세 가지 유형을 계속해서 개발하도록 지지하는 측에서는 레이저 유형 간의 지속적 경쟁이 가능하고 개발 사업 중 하나가 실패할 경우의 대비책을 마련할 수 있다고 주장했다. 이들은 과거 국방부가 중요하다고 생각하는 사업 분야에서 최선의 결과를 내기 위해 비슷한 사업들을 동시에 추진한 적이 있다는 점을 들었다. 또한, 앞으로는 해군의 운동에너지 무기로 일정 종류의 표적에 대응하기가 힘들 수 있으며, 합성 레이저가 보다 비용 대비 효과적으로 대응할 수 있다는 주장도 펼쳤다.

각 레이저 유형의 상대적 장점

어떤 레이저 유형을 계속 개발할지 고려할 때 정책 입안자들은 각 유형의 상대적 장점을 검토할 수 있다. 아래는 각 유형의 상대적 장점과 관련된 몇몇 주장이다. 아래의 논의는 소개를 위한 것이며, 상대적 장점을 전체적으로 비교하려면 훨씬 장기적인 논의가

필요하다.

광섬유 SSL과 관련된 일부 주장

LaWS 지지자들은 LaWS가 해양 환경에서 짧지만 전술적으로 유용한 거리에 있는 일정 표적에 대응하는 능력을 보여 주었고, 가까운 시일 내에 해군 함정에 탑재할 수 있으며, 슬래브형 SSL보다 저렴할 것으로 예상되고, 열 관리 면에서도 슬래브형 SSL보다 문제가 적으며, FEL보다는 함정에 대한 영향이 작고, 안정성이 높으며 정렬 광학(Alignment Optics)이 거의 없는 산업용 레이저 기술을 사용하므로 해군 레이저 체계용으로 가능한 단순한 체계 솔루션이 되며, 출력을 최대 100kW 또는 그 이상까지 증강할 수 있다고 주장한다. 이들의 주장에 따르면, 이 체계의 BQ(Beam Quality)가 탁월한 것은 아니지만 단거리에서 표적을 작동 불능 상태로 만드는 데 충분하다. 이들은 이 체계 광선의 1.064마이크론 파장이 대기 전달 '최적점'인 1.045마이크론과 정확히 일치하는 것은 아니지만 전술적으로 유용한 거리에서 레이저가 표적을 작동 불능 상태로 만들 수 있을 정도로 대기 전달 측면에서 우수하며, 인간의 눈에 대한 레이저 광선의 위험성이 훨씬 줄어드는 임계치(약 1.5마이크론) 이상의 파장으로 빛을 방사할 수 있는 SSL 개발 작업이 진행 중이라고 주장한다.

MLD 지지자 등 일부 LaWS 회의론자들은 LaWS의 BQ가 LaWS의 유효 사거리를 제한한다고 주장한다. FEL 지지자를 포함한 또 다른 LaWS 회의론자들에 따르면 특히, 파장을 대기 전달 최적점에 정확히 일치시킬 수 있는 FEL과 비교할 때 LaWS의 작동 파장은 유효 사거리를 제한하며, LaWS의 현재 파장은 인간의 눈에 위험한 반면 FEL은 1.5마이크론 이상에 위치한 대기 최적점에 일치하는 파장에서 작동할 수 있다.

슬래브형 SSL과 관련된 일부 주장

MLD 지지자들은 MLD가 105kW(LaWS의 세 배 이상)의 출력 수준을 시연했고, LaWS보다 BQ가 훨씬 뛰어나 더 먼 거리에서 표적에 대응할 수 있으며, 이를 통해 함정 주위의 방어 범위가 넓어지고, 함정에 접근하는 표적에 대응할 시간이 더 길어진다고 주장한다. 또한, 이들에 따르면 함정 탑재 시기 역시 LaWS 체계와 같거나 조금 늦을 정도이며,

양산 조달 비용은 LaWS와 비슷하거나 훨씬 적게 들며, 열 관리 면에서는 슬래브형 SSL의 열 관리가 광섬유 SSL보다 어렵기는 하지만 해결 가능하고, 우수한 BQ를 유지하면서 출력을 300kW까지 증강할 수 있다. 이들은 경쟁 방식으로 발주된 MLD 계약의 경쟁자 중에는 광섬유 SSL이 포함되어 있었지만, 슬래브형 SSL이 계약을 따냈음을 지적한다.

슬래브형 MLD 지지자들은 광섬유 SSL과 슬래브형 SSL의 복잡성 차이가 일부 LaWS 지지자들이 주장(그래서 예컨대 광섬유 SSL이 슬래브형 SSL보다 크고, 자유 공간 광학[Free-Space Optics]이²⁸⁾ 더 크다는 주장)하는 만큼 큰 것은 아니라고 말한다. MLD 지지자들에 따르면, 상용 광섬유 SSL이 작동했던 산업 환경에는 합성 운용 환경의 두 가지 특징인 충격이나 높은 습도가 없는 반면 MLD는 처음부터 궁극적으로 합성 운용을 염두에 두고 설계되었다. MLD 지지자들은 밀봉된 야전교환품목(Line Replaceable Units, LRU)을²⁹⁾ 사용하여 현장에서 MLD를 쉽게 유지 보수할 수 있다고 주장한다. LaWS 지지자들과 마찬가지로 MLD 지지자들은 MLD 체계의 함정 효과가 FEL보다 작고, 1.064마이크론인 체계 광선 파장이 대기 전달 '최적점'인 1.045 마이크론과 일치하지는 않으나 전술유효 사거리에서 레이저로 관심 표적을 작동 불능 상태로 만들기에 충분하며, 인간의 눈에 대한 레이저 광선의 위험성이 훨씬 줄어드는 임계치(약 1.5마이크론) 이상의 파장으로 빛을 방사할 수 있도록 개발이 진행 중이라고 주장한다.

LaWS 지지자를 포함한 MLD 회의론자들은 복잡한 광학을 사용하는 MLD가 LaWS보다 조달 비용이 높아지고 안정성이 떨어질 가능성이 있으며 유지 보수가 더 어렵다고 주장한다. FEL 지지자 등 또 다른 MLD 회의론자들은 LaWS에 대해 비판하는 것과 마찬가지로, 특히 파장을 대기 전달 최적점에 정확히 일치시킬 수 있는 FEL과 비교할 때 MLD의 작동 파장이 유효 사거리를 제한하며, MLD의 현재 파장은 인간의 눈에 위험한 반면 FEL은 1.5마이크론 이상에 위치한 대기 최적점에 일치하는 파장에서 작동할 수 있다고 주장한다.

28) 자유 공간 광학은 빛이 공극(즉 자유 공간)을 사이에 두고 하나의 광학 소재(거울 등)에서 다른 광학 소재로 이동하도록 배열된 광학이다.

29) LRU는 여러 무기 부품이 들어 있는 밀봉된 상자형 용기이다. LRU는 모듈식 유지 보수 방식을 지원하며 이는 고장 난 LRU를 분리해 다른 LRU로 교체하여 무기를 수리하는 방식이다.

FEL과 관련된 일부 주장

FEL 지지자들은 FEL이 SSL과 달리, 초음속 ASCM과 탄도 미사일 등 다양한 표적에 대응할 수 있는 메가와트 출력까지 확실하게 출력을 증강할 수 있으며 체계 크기를 키우거나 빔 결합기(체계 복잡성을 더하고 비용을 높이는 부품)를 사용하지 않고도 출력을 10kW에서 1MW까지 높일 수 있다고 주장한다. FEL 지지자들에 따르면, SSL이 방사하는 빛의 고정된 파장과는 대조적으로 FEL이 방사하는 빛의 파장은 인간의 눈에 대한 레이저 광선의 위험이 훨씬 줄어드는 임계치(약 1.5마이크론) 이상 등 다양한 대기 전달 최적점에 정확히 일치시킬 수 있다. 이들은 또한, SSL과 달리 FEL은 레이저 메커니즘 내부에서 폐열을 생성하지 않으므로 열 관리에 큰 문제가 없다고 주장한다.

SSL 지지자를 포함한 FEL 회의론자들은 FEL을 함정에 탑재하려면 앞으로 상당한 시간이 지나야 된다고 주장한다. 이들에 따르면, FEL이 지나치게 큰 탓에 기존의 모든 해군 함정 설계는 아닐지라도 기존 해군 함정 설계 대부분에 통합할 수 없으며 이는 수상 함대에 FEL을 적용할 가능성을 다년간 제한하고, 새로운 함정 설계에 FEL을 통합하려면 함정이 상당히 커지므로 함정 건조 비용이 늘어난다. 또한, 진동과 충격에서 FEL을 격리시켜야 하며, 극저온 장비를 사용해야 할 가능성이 있어 FEL의 비용과 복잡성이 커진다고 주장한다.

함정 설계 및 획득에 미치는 영향

의회의 또 다른 현안은 해군이 2016년에 조달을 시작하려는 Flight III DDG-51 구축함 등 해군 함정의 설계와 획득에 함상 레이저가 미칠 수 있는 영향이다. 특히, 충분한 전력과 냉각 능력 측면에서 기존 함정 설계의 레이저 지원 능력은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 해군은 샌안토니오(San Antonio, LPD-17)급 상륙함과 이지스 순양함 및 구축함(즉 CG-47 및 DDG-51급 함정)이 다른 여러 체계에서 역시 전력을 사용하는 전투 조건에서도 LaWS 체계를 지원하기에 충분한 전력을 가지고 있다고 결론 내렸다. 2010년

8월 언론 보도에 따르면 “오늘날의 전함에는 100kW 레이저를 지원하기에 충분한 전력이 있다.”고 해군 해상 체계 사령부 지향성에너지 및 전기 무기 사업 매니저 데이비드 키엘(David Kiel) 대령이 말했다. 그는 “근접방어체계(CIWS)를 실을 수 있을 만큼 큰 수상 전투함이라면 광섬유 레이저도 탑재할 수 있다.”고 덧붙였다.

- 일부 해군 함정은 전투 조건에서 100kW를 약간 넘는 출력의 SSL을 지원할 수 있을 것이다.
- 기존의 해군 수상 전투함은 출력이 100kW를 훨씬 넘는 SSL을 지원할 만큼 충분한 전력이나 냉각 능력을 갖도록 설계되지 못했다.
- 예상되는 형상이 크기 때문에 FEL은 기존 순양함이나 구축함을 개조해 탑재할 수 없었다. 항공모함과 대형 갑판(Large Deck)이 있는 강습 상륙함(즉 LHA/LHD형 양륙함)은 FEL을 탑재할 만한 공간이 있을 수 있지만 메가와트급 FEL을 지원하기에는 전력이 부족할 수 있다. 또한, 열 번짐과 항모 및 강습 상륙함이 잠재적인 고가치 표적이라는 점 때문에 메가와트급 FEL은 항모나 강습 상륙함 이외의 함정에 탑재하는 것이 운용상 합리적이다.

이상의 내용은 해군이 향후 함상 레이저, 특히 출력이 100kW보다 훨씬 높은 SSL과 일반적 FEL을 탑재할 때 함정 설계상 큰 제약에 직면할 수 있음을 시사한다. CG(X)는 100kW를 훨씬 넘는 SSL과 메가와트급 FEL을 지원하도록 설계되었기 때문에 이런 제약은 부분적으로는 해결하여 해군이 CG(X) 순양함 사업을 종료한 것이다. CG(X) 사업 종료 후, 해군은 100kW를 훨씬 넘는 출력의 SSL이나 FEL을 확실히 지원할 수 있는 수상 전투함 획득에 관한 계획을 발표한 바는 없다.

향후 수상함에 레이저를 탑재할 수 있는 해군의 능력을 확대하기 위해서는 함정 설계상의 선택지에 다음과 같은 사안이 포함되어야 한다.

