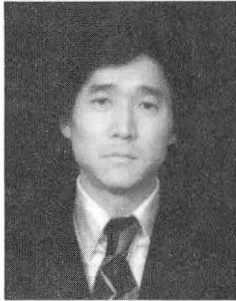


유도무기 착화기술 현황과 발전전망



張 錫 泰 / 국방과학연구소
책임연구원, 이학박사



李 孝 男 / 국방과학연구소



세계 여러나라의 유도무기 체계에서 사용되고 있는 착화(着火)기술에 대한 현황을 기술과 성능, 신뢰성, 안전성, 가격 측면에서 분석한 것이다. 이로써 유도무기체계 적용을 위한 각 착화기술의 상대적인 장단점을 비교할수있고, 가격대비 성능개선에 대한 예측과 무기체계 시스템에 진보된 기술들이 대체되는 경향을 평가할수 있을 것이다. 동시에 각 무기체계에 효과적인 비용과 기술로 최적의 착화시스템을 선택할수 있도록 하는 안내역으로서 보다 현실적이고 다양한 결정을 하는 기초를 제공할수 있으리라 생각된다 (필자주)

로켓트 는 자체내에 저장된 에너지 물질을 외부로 분사하여 그 반작용에 의한 힘으로 추력(thrust)을 발생하는 추진기관을 의미하는 것으로서, 사용목적에 따라 탄두나 장비를 장착하고 이것을 원하는 목표까지 유도(guided) 혹은 비유도 방법에 의해 이동시키는데, 일반적으로 군사용 목적에 이용되는 것을 미사일이라 한다.

추진기관의 추진에너지원 중에서 가장 널리 실용화되고 있는 것은 화학적 연소에 의한 방법이며, 이밖에 이온(ion)이나 플라즈마(plasma), 원자력, 태양열 등이 이용될수 있으나 아직은 보편화되어 있지 않다.

추진기관에서 화학적으로 연소하는 물질을 추진제라 하며 물리적 상태에 따라 액체, 고체추진제로 분류한다.

착화기술

고체추진제 로켓트 모터가 제대로 점화, 연소하기 위해서는 추진제의 점화가 연소표면 전체에 걸쳐서 일시에 이루어져야 한다.

가장 널리 쓰이는 점화장치는 착화기(initiator)와 에너지 방출시스템으로 구성되며, 그 자체가 일종의 고체추진제 로켓트 모터이다. 착화기술은 점화장치의 에너지 방출시스템을 작동시키는 착화기와 이에 관련된 주변장치들에 대한 기술을 총칭하는 것이다.

점화장치는 어떤 에너지원에 의해 착화기가 작동하게 되면 착화기 부스터(booster)내의 화약이나 파이로테크닉스(pyrotechnics)가 점화되어, 높은 온도의 연소가스가 점화기 내부를 일시에 채우는 동시에 점화기 내부의 화약을 점화시키도록 되어 있다.

로켓트나 미사일은 착화기에 의해서 작동이 시작되므로 착화기의 신뢰성과 안전성은 해당 무기체계의 성패를 좌우할수 있을 만큼 대단히 중요하다.

착화기는 그 작동원리나 사용하는 에너지원에 따라 여러가지 종류로 분류될수 있는데,

대표적으로 발열선착화기(HWI : hot wire initiator), 폭발도선 착화기(EBW : exploding bridge wire), 폭발박막 착화기(EFI : exploding foil initiator), 고상(固相)레이저 착화기(solid-state LASER), 다이오드레이저 착화기(diode LASER) 등이 있다.

착화기의 우발적 작동을 방지하기 위해서, 여러 형태의 안전장치들이 점화장치에 부착되어 사용되는 것이 일반적인데 이는 기계식 전자기계식, 전자식 안전장치로 분류된다.

착화기와 안전장치에 관련된 기술들은 로켓트 모터의 점화 뿐만 아니라 탄두, 구동장치, 점화, 회수장치, 단분리장치 등의 광범위한 분야에서 이용되고 있다.

