Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 23, No. 5 pp. 141-150, 2022

https://doi.org/10.5762/KAIS.2022.23.5.141
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

고에너지 레이저(HEL) 무기체계 발전방안 연구

신명원
국방기술진흥연구소

A Study on the Development of High Energy Laser(HEL) Weapon System

Myung-Won Shin
Korea Research Institute for defense Technology planning and advancement

요 약 미래전의 개념변화에 따라 전통적 화포의 한계를 극복한 첨단 무기체계의 개발 필요성이 증대되고 있다. 전장영역의 확장, 다수의 무인체계 위협, 초고속 정밀무기체계에 대응하기 위한 기존 화포체계의 능력이 임계에 도달함에 따라 신속한 대응능력과 타격능력을 갖춘 고에너지 무기체계가 미래 신 타격체계로 각광받고 있으며, 그 중에서도 특히 레이저 무기는 게임체인저(Game changer)로 기대되고 있다. 레이저 기술을 보유하고 있는 국가는 많지 않고, 미국을 중심으로 레이저 무기 개발을 위한 투자와 연구개발이 활발히 이루어지고 있으나 아직 전력화된 무기체계가 없는 만큼 군사용 레이저 기술은 고도의 기술력이 필요한 분야로 평가된다. 우리나라는 레이저 대공무기를 필두로 레이저 무기체계 개발을 위한 노력을 계속하고 있으나 인프라와 기반기술 부족이라는 난제에 직면하고 있다. 본 연구에서는 미국을 중심으로 국외 고에너지 레이저 무기체계 개발동향과 발전추세를 분석하고 국내 레이저 무기체계 개발을 위해 필요한 기술과 인력양성 방안을 제안하여 국내 고에너지 레이저 무기체계 발전방안을 제시하였다. 향후 레이저 기술개발 가이드라인으로 활용할 수 있을 것이다.

Abstract As the concept of future warfare emerges, advanced weapon systems that overcome the limitations of traditional artillery are needed. In particular, the ability of the existing artillery systems in responding to nonlinear warfare situations, threats from multiple unmanned systems, and hypersonic missiles has been reaching its limit. Therefore, high-energy weapons are the center of attention as a new advanced weapon/artillery system with outstanding quick reaction and striking capabilities. In particular, high-energy laser weapons are expected as a game-changer in future warfare. Currently, few countries possess laser technology under the circumstance that the investment and R&D for high-energy laser weapon systems are active in the United States. However, laser technological development has been difficult in many countries due to their restrictions on deploying high-energy laser weapon systems. Meanwhile, South Korea continues to make efforts to develop high-energy laser weapon systems starting with anti-aircraft laser weapons but faces a lack of infrastructure and basic technology for the development. Hence, this study analyzes the necessary infrastructure construction and technologies for the South Korean research and development (R&D) of high-energy laser weapon systems by researching and investigating the global development trend for these systems. In effect, the analysis could be used as a guideline for future laser technology development.

Keywords : Laser Weapon, High-Energy Laser, Game Changer, DE-JTO, Laser Technology Level

*Corresponding Author : Myung-Won Shin(KRIT)
email: shinmyungwon@krit.re.kr
Received March 25, 2022 Revised April 18, 2022
Accepted May 6, 2022 Published May 31, 2022

1. 서론

군사과학기술의 발전에 따라 지상, 해상, 공중의 전통적인 3차원 전장공간은 우주와 사이버를 포함한 5차원의 미래전으로 확장되고 있다. 무기체계의 무인화, 정밀화, 장사정화에 따라 소형화된 다수의 무인체계위협 및 초고속 정밀무기체계의 위협 등이 증대될 것이며, 피 · 아가 다영역으로 확장된 전장에서 다양한 수단을 운용할 수 있는 비선형 전장의 형성이 예상됨에 따라 각국은 첨단 무기체계를 획득하기 위해 노력하고 있다.

극초음속 유도탄 등 초고속 무기체계의 위협에 대한 전통적 개념의 화포체계 능력이 한계에 도달함에 따라 신개념 미래전력이 구상되고 있으며 광속의 레이저 무기체계는 미래 핵심전력으로 기능할 것으로 기대되고 있다. 미래 전장의 판도를 바꿀 것으로 기대되는 10대 무기체계 게임체인저에 레이저가 포함되어 있을 정도로 레이저는 그 위상이 상당하다.

레이저 무기체계 개발은 미국에서 1970년대부터 시작되었으나 아직 전력화된 무기체계가 없다는 것은 그만큼 레이저에 고도의 기술적 난이도가 요구된다는 반증이기도 하다. 우리나라는 레이저 대공무기를 시작으로 레이저 무기체계 전력화를 위한 노력을 경주하고 있으나 아직 충분한 인프라와 기술수준을 갖추지 못한 만큼 여러 난제들에 직면하고 있다.

본 연구에서는 레이저 무기체계 중 수십 kW 이상의 고에너지 레이저(HEL) 무기체계의 국내외 개발동향과 기술발전 추세를 분석하고 국내 레이저 무기체계 발전방안을 제시하고자 한다.

