

레이저 기술과 미래 무기체계 발전 전망

김소연*, 손은국**, 심현석**

*국방과학연구소

**방위사업청

e-mail:comet613net@daum.net

LASER Technologies based Future Weapon Prospects

Soyeon Kim*, Eun Kuk Son**, Hyunseok Sim**

*Agency for Defense Development

**Defense Acquisition Program Administration

미국, 러시아, 독일, 이스라엘, 영국, 중국 등 세계 국방 선진국들은 미래를 대비하여 레이저 무기체계 기술을 지속해서 개발하고 강화해 가고 있다. 본 논문에서는 레이저 기술에 관한 원리 및 특성에 대하여 간략하게 살펴보고, 국·내외 레이저 요격 무기체계 개발 동향을 기술하고 향후, 레이저 무기체계 발전 방향에 관해서 전망해 보고자 한다.

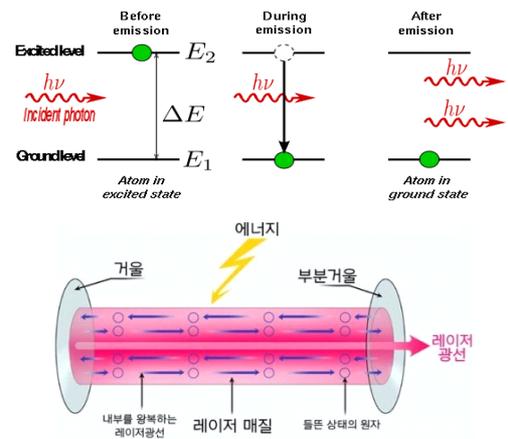
체레이저, 액체레이저 등으로 분류된다(표 1)[1][2].

1. 레이저 기술

레이저(Laser)란, “광원의 유도방출로 인한 빛의 증폭(Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)”을 의미하는 약자이며, 최초의 레이저는 1960년 5월 16일, 미국 캘리포니아의 휴즈 연구소 메이먼(T.H. Maiman)이 루비를 이용하여 원리를 개발하였고, 그 이후 비약적인 기술 발전을 거듭하였으며 앞으로도 군사와 경제 전반에 걸쳐 광범위하게 활용될 전망이다.

1.1 레이저 발생 원리

기저상태(Ground state)의 원자는 광자(빛 에너지)를 흡수하면 여기상태(Excited state)가 되었다가 광자를 자연방출하고 기저상태로 환원된다. 레이저의 원리는 여기상태의 원자가 외부(유도) 광자에 의해 광자를 방출하며 기저상태로 돌아가는 것이며, 이때 방출되는 광자는 유도 광자와 같은 위상과 파장을 갖게 되어 유도방출 에너지(빛)는 증폭된다. 유도방출의 연쇄반응을 이용하여 증폭된 빛을 레이저 광선(빔)이라 일컫는다. 레이저 광선 발생을 위해서는 유도 ‘전원’(에너지/여기원), 여기상태로 에너지를 방출을 위한 활동 ‘매질’, 유도방출된 빛을 증폭시키기 위한 ‘램프’(공진기/반사경)가 필요하다(그림 1). 특히, 레이저는 매질의 성질에 따라 고체레이저, 기



[그림 1] 레이저 발생 원리 및 구조

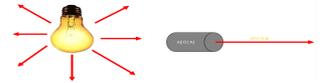
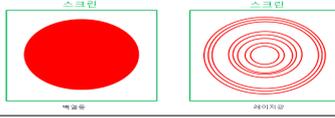
[표 1] 레이저의 종류

매질	여기방법	레이저 명	장단점
고체	광	Ruby, Nd:YAG, Glass	.장점: 고효율 용이 .단점: 부피가 큼
	광	광섬유	.장점: 소형/경량, 빔 품질 우수 .단점: 고효율 구현 어려움
	전류	반도체	.장점: 저렴 .단점: 빔 품질/출력 저하
기체	방전	He-Ne	.장점: 저렴, 열 왜곡 적음
	전자빔살	Argon	.단점: 부피가 큼, 빔 품질/출력저하
	기체운동	CO2	
액체	광	색소 (Dye)	.장점: 제조 용이, 냉각효과 우수 .단점: 부피가 큼, 독성