- 해군이 2016회계연도부터 조달을 시작하고자 하는 DDG-51 구축함의 신형 Flight III 버전은 충분한 공간과 출력이 200kW 또는 300kW 이상인 SSL을 지원할 수 있는 전력, 냉각 능력을 갖출 수 있도록 설계해야 하며, 이를 위해서는 레이저 장비와 추가 발전 및 냉각 장비를 탑재할 공간을 마련하기 위해 DDG-51의 선체를 확장해야 할 수도 있다.

- 출력이 200kW 또는 300kW 이상인 SSL과 메가와트급 FEL을 지원할 수 있는 신형 구축함으로 Flight III DDG-51의 후속 모델이나 대체 모델로 설계 및 조달한다.
- 향후 조달할 강습 상륙함의 설계를 출력이 200kW 또는 300kW 이상인 SSL과 메가와트급 FEL을 지원할 수 있도록 변경한다.
- 필요할 경우에는 출력이 200kW 또는 300kW 이상인 SSL과 메가와트급 FEL을 지원할 수 있도록 해군의 신형 Ford(CVN-78)급 항공모함의 설계를 변경한다.

2013년 4월 29일자 언론 보도는 다음과 같이 밝혔다.

함정에 레이저를 탑재하는 데 더욱 박차를 가하고 있는 미 해군은 이러한 무기에 공급할 안정적인 고전압 함상 전력수급에 역점을 두고 있다. 실제로 해군 관계자들은 이러한 요구를 충족하는 것이 국가 안보 차원에서 중요하게 인식되고 있다고 말한다.

워싱턴 외곽에서 열린 이번 달 전기 함정 기술 심포지엄(Electric Ship Technologies Symposium)에서 해군연구처(ONR) 전환실(Office of Transition) 책임자 토머스 킬리언(Thomas Killion)은 “이 분야의 작업이 아주 중요하다.”면서 “함상 레이저 무기 배치가 임박함에 따라 성능은 역대 최고이면서 크기는 그 어느 때보다 작은 발전 및 전력 관리체계가 필요하다는 점을 상기하게 된다.”고 말했다.

현재 해군 과학자들은 이 함상 무기에 전력을 공급할 보다 적절한 방법을 모색 중이다. ONR이 지원하는 사업은 탄화규소(SiC)에 기반한 트랜지스터, 변압기, 전력 변환기 등 첨단 기술에 주력하고 있다. ONR의 전력 및 에너지 과학기술 책임자인 샤론 비어만-커티스(Sharon Beerman-Curtis)는 “탄화규소는 전력 품질을 개선하고 부품의 크기와 무게를 최대 90%까지 줄일 수 있어 중요하다.”고 말하면서 “이는 미래 해군 전투함을 운용하게 할 중요한 기술로 앞으로 해군 전투함에 첨단 센서, 추진력, 레이저와 전자기 레일건 등의 무기를 운용하는 데 고도로 제어되는 막대한 전력이 요구된다.”고 덧붙였다.

IV. 의회의 선택

합상 레이저와 관련한 의회의 선택에는 다음 사항이 우선적으로 포함된다.

- 합상 레이저 개발을 위한 해군의 자금 요청을 승인, 거부 또는 수정한다.
- 현안에 관한 청문회를 1회 이상 개최하거나 이 주제에 관한 의회 보고서 1건 이상을 해군 측에 요청하는 등 합상 레이저에 관한 추가 정보를 해군과 국방부에 요청한다.
- 해군이 채택하는 합상 레이저 로드맵을 검토하고 의견을 개진한다.
- 해군이 합상 레이저 양산 조달을 위한 추진등재사업을 채택하도록 독려하거나 지시한다.
- 해군 추진등재사업이 없는 경우, 해군에 일정 시일까지 일정 능력을 갖춘 레이저를 개발하여 일정 수의 해군 수상함에 탑재하도록 지시한다.
- 출력이 200kW 또는 300kW 이상인 SSL을 지원할 수 있는 DDG-51의 Flight III 버전을 설계하도록 해군을 독려하거나 지시한다.
- 출력이 200kW 또는 300kW 이상인 SSL과 메가와트급 FEL을 지원할 수 있는 신형 구축함을 Flight III DDG-51의 후속 모델 또는 대체 모델로 설계 및 조달하도록 해군을 독려하거나 지시한다.
- 필요할 경우에는 출력이 200kW 또는 300kW 이상인 SSL과 메가와트급 FEL을 지원할 수 있도록 해군이 신형 Ford(CVN-78)급 항공모함의 설계를 변경하도록 독려하거나 지시한다.

V. 2015년 입법 활동

2015년 자금 요청

해군의 2015년 예산안은 해군 연구개발 계정항목인 PE 0602114N, 전력투사 응용연구(Power Projection Applied Research)의 지향성에너지 부분에서 SSL 기술 등 지향성에너지 기술 연구 개발을 위해 4천 50만 달러를 요청하고 있다.

SSL 기술을 위한 추가 재원은 해군 연구 개발 계정의 또 다른 항목인 PE 0603114N, 전력투사 첨단기술(Power Projection Advanced Technology)의 정밀 타격 기술 부분의 일부를 구성한다.

해군의 2015년 예산안은 해군 연구개발 계정의 또 다른 항목인 PE 0603925N, 지향성 에너지 및 전기무기체계(Directed Energy and Electric Weapon System)에 포함된 프로젝트 9823(해군 응용을 위한 레이저)의 SSL에도 870만 달러를 요청하고 있다.

2015년 국방수권법(H.R. 3979)

하원

하원 군사위원회는 2015년 국방수권법(H.R. 4435)에 관한 보고서(2014년 5월 13일 H.Rept. 113-446)에서 해군 연구 개발 계정의 사업요소(Program Element, PE) 0602114N, 0603114N, 0603925N을 위한 해군의 2015년 자금 요청을 승인할 것을 권고한다(각각 425 쪽 004행, 426쪽 015행, 428쪽 073행).

보고서 H.Rept. 113-446은 다음과 같이 밝히고 있다.

해군 레이저 무기체계에 관한 브리핑

위원회는 USS 폰스함 함상 배치 후 해군 레이저 무기체계(LaWS)의 성능에 관하여 해군성 장관이 2015년 3월 2일까지 하원 군사위원회에 브리핑할 것을 지시한다. 위원회는 이 브리핑에 다음 개발 그룹들의 대표가 참석할 것을 요청한다. 이는 즉, 해군연구처 지향성에너지 및 전기 무기부, 해군 수상전 센터, LaWS 시험 당시 USS 폰스함의 함정 지휘부, USS 폰스함에 탑재된 LaWS의 실제 운용요원 및 장관이 적절하다고 여기는 그 밖의 브리핑할 자를 말한다. 이 브리핑에는 해상 배치를 위한 무기체계 준비, USS 폰스함의 구조적 및 전력적 수용 능력, 병사들에 대한 특수 훈련, 운용요원의 관점에서 본 LaWS의 성능, 향후 배치 전 훈련을 위한 권고 사항, 빠른 시일 내 해군 전반의 지향성에너지 함정 방어 체계 배치의 타당성에 대한 평가가 포함되어야 한다(59쪽). 보고서는 또한 다음과 같이 밝히고 있다.

해군의 레이저 무기체계 배치

위원회는 지향성에너지 레이저 무기체계를 운용 배치하려는 해군의 최근 노력을 치하한다. 국방부는 지향성에너지 무기체계 연구개발에 상당한 자원을 투자했고, 운용 가능한 체계의 전력화에서 제한적 성공을 거두었다. 위원회는 이러한 연구개발 노력의 어려움을 인식하고, 지향성에너지 기술을 실용성 있는 무기체계로 전환하기 위해 아직 해결해야 하는 현안의 복잡성을 이해하고 있다. 공군의 대전자 고전력 강화 미사일 프로젝트(CHAMP)와 육군의 이동형 고출력레이저 시범차량(HEL MD) 같은 지향성에너지 분야 내에서의 최근 시연은 이러한 문제 해결에 상당한 진전이 있음을 보여 주었다. 위원회는 2014년 후반으로 계획된, 해군의 레이저 무기체계(LaWS)의 USS 폰스함 탑재가 실제 해양 환경에서 미군 함정에 최초로 고에너지 레이저 체계가 탑재되는 것임을 주목한다. 위원회는 이러한 중요한 목표를 달성한 데에 대해 해군에 축하를 보내며, 이와 같은 배치의 결과와 이것이 지향성에너지 무기와 관련된 미래의 결정에 어떤 정보를 제공하게 될지 기대를 갖고 지켜보고자 한다(60~61쪽).

보고서는 또 다음과 같이 밝히고 있다.

상용 지향성에너지 기술 활용

위원회는 곧 있을 해군의 USS 폰스함 레이저 무기체계 함상 배치와 화이트샌즈(White Sands) 미사일 시험장에서 있었던 육군의 고출력레이저 시범차량 시험 등 각 군의 지향성에너지 무기 배치에서 이루어진 최근의 발전을 인지하고 있다. 위원회는 이러한 발전에 대해 각 군에 축하를 보내는 바이다. 또한, 위원회는 이 두 가지 경우에서 사용된 레이저 체계가 각 군이 구매하여 해당 군사 응용에 적합하게 개조한 상용 산업용 규격 레이저라는 점 역시 인지하고 있다. 많은 경우,

이들 레이저는 임무 목표를 달성하기에는 출력이 충분하지 않으며, 모든 임무 요구 사항을 충족할 수 있는 레이저 체계 개발을 위한 몇몇 연구 개발 노력이 진행 중이다. 하지만 위원회는 그 사이에 이러한 저출력 체계를 사용하여 해결할 수 있는 여러 중요한 체계 공학 및 통합 문제가 있으며, 이러한 문제를 해결하면 지향성에너지 체계의 배치에 수반되는 시간과 비용이 줄어 들 것임을 인식하고 있다. 따라서 위원회는 지향성에너지 무기를 개발 중에 있는 국방부 기관들이 이런 체계에 활용할 수 있는 기술의 산업적 기반을 계속 검토하고, 이러한 기술을 가능한 한 활용할 것을 권고한다(89쪽).

상원

상원 군사위원회는 2015년 국방수권법(S. 2410)에 관한 보고서(2014년 6월 2일 S.Rept. 113-176)에서 해군 연구 개발 계정의 사업요소(PE) 0602114N, 0603114N, 0603925N을 위한 해군의 2015년 자금 요청을 승인할 것을 권고한다(각각 355쪽 4행, 355쪽 15행, 358쪽 73행).

최종본

칼 레빈(Carl Levin) 및 하워드 P. “벅” 맥키언(Howard P. “Buck” McKeon) 2015회계연도 국방수권법(H.R. 3979)의 공동 입법 취지는 해군 연구 개발 계정의 사업요소(PE) 0602114N, 0603114N, 0603925N을 위한 해군의 2015년도 자금 요청을 승인할 것을 권고한다(각각 PDF 410/513쪽 4행, PDF 411/513쪽 15행, PDF 413/513쪽 73행).

2015년 국방부 세출예산법(H.R. 83/P.L. 113-235)

하원

하원 세출위원회는 2015회계연도 국방부 세출예산법(H.R. 4870)에 관한 보고서(2014년 6월 13일 H.Rept. 113-473)에서 사업요소(PE) 0602114N과 0603114N을 위한 해군의



2015년 자금 요청을 승인할 것을 권고한다(각각 227쪽 4행 및 15행). 보고서는 PE 0603295N을 위한 해군의 2015년 자금 요청에서 600만 달러 삭감을 권고하되, 권고된 삭감은 해군의 레일건 사업이 대상이며, 레이저 무기를 위한 것은 아니다(각각 229쪽 73행 및 236쪽 73행).

상원

상원 세출위원회는 H.R. 4870에 관한 보고서(2014년 7월 17일 S.Rept. 113-211)에서 해군 연구 개발 계정의 사업요소(PE) 0602114N, 0603114N, 0603925N을 위한 해군의 2015년 자금 요청을 승인할 것을 권고한다(각각 200쪽 4행과 15행, 202쪽 73행).