2. 고에너지 레이저 무기 개요

2.1 개념 및 특성

레이저(LASER)는 '유도 방출에 의한 빛의 증폭(Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)'이라는 뜻이다[1]. 유도 방출의 개념은 1916년 A.Einstein이 제안하였으며 최초의 레이저는 1960년 T.H. Maiman이 개발하였다. 레이저는 이득매질, 공진기, 펌핑기 등으로 구성되며 단색성, 고강도, 지향성, 고휘도, 집속도 등의 특성을 지닌다.

레이저는 광의 특성을 가지고 있으므로 레이저 무기는 운동에너지 무기를 상쇄할 수 있는 장점과 운동에너지 무기를 대체할 수 없는 단점을 함께 가지고 있다. Table 1은 레이저 무기와 운동에너지 무기를 비교한 것으로 속도, 정확성, 발사비용 등의 측면에서레이저 무기는 운동에너지 무기보다 뛰어나지만 환경조건에 더 민감하다. 따라서 운동에너지 무기의 완전한 대체수단으로의 레이저 무기를 이해하는 것이 아니라 무기체계 운용효과를 극대화하기 위해 레이저 무기와 운동에너지 무기를 병용하는 개념으로 접근하는 것이 바람직하다.

Table 1. Comparison of Laser and Kinetic energy weapon

Spec.	Laser weapon	Kinetic Energy Weapon
Engagement time	Speed of light	Speed of sound
Accuracy	Precision engagement	Relative inaccuracy
Cost	Lower cost per shot	Higher cost per shot
Environmental condition	Higher sensitivity	Lower sensitivity

레이저는 전기 에너지를 입력하여 광 에너지로 변환시키는 에너지 변환장치의 일종으로 입력된 에너지의 일부가 열로 발산되기 때문에 레이저 기술은 에너지-광 변환효율, 안정성, 방열 및 환경성 등을 고려하여 발전해왔으며, 수십 kW 이상의 출력을 위해 다수의 레이저 모듈을 결합하여 사용하고 있다. 그러므로 광의(廣義)의 레이저 기술은 레이저 빔 발생 및 빔 결합기술, 냉각기술, 전원공급기술 등을 포함하고 있다고 할 수 있다.

2.2 레이저의 군사적 응용

레이저 무기는 1980년대 구소련에 대응하기 위한 레이건 행정부의 전략방위구상(SDI)의 일환인 '스타워즈' 프로젝트가 가동되면서 기존 운동에너지 무기의 단점을 극복할 수 있는 신무기로 레이저가 각광받기 시작하였으며, 오늘날까지 레이저 유도(SAL), 레이저 라이다, 레이저거리측정기, 신(新)타격체계 등 다양한 군사 분야로의 응용이 이루어지고 있다. 특히 타격체계로서 Hard kill이 가능한 레이저 무기에 고출력의 레이저가 요구되고 있으며 일정 출력 이상의 레이저를 통상 고에너지 레이저라고 부르고 있다. 고에너지 레이저의 기준에 대해 미국 국방부(DOD)는 '20kW 이상의 연속출력 레이저(Continuous Wave) 또는 1kJ을 초과하는 펄스 레이저'를 고에너지 레이저로 정의하고 있다[2]. 이러한 고에너지 레이저 무기는 전통적인 투발 수단으로의 화포는 아

니지만 미래 신무기의 개념으로 레이저포라고 불리기도 한다.

미국 전력투자분석센터(Center for Strategic and Budgetary Assessments)는 레이저 출력에 따른 무력화 가능한 목표물을 제시하였으며 해당 기준은 레이저 무기체계 개발에 표준으로 사용되고 있다. 레이저 출력 10kW 미만인 경우 광학장비 또는 센서, 지뢰 및 IED 등의 무력화, 10kW부터 100kW 미만인 경우 소형드론과 RAM, 소형 UAV 등의 요격, 100kW 이상인 경우 순항미사일과 탄도미사일 등의 요격이 가능한 수준이다[3].

3. 미국 고에너지 레이저 무기 개발현황

세계적으로 레이저 무기를 자체개발할 수 있는 국가는 미국, 독일, 러시아, 이스라엘, 한국 등 몇 되지 않는다. 그중에서도 미국에서 고에너지 레이저 무기 개발이 가장 활발히 이루어지고 있으므로 본 장에서는 미국의 개발현황을 집중적으로 분석한다.

3.1 미국 레이저 개발 지원

미국에서는 1970년대부터 화학레이저를 개발하며 빠른 성과를 이룬 결과 레이저는 비대칭 우위를 차지할 수 있는 잠재성이 있는 기술로 기대되어 왔다. 미국 국방부는 Table 2에서 나타내듯 기술우위를 확보해야할 10개 분야 중 레이저 등의 지향성 에너지를 포함하고 있으며, 2007년 국방과학기술위원회(Defense Science Board)의 보고서를 정책적 지침으로 삼고[4] 기술개발 및 추진전략을 관리하기 위해 국방부 연구공학차관실(USD(R&E))하에 DE JTO(Joint Directed Energy Transition Office)라는 전담기관을 두고 있다.

