

광학포커스

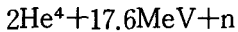
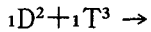
-레이저 (5)-

※ 이 글은 과학기술처에서 시행한 특정연구개발사업의 연구보고서로서 한국표준연구소에서 연구한 '레이저 응용기술개발을 위한 사전 연구'에서 발췌한 것임을 밝힌다.※

제 6 절 플라즈마

1. 서 론

약 30년 동안 세계 몇몇 나라에서는 플라즈마의 발생 및 제어, 응용 등에 관한 연구에 박차를 가해 왔다. 그 이유는 구하기 쉽고 무한히 많은 핵융합로의 연료를 얻기 위함이었다. 한 예로 고온, 고밀도 중수소(deuterium)와 삼중수소(tritium)의 플라즈마가 융합하게 되면



반응에 의해 막대한 에너지가 발생된다. 실제로 바닷물 속에는 1/6500의 비율로 중수소가 섞여 있으므로 이것을 이용하면 앞으로 수백만년 동안 인류의 에너지 요구에 부응할 수 있으리라 예상된다. 이를 위하여, 고온(수억도) · 고밀도($\sim 10^{14}cm^{-3}$) 플라즈마를 발생시키는 방법에는 크게 자장을 이용한 방법과 전자 빔

이나 고출력 레이저광을 집속시키는 방법 등이 있다. 그 중에서도 비용이 조금 들고 실험실 단위로 수행할 수 있는 것이 레이저를 이용한 핵융합이다.

레이저를 이용한 핵융합을 위해서는 고출력 레이저의 개발이 필요하며 이에 의한 플라즈마의 발생 등이 연구되어야 하는데 우리나라의 경우 아직 본격적인 연구는 전무한 상태이다.

2. 레이저 핵융합

플라즈마를 이용한 핵융합을 분류하면 그림 3-8과 같다.

이 중에서 레이저 핵융합은 대규모 장치가 필요없어 소규모 실험실 정도의 규모에서도 연구가 가능하다. 레이저 핵융합 연구는 그림 3-9와 같이(중수소와 삼중수소로 이루어진) 작은 펠릿(pellet)에 고출력 레이저광을 입사시킨다. 이때의 레이저는 고출력 Nd: Glass, CO₂ laser 광 분해 옥소 레이저 등으로 출력은 수 TW 이며 펄스 지속 시간은 수 ns정도이다. 이때 레이저광은 펠릿(빛금친 부분)을 가열하는 것이 아니고 펠릿 외부에서 플라즈마를 발생시켜 그것이 순간적으로 확산되며 펠릿 내부를 압축하게 하여 고밀도

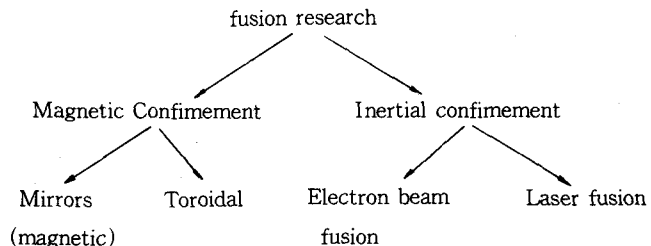


그림 3-8. 플라즈마를 이용한 핵융합 분류

플라즈마가 생성되게 하는 역할을 한다. 이 경우 가장 문제가 되는 것이 레이저 광의 질(quality)과 펄스 지속 시간인데 각각 광학적 위상 공액과 발생 및 유도 라만 후방 산란 방법에 의해 개선되고 있다. 그림 3-10은 레이저 핵융합을 연구하는 장치의 개략도이다.