1.2 레이저의 특성

레이저의 가장 큰 특성은 지향성(Directivity)/직진성이다. 모든 방향으로 진행하는 열복사 광원과는 달리 레이저 출력은 한 방향으로 직진하는 직진성을 갖는다. 둘째, 레이저는 자연 방출된 광원과 달리 하나의 파장만을 가진 단색광(Monochromatic)으로 단색성을 이용하면 특정 파장(색깔)의 물질에 레이저 빔을 선택적으로 흡수(Absorption), 반사(Reflection), 투과(Transmission)시킬 수 있다. 마지막으로 레이저는 파장과 위상이 시공간적으로 매우 균일하여 작은 장애물에도 간섭을 일으키는 높은 간섭성(Coherence)을 갖는다. 레이저 빔을 작은 슬릿을 통과할 경우, 간섭무늬를 선명히 볼 수 있다(표 2)[2][3].

[표 2] 레이저의 특성

특성	현상	대표 응용 분야
지향성		거리측정기, 광통신, 스캐너 등
단색성		색소 제거/치료, 조명 등
간섭성		홀로그래피, 정밀계측 등
집속성		물체 가공(용접/절단), 표적요격, 핵융합 등

1.3 레이저의 활용 방안

레이저는 현재, 다양한 분야에서 핵심기술로 활용되고 있다. 민수분야, 특히 산업계에서는 원자력, 항공기 분야뿐만 아니라 자동차, 토목·건축산업에서 절단, 용접, 가공, 표면 처리 등에 널리 이용되고 있으며 특히 최첨단 기술이 집적된 반도체 산업에서는 항상 새로운 레이저 기술이 요구되고 있다. 군사 분야에서는 국방 센서로써, 레이저 거리 측정기, 열 영상 장비, 레이저 표적지시기 등이 활발히 활용되고 있다. 최근에는 고출력 에너지 무기체계로써 레이저(HEL)를 개발하여 무인기나 탄도미사일 등 핵심표적을 정밀 타격하기 위한 수단으로 레이저 요격 무기체계를 전력화하기 위해 세계적으로 많은 군사 강대국이 경쟁하고 있다[4].

3. 레이저 요격 무기체계 개발 동향

레이저 무기는 1980년대 구소련에 대응하기 위한 레이전 행정부의 전략방위구상(SDI)의 일환인 ‘스타워즈’ 프로젝트가 가동되면서 기존 운동에너지 무기의 단점을 극복하고자

신무기 체계로 개발되기 시작했다.

미국	형상 (플랫폼)				
	명칭	MLD '11 (미국)	LaWS '12 (미국)	HEL-MD '13 (미국)	ATHENA '15 (미국)
미국	출력	15kW	30kW	10kW	30kW
	형상 (플랫폼)				
미국	명칭	CLWS '20 (미국)	LaWS '20 (미국)	MMHEL '22 (미국)	HELIOS '22 (미국)
	출력	5kW	150kW	50kW	60kW
이스라엘/북/영/국	형상 (플랫폼)				
	명칭	Iron Beam '09 (이스라엘)	Drone Dome '20 (이스라엘)	HEL Effector '12 (독일)	Dragonfire '16 (영국)
이스라엘/북/영/국	출력	20kW	50kW	20kW	50kW
	형상 (플랫폼)				
중국/러시아/터키	명칭	Silent Hunter '14 (중국)	LW-30 '19 (중국)	Peresvet '18 (러시아)	ARMOL '19 (터키)
	출력	10kW	30kW	출력 미상	1.25kW

[그림 2] 세계 각국의 레이저 무기체계[4]