Table 2. 2018 National Defense Strategy Top 10 list of focus area

1. Hypersonics
2. Directed energy
3. Command, control and communications
4. Space offense and defense
5. Cybersecurity
6. Artificial intelligence/machine learning
7. Missile defense
8. Quantum science and computing
9. Microelectronics
10. Autonomy

DE JTO의 전신은 2000년 설립된 HEL-JTO(High Energy Laser Joint Technology Office)이다. 당시 미국 의회는 2000년 국방수권법(National Defense Authorization Act for Fiscal year 2000)을 통해 국방부에 레이저 개발 계획을 수립할 것을 요구했고, 이때 국방부가 제출한 HELERP 보고서에 기반하여 HEL-JTO가 설립되었다. HEL-JTO는 지향성 에너지 기술 전반 및 시험평가 임무까지 추가하여 2017년부터 DE JTO로 개편되었다.

DE JTO는 군, 정부기관 및 자문역할을 수행하는 기술분야 워킹그룹(TAWG, Technology Area Working Group) 등 각 분야의 전문가들로 구성된 합동 조직으로 기술정책 수립, 자금지원, 군, 정부기관, 학계 등에 대한 R&D 조정 통제 등 주요 결정권한을 보유하고 있어 미국의 레이저 무기 기술개발의 컨트롤 타워(Control Tower)로 기능하고 있다. DE JTO에서 수년간 투자한 결과물은 미국의 군사용 레이저 기술 확보에 크게 기여하고 있는 것으로 평가된다. JHPSSL, RELI 프로그램 등은 DE JTO가 지원한 대표적인 사례이다.

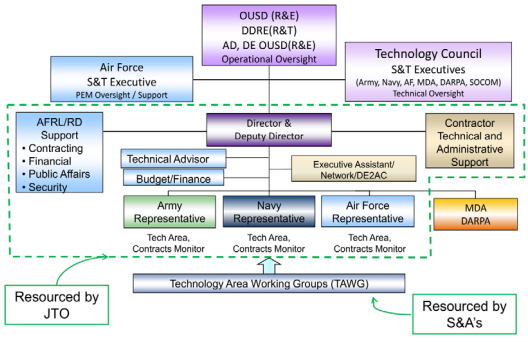


Fig. 1. DE JTO Organization (Current DE JTO Priorities For Moving From Lab to Operational Systems, 26, June, 2019)

지향성 에너지 분야로 예산이 편성되므로 미국 레이저 개발에 투입되는 정확한 예산을 산출할 수는 없으나 FY21을 기준으로 레이저 무기 관련 예산을 나타낸 Table 3과 같이 각 군 등에서 요구한 예산이 3억 달러 이상인 점을 볼 때 상당한 규모의 예산이 투입되고 있음을 추정할 수 있다[5].

Table 3. FY21 Budget Highlights

Organ.	Budget	
OSD	HEL Advanced Technology program	$105M
DARPA	Counter HEL(C-HEL)	$15M
U.S. NAVY	HELIOS	$88.3M
	NLFOS	$68M
U.S. AIR FORCE	HEL Research Initiatives	$15M
U.S. ARMY	HEL enabling and support technology	$10M
	HEL Tactical Vehicle Demonstrator Technology	$9M

3.2 군사용 레이저 기술

1970년대부터 항공기 탑재를 목적으로 개발되어온 불화수소(HF), 불화중수소(DF) 등을 이득매질로 사용하는 화학레이저는 고비용, 거대체적, 유독물질 사용 등으로 위험성 및 군수지원이 어려운 문제가 있었으므로 2010년을 전후로 미국은 화학레이저 개발을 중단하고 군용 플랫폼에 탑재 가능한 친환경, 고성능의 군사용 레이저 기술지원 사업에 집중 투자하고 있으며, 시범기 개발결과를 토대로 군 운용환경을 견딜 수 있는 강인한 레이저 시스템 개발 및 고품질화를 추진하고 있다. 대표적인 레이저 개발 프로그램은 Table 4와 같다[6].

레이저 무기체계는 궁극적으로 각종 플랫폼 탑재를 목적으로 하므로 SWaP(Size, Weight and Power)의 정도가 레이저 기술 수준을 가늠하는 척도로 작용하는 경우가 많다. 그래서 고에너지 레이저 무기의 광원은 고품질, 소형화에 유리한 광섬유 레이저가 주로 연구되고 있다. 고체레이저는 화학레이저 대비 작은 중량과 체적을 달성했으나 이득매질 내부의 발열로 출력향상 및 고품질 빔 획득에 제한이 있었으며, 거대한 냉각시스템이 요구되는 단점이 있었다. 이러한 고체레이저 매질을 기하학적 형태로 얇고 길게 변형한 것이 광섬유의 형태로, 광섬유 자체가 광 경로로 기능하여 에너지 손실이 적고 중량과 열관리, 빔 품질 획득에 유리하여 레이저 시스템의 소형화와 경량화에서 큰 성과를 얻었다. 실제로 Lockheed Martin, Northrop Grumman 등 미국의 대형 방산업체들은 주로 광섬유를 이용하여 레이저 무기를 개발하고 있다.

하지만 고체레이저에 대한 연구가 중단된 것은 아니다. HELLADS 프로그램으로 슬랩 또는 디스크형 이득매질을 냉각수에 침전시키는 방법으로 발열을 효율적으로 제거하는 신기술인 액체침전형 레이저(Distributed gain laser)의 시제가 공개되는 등 일련의 성과를 거두고 있다[7].