●착화기술의 특성과 장단점 비교

* 발열선 착화장치(HWI)

발열선 착화기는 종래의 무기체계에 가장 널리 이용되고 있는 착화기술이다. 이 착화기는 발열선과 열에 민감한 일차화약이 서로 접촉되어 있는데, 발열선에 전기적 에너지가 가해지면 열이 발생되어 접촉된 화약을 점화시키게 된다.

발열선 착화장치의 궁극적 목표는 발열선에 점화에너지가 인가되었을때 신뢰성있는 기능이 보장되는 반면에, 정전기 방전이나 사고로 인한 우발적인 방전에 견뎌야 하는 것이다. 이러한 기준은 발열선 착화기술이 적용된 무기체계가 사용되는 광범위한 환경에서도 만족되어야 한다.

점화에너지 대 비점화에너지의 비율이 높을수록 안전도는 증가되나, 모든 발열선 착화장치는 민감한 일차화약이 발열선에 직접 접촉되어 있는 본질적인 구조상의 결함 때문에, 부주의한 전기적 에너지 입력으로 인해 일차화약이 원하지 않은 상황에서 점화될수 있다.

특히 착화기 리드선은 전자파가 존재하는 공간에서 안테나 역할을 하므로 유도전류를 야기하여 우발적인 점화를 일으킬수 있다.

따라서 이러한 착화장치에 사용되는 일차화약은 이를 방지하는 기계적 장벽에 의해 다

점화장치는 착화기와 에너지 방출시스템으로 구성되며, 착화기술은 점화장치의 에너지 방출시스템을 작동시키는 착화기와 이에 관련된 주변장치에 대한 기술을 총칭한다. 착화기는 원하는 상황하에서 요구조건을 만족시키면서 추진기관을 점화시켜야 하는데, 착화기의 불발은 高價의 로켓나 미사일을 쓸모없는 고철덩어리로 만들수 있으며, 실수나 사고로 인한 우발적 작동은 돌이킬수 없는 상황을 유발하게 된다. 따라서 착화기의 신뢰성과 안전성은 해당 무기체계의 成敗를 좌우할 만큼 대단히 중요하다

소 덜 민감한 이차화약이나 추진제로부터 격리되어야 한다.

이를 위해서는 기계적 장벽, 즉 안전장치가 수반되어야 하므로 신뢰성, 가격, 크기 그리고 새로운 기술에 의해 제거될수 있는 성능상의 문제들이 야기된다.

발열선 착화장치에 대한 최근의 변화는 종래의 브리지(Bridge)선 대신에 진공증착에 의한 얇은 금속필름과 실리콘이 다량 첨가된 반도체를 이용하는 것이다. 그러나 이 기술들이 점화/비점화 에너지를 조절할수 있는 가능성을 제공하더라도 일차화약이 발열선과 직접 접촉되는 근본적인 안전문제는 남게 된다.

하지만 이러한 문제점들이 내재되어 있어도 발열선브리지와 부수적인 안전장치들은 수년동안 개발, 제조되어 오고 있어 가격이 비교적 싸기 때문에, 현재 여러 종류의 재래식 무기체계 착화시스템에 사용중이며, 이러한 경향은 당분간 계속될 것이다.

더욱이 이런 형태의 착화기술을 개량할수 있는 새로운 기술이 진보되고, 생산경험들이 보다 많이 얻어지고 있기 때문에 가격경쟁력은

더욱 좋아질 전망이다.

*** 폭발도선 착화장치**

민감한 일차화약을 사용하지 않고 폭발도선(exploding conductor)으로 둔감한 이차화약을 직접 점화시키는 EBW는 발열선을 사용하는 면에서 발열선 착화장치와 유사하지만, 화약이 발열선에 의한 열보다는 도선의 고전압에 의해 폭발하면서 내는 플라즈마(plasma)에 반응하는 점이 다르다.

EBW는 우발적인 전기적 입력에 비교적 둔감하여 안전하고 신뢰성이 있지만 제작비용이 비싸다. 또한 EBW를 점화시키는데 필요한 장치는 발열선 착화장치를 점화시키는 장치에 비해 복잡하다.