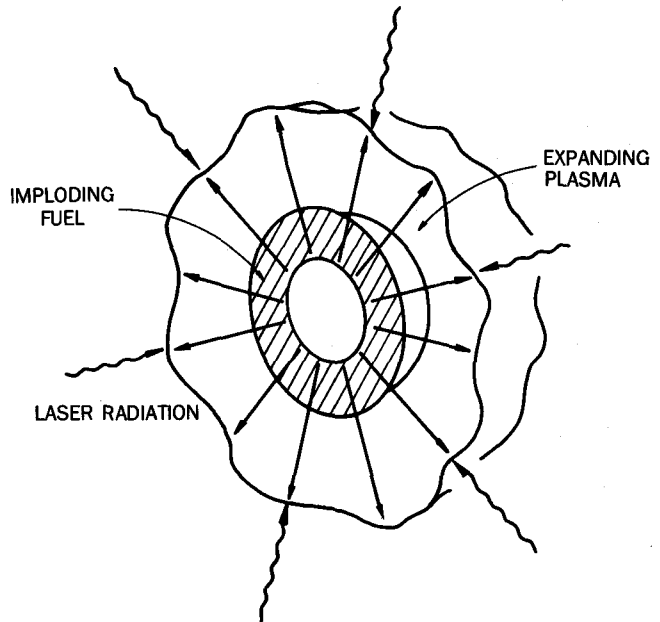


그림 3-9. 레이저 핵융합 실험을 위해 펠릿에의 레이저 입사

3. X-선 발생 기술

X-선 리소그래피를 위하여 레이저를 이용한 X-선의 발생은 대개 적외선 영역의 레이

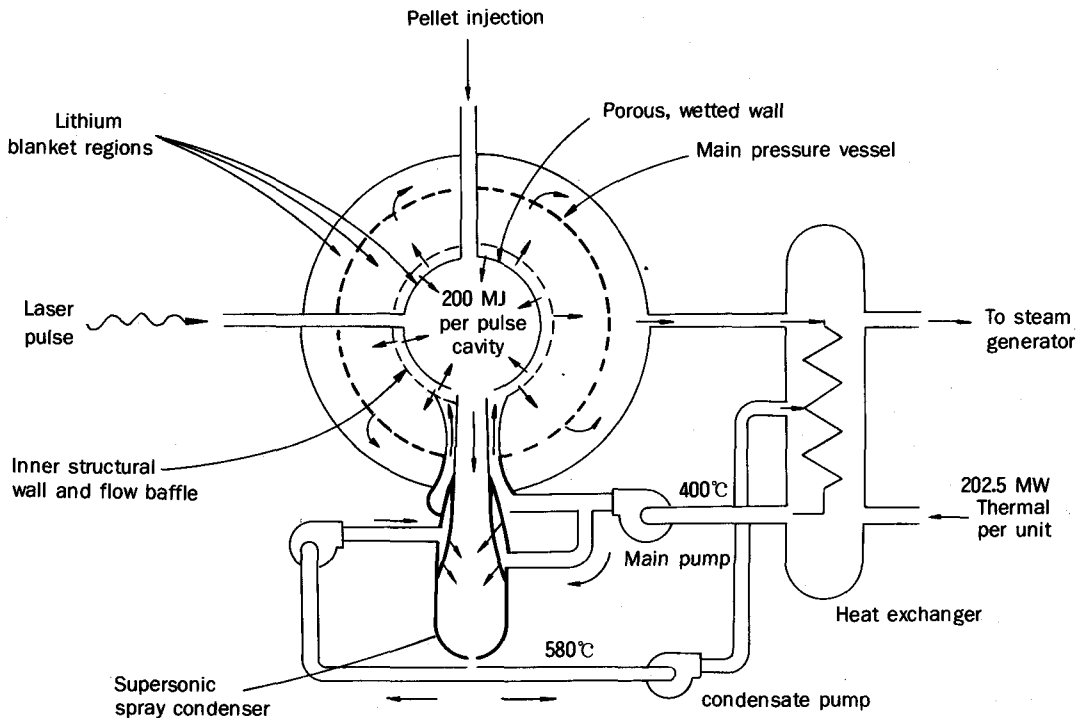


그림 3-10. 레이저에 의한 핵융합 연구의 개략도

저보다는 자외선 영역의 레이저가 효율이 좋으므로 기존 레

이저광을 제2차 고조파, 제3차 고조파를 발생시키거나 엑시

머 레이저 등으로 자외선 파장을 발생시켜서 금속에 집광시

키게 된다. 그러나 레이저의 출력이 큰 경우는 직접 사용될 경우 표적물 표면이나 마스크 표면에 손상을 입힐 우려도 있다.