3.1 해외 동향

미국은 1960년 세계 최초 레이저 기술을 개발한 이후, 세계 레이저 무기체계 발전을 선도하고 있다. 특히, Northrop Grumman, Lockheed Martin, Raytheon, Boeing 등 민간 방산기업과 DARPA 등 국방기관이 참여하여 각각의 나라별로 다양한 고출력레이저 무기를 개발하고 시험 중이며 전력화를 앞두고 있다. 미국의 지상 플랫폼 탑재 레이저 무기는 전술/전투 차량용이며 수십 kW~100kW급까지 개발될 전망이다. 특히, 미 육군에서는 미사일 등 요격을 위해 100kW급 이상 레이저 출력이 필요하다는 의견이 제기되어 24년 시제품 4대를 육군에 인도하는 것을 목표로 300kW급 IFPC-HEL 시제품을 개발하고 있다. 함정 탑재 레이저 무기는 중량, 부피, 전원 공급 등에서 지상, 공중 플랫폼에 비해 매우 자유롭다. 해군은 14년 30kW급 광섬유레이저를 폰스 함정에 탑재하여 시험 운용한 이래, SSL-TM 사업으로 18년 LWSD(Laser Weapons System Demonstrator)가 포틀랜드 함에 탑재되어 23년 초까지 시험 되었으며 60~150kW급으로 출력을 증대할 예정이다 (HELIOS). 앞으로는 대함 순항미사일 요격용으로 300kW급 수준으로 발전될 전망이다(HELICAP). 공군용 레이저는 주로 화학 레이저를 이용하여 개발했으나 독성, 안전 등의 이유로 해당 레이저 개발이 전면 중단된 이후 최근에는 광섬유 레이저를 이용하여 다시금 개발되고 있다. 60kW급 레이저가 수송기 AC-130J에 장착되는 것을 목표로 진행 중이며, F-15 전투기 탑재를 목표로 Lockheed Martin이 레이저를, Northrop Grumman이 빔 제어 시스템을 공급하며 Boeing이 탑재 장비를 포드화 하는 작업을 진행하고 있는 것으로 알려져 있다. 25년에는 150kW, 30년에는 MW급 레이저 탑재를 목표로 하

고 있다.

러시아는 육군을 중심으로 세계 레이저 무기 시장을 선도하고 있으며 “개념이나 계획이 아닌 실전배치용”으로 레이저 무기체계를 개발하고 있다. 푸틴은 18년 국정연설 시 육상 장비 탑재용 레이저 무기 ‘페레스베트’ 실전배치를 발표하였으며 세부 사양은 미공개하였으나 드론, 미사일 요격, 인공위성에 대한 레이저 대즐링 공격용으로 추정하고 있다.

독일은 세계 최고 수준의 광섬유 레이저 발전기 기술을 보유하고 있으며, Rheinmetall, MBDA, IPG 등을 중심으로 미국과 함께 레이저 무기 개발을 선도하고 있다. 12년 20~30kW급 광섬유 레이저를 50kW급으로 만드는 빔 중첩 기술로 확보하고, 20kW급 장갑차량과 120kW급 전술차량 레이저 무기체계를 개발 중이다. 19년에는 5/20/50kW 출력별로 모듈식 레이저 무기를 장착한 지상 이동식 HEL 무기를 시연하였다.

이스라엘은 하마스 등 국가안보에 직접적인 위협 세력에 대응하기 위한 C-RAM(로켓, 포탄, 박격포탄) 대응을 위한 Iron-Dome 체계의 보완을 위한 세계적 수준의 레이저 방호 수단인 Iron-Beam 체계를 보유하고 있으며, 국방기관과 방산업체 공동으로 광섬유 레이저 기반, 위상 제어 빔 결합(CBC) 레이저 기술을 집중하여 개발 중이다. 14년 Iron-Dome 보완을 위해 20~4kW급 Iron-Beam을 C-RAM 형으로 공개했다. 19년 Rafafel(사)는 드론 돔 무인기 대응 체계(C-UAV) 로 5~10kW급 광섬유 레이저로 2.5km 거리의 드론 요격에 성공하였으며, 21년 위상 제어 빔 결합 기술로 100kW급 시연, 22년에는 RAM 요격 장면을 공개했다.