왜냐하면 브리지선에 전달되는 에너지를 플라즈마로 전환시키기 위해 고압, 고전류의 전기적 펄스가 브리지선에 에너지를 충분히 빠르게 전달되어 분산되어야 하기 때문이다.

EBW는 이러한 몇가지 문제점에도 불구하고 현재 대부분의 전략미사일 추진장치에 사용되고 있다. 이 기술은 원래 핵무기 착화시스템에 적용하기 위해 개발되었으므로 극도로 안전하고, 빠른 폭발반응과 신뢰성이 조합되도록 설계되어 있다.

이런 특성들은 전략 무기 추진시스템의 안전상태(safing), 장전상태(arming), 발사상태(firing)의 신뢰성을 개선한다. EBW는 현재까지 실제 무기체계 적용에서 특별한 작동실패 없이 사용되고 있다.

*** 폭발박막(薄膜) 착화장치(EFI)**

EFI는 美 에너지성이 핵무기 착화메카니즘에 사용한 EBW 기술의 변화형태이다. 특징은 EBW보다 둔감한 HNS 같은 이차화약을 착화시킬수 있다는 것이다.

EFI의 폭발박막(exploding foil)은 긴 띠모양의 도선에 연결되어 마운팅된 얇은 막을 가진 금속박막이다. 비행편(flyer)을 형성하는 프라스틱(kekpton)은 얇은 판재형태로 금속박막 전면에 부착된다.

따라서 결합품이 바렐(금속박막처럼 중심에

구멍을 가진 분리 프라스틱판)에 의해 화약과 분리되므로, 박막 결합품들은 화약에 직접 접촉되지 않고 화약과 비행편 사이에는 공공간극이 존재한다.

EFI 점화는 고전압 축전지에 저장된 전류가 긴 띠모양의 도선을 통해 EFI 박막으로 방전됨으로써 이루어진다.

빠르게 분산되는 에너지는 박막을 증기화시켜 플라즈마를 만들고, 생성된 플라즈마는 빠르게 팽창하면서 공공간극을 가로질러 비행편을 가속시킴으로써 화약을 때리게 된다. 이때, 가속된 비행편이 화약을 때리면서 생기는 에너지는 둔감한 이차화약을 직접 폭굉(dettonating)시킬수 있을 만큼 충분하다.

이 착화기 자체는 전기적 인터페이스와 화약이 직접 접촉되어 있지 않고, 이차화약이 사용되면 화약계열이 기계적으로 분리되어 있으므로 안전장치가 불필요하다.

또한 이것들은 적은 비용으로 조그만 공간안에 조립될수 있을 만큼의 작은 부피로 제작이 가능하며, 안전상, 기능상의 여러가지 장점으로 인해 EFI 시스템은 지난 몇년동안에 걸쳐 빠르게 정착되고 있다.

*** 레이저(LASER)**

발열선, 폭발도선, 폭발박막을 이용하여 착화기 내의 화약을 점화시키는 것과는 전혀 다른 에너지원을 이용하여 무기체계를 착화시키는 방법이 바로 레이저 착화기술이다.

레이저 광학에너지는 가스나 고체로 된 레이징 매질(媒質)을 플래쉬 램프로 구동시킴으로써 얻어지는데, 이렇게 생성된 광학에너지는 화약(대표적으로 파이로테크닉스)을 착화시키는데 충분하다.

광학적 에너지가 일단 광섬유로 유입되면 전자기(電磁氣)적인 간섭(RFI)과 손실없이 상당히 먼거리까지 이송될수 있다. 이런 특성은 하나의 착화장치로 다중점화를 가능하게 할수 있다.

또다른 장점은 레이저 착화장치가 파이로테크닉스와 같은 화약을 포함하고 있기는

하지만 화약과 광섬유가 접촉된 상태이므로, 도선이 직접 접촉되어 있는 EBW, 발열선 착화장치처럼 방전에 의한 점화는 문제가 되지 않는다는 것이다.