최종본

2015년 국방부 세출법(2014년 12월 16일 Division C of H.R. 83/P.L. 113-235)의 입법 취지는 해군 연구 개발 계정의 사업요소(PE) 0602114N과 0603114N을 위한 해군의 2015 회계연도 자금 요청을 승인하고(각각 PDF 230/368쪽 4행과 15행), 해군 연구 개발 계정의 PE 0603925N을 위한 해군의 2015년 자금 요청에서 300만 달러를 삭감하되 삭감 대상은 “레일건 초과 지원”이다(PDF 239/368쪽 73행).

부록



- 표적 대응에 필요한 레이저 출력 수준
- 레이저 개발에 관여하는 해군 조직
- 레이저 무기체계(LaWS)에 관한 추가 정보
- 전술 레이저 체계(TLS)에 관한 추가 정보
- 해양 레이저 시연기(MLD)에 관한 추가 정보
- 자유 전자 레이저(FEL)에 관한 추가 정보
- 혁신적 해군 시제품(Innovative Naval Prototype, INP)
- 기술 성숙도(Technology Readiness Level, TRL)
- 실명 레이저 무기에 관한 국제 협약
- 우주 공간 물체의 조명
- 2000년 국방수권법(P.L. 106-398) 220절

부록
(Appendix)



I 부록 A. 표적 대응에 필요한 레이저 출력 수준

표 A-1은 다양한 표적의 범주에 영향을 미치는 데 필요한 대략적인 레이저 출력 수준에 관한 해군의 두 가지 관점, 국방과학위원회(Defense Science Board, DSB) 특별팀(TF)의 관점 및 업계의 두 가지 관점을 보여 준다. 표에서 알 수 있는 바와 같이, 일정 표적에 대응하는 데 필요한 출력 수준에 관한 이들 관점은 다소 상이하다. 이는 아마도 빔 품질(BQ)과 기타 요소에 관한 가정이 서로 다르기 때문일 것이다.

표 A-1 일정 표적에 영향을 미치는 데 필요한 레이저 출력의 대략적 수준
BQ 및 기타 요소에 관한 서로 다른 가정이 반영된 여러 관점

출처	킬로와트(kW) 또는 메가와트(MW)로 측정되는 빔 출력				
	~10kW	수십 kW	~100kW	수백 kW	MW
해군 브리핑(2010)	UAV				
		소형 보트			
				미사일(500kW부터 시작)	
또 다른 해군 브리핑(2010)		UAV, RAM, MANPADS를 상대로 한 단거리 운용(50kW~100kW : 낮은 BQ)	횡단 경로로 날아오는 UAV, RAM, MANPADS, ASCM을 상대로 한 장거리 운용(>100kW, ~2의 BQ)	초음속 고기동 ASCM, 천음속 공대지 미사일, 탄도 미사일을 상대로 한 운용(>1MW)	
업계 브리핑(2010)		UAV 및 소형 보트(50kW)	RAM(100+kW), 아음속 ASCM(300kW), 유인 항공기(500kW)	초음속 ASCM 및 탄도 미사일	
국방과학위원회(DSB) 보고서(2007)		1~2km 거리의 수상 위협		지상 기지 공중 및 미사일 방어, 5~10km 거리의 로켓, 포탄, 박격포 ^a	5~20km에서의 '전투단 방어' (1~3MW)
노드롭그룹먼사 연구 보고서(2005)	단거리의 소프트 UAV	단거리의 항공기 및 순항 미사일	장거리의 소프트 UAV	원거리의 항공기와 순항 미사일 및 로켓포(수백 kW 내외) 포탄 및 초단거리 탄도 미사일을 상대로 한 종말 요격(>100 kW)	

출처: 해군 브리핑: 2010년 7월 23일 “지향성에너지 전투 사무국 개요(Directed Energy Warfare Office(DEWO) Overview)” 브리핑 중 “고에너지 레이저 임무(High-Energy Laser(HEL) Missions)”라는 제목의 브리핑 슬라이드. 또 다른 해군 브리핑: 2010년 7월 23일 “해군의 지향성에너지 노력 - 함정 기반 레이저 무기체계(Navy Directed Energy Efforts - Ship Based Laser Weapon System)” 브리핑 중 “해군의 해상레이저 비전(Surface Navy Laser Vision)”이라는 제목의 브리핑 슬라이드. 업계 브리핑: 2010년 여름, 업계 한 회사의 CRS 상대 브리핑: 표에 나온 데이터는 회사 허가를 얻어 사용. DSB 보고서: 국방과학위원회 TF팀의 지향성 무기에 관한 보고서(Defense Science Board Task Force on Directed Energy Weapons), 2007년 12월, 표 2(12쪽). 노드롭그루먼사(Northrop Grumman) 연구보고서: Richard J. Dunn, III, Operational Implications of Laser Weapons, Northrop Grumman (Analysis Center Papers), September 2005 (available online at http://www.northropgrumman.com/analysis-center/paper/assets/Operational_Implications_of_La.pdf), visual inspection of Figure 1 (page 7).

참조: kW는 킬로와트, MW는 메가와트이며, Km는 킬로미터이다. RAM은 로켓, 포, 박격포를 뜻한다. MANPADS는 개인 휴대용 방공 체계(즉, 견착식 지대공 미사일)이다.

a. 이 설명은 지상 작전을 지칭함에 유의할 것. 해상 수중기에 따른 대기 흡수가 관심 고려사항인 해상 작전의 경우에는 이 설명이 변경될 수도 있다.

I 부록 B. 레이저 개발에 관여하는 해군 조직

함상 사용을 위한 레이저 개발에 관여하는 주요 해군 조직은 다음과 같다.

- 해군 연구처(ONR)
- 해군 연구소(NRL)
- 지향성에너지 및 전기 무기체계(DE&EWS) 사업국(PMS-405)
- 버지니아 주 달그렌(Dahlgren) 소재 해군 수상전 센터(NSWC) 달그렌 지부 (NSWCDD)
- 해군이 2009년 8월에 NSWCDD의 부속 전문기관으로 설립한 지향성에너지 전투국 (DEWO)

함상 사용을 위한 레이저 개발에 관여하는 그 밖의 해군 조직에는 CIWS 사업국(PEO IWS 3B: 사업 집행 장교[Program Executive Officer], 통합 전투 체계[Integrated Warfare System], 부서 번호 3B를 의미), 인디애나 주 크레인(Crane) 소재 NSWC 크레인 지부, 캘리포니아 주 포트 와이니미(Hueneme) 소재 NSWC 포트 와이니미 지부 및 해군 항공 체계 사령부(NAVIAR)에 속하는 캘리포니아 주 차이나레이크(China Lake)와 포인트 무구(Point Mugu)의 해군 항공 무기 기지와 메릴랜드 주 해군 항공 무기 기지 패터센트 리버(Patuxent River), 그리고 샌디에이고에 있는 우주 해전 체계(SPARWAR) 태평양 센터가 포함된다.

해군 외부의 여타 국방부 조직들도 함상 사용을 위한 레이저 개발에 관여하고 있다.

I 부록 C. 레이저 무기체계(LaWS)에 관한 추가 정보

광섬유 SSL은 먼저 고효율 반도체 레이저 다이오드를 사용해 전기를 빛으로 변환한다. 그런 다음에는 의도적으로 집어넣은 미량의 불순물인 ‘도펀트(Dopant)’ 물질(보통은 이테르븀(Yb))이 포함된 하나 이상의 유리 광섬유를 빛이 통과한다. 빛과 도펀트의 상호작용은 빛의 파장(색깔)을 변화시키고, 빛을 광섬유를 따라 이동하는 좁은 레이저 빔으로 집중시켜 빔이 반대쪽 끝에서 나가게 된다. 특수 광학은 여러 광섬유의 출력을 하나의 강력한 빔으로 결합시킨다. 광섬유는 이득 매질(Gain Medium)이라고 하며, 액체가 이득 매질인 색소 레이저나 기체가 이득 매질인 가스 레이저와 달리 이들 매질이 고체이기 때문에 고체레이저(Solid State Laser)라고 부른다. 지난 10년간 다이오드 및 광섬유 소재가 비약적으로 발전하면서 개별 광섬유 SSL의 최대 출력이 약 100W에서 약 10kW로 대략 100배 강화되었다.

해군의 LaWS 개발은 개발 및 조달 비용을 최소화하고자 기존 기술과 부품에 최대한 의존하는 방식이었다. LaWS 시제품은 출력이 각각 5.5kW인 상용 기성품(COTS) 용접 레이저 등 6개 광섬유 SSL에서 나오는 빔을 비간섭(Incoherently) 결합해 총 출력이 33kW이고 BQ(Beam Quality)가 17인 레이저를 만들어낸다. 개별 빔이 진정한 단일 빔으로 합쳐지지 않으므로(즉, 개별 빔은 서로 동일 위상에 있지 않음) 6개의 레이저에서 나오는 광선은 비간섭 결합이라고 불린다. 빔들은 서로 상당히 가깝지만, 분리되어 서로 위상이 다른 상태를 유지하며, 목표 표적에 도달할 때 단일 광점에 집중되도록 집속 장치(Beam Director)에서 조정하고 초점을 맞춘다. 6개의 빔을 진정한 단일 빔, 즉 6개의 빔이 ‘위상 고정(Phase Locked)’된 빔으로 간섭(Coherently) 결합하려면 보다 복잡한 내부 광학과 전자 제어 체계를 갖춘 체계가 필요할 것이다.

다른 많은 광섬유 SSL처럼 LaWS도 1.064마이크론 파장의 빛을 방사하며, 이 파장은 1.045마이크론의 대기 전달 ‘최적점’에 가깝기는 하나 정확히 일치하지는 않는다.

LaWS의 효율은 약 25%로 이는 100kW의 레이저 광선을 만들어내는 미래형 LaWS를 작동하려면 약 400kW의 합성 전력이 필요하다는 뜻이다. 나머지 300kW의 전기 에너지

는 함정의 냉각 능력을 사용해 체계에서 제거해야 하는 폐열로 변환된다.

LaWS를 뒷받침하는 개념적 돌파구는 2004년과 2005년에 펜실베이니아 주 전자 광학 센터에서 이루어진 몇 가지 간단한 실험과 2006년 해군 연구소(NRL) 소속 과학자들의 상세한 분석과 후속 실험 과정에서 발견되었다. 두 그룹 모두, 상용 광섬유 SSL에서 군사적으로 유용한 레이저를 만드는 데는 빔의 간섭 결합을 필요로 하지 않았다. 이는 빔을 비간섭 결합하는 것이 기술적으로 보다 간단한 방법으로 가능하다는 것을 보여 주었다.

DEWO는 LaWS의 선도 체계 통합자(Lead System Integrator, LSI)이자 기술 지시자이다. CIWS 제작사인 레이시온사(Raytheon)는 CIWS 통합 사업의 주 지원 계약자이다.³⁰⁾ 2011년 6월 1일자 해군 정보 보고서는 다음과 같이 밝히고 있다.

1. 2011년 6월에 Trident Warrior(TW) 11을 지원하기 위해 진행 중인 2010회계연도 의회의 추가 지원에 따라 자금 지원을 받는 노력은 다음과 같다.

- 예측 회피(Predictive Avoidance) - 예측 회피 안전 체계(Predictive Avoidance Safety System, PASS)의 설계, 분석, 소프트웨어 개발 및 시제품 레이저 무기체계(LaWS)와의 통합 계속
- 안정화 - LaWS의 빔 제어/추적 하부 체계의 일부로 고속 조향 거울(Fast Steering Mirror, FSM)의 지속적인 기술, 분석, 소프트웨어 개발 및 통합
- LaWS KINETO 트래킹 마운트(KTM) 인클로저(Enclosure) - 자재 조달 및 시험 플랫폼으로서의 기계화 상륙정(LCM-8)의 공간 제약 내에 맞는 인클로저 제작
- TW 11 시험 계획 및 문서화 개발

Trident Warrior 정보는 아래에서 찾을 수 있다.