영국은 뒤늦게 레이저 무기 개발에 참여하였으나, 16년 해상 및 지상용 드래곤 파이어 체계개발을 위해 위상 제어 빔 결합 기술을 집중적으로 개발하고 있으며, 24년, 3월에 드래곤파이어의 시험발사에 성공하였다. 해당 레이저 출력은 50kW급으로 1km 거리에서 1파운드짜리 동전 크기의 목표물을 명중시킬 수 있는 것으로 영국 국방부는 발표했다.

중국은 90년대 말부터 러시아의 기술지원, 전폭적인 예산과 인력을 투입하여 고출력레이저 연구개발을 진행하고 있으며, 19년 30kW급 중형전술차량 탑재 레이저 무기를 시연하였다. 그 외 터키, 인도 등에서도 무기체계 용으로 레이저 무기 개발을 지속해서 연구 중이다[5,6,7,8].

3.2 국내 동향

한국의 레이저 기술은 미국, 러시아, 이스라엘, 중국 등에 이어 세계 7위권 수준으로 평가되고 있다. 국내 레이저 기술 개발은 90년대부터 이루어져 왔으며 국방과학연구소와 방산업체(한화, LIG 넥스원), KAIST, GIST 등을 중심으로 레이저 무기와 원천기술을 개발 중에 있다.

레이저 무기 개발 현황은 16년 3월 국방과학연구소를 주관으로 소형 무인기 대응 레이저 요격 체계 가능성을 연구하기 시작하였고, 18년 레이저 요격 장치 시제품 개발에 성공하였으며 고정 기지형 레이저 대공무기 Block-I을 19~24년 체계 개발 완료하였다. 개발된 레이저 대공무기는 시험평가에서 레이저를 30회 발사하여 3km 거리의 무인기 30대를 100% 명중하였으며 전문가들은 소형 무인기/드론을 격추할 수 있는 출력으로 추정하고 있다. 현재는 중형급 무인기와 RAM 표적을 요격할 수 있는 출력의 C-RAM 용 레이저 쉘드기술을 미래도전국방연구개발사업으로 연구개발 중이며, 앞으로는 순항미사일 대응을 위한 수백kW급 레이저 출력으로 증대시킬 계획이다[5][9].



[그림 3] 레이저 대공무기 Block-I[9]

4. 레이저 무기체계 발전 전망

4.1 레이저 무기체계 장·단점

기존 운동에너지 무기체계(미사일, 포 등)와 차별되는 레이저 무기의 주요한 장점은 다음과 같다. 첫째, ‘신속한 대응능력’이다. 레이저는 광/빛의 속력으로 에너지를 전달하므로 수 초 이내에 원거리의 표적을 요격할 수 있으며 전력 공급만 충분하다면 연속 및 다량 발사가 가능하다. 둘째, ‘정밀타격’이다. 레이저 빔은 고에너지를 집중하여 적 핵심 표적과 핵심 부위에 초정밀 타격이 가능하고 불필요한 피해를 최소화할 수 있다. 셋째, ‘저렴한 비용’이다. 요격미사일인 사드 1발 가격은 110억 원가량이고 기지 건설 및 운용유지 비용은 천문학적 수준이 요구된다. 지대공 미사일(예> 신궁) 또한 단가가 약 2억 원으로 이를 저가의 군집 소형 무인기 격추에 이용하기에는 비효율적이다. 반면 레이저 무기는 개발 및 제작비용이 많이 요구되지만, 한 번 발사 비용이 1달러(1,200원) 이하로 예상되기 때문에 비용 대 효과 측면에서 운용유지 시에 기하급수적으로 비용적인 측면에서 우위를 점할 수 있다. 넷째, 아군의 ‘2차 피해 최소화’이다. 기존 무기들은 폭발성이 탄약을 이용하므로, 낙탄 또는 보관할 때 폭발 사고 등으로 아군에게 2차 피해를 줄 수 있다. 하지만 레이저 무기는 폭발성이 낮은 전기장기에 의해 구현되어 폭발 시에도 2차 피해를 최소화할 수 있다.