레이저 착화장치의 안전상태는 고전압 축전지에 전기적 에너지가 유입되는 것을 차단하여 램프방전을 막거나, 생성된 레이저 빔을 물리적으로 차단함으로써 가능하다. 결국, 이것은 전자 기계적 안전장치들이 필요로 함을 의미한다.

현재 선진국에서 사용되고 있는 레이저 착화기술 수준은 4분의 1~1주르 정도의 출력을 가진 Nd YAG 고상 레이저(공냉식)가 일반적이는데, 그 무게는 2파운드 가량이며, 비교적 부피가 크다.

여기서 나오는 출력은 광섬유나 분파기에서의 에너지손실을 고려해도 일차화약을 점화시키는데 충분한 에너지를 공급한다. 앞으로 기술이 진보된다 해도 이런 변수들을 특별히 개선시키지는 않을 것이다.

이러한 비효율성에도 불구하고, 고상 레이저는 대륙간 탄도탄(ICBM) 추진기관의 착화시스템이나 고등발사 비행체(Advanced Launch Vehicle)와 같은 다중점화 시스템에 효과적으로 사용되고 있다.

왜냐하면 하나의 레이저가 다중출력을 가능케 하므로 EBW 착화와 같은 고전압 점화장치의 수를 줄일수 있기 때문이다.

***다이오드 레이저**

무기 착화분야에서 최근에 일어나고 있는 개발추세는 다이오드 레이저의 사용이다.

현재 연구되고 있는 기술들은 광에너지 이송효율을 높이고 무게를 줄이면서, 종래의 고상 레이저 방식처럼 플래쉬 램프를 작동시키기 위한 고전압 축전기가 필요하지 않은 소형 착화장치를 만들기 위해 다이오드 레이저를 응용하고 있다.

가장 유력한 다이오드 레이저 착화장치는 조그만 다이오드 여러개를 띠형상으로 배열(strip-phase array)하여 비교적 높은 에너지

레이저 착화 시스템은 현존하는 EBW나 발열선 시스템 이상의 이점을 제공하며, EMI보다도 현저한 안전도 개선효과와 경량 및 소형인 이점이 있다. 더욱이 다이오드 레이저 착화장치는 다중점화(Multifunction)에 응용될때 그이점이 더욱 커지는 등 현재의 발전추세로 미루어 볼때, 이 분야에서 빠르게 성장할 것이다. 이와 같이 차후 전술미사일 시장을 지배할수있는 본질적 장점들을 가진 다이오드 레이저 기술이 상대적으로 취약한 우리의 실정을 볼때, 이 기술에 대한 관심과 접근은 진일보한 무기체계 개발을 가능케 할 것이다

밀도를 얻을수 있도록 조합, 해당 무기 착화에 적절하도록 광섬유와 조립되는 방식을 채택하고 있다.

다이오드는 종래의 고상 레이저보다 에너지면에서 효과적인데, 현재 20% 정도의 효율을 얻고 있으나 이론적 한계는 30~40% 정도이다.

다이오드는 저전압 전력 공급장치에 의해 구동되기 때문에 다이오드를 전기적으로 충분히 독립시키거나, 출력에너지를 광학적 조립메카니즘을 사용하여 물리적으로 막는 장치가 있어야만 안전하다.

●착화기술의 수행능력 비교

***안전성**

무기 착화시스템 설계에서 가장 우선적으로 고려되어야할 대상은 안전문제이다.

해당 무기체계의 용도에 부적절한 착화기술의 선택이나 착화기술 자체의 본질적인 결함, 사용환경에서 받게 되는 악조건들은 무기체계의 안전성을 현저히 저해할수 있다. 착화시스템의 안전상 요구조건은 취급, 조립, 저장,

사용중에 우발점화 가능성이 10^{-6} 이하일 것을 규정하고 있다.

EBW 시스템은 핵탄두와 전략미사일 추진 기관에 수년동안 사용되고 있다. 현재까지 이 착화시스템은 별 문제가 없는 것으로 보이나 MIL-STD-1316 C에서 공인된 화약이 아닌 PENT을 사용하고 있으므로 불완전하다.