<http://www.public.navy.mil/usff/tridentwarrior/default.aspx>

2. PEO IWS 레이저 근접 방어 체계(CIWS) 무기 사양 초안 개발 노력을 지원하기 위해 달성되었거나 진행 중인 사업은 다음과 같다.

- 제출 : 대역 내 및 대역 외 레이저 교전을 위한 위협 취약성 정보, 화이트샌즈(White Sands) 미사일 시험장 및 세인트니컬러스(St. Nicholas) 섬에서의 LaWS 시험 결과, 기준 임무 설계(Design Reference Mission, DRM) 초안 마련, 일반 작전 개념(Concept of

30) LaWS 사업에 관여하는 그 밖의 회사에는 IPG Photonics(광섬유 SSL 제조사), L-3 Communications, Boeing 등이 있다. LaWS 사업에는 펜실베이니아 주립대학 전자 광학 센터와 존스홉킨스대학 응용 물리학 실험실도 참여하고 있다.

Operations) 초안 마련, 다중 빔 구경 체계의 체계 수준 요구 사항, 공간, 무게, 공기, 전력 요구 사항 초안 마련, 레이저 다분야 간 연구(Trade Study) 브리핑

- 진행 중 : 무기 사양 초안 개발 지원을 위한 체계 공학 실무 그룹(System Engineering Working Group, SEWG) 회의 참가, 무기 사양 초안 개발 기술적 검토 제공

3. 관련 (해양) 환경에서의 체계 시제품 시연에 기초할 때, 시제품 LaWS의 현재 기술 성숙도 (TRL)는 6에 접근하고 있다.

그림 C-1은 LaWS 시제품 사진이며, 그림 C-2는 CIWS 마운트에 추가 장치로 설치된 LaWS 이미지를 보여 준다.



그림 C-1 LaWS 시제품 사진



그림 C-2 CIWS 마운트에 통합된 LaWS 이미지

이 이미지에서 CIWS 마운트 좌측에 달린 빨간색 튜브는 LaWS 집속 장치이며, CIWS 레이돔 우측에 볼트로 고정된 흰색 장치는 또 다른 LaWS 구성 부품이다.

I 부록 D. 전술 레이저 체계(TLS)에 관한 추가 정보

2011년 6월 10일자 해군 정보 보고서는 다음과 같이 밝히고 있다.

MK 38 TLS 개념은 MK 38 Mod 2 기관포 체계에 통합된 단순 집속 장치(BD)가 있는 상용 기성품(Commercial Off-The-Shelf, COTS) 고체레이저(SSL)를 기반으로 한다. 다른 고에너지 SSL은 보다 높은 출력을 얻기 위해 일반적으로 여러 개의 개별 빔을 결합한다. TLS는 단상 레이저로, 이는 여러 레이저의 결합을 활용하지 않음을 뜻한다. 이는 체계의 총 출력을 감소시키지만 동시에 훨씬 뛰어난 빔 품질(BQ)을 구현한다. 현재의 BQ는 2.1이지만 이를 1.5까지 개선하기 위한 연구가 진행 중이다. 출력과 더불어 빔 품질은 표적을 상대로 한 레이저의 효과를 결정하는 핵심 매개변수이다. TLS의 현재 BQ와 출력은 최상의 날씨와 해상 조건을 가정할 때, 최대 2km 거리에서 소형 보트 표적을 격파할 수 있다. 향후 레이저 체계 효과 시연은 2012년 3월로 계획되어 있다.

BD는 가동 부품이 비교적 적은 단순한 구조로 이루어져 있다. TLS는 독립형 드라이브를 통해 보다 빠르게 방위각을 교정하고 MK 38 Mod2 MGS의 양각 한계(Elevation Limit)보다 넓은 범위를 조준할 수 있다. 현재의 TLS 통합 작업은 MK 38 Mod2 MGS 전자 광학 조준경(Electro-Optical Sight, EOS) 핸드 트랙을 TLS에 통합하는 것이다. EOS에서 TLS로의 인터페이스(Handoff)는 에글린(Eglin) 공군 기지에서 2011년 6월 29일에 시험이 실시되었다.

TLS의 효율은 약 30%로, 이는 10kW 레이저를 작동하는 데에 34kW의 전력이 필요하다는 뜻이다. 나머지 24kW는 체계에서 제거해야 할 열에너지로 변환된다. 현재 TLS는 자체 배전 및 냉각 체계를 사용한다. 레이저, 전력 관리 및 현재 설치/설계된 열 관리 체계를 작동하기 위해 함정 한 척당 요구되는 전력은 약 75kW, 440VAC 60Hz 3상 전력이다. 실제 함상 사용을 위해서는 추가 기술 개발이 필요할 것이다.

TLS 시연에서 확인된 기술적 위험에는 MGS 통합, 레이저 빔 품질 및 집속 장치 추적 등이 있다. TLS의 효과에는 정확한 표적 거리 데이터가 필수적이다. BD는 레이저 거리 측정기(Laser Range Finder, LRF)를 포함하지 않으며, 관련 데이터는 MK 38 EOS가 제공할 것으로 예상된다. EOS와 TLS의 인터페이스는 위에 언급한 에글린(Eglin) 공군기지에서 시험되었다. BQ 개선 또는 BD의 안정적 추적 시연이 실패할 경우, 체계 효과에 영향을 미쳐 사거리가 줄어들고 레이저 체류 시간(Dwell Time)이 길어진다.

COTS 레이저 제조업체는 IPG이다. 보잉은 BD 설계업체이자 레이저 무기 모듈 선도업체이다. MK 38 체계 통합업체는 BAE 시스템이다.



그림 D-1은 MK 38 기관포 체계에 추가 장치로 탑재된 TLS의 이미지이다.



그림 D-1 Mk 38 기관포 마운트에 통합된 TLS 이미지

I 부록 E. 해양 레이저 시연기(MLD)에 관한 추가 정보

슬래브형 SSL은 이득 매질로 사용되는 합성 결정체 소재가 유연한 섬유가 아닌 판 모양의 슬래브형으로 형성된다는 점만 제외하면 광섬유 SSL과 비슷하다. 해군에서 뿐만 아니라 타 군에서도 슬래브형 SSL을 개발 중이어서 해군은 국방부 타 부처의 자금으로 이루어진 개발 작업을 활용할 수 있다.

MLD는 출력이 각각 15kW인 슬래브형 SSL로 여러 개에서 나온 빔들을 간섭 결합하여 BQ가 우수한 더 높은 출력의 빔을 만들어낸다. 출력이 15kW인 각각의 레이저는 약 $1 \times 2 \times 3.5$ 피트로 측정되는 현장교체부품(Line Replaceable Unit, LRU) 안에 자리한다. MLD는 함정의 기존 CIWS 마운트에 추가 장치로 탑재하지 않고 자체 마운트에 탑재할 수 있다.

MLD에서 방사하는 빛은 LaWS처럼 1.064마이크론 파장이며, 이는 대기 전달 '최적 파장'인 1.045마이크론에 근접하기는 하지만 정확히 일치하지는 않는다.

슬래브형 SSL의 효율은 현재 20~25%로 이는 100kW의 레이저 광선을 만들어내는 체계를 작동하려면 약 400kW에서 500kW의 함정 전력이 필요하다는 것을 의미한다. 나머지 300~400kW의 전기 에너지는 폐열로 변환되며, 이는 함정의 냉각 장치를 사용하여 체계에서 제거해야 한다. 향후 슬래브형 SSL의 효율은 약 30%까지 높일 수 있을 것이다.

2009년 3월, 노드롭(Northrop)사는 출력이 각각 15kW 정도인 슬래브형 SSL 7개를 간섭 결합하여 출력이 약 105kW이며 BQ가 3 미만인 빔을 만들어내는 MLD를 시연했다.

슬래브형 레이저의 총 출력을 300kW까지 증강하고 BQ를 2까지 개선하는 데는 기술적 난관이 없는 것으로 여겨진다. 총 출력이 300kW인 슬래브형 레이저에는 대략 $4.5 \times 8 \times 12$ 피트 크기의 갑판아래 공간이 필요할 수도 있다. MLD 같은 슬래브형 SSL을 지지하는 측에서는 출력을 궁극적으로 약 600kW까지 더 높일 수 있을 것으로 전망한다. 하지만 슬래브형 SSL을 메가와트 출력 수준까지 올리기는 쉽지 않다고 보는 것이 일반적이다.

MLD는 노드롭사와 L3-Brashears사가 주 도급업체로 참여한 상용 통합 무기체계이다. 정부 테스트 팀에는 NSWC 달그렌(Dahlgren) 지부(버지니아 주), NSWC 포트 와이니미

(Hueneme) 지부(캘리포니아 주), NAWC 차이나레이크(China Lake) 지부(캘리포니아 주)가 포함된다. 노드롭사가 MLD 주 도급업체이기는 하지만 레이시온, 텍스트론 등 다른 회사들 역시 미군이 사용할 수 있는 슬래브형 SSL 개발 사업에 참여하고 있다.

2011년 4월 8일자 해군연구처(ONR) 보도자료는 다음과 같이 밝히고 있다.

4월 6일, 해군연구처(ONR)와 업계 파트너는 수상함에서 고체고에너지 레이저(High Energy Laser, HEL)로 소형 표적 선박을 작동 불능 상태로 만드는 시험에 성공하였으며, 이로써 중요한 중간 목표를 달성했다.

해군과 노드롭그루먼(Northrop Grumman)사는 해양레이저 시연기(MLD)의 해상 시험을 완료하였으며 이를 통해 소형 보트 위협을 안전한 거리에서 억제하여 수상함 및 인력을 보호할 수 있는 첨단 자체방어능력을 제공하는 데 대한 잠재력을 확인했다.

해군연구처장인 네빈 카(Nevin Carr) 해군소장은 “이번 고에너지 레이저 시험의 성공은 달그렌(Dahlgren)과 차이나레이크(China Lake), 포트 와이니미(Port Hueneme), 포인트 무구(Point Mugu)에 있는 이들 해군 연구소의 협력과 협동, 팀워크의 결과”라면서 “해군연구처(ONR)는 이들의 독특한 역량을 하나의 응집된 노력으로 조율해 냈다.”라고 덧붙였다.

가장 최근에 이루어진 시험은 중부 캘리포니아 연안의 태평양 시험장인 샌니컬라스(San Nicholas) 섬에서 진행되었다. 레이저는 해군의 자체 방어 시험 함정인 구(舊) USS Paul Foster (DD964)함에 탑재되었다.

카 해군소장은 국방부 장관실의 고에너지 합동 기술국과 육군의 합동 고출력 고체레이저(JHPSSL) 사업의 공로 역시 인정했다. MLD는 육군의 JHPSSL 사업을 활용하였다.

ONR의 피터 모리슨(Peter Morrison) MLD 사업 담당 장교는 “이번 시험은 이 정도 출력 수준의 HEL을 해군 함정에 탑재하고 이 함정에서 전력을 공급받아, 해상 환경에서 떨어져 있는 표적을 파괴한 첫 번째 성과”라고 말했다.

그는 또한 MLD 계약 발주에서부터 해군 함정 방어 능력 시연까지는 2년 반 정도 걸렸다고 말했다.

모리슨 담당관은 “우리는 지향성에너지 무기를 통합하고 운용하는 방법 등 이 사업에서 매우 많은 것을 배우고 있다”면서 “모든 시험 결과는 성과와 관계없이 대단히 중요하다”고 덧붙였다.