그림 3-11은 레이저에 의해 X-선을 발생시켜서 패턴을 만들고 있는 장치도이다.

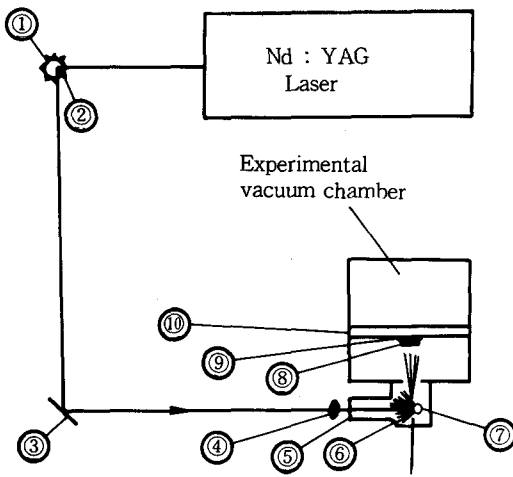


그림 3-11. X-선 발생을 위한 장치의 개략도

레이저를 이용한 X-선 발생은 일반적인 X-선 광원에 비해서 다음과 같은 장점이 있다.

- 1) 소형 (<math><0.1\text{mm}</math>)
- 2) 광원 위치의 재현성 (수 μm)
- 3) 표적 물질의 선택에 대한 자유
- 4) 펄스 작동 시간 동안의 기계적인 안정성
- 5) 레이저 펄스에 따른 강도의 변동이 매우 적어 불량률이 거의 없음.

제 7 절 군사적 응용

레이저가 발명된지 2년 후인 1962년 미국에서는 군용으로 레이저 거리 측정기를 제작하여 성능 시험에 성공하였으며, 1969년 야전 장비로 채택되어 군에 보급되었다. 또한

Light from a laser is deflected and height adjusted with three mirrors (1,2,3) focused by a glass lens (4) through a Pyrex window (5) onto a cylindrical metal target (7) to produce a plasma plume (6). Radiation from the light source chamber through a mask (8) onto a photoresistcoated, wafer (9) held in an alignment mount (10).

1972년 월남전 당시 전략적 요충지였던 Thanh-Hoa 다리는 레이저 조사기와 레이저 유도 폭탄 (smart)에 의해서 일격에 파괴되었다. 이 다리는 그때까지 미군 비행기와 병력을 투입하여 폭파시키려 하였으나 실패하여 비행기 100여 대 값에 해당하는 손실을 미군 측에 끼쳐왔던 난공불락의 다리였던 것이다.

이때부터 레이저 군사적 연구는 막대한 예산의 뒷바침으로 혁신적으로 발전하기 시작

하였으며, 폭탄 및 유도탄의 유도, 전차 및 대공화기의 사격 통제, 전장 감시, 사격 훈련, 사격 조준, 항공기 및 유도 무기의 항법, 핵융합, 대기 및 수중 통신 등의 여러 분야에 걸쳐서 광범위한 군사적 응용이 도모되었고, 최근에는 신문상에 보도된 바와 같이 탄도탄 요격용 레이저 무기 체제 (Laser Weapon System)가 출현하게 되었다.

1. 레이저 조사기

레이저 조사기는 레이저 정밀 유도 무기의 일부분으로 사용된다. 레이저 조사기에서 방출되는 강력한 레이저광이 표적에 조사되면 레이저 탐지 장치가 부착된 유도탄은 표적에서 반사된 레이저 광선을 추적하여 표적에 명중한다. 유도탄은 마치 어두운 밤에 등대의 반짝거리는 불빛을 향해 운항하는 배와 같이 표적을 향해 비행한다. 이것은 레이저의 특성인 고도의 집속성, 고출력 및 좁은 주파수 대역폭에 기인한다.