이런 면에서 EFI는 유리하다. 왜냐하면 이 규정을 만족하는 HNS처럼 민감하지 않은 이차화약을 사용하고 있기 때문이다.

파이로테크닉스를 사용하는 레이저 착화기는 착화기 내부에 도선이 없기때문에 구조상 안전하다. 그러나 파이로테크닉스 자체가 MIL-STD-1316 C를 만족시키지 못하므로, 이때는 혼합 추진제나 추진제와 비슷한 정도의 둔감성을 가졌다는 것이 입증되어야 한다.

고상레이저는 대륙간 탄도탄 착화시스템에 사용되고 있으나, 레이저빔서터나 플래쉬램프 구동축전지에 대한 안전장치가 필요하다.

***신뢰성**

일반적으로 전자장치는 전자-기계식 장치보다 현저히 신뢰성이 높다. 더구나 전자장치는 가격이 낮기 때문에 전자식으로 대체하는 경향은 계속될 것이다.

전자-기계식 안전장치는 오랜 사용경험으로 인해 0.95~0.99 정도의 신뢰도가 입증되어 있다. 그러나 이들 장치의 제작에 정밀도 높은 공차가 유지되어야 하는 어려움과 본질적인 구조들은 규정된 요구조건하에서 실질적으로 신뢰도가 저하되는 결과는 낳는다.

부피가 작아지고 환경이 보다 열악해짐으로서 신뢰성 있는 전자-기계식 장치를 설계, 제작하는데 두려움이 더욱 커진다. 현재 몇가지 미사일 프로그램에서 전자-기계식 안전장치를 설계, 생산하는 능력에 어려움이 있다.

***출력성능**

시스템 성능 요구조건이란 출력의 세기, 요구되는 출력의 숫자, 점화원과 출력이 나타나는 곳까지의 거리, 특별한 경우에 적용되는 시간의 정확성 등을 말한다.

발열선장치는 출력이 폭연에서 폭굉으로 천이(遷移)될수 있게 설계될수 있다. EBW나 EFI는 본질적으로 폭굉 출력을 제공하나 필요에 따라 폭연도 가능하다.

레이저 시스템은 직접 폭굉출력을 내는데 고에너지가 필요하게 되므로, 보통은 폭연출력을 내도록 설계되는 것이 일반적이나 필요에 따라 폭굉으로의 천이도 가능하다.

레이저 다이오드는 본질적으로 저출력(2와트시 연속파 모드가 최대)이므로 폭연출력만이 가능하다. 대략 10^{-6} 초 이내의 반응속도가 요구되는 추진기관에 적용될 때는 시간의 정확성은 결정적인 문제가 아니다.

그러나 탄두와 표적사이에 높은 근접속도가 요구되는 탄두점화나 다탄두 출력에는 정확한 시간이 요구되는데 약 10^{-6} 초(μ sec) 정도의 정확성을 가져야 한다.

***크기 및 무게**

EBW와 EFI 시스템은 작동시 고에너지가 요구되므로 전자회로는 고전압 축전기와 고전압을 얻는데 필요한 직류 변환기에 의해 그 크기가 결정된다. 지난 몇년 동안의 발전으로 EFI 시스템을 수 인방 인치, 수 온스의 무게로 축소시키는 것이 가능해지고 있다.

다이오드 레이저는 현재까지의 착화기술 중에서 가장 소형으로 쓰일수 있으면서 작동시 저전압이 요구되므로 고전압 축전지같은 부수장치가 필요없어 경량이다.

더욱이 다이오드 에너지원은 고상 레이저에 비해 상당히 효율적이므로 동일한 출력을 얻기 위한 크기나 무게는 다른 착화기술과는 비교되지 않을 정도로 소형이면서 경량이다.

***환경**

고상 레이저는 광학계열들이 유리같은 재료로 되어 있으며, 정밀한 배열을 하고 있기 때문에 충격과 열영향으로부터 방지되어야 한다.