Table 4. High-Energy laser weapons projects

Spec.	Description
ALL	· Medium: GDL · Power: 450kW · Contractor: Pratt Whitney
ABL	· Medium: COIL · Power: MW · Contractor: Northrop Grumman
THEL	· Medium: DF · Power: 400kW · Contractor: Northrop Grumman
ATL	· Medium: COIL · Power: 100kW · Contractor: Northrop Grumman
Area Defense Anti-Munition (ADAM)	· Medium: Fiber(COTS) · Power: 10kW · Contractor: Lockheed Martin
Gamma	· Medium: Solid-state slab · Power: 13.3kW/block · Contractor: Northrop Grumman
Excalibur	· Medium: Fiber · Power: 10s of kW · Contractor: Optonicus
High Energy Liquid Laser Area Defense System (HELLADS)	· Medium: Solid-state · Power: 150kW · Contractor: General Atomics
High Energy Laser Mobile Demonstrator (Hel-MD)	· Medium : Soild state · Power : 10kW · Contractor: Boeing
Joint High Power Solid-State Laser (JHPSSL)	· Medium: Solid-state slab · Power: 105kW · Contractor: Northrop Grumman
Laser Weapon System (LaWS)	· Medium: Fiber(COTS) · Power: 15 ~ 50kW · Contractor : Kratos
Robust Electric Laser Initiative (RELI)	· Medium: Fiber · Power: 25kW · Contractor: Lockheed Martin, Northrop Grumman, Boeing
Solid-State Laser Technology Maturation (SSL-TM)	· Medium: Solid · Power: N/A · Contractor: Kratos, Raytheon, Northrop Grumman, BAE Systems
DPAL	· Medium: Rubidium · Power: 60kW(goal) · Contractor: Lawrence Livermore

최근에는 고체와 광섬유레이저 외에도 양자 효율이 매우 높아 단일 증폭기 구조로 출력을 증대시킬 수 있는 기체레이저의 일종인 다이오드 펌프형 알칼리레이저

(DPAL, Diode Pumped Akali Laser)에 대한 연구를 지원하고 있다. 알칼리 레이저는 높은 빔 품질, 우수한 SWaP를 충족할 수 있는 미래 기술로 기대되고 있으며, 출력 60kW를 목표로 개발되고 있다[8].

미국은 FY22부터 FY30까지 레이저 출력향상 로드맵을 구축하고 FY30까지 레이저 출력 1MW 달성을 목표로 함을 밝히고 있다[9].

3.3 운용개념

미국은 Fig.4와 같이 6개의 방공망으로 구성된 방공 및 미사일 방어 체계 개념을 구축하고 있으며, 해당 방어 체계에서 다음과 같이 레이저 무기와 운동에너지 무기를 결합하여 Table 5처럼 운용할 것으로 예상된다[10].

Table 5. AMD capabilities layered defense

Org.	Operational Concept	Target
Layer 1	Common Remotely Operated Weapon Station	Low-Altitude drone
Layer 2	A laser weapon system integrated onto a combat platform	Munition and drone
Layer 3&4	Maneuver-Short-Range Air Defense platform	Larger aircraft
Layer 5	High-Energy Laser Tactical Vehicle Demonstrator	Rockets, artillery and mortars
Layer 6	Low-Cost Extended Range Air Defense missile	Subsonic cruise missile

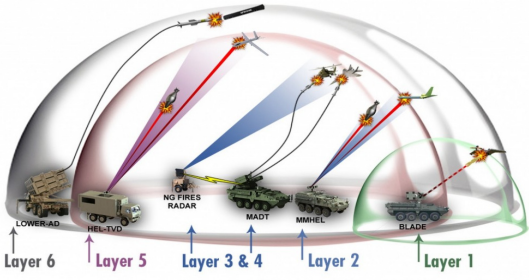


Fig 2. Domes of protection("CCDC roadmap to modernizing Army AMD", Army News Service, 10, September, 2019)

3.4 소요군별 개발현황

3.4.1 지상플랫폼 탑재 레이저 무기

미국의 지상플랫폼 탑재 레이저 무기는 Table 6에서 보는바와 같이 크게 전술차량 및 전투차량 탑재형으로 구분하여 개발이 진행되고 있다. 상대적으로 체적 및 중량이 유리한 전술차량에 100kW급 이상의 레이저를, 수십 kW급의 레이저는 전투차량에 탑재될 예정이다. 대표적으로 전술차량 탑재형 IFPC-HEL, 전투차량 탑재형 DE M-SHORAD 사업이 진행되고 있다.

전술차량 탑재형 100kW급 레이저 무기는 2019년부터 HEL-TVD 사업으로 수행되고 있었으며, 미 육군에서 탄도미사일 등의 요격을 위해 100kW 이상의 레이저 출력이 필요하다는 의견이 제기되어 HEL-TVD의 계약을 수정하여 300kW급 IFPC-HEL 을 개발하는 것으로 결정되었다. IFPC-HEL은 2024년 시제품 4대를 육군에 인도하는 것을 목표로Lockheed Martin은 파장제어 빔 결합형(Spectrum Beam Combine) 광섬유레이저, nLIGHT/Nutronics는 위상제어 빔 결합형(Coherent Beam Combine) 광섬유레이저, General Atomics는 액체침전형 고체레이저를 적용하여 각각 300kW급 레이저 시제를 개발하고 있다[11].