레이저를 3,000 미터 거리에서 조사하여도 직경 1.5m 정도 밖에 퍼지지 않게 된다. 또한 매우 좁은 주파수 대역폭으로 나오는 출력 에너지는 같은 대역폭의 태양광에 비해 100 만배 이상의 세기를 갖고 있다. 따라서 그림 3-12와 같이 레이저 조사기에서 방출되는

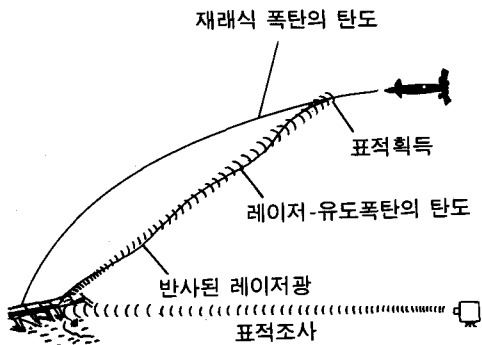


그림 3-12. 레이저를 이용한 교량 폭파

레이저광에 의해서 유도되는 유도탄은 아주 먼 거리에서도 조사된 표적을 정확하게 판별하여 명중시킬 수 있다.

미 공군은 투하된 폭탄을 레이저로 유도하기 위해서 Pav Penny Pave Knife, Pave Spike 등과 같은 레이저 조사기 시스템을 이미 개발하여 사용하고 있다. 최근에는 레이저에 의해서 반 능동 방식으로 유도되는 Maverick 공대지 미사일이 개발중에 있으며, 대전차 미사일인 HELLFIRE 미사일용 레이저 탐색장치가 생산중에 있다. 또한 미군은 포에서 발사하여 레이저에 의하여 유도되는 유도 포탄인 155mm Copper Head를 개발 완료하였다.

앞에서 기술한 레이저 유도 무기는 모두 고 반복률로 동작하는 Nd:YAG 레이저 (파장 = 1.06 μm)를 사용하고 있

다. 현재 TEA CO₂ 레이저 (10.6 μm)를 사용하여 이중 모드로 운용할 수 있는 레이저 탐색장치를 개발하고 있다. 이것이 완료되면 종래의 레이저 반 능동 유도 방식이 발사후 망각형 (fire and forget), 즉 자동 종말 유도 방식으로 바뀌어질 것이다.

2. 레이저 거리 측정기

포에서 발사되는 탄의 명중률을 결정하는 가장 중요한 요소는 포에서 표적까지의 거리이다. 재래식 거리 측정기는 삼각법을 이용한 광학적 측정 방법을 사용하고 있어 그 부피가 매우 크며 측정 오차가 크다. 또한 숙달하는 데에도 많은 시간이 소요된다.

레이저 거리 측정기는 발사된 레이저 광이 표적에 맞아 반사되어 되돌아오는 시간을 측정하여 거리로 환산한다. 그

모양 및 크기는 쌍안경과 비슷하여 조준선에 표적을 맞추고 레이저를 발사하면 측정 거리를 나타내는 숫자를 직접 읽을 수 있다. 따라서 거리 측정 시간이 매우 짧고 (1초 이내), 측정 오차도 거리에 관계 없이 매우 작다.

레이저 거리 측정기에 사용되는 레이저는 초기에는 루비 레이저를 사용했으나 현재에는 펄스 반복률이 높고 파장이 적외선 영역에 있는 Nd-YAG 레이저 (1.6 μm)를 사용하고 있다. 또한 레이저 거리 측정기 자체만의 활용보다는 종합 시스템의 일부로서 사용되는 경향이 증가하고 있다. 이러한 대표적인 시스템은 전차용 레이저 사격 통제 장치, 저공 방어용 사격 통제 장치 등으로 레이저 거리 측정기로부터의 신속한 거리 정보 획득이 이 시스템 자동화의 관건이 되고 있다.