또한 해군은 MLD를 함정의 레이더 및 항법 체계와 통합하고 습도가 높은 해상 환경에서 항해 중에 전기 레이저 무기를 발사하는 등 그 밖의 몇 가지 평가 척도를 달성했다. 해군용 고체레이저에 대한 그 밖의 시험은 지상에서 실시되었다.

모리슨 담당관은 또한 언젠가 HEL 무기를 실전에서 사용할 수 있게 되면 소형 보트 위협에 직면하였을 때 가용할 수 있는 옵션이 많아지게 될 것이라고 말했다.

그러나 카 해군소장은 확장 가능한 레이저를 사용해 소형 선박을 격퇴하는 능력은 4월의 MLD 시험에서 입증되었지만 이 기술이 재래식 무기체계를 대체하지는 않을 것이라고 덧붙였다.

“과학 기술적 관점에서 볼 때, 지향성에너지 무기와 운동 에너지 무기체계의 결합은 억제력의 새 지평을 열어 지휘관에게 확장 가능한 옵션을 제공한다. 이 시험은 지향성에너지를 전함에 탑재하고자 애쓰는 가운데 중요한 데이터를 제공한다. 안전하고 효율적으로 이를 해내려면 아직도 할 일이 많이 남아 있다”고 카 해군소장은 말했다.

2011년 6월 1일자 해군 정보 보고서는 다음과 같이 밝히고 있다.

ONR의 생존성 및 자체 방어 역점 분야의 일환으로 ONR은 NAVSEA 통합 무기체계 사업 집행국(PEO IWS), NAVSEA 지향성에너지 사업국(PMS-405), 국방부 고에너지 레이저 합동 기술국(HEL JTO), 미 육군 우주 및 미사일 개발 사령부(USA/SMDC)와 함께 2009년부터 2011년 초까지 해양 레이저 시연기(MLD)를 설계, 개발, 통합, 탑재, 시험할 업체로 노드롭그루먼(Northrop Grumman)사와 계약을 맺었다.

MLD 사업의 주요 목표는 상용 레이저와 집속 장치 부품을 사용하여 함상 기반 레이저 개념 증명(Proof-of-Concept)을 위한 무기체계가 소형 보트의 공격을 방어하는 것을 시연하는 것이었다. 시연에서는 이러한 체계가 기존의 해군 DDG, CG, LSD, LPD, LHA, LHD 및 FFG 함정에 탑재해 작동하고, 함정의 전력과 사격 제어 능력을 사용하며, 업계에서 사용되는 것과 비슷한 첨단 고체레이저 슬래브형 지향성 무기기술을 사용할 수 있음을 보여 주었다. 시험의 성공과 MLD를 USS Paul Foster(미 해군 Spruance급 시험함정)함에 임시 통합하며 얻은 경험은 이후에 구상 단계인 해군 해상 레이저 기반 무기체계(NMLWS)를 개발할 수 있는 능력에 대한 확신을 강화하였다. MLD 사업은 해상 환경에서 소형 고속 공격정의 공격을 억제하고 저지할 수 있는 해군의 의미 있는 새로운 역량을 보여 주었다.

시험 후 MLD 체계는 USS Paul Foster호에서 분리되어 캘리포니아 주 엘세군도(EI Segundo)에 있는 노드롭그루먼(Northrop Grumman)사 시설로 반환되었다. 시험된 MLD 체계는 OSD HEL JTO 합동 고출력 고체레이저(JHPSSL) 사업에서 개발되어 USA/SMDC에서 임대한 15kW 1.065마이크론 파장의 레이저를 사용했다. 개조된 JHPSSL 모듈에서 나온 빔은 표적 보트를 향했고, 표적에서의 레이저 조사량(Fluence)은 동작 안정화(Motion Stabilized) 집속 장치에서 제어했다. 고속으로 원격 작동되는 기동 가능한 소형 보트 수상 표적에 대한 초기 추적은 함정의 기존 레이더로 보완되었으며, 그 뒤에는 세계기상기구(World Meteorological Organization, WMO) 해상상태

(Sea State) 3까지의 다양한 환경 조건에서 집속 장치 카메라로 수동 및 능동 추적되었다. 표적과의 능동적 교전은 함정 지휘부에 위치한 USS Paul Foster함의 시험, 안전, 사통실에서 제어했다. 시험 과정에서는 의미 있는 데이터 수집과 사진이 확보되었다. 2011년 4월 초, 해양 레이저 시연기 사업에서는 소형 보트의 구조 요소를 파괴하여 소형 보트를 격퇴하는 유의미한 능력을 보여주었다. 또한, 이후 1마일이 넘는 거리에서 발사된 레이저가 원격 작동되는 소형 보트 표적의 엔진에 화재를 일으키기도 했다. MLD 사업은 미 해군 함정에서 레이저 무기를 최초로 시험 발사하여 해상 환경에서 레이저 무기체계의 잠재적 위력을 성공적으로 보여 준 사례이다.

MLD 체계 시험 중 기밀로 분류되지 않은 공개 비디오는 YouTube를 통해 볼 수 있다 (<http://www.youtube.com/watch?v=awsQs4ct0c4>).

그림 E-1은 트레일러에 실린 MLD를, 그림 E-2는 체계 개략도를 보여 준다. 그림 E-3은 가상으로 함상 탑재된 MLD 집속 장치의 이미지를 보여 준다.



US Navy Maritime Laser Demonstrator (MLD) - Photo Courtesy of Rolfing Greenman, Redondo Beach CA (9 SEP 2009)
Program sponsored by the Office of Naval Research - UNCLASSIFIED - Suitable for Public Release

그림 E-1 트레일러에 실린 MLD 사진

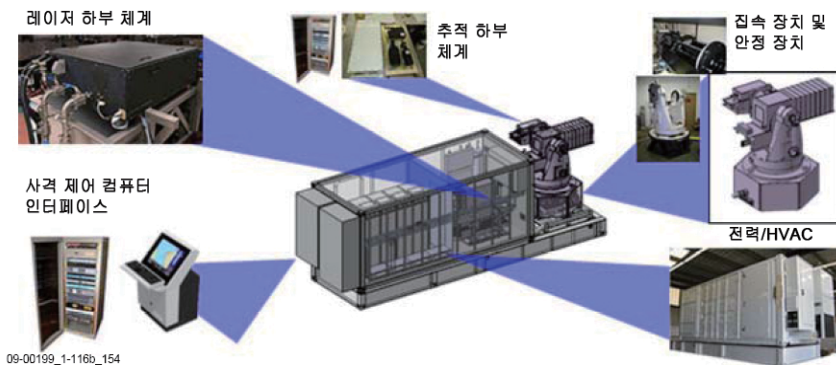


그림 E-2 MLD 개략도

I 부록 F. 자유 전자 레이저(FEL)에 관한 추가 정보

FEL은 전자총을 사용하여 전자 흐름을 생성한다. 이러한 전자들은 선형 입자가속기 안으로 보내져 광속까지 가속된다. 그런 뒤, 가속된 전자들은 비공식적으로 위글러(Wiggler)라고 알려진 장치 안으로 보내져 가로 방향 자기장에 노출되며, 자기장은 전자들을 좌우로 ‘흔들리게(Wiggle)’ 하여 그 에너지 중 일부를 빛(광자)의 형식으로 발산하도록 한다. 이후 거울 사이에서 광자들이 튀면서 간섭(Coherent) 레이저 빔으로 방사된다. 그런 다음에는 체계의 효율을 높이기 위해 전자 일부가 에너지 회수 루프를 거쳐 다시 입자 가속기 전면으로 순환된다.³¹⁾

이득 매질의 성분에 따라 결정되는 고정 파장의 빛을 방사하는 SSL과는 달리, FEL 구성 부품은 방사하는 빛의 파장이 바뀌도록 조정할 수 있어 다양한 대기 전달 ‘최적점’에 일치시킬 수 있다. FEL은 기본 구조상, 1메가와트 이상까지 출력 수준을 높일 수 있는 분명한 가능성이 있다. 잘 설계된 FEL은 이론적으로 체계크기 증가 및 빔 결합장치 없이 출력을 10kW에서 1MW까지 높일 수 있다. FEL은 1 또는 1에 가까운 BQ의 빔을 방사한다.

오늘날 구상 또는 개발단계에 있는 합상 FEL 개략도는 일반적으로 길이 약 100피트의 장치를 보여 준다. FEL의 궁극적인 합상 공간 요건은 부분적으로는 FEL이 합성 설계에 어떻게 통합되는지, FEL이 실온이나 초전도 입자가속 구조를 사용하는지에 따라 달라질 것이다. 초전도 가속 구조를 사용하면 FEL 길이를 줄일 수 있고, 초전도성을 띠게 하는데 필요한 극저온으로 낮추기 위해 극저온 장비(Cryogenic Equipment)가 필요할 것이다. FEL을 작동하면 X선이 생성되므로 승조원과 합성의 다른 부분을 보호하려면 체계를 차폐해야 한다.

전자를 재순환시키는 FEL은 효율이 약 10%로, 1MW의 레이저 광선을 만들어내는 FEL 작동에는 약 10MW의 합성 전력이 필요하다. 나머지 9MW의 전기 에너지는 폐열 에너지

31) 2004년 해군연구처의 언론 보도 자료는 다음과 같이 밝히고 있다.

FEL에서는 전자들이 원자에서 벗겨진 다음, 선형 가속기에 의해 높은 에너지로 자극된다. 여기서부터 전자들은 위글러(전자기장을 사용하여 전자들을 흔들고 집중시켜 그 에너지 일부를 광자 형태로 발산하도록 하는 장치) 안으로 조향된다. 전통적 레이저에서 처럼 광자들은 2개의 거울 사이에서 튀 다음 간섭 빔으로 방사된다. 하지만 FEL 운전원들은 가속기 안 전자들의 에너지 또는 위글러 내 진동량을 증감시켜서 방사되는 레이저 빛의 파장을 조정할 수 있다.

로 변환된다.

FEL 개발 노력은 ONR에서 주도하고 있다. 또한, 여기에는 다른 몇몇 해군 조직 및 기관들과³²⁾ 4개의 에너지부(Department of Energy) 연구소,³³⁾ 그리고 몇몇 대학이³⁴⁾ 포함된다. FEL 개발에 참여하는 도급업체에는 보잉사(캘리포니아 주), 레이시온사(매사추세츠 주), SAIC사(버지니아 주), Niowave사(미시간 주), Advanced Energy Systems사(뉴욕 주)가 포함되었다. 보잉사와 레이시온사는 100kW FEL 설계 계약을 놓고 경쟁을 벌였다. 2010년 9월, ONR은 보잉사를 선정했다고 발표했다. 이 계약 수주로 보잉사는 현재 해군의 FEL 개발 주 도급업체가 되었다.

2011년 1월 20일자 언론 보도는 다음과 같이 밝히고 있다.

뉴멕시코 주 로스앨러모스(Los Alamos) 소재 국립연구소 과학자들은 해군연구처(ONR) 자유 전자 레이저(FEL) 사업에서 주목할 만한 돌파구를 확보하면서, 1월 20~21일에 버지니아 주에서 열리기로 예정된 예비 설계 검토의 장을 마련했다.

연구자들은 해군의 차세대 무기체계를 위한 메가와트급 레이저 빔을 만드는 데 필요한 전자를 생성할 수 있는 분사기(Injector)를 일정보다 앞당겨 12월 20일에 시연했다.

연구소 FEL 사업 선임 프로젝트 팀장 딘 은구옌(Dinh Nguyen) 박사는 “우리가 예측한 대로 분사기가 작동했다”면서 “지금까지는 우리 모형을 뒷받침할 증거가 없었다. 우리의 설계, 제작, 시험 노력이 드디어 결실을 보게 돼 정말 기쁘다. 현재는 연속 전자빔의 특성을 측정하는 작업 중이며, 평균 전자 흐름에서 세계 기록 수립을 기대한다.”고 말했다.