전투차량 탑재형 레이저 무기는 장갑차 탑재를 목표로 한 시범기인 MEHEL(Mobile Experimental High Energy Laser)에서 출발하였다. IPG Photonics의 상용 단일모드 광섬유레이저를 이용한 MEHEL과 MEHEL의 레이저 출력을 대폭 증가시킨 50kW급 시범기 MMHEL(Multi Mission High Energy Laser)을 거쳐 현재 Stryker 장갑차 탑재형 DE M-SHORAD(Directed Energy Maneuver Short-Range Air Defense)가 개발되고 있으며 Raytheon이 개발을 주도하고 있다. DE M-SHORAD는 소형 UAV, 소형드론 등의 대응을 목표로 군집화 되는 드론체계의 발전추세를 고려할 때 다표

Table 6. A selection of ongoing ground-mounted laser weapon

System Name	Description
IFPC-HEL	· Goal : 300kW · Flatform : Family of Medium Tactical Vehicle · Contractor : Lockheed Martin, General Atomics, nLIGHT/ Nutronics
DE M-SHORAD	· Goal : 50kW · Flatform : Stryker · Contractor: Raytheon, Northrop Grumman
DEIMOS	· Goal : 50kW · Flatform : Stryker · Lockheed Martin(commercial)

적 교전이 제한되는 레이저 무기의 단점을 극복하기 위해 운동에너지 무기와 결합하여 운용될 예정이다. Lockheed Martin에서도 DE M-SHORAD와 유사한 DEIMOS(Directed Energy Interceptor for Short Range Air Defense)라고 명명한 전투차량용 50kW급 레이저 무기를 개발하고 있으며[12], 향후 Stryker 탑재형 레이저 무기의 양산업체 선정을 두고 Raytheon과 경쟁하게 될 것으로 예상된다.

3.4.2 함정탑재 레이저 무기

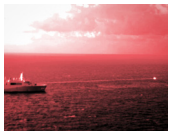
함정탑재 레이저 무기는 중량, 체적, 전원공급 등에서 지상 또는 공중 플랫폼보다 자유로운 장점이 있으며 Table 7과 같이 이지스함 등에 부체계로 탑재하여 시험하고 있다. 미 해군의 함정탑재 레이저 무기는 SSL-TM, ODIN, SNLWS 1 등을 거쳐 HELCAP등으로 진행될 예정이다[13]. 함정탑재용 레이저는 UAS, 소형보트 요격 외에도 ISR 센서 무력화 등 Hard-kill과 Soft-kill 능력을 포함하여 개발하는 경향을 보인다.

SSL-TM 사업으로 2018년 시범기 LWSD(Laser Weapons System Demonstrator)가 Portland함에 탑재되어 2023년 초까지 시험 중이며, 2021년 미 해군은 ODIN(Optical Dazzling Interceptor)을 Portland호와 Dewey호에 장착하여 시험 중인 것으로 알려져 있다. ODIN의 경우 근적외선 대역의 레이저를 적용하여 개발중인 대부분의 레이저 무기와 다르게 레이저 주포 외에 저출력의 중적외선 레이저가 부체계로 부착되어 있어 전자광학 또는 적외선 센서 마비 용도로 활용하는 것으로 추정되며 중적외선 레이저의 출력은 공개되지 않았다.

SNLWS는 Increment 1과 2로 나누어지며 Increment 1은 통상 HELIOS로 잘 알려져 있다. HELIOS는 60kW~ 150kW 수준으로 개발되고 있다.

HELCAP은 300kW급 수준으로 대함순항미사일(ASCM) 요격용으로 운용될 예정으로 해상 환경에서 대기난류보정, 자동표적식별, 레이더의 반향(clutter) 현상을 극복한 고정밀 조준기술 등이 적용될 것으로 보인다[14].

Table 7. A selection of ongoing ground-mounted laser weapon

System Name	Description
 LWSD	· Goal : 100~150kW · Flatform : USS Portland · Contractor : Northrop Grumman
ODIN	· Goal : 60kW · Flatform : USS Dewey · Contractor : Lockheed Martin
HELIOS	· Goal : 150kW · Flatform : USS Arleigh Burke, USS Little Rock · Contractor : Lockheed Martin

3.4.3 항공기/전투기탑재 레이저 무기

공군용 레이저는 주로 화학레이저를 이용하여 개발되어 왔으나 화학레이저 개발이 전면 중단된 이후 최근 광섬유레이저를 이용하여 다시금 개발하고 있다. Table 8과 같이 항공기탑재 레이저 무기는 60kW급으로 추정되는 레이저를 AC-130J에 장착하는 것을 목표로 개발을 진행 중이고, 전투기탑재용 레이저는 F-15 플랫폼에 전투기의 제한된 체적 및 중량을 고려하여 포드(Pod)화 하여 개발하고 있으며 Lockheed Martin이 레이저를, Northrop Grumman이 빔 제어 시스템을 공급하며 Boeing이 탑재장비를 포드화 하는 작업을 진행하고 있는 것으로 알려져 있다.