선진 각국의 레이저 거리 측정 분야의 선도 업체는 미국의 RCA, Hughes, 프랑스의 Cilas, 영국의 Avimo, 노르웨이의 Simard, 스웨덴의 LM Ericsson, 서독의 Eltro GmbH, 유고의 ISKRA 등이 있다. 미국에서 1970년 초부터 Nd-YAG 레이저에 비해 눈에 대한 안전도, 대기 투과성, 효율 등이 좋은 TEA CO₂ 레이저 (파장 = 10.6 μm)를 거리 측정기에 응용하려는 시도

“

레이저광은 펄릿(빔금천 부분)을 가열하는 것이 아니고 펄릿 외부에서 플라즈마를 발생시켜 그것이 순간적으로 확산되며 펄릿 내부를 압축하게 하여 고밀도 플라즈마가 생성되게 하는 역할을 한다. 이 경우 가장 문제가 되는 것이 레이저 광의 질(quality)과 펄스 지속 시간 인데 각각 광학적 위상 공액파 발생 및 유도 라만 후방 산란 방법에 의해 개선되고 있다.

”

가 시작되었다. 현재 Mariconi사가 전차용 TEA CO₂ 레이저 거리 측정기를 개발 완료하였고, Hughes 사에서 개발한 XM-1 전차 사격 통제 장치에 장착 여부가 검토되고 있다. 또한 Texas Instrument는 저공 방어용 사격 통제 장치에 사용할 고반복용 TEA CO₂ 레이저 거리 측정기를 개발하여 시험하고 있다.

3. 레이저 레이더

레이저 레이더는 최초로 미국 항공 우주국에서 NASA-66 Polar Ionsphere Satellite 라고 하는 상층 대기권 상태를 관측하기 위한 인공 위성을 추적하는데 사용되었다. 마이크로파와 레이저 광파는 같은 전자파이지만 파장이 10⁴-10⁵ 정도 다르기 때문에 방사 빔의 발산, 대기 투과, 표적에서의 반사 등이 매우 상이하다. 레이저 레이더는 마이크로파보다 파장이 훨씬 짧아 각 분해능과 거리 분해능이 매

우 높고, 소형의 수광부를 사용하여 양질의 영상을 얻을 수 있다.

따라서 마이크로파 레이더가 비교적 원거리의 큰 표적을 탐지하는데 반하여, 레이저 레이더는 10km 이내의 작은 표적을 탐지하는데 이용되고 있다. 레이저 레이더의 이러한 고분해능은 순항 미사일의 저공 비행시 나무나 전신주와 같은 작은 물체와의 충돌 방지를 위해서 사용되기도 한다.

미 해군은 해군 항공기용 충돌 방지 장치로 사용하기 위해서 약 30만불 금액을 투입하여 Instrument Systems Corp.의 ISC/Telephonics Div.로 하여금 레이저 레이더를 개발하게 하였다. 또한 1970년대 말부터 미국 MIT 대학 부설 링컨 연구소와 Hughes사는 소형 항공기 탑재용 전장 감시 장비로 사용하기 위해서 측정 거리가 3km이고, 수광 광학부의 구경이 약 13cm 정도인 waveguide CO₂ 레이저 레이

더를 개발하고 있다. 앞으로 레이저 레이더는 고정확도를 요구하는 사격 통제 장치에도 이용될 것이 분명하다.

4. 레이저 모의 훈련 장비

지상 부대의 전술 훈련시 가장 문제가 되는 것은 어떻게 실제 전투와 유사한 훈련 환경을 조성하느냐는 것이다. 전장에서 실제 사격을 하는 것과 훈련장에서의 공포탄 사격은 참가자에게 명백히 다른 것으로 받아들여진다. 공포탄은 표적에 살상 효과를 주지 못할 뿐 아니라, 사수의 정확도는 전적으로 판정관의 판정에 의존한다. 그러나 실탄을 이용하는 훈련은 매우 주의를 요하고 사고의 발생 가능성이 있으며, 경제적인 면에서 낭비가 심하다.