레이저 무기 단점은 다음과 같이 요약될 수 있다. 첫째, ‘대기조건 의존도’이다. 레이저는 대기권 내의 입자/이물질(수증기, 먼지, 연기 등)에 의해 에너지 감소, 산란 현상이 일어나 파괴력이 저하된다. 둘째, ‘LOS(Line of Sight) 한계’를 갖는다. 레이저 빔은 직진성을 지니므로 원거리 표적에 대한 교전 시 지구곡률에 의한 자연 차폐 구간이 발생한다. 셋째, ‘화학 레이저의 안전성’ 문제이다. 화학 레이저는 가장 강한 출력을 낼 수 있으나, 대부분의 화학 물질은 독성 및 폭발성이 있어 운용 간에 위험성이 존재하여 미국은 화학 레이저 무기 개발을 전면 중단하였으며 안전하고 무해한 화학 물질을 이용한 화학 레이저 기술 발전을 추진 중이다[4][5].

4.2 레이저 무기체계 발전 전망

4차 산업혁명 시대를 맞이하여 첨단과학기술인 고출력 레이저를 활용한 무기체계 개발은 우리나라뿐 아니라 세계의 많은 국가가 개발에 박차를 가하고 있다. 이는 많은 군사학자가 예측한 미래전 양상변화와도 무관하지 않다. 미래전은 육·해·공·우주·사이버 ‘5차원 전장’, 적의 핵심 표적 또한 핵심 기능을 미비할 수 있는 초 ‘정밀 타격전’이 될 것이다. 또한 인명 피해와 전투병 피해를 최소화하기 위한 ‘비화약/무인·로봇전’이 점차 확장될 전망이다[4].

레이저 무기체계는 미래 전쟁의 양상을 가장 잘 대표하는 신개념의 무기이며 ‘신속 대응, 정밀타격, 저비용’ 등의 장점으로 기존 무기체계의 한계를 극복할 수 있는 게임체인저급 무기이다. 향후 미래 무기체계는 숲 전장에 걸쳐서 감시정찰, 방어, 공격 모든 무기 플랫폼에 레이저 기술을 더욱더 적용하고 강화하는 방향으로 발전할 것이다. 특히, 최근 광섬유 기술과 레이저 빔 결합 기술의 도약적인 발전으로 고체 레이저 무기의 소형/경량화 및 고출력이 가능해짐에 따라, 세계 각국의 HEL 무기 개발이 가속화될 전망이다. 따라서, 우리나라도 미래 전장에서 국방력 우위 선점을 위해서는 민간 및 국방의 지속적인 레이저 기술 개발을 위한 물적, 인적 자원투입이 적극적으로 필요하다.

참고문헌

[1] 레이저의 개요, 종류, 원리 및 응용분야, 드림포토닉스, 2007.03.28.
 [2] 레이저 모듈로 침입 감지 시스템 만들어보기, 2017.12.18
 [3] 레이저의 원리, 레이저 기본 교육, 2011.07.22.
 [4] 김전욱, 박규순, 레이저 무기체계 개발동향 및 기술,월간 국방과 기술, 2021.04.20.
 [5] 한국형 레이저무기 조기도입 개발전략 연구, 사단법인 21세기군사연구소, 2022.05.13.
 [6] 신명원, 고에너지 레이저(HEL) 무기체계 발전방안 연구,

국방기술진흥연구원, 2022.05.06.
 [7] 김건태, 이금주, 영국 정부, 고출력 레이저 광선포 ‘드래곤 파이어’ 영상 공개, 연합뉴스, 24.03.13.
 [8] 김선한, 전문가들 “실전 배치 러시아 레이저무기는 미사일 요격용“, 연합뉴스, 2018.03.05.
 [9] 정충신, “레이저 대공무기로 北무인기 격추한다”...하반기 세계 최초 전력화, 문화일보, 24.03.31.