ONR의 쿠엔틴 솔터(Quentin Saulter) FEL 사업 매니저는 FEL 발전의 의미는 대단한 것이라고 말했다.

솔터는 “이는 해군 전체에서의 개발 사업과 FEL 기술에 있어 중대한 도약”이라면서 “팀이 일정보다 9개월을 앞당기면서 2011년 말까지 목표를 달성할 수 있는 충분한 시간이 생겼다”고 말했다.

2011년 6월 1일자 해군 정보 보고서는 다음과 같이 밝히고 있다.

32) 여기에는 캘리포니아 주 해군 대학원, 메릴랜드 주 해군 사관학교, 해군 연구소, 메릴랜드 주 NSWC 카더록(Carderock), 캘리포니아 주 해군 항공 무기 센터(NAWC) 차이나레이크, NSWCDD, PMS405 및 캘리포니아 주 우주 해상전 체계 센터 태평양 지부(SPAWAR)가 포함된다.

33) 이들은 버지니아 주 토머스 제퍼슨 국립 연구소, 뉴멕시코 주 로스앨러모스(Los Alamos) 국립 연구소, 뉴욕 브룩헤이븐(Brookhaven) 국립 연구소, 일리노이 주 아르곤(Argonne) 국립 연구소이다.

34) 여기에는 매사추세츠 주 MIT 링컨 연구소, 테네시주 밴더빌트대학, 콜로라도 주립대학, 캘리포니아대학, 위스콘신대학, 캘리포니아주 스탠퍼드대학, 코네티컷주 예일대학, 텍사스대학, 메릴랜드대학이 포함된다.

2010년 9월, 메가와트급 출력 증강 연구에 사용될 100kW 자유 전자 레이저 시연 시제품을 설계, 개발, 통합, 시험할 FEL INP 상세설계(Critical Design) 단계의 선도 체계 통합업체로 보잉사가 선정되었다. 2011년 1월에 예비 설계 검토를 성공적으로 끝마친 보잉사는 100kW 시연 시제품의 상세 설계 작업을 진행하고 있다.

해군의 목표는 여러 파장에서 유연하게 작동할 수 있어 세계의 어떤 해양 환경에서도 다른 HEL 무기체계보다 뛰어난 능력을 보이는 메가와트급 자유 전자 레이저(FEL)를 만드는 것이다. FEL의 전(全)전기적(All Electric) 특성과 다중 임무 능력은 해군의 비용 및 군수 부담을 줄일 수 있다. 현재 FEL 사업은 국방부 내에서 유일하게 상호 검토되는 전동 레이저 메가와트급 개발 사업이다.

2012년 3월 21일자 언론 보도에서는 그 주에 FEL 사업이 상세설계검토(CDR)를 받는다고 보도된 바 있다. 2012년 3월 26일자 언론 보도는 “보잉사가 메가와트급 자유 전자 레이저의 완성도를 높이는 데 진전을 이루었음이 상세설계검토(CDR)를 통해 확인됐다...”고 밝혔다. 이 보도에 따르면 “ONR 해군 항공전 및 무기부의 INP 사업집행 담당자 로저 맥기니스(Roger McGinnis)는 광학 장치가 가장 까다로운 부분이 될 공산이 컸지만 보잉사의 광학체계는 CDR에서 아주 훌륭해 보였다고 말했다.”

그림 F-1은 버지니아 주 토머스 제퍼슨 국립 연구소(Jefferson Lab)에 있는 FEL 시설의 일부를 보여 준다. 그림 F-2는 FEL의 작동 원리를 단순화한 도해로 보여 준다. 그림 F-3은 2개의 ‘위글러’(적외선[IR] 레이저 광선을 만드는 1개와 자외선[UV] 레이저 광선을 만드는 1개)가 장착된 FEL의 개략도이다. 해군이 함상 사용을 위해 개발 중인 FEL은 적외선만을 만들어낼 가능성이 높다.



그림 F-1 FEL 시설 사진

이 보도 자료에 따르면 자료는 “해군연구처가 제퍼슨 연구소의 사진 및 설명과 함께 공개한 것”이다. 보도 자료의 사진 설명은 이렇다. “제퍼슨 연구소의 자유 전자 레이저 볼트, 뒤에는 초전도 가속기가 보이고, 앞에는 자기 위글러가 보인다. 위글러는 전자빔 출력을 레이저 광선으로 변환한다.”

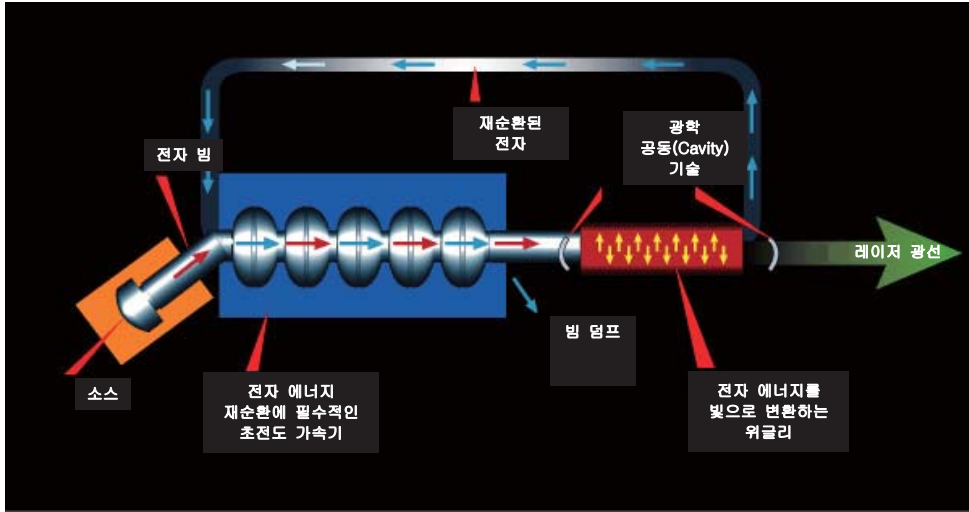


그림 F-2 FEL 작동 원리를 단순화한 도해

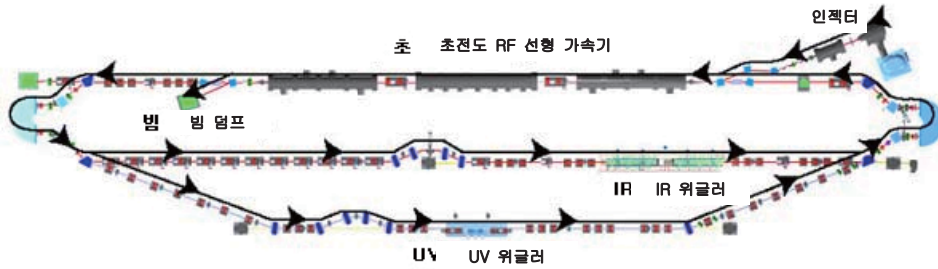


그림 F-3 FEL 개략도

이 FEL에는 적외선(IR) 레이저 광선을 만드는 위글러와 자외선(UV) 레이저 광선을 만드는 위글러 등 2개의 '위글러'가 있다. 해군이 함상 사용을 위해 개발 중인 FEL은 적외선만을 만들어낼 가능성이 높다. 화살표는 장치에서의 전자 흐름을 보여 주며, 전자총과 우측 상단 모서리에 있는 인젝터에서 시작된다. "RF 선형 가속기(RF linac)"는 무선 주파수 선형 가속기를 뜻한다.

I 부록 G. 혁신적 해군 시제품 (Innovative Naval Prototype, INP)

해군연구처(ONR)는 혁신적 해군 시제품(INP)으로 100kW FEL을 개발 중이다. ONR은 INP에 대해 다음과 같이 설명한다.

도약적 혁신(Leap Ahead Innovations)이라 일컫는 ONR의 사업에는 혁신적 해군 시제품(INP)과 Swampwork가 포함되며, 이는 전장의 판도를 바꿀(Game Changing) 수 있을 정도의 잠재력이 있거나 현 전장기술에 교란적(Disruptive) 영향을 미치는 기술 투자를 일컫는다. INP는 4~8년 안에 제작이행에 적합한 기술 수준을 갖춘다. 혁신적 해군 시제품은 해군의 전투 방식을 크게 변화시킬 수 있는 6.2 및 6.3(연구 개발 예산 범주)의 고기술을 모색한다. 이 범주에 드는 사업들은 위험이 크거나 기존의 요구 사항 및 작전 개념을 벗어나므로 최고위층의 지지 없이는 유지될 가능성이 낮으며, ONR 사업의 또 다른 범주인 미래 해군 전력(Future Naval Capability) 사업과는 달리 초기에 기술획득 사업체로부터 확고한 이행 약속을 받아내기에는 지나치게 위험한 교란 기술일 수도 있다. INP는 해군의 필요와 기술 개발의 균형 잡힌 조합을 바탕으로 파악되어야 한다. 4~8년 이내에 이행하기에 적합한 수준의 기술적 완성도를 달성하는 데 필요한 일정 수준을 염두에 두고 투자가 계획되어야 한다. 사업 매니저(PM)는 주로 ONR에서 선발되며, 사업 부매니저(DPM)는 획득 사업체로의 사업이전을 촉진하고자 획득 사업체에서 뽑는 것이 일반적이다. 해군 연구처장(Chief of Naval Research, CNR)은 해군 및 해병대 지도부와 협의하여 INP 후보를 파악하고, 선정된 목록은 해군 연구 개발 획득 차관보, 해군 참모 차장, 해병대 부사령관 등으로 이루어진 해군 과학기술(S&T) 공동위원회에 상정해 승인/거부를 받는다. 자유 전자 레이저(FEL)는 혁신적 해군 시제품(INP)이다. Swampwork는 INP보다 그 범위가 작으며, 1~3년 이내에 성과를 내려는 목표가 있다. 이 범주는 일반적으로 전장의 병사들에게 더 큰 이득이 돌아가도록 더 큰 위험을 감수하는 범주이다.³⁵⁾

35) 출처: 2010년 10월 26일자 지향성에너지에 관한 해군 정보 보고서

부록 H. 기술 성숙도 (Technology Readiness Level, TRL)

국방부는 여러 무기기술의 개발 상태를 특징짓기 위해 TRL을 사용한다. 국방부가 정의하는 TRL은 다음과 같다.

- TRL 1: 기본 개념 관찰 및 보고
- TRL 2: 기술 개념화 및 응용 체계화
- TRL 3: 개념의 중요 기능 및 특성 분석 및 실험
- TRL 4: 실험실 환경에서 구성 부품 및 회로모의(Breadboard) 검증
- TRL 5: 관련 환경에서 구성 부품 및 회로모의 검증
- TRL 6: 관련 환경에서 체계/하부 체계 모델 또는 시제품 시연
- TRL 7: 운용 환경에서 체계 시제품 시연
- TRL 8: 시험 및 시연을 통한 실제 체계 완성 및 인증
- TRL 9: 성공적 임무 운용을 통한 실제 체계 입증

I 부록 I. 실명 레이저 무기에 관한 국제 협약

본 부록은 본 보고서에서 논의된 레이저를 포함한 실명 레이저 무기에 관한 국제 협약 및 이 협약과 국방부 레이저 사업의 관계에 관한 정보를 제공한다.

개관

미국은 1995년에 ‘1980년 과도한 상해 또는 무차별적 효과를 초래할 수 있는 특정 재래식 무기의 사용 금지 및 제한에 관한 협약(1980 Convention on Prohibition or Restriction on the Use of Certain Conventional Weapons Which May be Deemed to be Excessively Injurious or To Have Indiscriminate Effects)’을 비준했다. 이 협약에 대한 국제 사회의 검토는 1994년에 시작되어 1996년 5월에 특히 실명 레이저 무기에 관한 새로운 의정서 IV를 채택하면서 마무리되었다. 이 의정서는 나안(裸眼) 또는 시력 교정 장치를 착용한 눈의 영구적 실명을 초래하도록 특별히 설계된 레이저의 사용을 금지한다.