이와같은 점을 극복하기 위하여 등장한 것이 레이저 모의 훈련 장비로 소형의 배터리로 동작되는 화기 부착용의 GaAs 레이저 송광기와 표적 부착용의 감지기로 구성되는 형식이 그 주종을 이룬다. 발사된 레이저광이 감지기에 명중하면 음향 신호, 섬광, 연막 등이 발생하여 훈련 효과를 증대시킨다. Saab-combitech사의 BT 41 직접 사격 시뮬레이터와 Kurt Eichweber사의 Talissi firing 시뮬레이터는 전차 포술 훈련 장비로서 널리 알려져 있다.

5. 수중 통신

미국은 현재 인공 위성을 중계 지점으로 고출력 레이저를 사용하여 해상의 함정 및 지상과 해저 잠수함 간의 통신을 추구하고 있다. 마이크로파는 수중 투과성이 매우 불량하여 수중의 잠수함과 지상간의 교신이 불가능하다. 따라서 통신을 하기 위해서는 잠수함은 언제나 해상으로 부상해야 하며, 이는 적으로부터 쉽게 관측되어 군 작전의 노출 또는 적의 공격의 대상이 되기 쉽다.

파장이 450-540nm 영역에 있는 빛은 수중 투과성이 매우 좋으므로 이러한 영역에 있는 광파장을 갖는 레이저를 사용하면 잠수함이 해상으로 부상하지 않고 직접 수중에서 지상과의 교신이 가능하다. 이 영역의 파장을 갖는 광은 Ni-Cd 레이저 (442nm)에서 얻을 수도 있으며, 또는 Nd-YAG 레이저 진동수를 배가하여 얻을 수 있다. 최근 DARPA에서는 2,000미터 상공에서 비행기에 탑재된 진동수 배가된 Nd-YAG 레이저를 진동수 배가를 이용하여 해저 잠수함과 통신에 성공하였다.

1985년 2월에 Lockheed Missile and Space사는 Northrop의 Electronics Division과 이 분야의 연구 프로그램에 900만불 상당의 계약을 체결했다. 계약조건에 따라

“ 레이저 레이더는 최초로 미국 항공 우주국에서 NASA-66 Polar lonsphere Satellite 라고 하는 상층 대기권 상태를 관측하기 위한 인공 위성을 추적하는데 사용되었다. 마이크로파와 레이저광파는 같은 전자파이지만 파장이 10^4-10^8 정도 다르기 때문에 방사 빔의 발산, 대기 투과, 표적에서의 반사 등이 매우 상이하다. ”

Northrop은 미 해군의 위성중계 잠수함 레이저 통신 프로그램(SLCSAT)에 적합한 청색색소 레이저 개발을 계속할 것이다.

6. 레이저 무기

레이저의 발명과 더불어 살인 광선이라는 인식에서 경이적인 눈초리로 레이저를 주시하였다. 이와 같은 인식은 레이저의 강력한 에너지 집속력에 근거를 두고 있으며, 따라서 군 관계자들도 이에대한 가능성을 조심스럽게 타진하기 시작하였다. 이러한 요구에 부응하여 고출력 레이저로서 가치를 보인 것이 CO₂ 레이저였다.

CO₂ 레이저는 다른 고체 레이저나 기체 레이저에 비해서 월등히 높은 양자 효율(-40%)을 갖고 있으며, 지금까지 발표된 것 중에서 가장 적합한 고출력 레이저로 각광을 받아왔다. 1973년 미국 공군에서는 고출력 기체 역학

CO₂ 레이저 (Gas Dynamic CO₂ Laser)를 제작하여 무인 프로펠러 비행기 격추 실험에 성공하였다. 1976년 미 육군과 1978년 미 해군은 고출력의 전기 방전식 CO₂ 레이저와 화학 레이저를 사용하여 비행체를 떨어뜨리는 실험을 실시, 성공하여 광선 무기의 개발에 박차를 가하였다.

그러나 해결되어야 할 많은 문제가 동시에 노출되었다. 즉 고출력 레이저의 대기 투과 문제와 이에 따른 열효과 (thermal blooming), 초정밀 정렬과 추적 문제, 효율 문제, 막대한 예산 투자 등이다. 이와 같은 모든 문제점을 제외하고도 cw 10 kW, 또는 1 kJ/pulse 이상의 출력을 뽑아 내는 데는 막대한 예산이 뒷받침되어야 한다.