Table 8. A selection of ongoing aircraft-mounted laser weapon

System Name	Description
AHEL	· Goal : 60kW · Flatform : AC-130J · Contractor : Northrop Grumman
SHiELD	· Goal : 60kW · Flatform : F-15 · Contractor : Lockheed Martin, Northrop Grumman, Boieng

4. 국내 고에너지 레이저 개발동향

4.1 레이저 연구개발 현황

우리나라는 1999년 화학레이저를 시작으로 레이저 기술 개발을 시작하였다. 레이저를 이용한 무기체계 개발은 2014년 신개념기술시범사업(ACTD)을 통한 저출력의 '레이저를 이용한 폭발물 처리기'가 시작이었으나

당시 기술력 부족과 더불어 다수 적용한 상용품의 성능이 레이저에서 발생하는 고열과 군의 고온 운용환경을 충족하지 못하여 양산단계 전환에 실패하였으며, 현재 진화적 개발개념을 적용하여 체계개발 중인 레이저 대공무기가 최초의 고에너지 레이저 무기라고 할 수 있다.

현재 상용제품과 국외도입, 국내기술을 활용하여 레이저 대공무기를 개발하고 있으며, 레이저 대공무기를 시작으로 고에너지 레이저 무기 개발에 착수한 만큼 대부분의 핵심기술들이 진화적 개념의 레이저 대공무기와 관련되어 있으며 지역 방공무기 개념으로 개발되고 있다.

4.2 국내 기술수준

국내 레이저 기술은 수 kW이상의 고체레이저, 광섬유 레이저 등의 레이저 광원 기술과 빔 결합 기술, 레이저 발사기술 등을 확보하고 있는 수준으로 제한된 범위 내에서 수십 kW급의 고정형 레이저 무기를 체계개발할 수 있는 수준으로 평가되며, Table 9와 같이 미국과 비교하여 상당한 기술격차가 있는 것으로 판단된다.

레이저 발진기술은 광섬유 레이저 위주로 개발되고 있다. 고체레이저 분야에서 미국의 JHPSSL 프로그램과 유사한 고체레이저를 개발하여 목표출력을 달성하는 등 일련의 성과를 거두었으나 고체레이저의 고질적인 문제였던 발열문제로 후속연구가 계속되지는 못하였다. 이후 광섬유레이저 개발에 성공하며 단위모듈당 출력을 향상시키기 위한 연구와 함께 광섬유의 비선형 현상을 해결하여 수십 kW급 출력을 얻기 위해 다양한 빔 결합기술을 개발하고 있다. 차세대 광원으로 기대되는 알칼리 레이저에 대해서는 기초연구를 수행한 수준이다.

레이저 발사기술은 선진국에 준하는 수준인 것으로 판단된다. 고속표적을 추적조준하기 위한 고정밀화 연구와 광학계의 소형화 및 경량화 연구를 계속하고 있으며 전원 공급 및 냉각기술은 상용품을 사용하고 있고 군용 개발된 실적은 없다.

Table 9. Comparison of Technology level between Korea and United States

Spec.	Korea	United States
Laser Power	Tens of kW (goal)	300kW (goal)
Source	Fiber	Fiber, Solid, Alkali
Accuracy	Tens of urad	10urad
Power and Cooling System	Commercial Off-the-Shelf	Military Spec

4.3 국내 레이저 무기 개발 난제

중장기 이후 고에너지 레이저 무기체계는 체계 측면에서 고기동의 장갑차, 항공기, 전투기 등의 다(多)플랫폼 탑재와 표적 측면에서는 소형무인기, 드론 등에서 미사일 요격이 가능한 수준까지 요구하고 있다.

탑재체계의 체적과 중량은 레이저 성능과 밀접한 관련이 있으며 적용 기술 및 기술적 난이도가 크게 달라지므로 별도로 구분하여 개발하는 것이 필요하다. 하지만 국내 레이저 무기체계는 소요가 다소 긴급하게 결정되어 당시 국내 기술수준을 고려하여 정부기관 주도의 추격형으로 개발이 시도되었으며, 개발역사가 짧고 충분한 기술력을 확보하기 전 체계개발에 진입한 다소 기형적인 개발이력을 가지고 있다.

국내 레이저 기술은 체계 조기 전력화를 위해 핵심 성능인 레이저 출력 부분에 집중되어 진행된 측면이 있고 레이저 개발 간 상용제품과 국외도입 의존도가 높다. 레이저 무기 핵심기술 중 하나로 꼽히는 전원공급과 냉각기술 등의 군용 개발사례가 없다는 것이 주요한 예다.

기 개발된 레이저 기술 및 개발 예정인 핵심기술 등이 대부분 레이저 대공무기를 중심으로 계획되어 있어 고기동 플랫폼에 적용하기 위한 기술을 포괄하지 못하고 있으며 핵심구성품 개발은 체계개발 이후 후속과제로 보는 경향이 강하다.

레이저 분야는 막대한 연구개발 비용과 고도의 기술적 난이도로 진입장벽이 높아 기관 주도로 개발이 진행되어 왔다. 레이저 대공무기 개발이 추진된 이후 레이저 기술의 중요성이 대두되었으나 개발기관 독점 구조로 진행되어온 만큼 다수의 산학연이 참여 가능한 인프라를 조성하지 못해 경쟁을 통한 기술축적과 선순환이 어려운 구조로 변모하고 있으며, 고질적인 인력부족 문제가 대두되고 있다.