미국은 2008년 12월 23일에 의정서 IV를 비준했고, 이는 2009년 7월 21일자로 미국에서 발효되었다. 미 국방부는 이 의정서가 국방부 정책에 완전히 부합한다고 보고 있다. 국방부는 본 보고서에서 논의된 레이저가 나안 또는 시력 교정 장치를 착용한 눈의 영구적 실명을 초래하도록 특별히 설계된 레이저 사용을 금지하는 국방부 정책에 완전히 부합한다고 믿는다.

조항별 논의

의정서 1조는 “나안 또는 시력 교정 장치를 착용한 눈의 영구적 실명 초래가 유일한 전투 능이거나 전투 기능 중 하나로 특별히 설계된 레이저 무기”의 사용을 금지한다. 국방부는 다음과 같이 밝히고 있다.

이 금지는 이와 같이 설계된 무기의 사용을 금지하는 국방부의 정책에 완전히 부합한다. 대량 실명의 가능성이 의정서 채택의 동기가 되었지만 총회의 의도가 대량 실명만을 금지하는 것은

아니었다. 이에 실명 레이저 의정서와 국방부 정책에 따라, 이러한 영구적 실명을 초래하도록 특별히 설계된 레이저 무기는 개별적인 적 전투원을 상대로 사용해서는 안 된다.³⁶⁾

의정서 2조는 당사국들에 “영구적 실명 발생을 방지하기 위해 가능한 모든 예방 조치를 취할” 의무를 부여하고 있다. 국방부는 “이 요구 사항은 또한 거리 측정, 표적 구별 및 통신 등 다른 목적을 위해 설계된 레이저 사용에 따른 의도치 않은 부상을 훈련과 교리를 통해 줄이려는 국방부의 정책과도 완전히 부합한다.”라고 밝히고 있다.

의정서 3조는 의정서에서 이야기하는 범위에는 “광학 장비를 상대로 사용되는 레이저 체계 등 레이저 체계의 합법적인 군사적 사용에 따른 우연적이거나 부수적인 효과로 인한 실명은 포함되지 않는다.”라고 밝히고 있다. 국방부에 따르면 이 조항은 “전장에서의 합법적 레이저 사용에 따른 눈 부상이 불가피하다는 인식을 반영한다. 합법적 레이저 사용으로 부상이 발생하는 경우, 그 사용은 전쟁 범죄 혐의를 피하는 데 있어 중요한 수단이다.”

국방부는 나아가 다음과 같이 밝히고 있다.

정책의 일환으로 미국은 의정서에서 금지하는 레이저 무기의 사용을 자제할 것이다. 따라서 실명 레이저 무기 의정서가 모든 무력 분쟁에 합법적으로 적용되는 것은 아니지만 분쟁이 어떤 특징을 보이든 평화 시나 모든 분쟁에 상관없이 의정서 내용을 적용한다는 것이 미국의 정책이다... 의정서는 미군의 이해관계, 국방부 정책 및 전반적인 인도주의적 관심에 완전히 부합한다. 그러므로 미국은 조속히 의정서를 비준해야 할 것이다.

2007년 국방과학위원회(DSB) TF 보고서 발췌문

지향성에너지 무기에 관한 2007년 국방과학위원회(DSB) TF 보고서에 따르면,

TF팀은 지향성에너지 무기 사용의 법률적, 정책적 측면에 관한 우려가 있다고 들었다. 법률적

36) 1997년 1월, 윌리엄 페리 국방장관은 국방부의 실명 레이저 관련 정책에 관한 각서를 발표했다. 전문은 다음과 같다. 국방부는 영구적 실명을 초래하도록 특별히 설계된 레이저의 사용을 금지하며, 이러한 무기를 금지하기 위한 협상을 지지한다. 그러나 레이저 체계는 우리 현대군에 절대적으로 중요하다. 무엇보다도 레이저 체계는 현재 탐지, 조준, 거리 측정, 통신, 표적 파괴에 사용되고 있다. 레이저 체계는 미군에 중요한 기술적 우위를 제공하며, 갈수록 치명적이 되고 있는 전장에서 우리 군이 싸워 승리하고 생존할 수 있도록 한다. 또한 레이저는 상당한 인도주의적 장점을 제공한다. 레이저 체계는 무기체계의 식별 능력을 갈수록 강화하여, 민간인 생명 및 재산에 대한 부수적 피해를 줄일 수 있다. 국방부는 영구적 실명을 초래하고자 특별히 설계된 것이 아닌 레이저 사용에 따라 우연적이거나 부수적인 눈 부상이 발생할 수 있음을 인지하고 있다. 따라서 우리는 훈련과 교리를 통해 이러한 부상을 최소화하고자 계속 노력할 것이다(1997년 1월 17일, 윌리엄 페리 국방장관이 각 군 장관 등에게 보낸 각서, 해군 법무실이 2010년 10월 4일 CRS에 제출). 2000년 3월 31일자 레이저에 의한 우주 내 물체의 조명에 관한 국방부 지침 3100 4.3절: “인간의 영구적 실명을 초래하도록 특별히 설계된 레이저의 사용은 [위에 인용된 1997년 1월 17일 국방장관 각서]에 따라 금지된다.”

또는 정책적 제약으로 인해 전장에서 사용할 수 없을지 모르는 능력에 투자하기를 주저하는 관계로 일각에서는 이러한 무기를 개발하지 못하거나 개발이 연기될 우려가 있다고 본다. 이러한 우려는 어떤 특별한 법률적 제약이나 정책적 제약보다는 대화의 부족에 상당 부분 기인한다.

국방부 장관실과 각 군 법무감실은 국제 무력충돌법 뿐만 아니라 모든 미국법에 따라 지향성에너지 무기 자체가 합법이며, 미국의 모든 현행 조약 및 국제적 의무에 부합한다고 결론 내렸다. 지향성에너지 무기가 합법임을 인정한다고 하여 특정 상황에서의 사용이 합법적이라는 의미인 것은 아니다. 지향성에너지 무기의 사용이 미국법이나 국제법에 위배될 수 있는 경우가 있다. 이는 대부분 무기의 경우에 마찬가지다.

이러한 제약 중 하나는 전투원을 의도적으로 실명시키고자 하는 레이저 무기의 사용이다. '1980년 과도한 상해 또는 무차별적 효과를 초래할 수 있는 특정 재래식 무기의 사용 금지 및 제한에 관한 협약' 당사국들은 1995년에 전투원을 체계적이고 고의적으로 실명시키고자 특별히 사용되는 레이저 무기를 금지할 목적으로 네 번째 의정서를 채택했다. 미국은 이 특정 의정서의 서명국은 아니나 국방부는 영구적인 실명을 초래하도록 특별히 설계된 레이저의 사용을 금지하는 정책을 발표했다.

이 정책에 따르면 "... 레이저 체계는 우리 현대군에 절대적으로 중요하다. 무엇보다도 레이저 체계는 현재 탐지, 조준, 거리측정, 통신, 표적파괴에 사용되고 있다. 레이저 체계는 미군에 중요한 기술적 우위를 제공하며, 갈수록 치명적이 되고 있는 전장에서 우리 군이 싸워 승리하고 생존할 수 있도록 한다. 또한 레이저는 상당한 인도주의적 장점을 제공한다. 레이저 체계는 무기체계의 식별 능력을 갈수록 강화하여, 민간인 생명 및 재산에 대한 부수적 피해를 줄일 수 있다. 국방부는 합법적으로 레이저를 사용한 결과로 전장에서 우연적이거나 부수적으로 눈 부상이 발생할 수 있음을 알고 있다. 따라서 우리는 훈련과 교리를 통해 이러한 부상을 최소화하고자 계속 노력할 것이다.

다른 지향성 무기의 경우에도 이와 비슷하게 힘을 실어주는 정책이 천명되었다. 동시에 이러한 무기가 전장에 새로 등장하는 것일 경우, 최초 도입 시 그 사용 목적에 관한 해당 정책 입안자들의 이해가 포함된 정책적 결정이 이루어지게 된다. 이러한 결정은 이러한 무기 사용에 따른 위험과 이득에 대한 철저하고 신뢰할 수 있는 이해를 바탕으로 내려져야 한다. 최초 사용 승인 과정 이후에는 운동 에너지 무기의 경우에서처럼 무력충돌법, 교전 수칙, 전투 지휘관 지시가 지향성 무기의 사용에 적용될 것으로 예상된다.

부록 J. 우주 공간 물체의 조명

해군 관계자들은 함상 레이저에 관한 브리핑에서 2000년 3월 31일자 국방부 지시(DODI) 3100.11을 언급했으며, 그 일부는 다음과 같다.

모든 국방부 레이저 활동은 [국방부 지령 3100.10, ‘우주 정책,’ 1999년 7월 9일]에 따라 국가 안보 요건에 부합하며, 우주 체계와 그 임무 효과 및 우주 공간의 인간을 보호하는 안전하고 책임감 있는 방식으로 수행되어야 한다. 이러한 모든 활동은 예측회피 또는 미국, 우방 및 기타 우주 임무의 충돌회피를 위해 미 우주사령부 사령관(CINCSPACE)과 협의해야 한다.

해군 내 기술 공동체는 이 지시를 사실상 우주 공간의 물체가 레이저 에너지에 적게 노출되거나 아예 노출되지 않도록 각 군이 조치를 취해야 한다는 것으로 해석한다. 이에 함상 레이저에 이른바 예측회피(Predictive Avoidance, PA) 소프트웨어나 우주 공간의 물체 방향으로 레이저를 발사하는 것을 방지하는 그 밖의 기능을 탑재해야 할 것으로 기술 공동체는 여기고 있다. 기술 공동체는 해군 수상함이 위성에 원치 않는 부수적 피해를 입힐 만큼 충분한 출력 수준의 함상 레이저를 운용할 수 있으려면 다음과 같은 두 가지 정책 변화가 필요하다고 믿는다.

- 기술 공동체는 위성과 관련된 현행 안전 기준이 지나치게 제한적이며, 해군이 보기에 보다 현실적인 안전 기준이 포함된 새로운 정책으로 대체되어야 한다고 믿는다.
- 기술 공동체는 예측회피(PA) 체계의 기밀 분류 수준을 낮출 수 있도록 민감한 위성들과 관련된 일부 데이터를 PA 체계에서 제거해야 한다고 믿는다.

I 부록 K. 2000년 국방수권법(P.L. 106-398) 220절

앞서 언급한 것처럼(‘의회의 선택지’ 각주 65 참조) 해군에 일정 시일까지 일정 능력을 갖춘 레이저를 개발해 일정 수의 해군 수상함에 탑재하도록 지시하는 방안은 무인 전투기와 무인 전투 차량 배치 목표를 정하고 있는 2001회계연도 국방수권법(2000년 10월 30일 H.R. 4205/P.L. 106-398) 220절과 매우 유사하다. 220절 본문은 다음과 같다.

220절. 무인 첨단 능력 전투기 및 지상 전투 차량

(a) 목표 - 다음과 같은 무인 원격제어 기술의 배치를 달성하는 것이 군의 목표여야 한다.

(1) 작전 중심 타격군 항공대 전투기 3분의 1을 2010년까지 무인항공기로,

(2) 작전 지상 전투 차량 3분의 1을 2015년까지 무인 차량으로 한다.

(b) 무인 첨단 능력 전투기와 지상 전투 차량에 관한 보고 - (1) 국방부 장관은 국방고등연구기획국(DARPA)과 다음 각 군 사이에서 공동으로 수행되는 무인 첨단 전투기 및 지상 전투 차량 시연 사업에 관한 보고서를 늦어도 2001년 1월 31일까지 의회 국방 위원회에 제출해야 한다.