다이오드 레이저는 본질적으로 고상 레이저보다 환경에 안전하나 군용 미사일이 사용되는 환경조건에서 적용해본 경험이 없어, 전자식 장치들은 조심스럽게 쓰여져야 한다.

● 선택방법 제시

신세대의 정교한 비행체와 전술, 전략 미사일들은 빠르게 진보하고 있으며, 보다 섬세한 착화기술과 안전장치들을 필요로 한다.

그러나 대부분의 경우 특정한 무기시스템에서 최선의 착화기술 선택이 무엇인가는 분명하지 않다. 따라서 최선의 선택이 가능하도록 각각의 무기 착화기술을 비교분석 평가하는 방법이 제시되어야 한다.

일반적으로 무기체계에 착화기술을 선택하는데는 시스템 설계자들에 의해 아래의 <표>와 같이 평가기준과 비중이 결정된다.

맺는 말

살펴본 바와 같이 유도무기 착화기술에는 만능적인 답이 없고, 적용 요구조건과 비용에 따라 강한 영향을 받으며, 각기 특별한 장단점을 가지므로 특정 무기체계에 최적의 착화기술을 선택하는 것은 어려운 일이다.

이러한 선택이 해당 무기체계의 성능을 좌우하기 때문에 각 무기체계의 장단점과 적용가능성을 신중히 고려해야 한다.

발열선 착화시스템은 재래식 무기에 낮은 가격으로 이용될수 있었으나, 무기체계의 성능이 날로 진보됨으로서 요구조건이 보다 엄격해지고 사용환경이 까다로워져 많은 제한을 받기에 이르렀다.

이에 대한 대안으로서 EBW나 EFI 시스템은

착화기술 평가기준 및 비중

기 준	비 율(100%)
안전도	20
신뢰도	20
크기/무게	16
시간 정확성	12
위험	12
환경	8
가격/생산성	8
기타	4

현재 기술수준에서 다소 성공적으로 이용되고 있다. 대형 추진기관의 착화시스템에는 EBW 시스템이 성공적으로 사용되고 있는데, 이들의 신뢰성은 증명되어 있고 질적 요구조건과 소량생산을 고려할때 비교적 싼값으로 적용이 가능하다.

EFI 시스템은 소형, 경량이어서 전술무기 착화시스템으로 현재 가장 적당한 것으로 보이며, 구조상 본질적인 안전성은 EBW 이상의 특별한 이점을 제공하는 것으로 판단된다.

그러나 완전 전자식 in-line 시스템과 관련된 안전문제와 고전압 축전지등의 사용문제가 해결되어야 완전할 것으로 보인다.

현재 선진국에서는 소형 대륙간 탄도탄에 레이저 무기 착화시스템 적용을 시험하는 프로그램이 진행중이다.

이 레이저시스템은 현존하는 EBW와 발열선 시스템 이상의 이점을 제공하는데, 이것은 EMI로부터의 현저한 안전도 개선효과와 경량 및 소형인 이점이 있다.

특히 다른 시스템들이 한번 제작되거나 조립된 이후에는 작동여부를 시험할수 없는 것에 비해 작동여부를 확인할수 있다는 점에서 신뢰도의 증가를 가져온다.

다이오드 레이저 착화장치는 본질적인 이점 이외에도 다중점화(multifunction)에 응용될때 그 이점이 더욱 커진다. 아직 다이오드의 가격 때문에 다른 시스템에 비해 비싸고 무기체계에서 입증된 신뢰도는 없으나, 미래에 요구될 것으로 보이는 착화기술의 구비조건을 대부분 충족시키고 있다.

현재의 발전추세로 미루어 볼때 레이저 다이오드의 가격은 수년내에 경쟁력이 생길 것으로 보여 이 착화시스템은 이 분야에서 빠르게 성장할 것이다.

이와 같이 차후 전술미사일 시장을 지배할수 있는 본질적인 이점들을 가진 다이오드 레이저 기술이 상대적으로 취약한 우리의 실정을 볼때, 이 기술에 대한 관심과 접근은 진일보한 무기체계 개발을 가능케 할 것이다.*