5. 발전방안 연구

본 절에서는 산학연 주도의 핵심기술 개발을 통한 기반기술 확보 및 국외도입 중인 핵심부품의 수입통제(E/L) 품목으로의 지정 또는 수입이 어려울 경우를 대비한 부품국산화 개발을 병행하여 기술 자립도와 레이저 개발 인프라를 확보하고, 제도를 활용한 인력양성 방안을 제시하고자 한다.

5.1 필수 확보 기술 식별

레이저 개발 역량을 집중해야 할 분야에 대해서는 오래전부터 비용대 효과 분석이 중요한 부분으로 여겨져 왔다. 이는 레이저 무기 개발에 고난이도의 기술과 막대한 예산이 소요되므로 제한된 예산 내에서 개발 성과를 거두어야 하기 때문으로 풀이된다.

미국은 장기간의 상용기술을 활용하여 시범기를 개발하고 그 운용결과를 기술 개발에 환류해 왔으며 기초연구, 신기술, 시범기 개발 등을 망라하여 적극적으로 투자한 결과 넓은 레이저 인프라를 보유하고 있다. 체계종합과 레이저 발진기 분야 등은 대형 방산업체 주도로 개발되고 있으며 전력 및 냉각 등의 분야는 민간의 전문기관이, 신기술 개발에는 대학 등의 연구소가 적극 참여하고 있다. 이는 오랜 개발 역사와 예산 규모에서 파생된 것으로 국내 획득 여건과 예산을 고려할 때 제한되는 것이 현실이다. 그러므로 현 국내 상황에서는 핵심기술의 무기체계 적용성을 향상시키고 기술공백을 최소화하기 위해 무기체계 중장기 소요와 연계하여 개발 역량을 집중해야 할 기술분야를 선정하는 것이 바람직하다.

중장기 레이저 무기체계 소요를 기준으로 Table 10과 같이 연구개발투자를 집중해야 할 기술 분야를 제시할 수 있으며 레이저 고출력화 기술, 소형화·경량화 기술, 고기동 환경에서의 조준집속기술, 전원 공급 및 열관리 기술 등을 중점적으로 개발하고 핵심부품 국산화 개발을 병행할 필요가 있다. 중장기 이후의 무기체계라 함은 통상 군 소요기획문서에 수록된 무기체계로 소요가 결정되었거나 소요결정이 예상되는 무기체계를 의미하므로 핵심기술로 개발함이 타당할 것이며, 산학연 주관으로 개발 시 자연스럽게 인프라 또한 확대될 것으로 기대한다.

Table 10. Technology Suggestions

Spec.	Description	
Core Technology	High Energy Enhancement	Next generation laser gain medium
		Advanced beam combining
	Miniaturization /Lightweight	High temperature laser diode
		Single-mode laser power growth
	Maneuverability Improvement of Laser Director	Optimal beam control improvement of mobile platform
		Laser beam control system with impact resistance
		Atmospheric correction adaptive optics
	High-power and Thermal management system	
	Parts Localization	Fiber gain medium, Diffraction grating, Polarization independent, etc.

5.2 레이저 분야 인력양성 방안

우리나라는 군사용 레이저 분야에 대한 투자 기간이 길지 않은 만큼 군 레이저 분야를 다룰 수 있는 소수의 방산업체에서 일부 전문인력을 보유하고 있는 실정으로 레이저 분야의 전문인력이 충분히 공급되지 못하고 있다. 우수한 레이저 무기체계를 개발하기 위한 인프라의 구축과 활용, 유지를 위해서는 전문인력이 충분히 공급되어야 하며, 향후 레이저 무기체계 소요와 산업규모가 점차 증가할 것을 고려하여 장기간 안정적으로 전문인력이 양성될 필요가 있다.

미국의 경우 DE JTO에서 레이저를 포함한 지향성 에너지 분야를 육성하기 위한 교육 지원사업을 수행하고 있다. DEPS(Directed Energy Professional Society)에서 DE JTO의 보조금을 관리하며 장학금, 인턴십, 관련 단기과정 등의 프로그램을 지원한다. 지원 대상으로는 학부 및 대학원생 및 기존 산업인력을 모두 포함하고 있다. 2019년 DE JTO는 5년간 총 240만 달러 수준의 연방 보조금 프로그램을 발행하였다[15,16].

우리나라에서는 방위산업 분야의 인력양성사업으로 Table 11과 같이 핵심기술 기초연구사업과 방위산업 계약학과 지원사업을 전개하고 있다.

Table 11. Technical professionals policy of Defense Industry

Spec.	Description	
Core Technology Basic Research	Defense specialization laboratory	· Budget : 30~50 hundred million · Period : Three or Six years
	Defense specialization research center	· Budget : 120~180 hundred million · Period : Max nine years
Defense Industry contract-based department	· Classification : Employment Condition Type(Employment obligation), Re-education Type · Period : Two years(four semester)	

핵심기술 기초연구사업으로 일부 레이저 분야의 특화연구실이 운영된 실적이 있으며 방위산업 계약학과 지원

사업은 2022년부터 적용되는 제도로 국방 레이저 분야의 학과와 관련 방산업체는 아직 지정되지 않았다.