1981년 2월 23일자의 AWST 잡지에 따르면 가공할 파괴력을 가진 X-선 레이저가 미국의 Lawrence Livermore Lab. 에서 성공적으로 제작되



CO₂ 레이저는 다른 고체 레이저나 기체 레이저에 비해서 월등히 높은 양자 효율(-40%)을 갖고 있으며, 지금까지 발표된 것 중에서 가장 적합한 고출력 레이저로 각광을 받아왔다. 1973년 미국 공군에서는 고출력 기체 역학 CO₂ 레이저 (Gas Dynamic CO₂ Laser)를 제작하여 무인프로 펠러 비행기 격추 실험에 성공하였다.



었다고 한다. 이 X-선 레이저 파장이 14 Å 이며, 소형의 핵폭발에서 발생하는 X-선으로 펌핑하여 동작되는 방식을 취하고 있으며, 출력은 100 Terawatt(10¹⁴W)로서 펄스 지속기간은 1ns 정도이다. 이것은 Nd-YAG 레이저 거리 측정기 출력의 약 1천배 이상이다. 이 X-선 레이저의 개발이 완료되어 실전에 배치된다면 기존의 ICBM이나 SLMB는 거의 무용지물이 되어버릴 것이다. 이 분야는 바로 미래전의 총아가 될 것으로 기대된다.

7. 전략방위구성 (SDI)

소련의 핵탄두 미사일에 의한 선제 핵공격을 저지하려는 미국의 전략방위구성 (SDI)은 정식으로 출발한지 4년이 경과하였는데 소위 “스타워즈병기”의 개발은 예상보다 급속도로 진척되고 있다.

SDI의 병기는 크게

- 우주에 배치하는 레이저 병기
 - 지상에 배치하는 레이저 병기
 - 우주에 배치하는 입자빔 병기
 - 핵폭발의 에너지를 이용하는 X선 레이저 병기
 - 운동 에너지 병기
- 로 나눌 수 있다. 여기에서 레이저 병기로 사용되는 레이저의 종류는
- 화학 레이저
 - X선 레이저
 - 자유 전자 레이저
- 가 현재 개발되고 있다.

SDI는 다음과 같이 4단계로 나누어 핵미사일을 파괴한다.

- 1단계 : 상승 단계(5분간)
핵미사일 발사 직후는 그 속도가 느려 SDI군은 쉽게 이를 추적하여 그 위치, 속도, 방향 등을 컴퓨터로 찾아낸다. 공격 목표가 미국 또는 그 동맹국으

로 판명되면 즉시 지구 궤도를 돌고 있는 화학 레이저 병기 또는 중성 입자 빔 병기로 핵미사일을 파괴한다.

-2단계 : 상승후단계(5분간)

1단계를 벗어난 핵미사일은 사용이 끝난 부스터를 분리하고 핵탄두를 실은 “버스”가 자체의 로켓으로 더욱 상승, 도중에서 핵탄두를 계속하여 방출한다. 이러한 버스를 X선 레이저 병기로 파괴한다.

-3단계 : 중간 비행 단계(15분간)

소련 중앙부로부터 미국 본토에 도달하는데 필요한 시간은 10-15분 정도이므로 다소 시간적 여유가 있다. 버스에서 방출된 핵탄두들 중에서 진짜와 가짜를 구분하여 궤도상의 화학 레이저나 지상 기지의 자유 전자 레이저나 엑시머 레이저, 또는 지상에서 발사된 요격 미사일로 격추한다.

-4단계 : 최종 단계(1분 이내)

1-3 단계의 방위 시스템을 뚫고 들어오는 핵미사일은 지상 10-15km 이상의 고도에서 파괴하여야만 피해를 줄일 수 있다. 3단계까지의 SDI가 충분한 핵 미사일 방어 능력을 발휘하면 4단계에서 파괴하여야 할 핵탄두의 수는 극히 적을 것으로 이 단계의 방어는 별로 어렵지 않을 것으로 판단되고 있다.