(A) 육군 장관

(B) 해군 장관

(C) 공군 장관

(2) (1)항에서 언급되는 사업마다 다음 사항이 보고서에 포함되어야 한다.

(A) 해당 사업에 따라 실시될 시연 일정

(B) 2002회계연도 및 향후 국방사업에서의 해당 사업 수행과 해당 사업에 따른 시연 실시에 필요한 자금 명시

(C) 육군과 관련된 사업인 경우, 무인 원격 제어 구현 기술의 확대를 반영하는 미래 전투체계(Future Combat System) 시연 및 개발을 위한 국방고등연구기획국(DARPA)과의 기존 양해각서의 수정계획

(3) 보고서에는 (1)(A)항, (1)(B)항, (1)(C)항에 언급된 장관별로, 해당 장관이 계획한 무인 첨단 전투기 및 지상전투 차량의 획득 전략에 관한 설명 및 평가 역시 포함되어야 하며, 여기에는 2030년까지 그러한 전략을 수행하는 데 필요한 모든 연구개발, 조달, 운용, 지원, 소유 및

- 기타비용의 상세한 추정이 포함되어야 한다.
- (A) 육군과 관련된 획득 전략인 경우, 미래 전투체계를 위해 계획된 획득 전략에서 (a)(2)관에 명시된 목표를 달성할 수 있는 획득 전략으로의 이행
- (B) 해군과 관련된 획득 전략인 경우,
- (i) 현재 진행 중인 공군 무인전투기 사업을 검토하고, 항공모함 사용에 적합하며 공군 사업 전투기와 최대한 공통성이 있는 전투기 개발을 목표로 하는 해군 무인전투기 개발 사업에 대한 접근 방식을 명시하는 사업실행 전략
- (ii) 작전 중심 타격군 항공대와 항공모함 사용에 적합하고, 완전 가동되는 적 방공체계에 침투할 수 있는 10~20대의 무인 첨단 전투기가 추가된 항공대 사이의 대안 분석
- (C) 공군과 관련된 획득 전략인 경우,
- (i) 현재 진행 중인 무인 전투기 사업의 시연 결과 평가일정과 해당 사업의 설계, 제작, 개발 및 조달이 이행될 수 있는 가장 빠른 일정
- (ii) 현재 계획되어 있는 중심 타격군 항공대와 (a)(1)관에 명시된 목표 달성을 위해 2010회계연도까지 획득할 수 있는 작전 중심 타격군 항공대 사이의 대안 분석
- (c) 자금 - 201(4)절에 따라 미 국방고등연구기획국(DARPA)을 위해 방위차원활동에 지출이 승인된 액수 중 1억 달러는 (b)(1)관에 언급된 사업 수행을 위해서만 사용할 수 있다.
- (d) 정의 - 이 절의 목적상
- (1) 항공기 또는 지상전투차량은 배치, 임무 재부여, 회수, 재배치가 가능한 자동, 반자동 또는 원격제어체계인 경우에 '무인첨단능력'을 갖춘다.
- (2) '현재 계획되어 있는 중심 타격군 항공대'라는 용어는 현재 2010회계연도로 계획되어 있는 F-117 스텔스 전투기와 B-2 스텔스 전투기로 구성된 조기 진입, 중심 타격 항공대를 의미한다.
- (3) '작전 중심 타격군 항공대'라는 용어는 완전 가동되는 적 방공체계에 침투할 수 있는 능력을 갖춘 최소 30기의 무인 첨단전투기가 포함된 '현재 계획되어 있는 중심 타격군 항공대'를 의미한다.
- (4) '작전 지상전투차량'이라는 용어는 육군 참모총장의 비전 선언문에 약속된 바와 같이 미래 목표 전력 장비를 위한 육군의 미래 전투체계 획득사업을 통해 획득되는 지상 전투차량을 의미한다.



원문

1. Directed – Energy Weapons : Promise and Prospects –by Janson D. Ellis (2015. 4.)
2. Navy Shipboard Lasers for Surface, Air and Missile Defense : Background and Issues for Congress –by Ronald O'Rourke specialist in Naval Affairs (2014. 12. 23.)

주요국 국방·군사 동향 시리즈 15-02

지향성에너지 무기 전망과 현안 (Prospects of Directed Energy Weapons and Pending Issues)

발행일 2015년 8월 31일
발행처 국방기술품질원 방산정보팀
(055) 751-5370
발행인 이현곤
확인 김재우·홍성표
번역감수 박정기·김종만·심인보·홍현수
편집/발간 전고운 (055) 751-5386
인쇄처 경성문화사 (02) 786-2999

ISBN 979-11-5698-081-0 94390
978-89-97333-61-5 (세트)

국방기술품질원

방산기술정보 간행물



국방기술품질원 기술정보부는 전 세계 국방과학기술정보와 방산시장 정보를 수집, 분석하여 국방기술 정보통합서비스(DTiMS)와 정기·비정기 간행물 또는 소식지의 형태로 관련기관에 제공하고 있습니다.

2006년 12월 창간한 격월간「국방과학기술정보」이외에도 2010년 3월부터 일일 소식지 Global Defense News를 국방망을 통해 관련기관에 이메일로 제공하고 있으며, 2009년부터 발간하였던 「국제 방산시장 분석보고서」를 2011년부터는 연감의 형태로 발간하고 있습니다.

또한, 2012년부터 이슈가 되는 전 세계 국방 군사 동향 정보를 「주요국 국방·군사 동향 시리즈」라는 정기 간행물 형태로 제공하고 있습니다.

전 세계 국방 기술정보, 방산시장 및 군사동향 등의 최신 정보가 군사전략 및 획득 정책수립과 방산 업계의 경영전략 수립, 그리고 학계의 연구 활동에 참고자료로 활용되기를 기대합니다.

2015년도 방산기술정보 주요 간행물 현황

- 국방과학기술정보 (매 짝수 월)
- 주요국 국방·군사 동향 시리즈 (5, 8, 11월)
- 획득동향 분석보고서 (11월 예정)
- 2015 세계 방산시장 연감 (11월 예정)

DTiMS를 통해 지난 발간물을 열람할 수 있습니다.

국방망 접속 URL : <http://dtims.mnd.mil>

인터넷 접속 URL : <http://dtims.dtaq.re.kr>

 **국방기술품질원**
DTaQ Defense Agency for Technology and Quality

<http://www.dtaq.re.kr>
Tel: 055-751-5370

방산기술정보 인터넷 접속 방법



▶ Global Defense News 접속 방법

- 1 www.dtaq.re.kr
- 2 최신기술동향 클릭



▶ 국방과학기술정보 책자 열람 방법

- 1 www.dtaq.re.kr
- 2 홍보관-홍보브로셔 클릭
- 3 발간물 클릭



방산기술정보 국방망 접속 방법



▶ DTMS 회원가입방법

- 1 인터넷 주소창에 http://dtims.mnd.mil 입력
- 2 상기 화면이 뜨면 우측 상단에 있는 회원가입 클릭하고 회원가입
- 3 회원가입 완료후 로그인

▶ 격월간 국방과학기술정보誌 열람 방법

- 1 http://dtims.mnd.mil → 2 간행물 클릭
- 3 국방과학기술정보 클릭



▶ Global Defense News 및 해외기술 동향 접속 방법

- 1 http://dtims.mnd.mil → 2 해외기술 동향 클릭



당신의 양심에 + **안심**을 더합니다

“세상을 바꾸는 힘!”

공익신고

안심하세요!



공익침해행위를 신고한 분은 철저히 보호하고 지원해 드립니다.

- ✓ 보호 조치 : 신분비밀보장, 신분보호, 신분상 불이익조치 금지
- ✓ 보상 지원 : 최고 10억원의 보상금 및 구조금 지급
- ✓ 법적 책임 감면 : 직무상 비밀준수 의무 면제, 신고자의 범죄 혹은 위법행위에 대한 형벌·징계의 감면

공익침해행위란?

국민의 건강과 안전, 환경, 소비자의 이익 및 공정한 경쟁을 침해하는 행위를 말합니다.
무자격자 의약품 조제·판매, 교량 부실 시공, 폐기를 불법매립, 유사 석유 판매, LPG 가격담합 등



부패신고자 보호·보상 안내

부패·공익 신고는 청렴한 국가를 만들기 위한 용기있는 행동입니다. 깨끗한 한국 신뢰받는 정부를 위해 국민 누구나 부패행위를 신고할 수 있으며, 신고로 인한 불이익이 따르지 않도록 안전한 장치를 마련해 국민권익을 보호하고 있습니다.



부패행위 신고대상

- 공직자가 직무와 관련하여 그 지위 또는 권한을 남용하거나 법령을 위반하여 자기 또는 제3자의 이익을 도모하는 행위
- 공공기관의 예산사용, 공공기관 재산의 취득 관리 처분 또는 공공기관을 당사자로하는 계약의 체결 및 그 이행에 있어서 법령에 위반하여 공공기관에 대하여 재산상 손해를 가하는 행위
- 위에서 규정한 행위 및 그 은폐를 강요, 권고, 제의, 유인하는 행위



부패행위 신고방법

누구든지 부패행위를 알게 된 때는 국민권익위원회에 신고할 수 있습니다.
(120-705) 서울특별시 서대문구 통일로 87(미군동)
1층 부패신고센터
팩 스 : 02-360-3551
홈페이지 : www.acrc.go.kr(부패행위신고 상담 코너)



용기있는 행동, 부패신고가
깨끗한 대한민국을
만듭니다



국민결愛 110 정부민원 110

“부패신고자는 비밀보장, 신분보장, 신분보호를 통해 어떠한 불이익도 받지 않습니다.”

군수품 해외 입찰정보 열람안내

방위사업청과 국방기술품질원에서는 방위산업 수출 증진을 위해 수출 희망기업을 대상으로 방산수출 관련 정보제공, 글로벌 방산강소기업 육성, 해외시장 개척활동 지원, 수출품에 대한 정부인증(DQ마크) 사업 등 범정부 차원의 수출 지원 활동을 추진하고 있습니다.

이의 일환으로 '15년 5월부터 수출을 희망하는 우리 기업의 마케팅 활동에 도움을 드리고자 세계 각국의 국방분야 입찰 정보를 수집하여 방위사업청 D4B시스템을 통해 제공하고 있으니 많은 활용 바랍니다.

① "방산수출지원시스템" 인터넷 접속 <http://www.d4b.go.kr/>

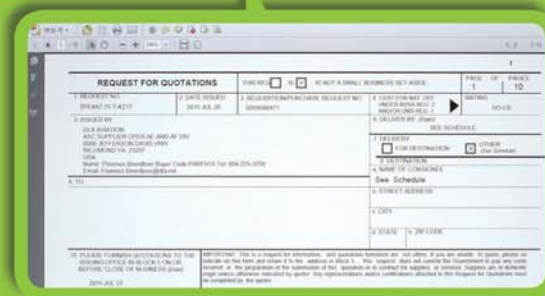


③ "마케팅지원서비스"에서 "해외방산시장정보" 클릭



④ "해외입찰정보" 클릭 후 원하는 정보 (입찰공고명, 입찰기간, 무기체계분야, 입찰국가 등) 검색

- ④-1 해외입찰정보 상세 검색결과 예시
- ④-2 해외입찰원문정보(RFQ, Solicitation 등) 열람 예시



MARINE WEEK 2015

www.marineweek.org

2015 NAVAL & DEFENCE



국제해양방위산업전

2015.10.20(화) ~ 23(금) 부산 벅스코(BEXCO)

※ 주요 행사

해양 방위산업 전시, 군악대·의장대 공연, 함정 공개행사,
해군 홍보사진 전시회, 함정기술·무기체계 세미나 등

※ 참가업체 모집 중

참가문의 | ㈜경연전람

Tel. 02-785-4771 Fax 02-785-6117 Email mw@kyungyon.co.kr

주 최_



주 관_