핵심기술 기초연구사업은 장기간 인력육성 관점에서 사업기간이 긴 특화연구센터를 우선 고려할 수 있다. 과제 규모 및 총 예산이 상당하여 여러 산학연의 컨소시엄을 유도할 수 있고 최대 9년으로 운영되어 기술발전추세에 부응할 수 있다. 방위산업 계약학과 지원사업은 채용조건형과 재교육형으로 구분되며 참여학생과 참여기업에게 취업 및 채용의무가 부여되므로 전문인력의 장기재직을 기대할 수 있다.

국방 레이저 분야에서는 두가지 제도 모두를 활용할 수 있으나 특화연구센터의 경우 특정 기술군에 대한 중점연구를 수행하고, 전공인력의 국방 분야로의 정착이 보장되지 않으므로 포괄적인 레이저 인력 조성에는 한계가 있을 수 있다. 그러므로 방위산업 계약학과 지원사업으로 레이저 분야로의 신규 사업 지원을 검토하는 것이 적절하며, 재교육형은 기존 인력의 직무능력 향상목적이 더 크므로 신규 인력 배출을 고려하여 채용조건형으로 추진하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

6. 결론

레이저 무기체계는 미래 게임체인저로 기대되는 만큼 앞으로 활발히 개발이 이루어질 분야로 예상된다. 본 연구에서는 국내외 레이저 무기체계 개발동향을 분석하고 국내 레이저 무기체계 발전방안에 대해 제시하였다. 국내 레이저 무기체계 개발 분야가 직면한 기술수준 및 인프라 부족 문제를 해결하기 위해 레이저 고출력화 기술, 소형화·경량화 기술, 고기동 조준집속기술, 대전력 공급 및 열관리 기술 등의 핵심기술과 부품국산화 개발이 필요한 분야를 제시하였으며 국방 레이저 분야 인력확충을 위해 방위산업 인력양성 제도를 검토하였다. 향후 레이저 무기체계 개발 간 지침으로 활용할 수 있을 것으로 기대한다. 그러나 본 연구는 연구 과정에서 제시한 개발 필요 기술 등에 대한 구체화가 필요하다는 한계가 존재하며, 후속 연구를 통해 보완이 필요하다.

References

[1] Y. W. Lee, S. Y. Choi, Introduction to Laser Engineering, p.201, Node Media, 2009, pp.8.

[2] US Defense Threat Reduction Agency, 'Section 11: Lasers and Optics Technology', in US Department of Defense, Developing Science and Technologies List, Ft. Belvoir, 2000.

[3] Mark Gunzinger, Chris Dougherty, Changing The Game : The promise of Directed-Energy Weapons, Center for Strategic and Budgetary Assessments, United States, p.27, 2012.

[4] Defense Science Board Task Force, Directed Energy Weapons, Office of the Under Secretary of Defense For Acquisition, Technology, and Logistics, United States, pp.50-52, 2007.

[5] Ellen M. Lord, James M. holmes, Neil Thurgood, Kelly D. Hammett, "From R&D to Live Deployments : FY21 Budget Highlight", presentation at the Institute for Defense and Government Advancement (IDGA), June 24-26, 2020.

[6] Valerie C. Coffey, "New Advances in Defense Applications : High-Energy Laser", *Optics and Photonics News*, Vol.25, Issue 10, pp.28-35, 2014. DOI: https://doi.org/10.1364/OPN.25.10.000028

[7] "General Atomics and Boeing's New Liquid Laser Could Win High-Energy Weapon Race", Forbes, Oct 30, 2021

[8] "Testing 50 kW lasers in weapon systems", Laser Focus World, November 2021.

[9] Dr. Jim Trebes, "Advancing High Energy Laser Weapon Capabilities: Wat is OUSE(R&E) Doing?", presentation at the Institute for Defense and Government Advancement(IDGA), October 21, 2020.

[10] Jeremiah Rozman, Integrated Air and Missile Defense in Multi-Domain Operations, Association of the United States Army, May 2020, p.8.

[11] "Defense Department Invests Additional $47 Million in High Energy Laser Scaling Initiative", 2020 Laser Award Announcement

[12] "Lockheed Unveils New Laser Weapon For Army's Stryker Vehicles", Breaking Defense News(Oct. 11, 2021)

[13] Navy briefing slide provided by Navy Office of Legislative Affairs to CRS on May 6, 2019.

[14] Kelly M. Sayler, John R. Hoehn, Andrew Feickert, Ronald O'Rourke, Department of Defense Energy Weapons : Background and Issues for Congress, Congressional Research Service(CRS), United States, p.15. Available From:(https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R46925/2)

[15] The HEL-JTO Bulletin, DE JTO Newspaper, May 2018.

[16] Funding Opportunity Announcement FOA-RDK-2019-0001, DE-JTO Educational Initiative Assistance Instrument, May 29, 2019.

신 명 원(Myung-Won Shin) [정회원]

- 2017년 2월 : 부산대학교 국제전문대학원 (국제학석사)
- 2017년 12월 ~ 2020년 12월 : 국방기술품질원(DTaQ) 연구원
- 2021년 1월 ~ 현재 : 국방기술진흥연구소(KRIT) 연구원

〈관심분야〉
기술기획, 레이저