

전열화학가속 소요기술 및 연구개발현황

Technology and the R&D Status for Electro_Thermal_Chemical Gun

김진성*, 문상규 (국방과학연구소)

Jin Sung Kim, Sang Kyu Moon (Agency for Defense Development)

Abstract

In this paper, the new technology and R&D status is presented, which accelerates the projectile using the electrical energy to overcome the limit of the conventional gun. The ETC (electro_thermal_chemical) gun, one kind of electric guns, seems to be the highly probable candidate as the next generation gun. The high density power supply and the forming and control of the current pulse are required to develop the ETC gun. And, the interior ballistics considered the mechanism of ETC gun must to be studied.

Key Words : Electric Gun(전기포), ETC (Electro_Thermal_Chemical) Gun(전열화학포), Pulsed Power (펄스전력), High Muzzle Velocity(고속 포구속도)

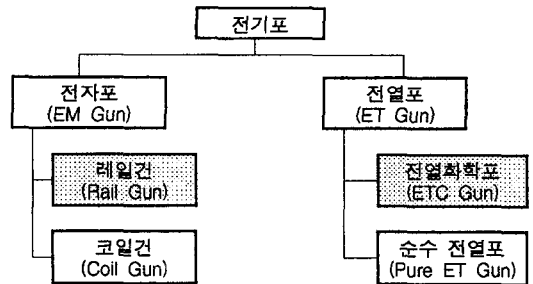
1. 서론

전차, 자주포, 중구경 화포(대공포)와 같은 적용 시스템을 고려할 때 약실공간, 최대압력, 화포 구경/길이 등의 제한과 추진제의 에너지 밀도 향상의 어려움으로 인하여 고체추진제 연소가스 팽창에 의해 탄자를 발사하는 기존 화포의 경우 발전의 한계에 도달하고 있다.

예로써 전차포의 경우, 현재의 120밀리 전차포를 탑재하고 있는 서방 주력전차의 차기세대 전차포로는 그 한계가 140밀리급 전차포로 예상되었으나, 현재 중량, 부피 및 기타 기술적인 문제로 인하여 부정적 측면이 부각되고 있다. 자주포 및 함포의 경우 사거리 향상을 위한 새로운 기술의 필요성이 요구되고 있으며 대공포의 경우 유효사거리 및 비행 소요시간 단축을 위한 획기적인 포구속도 향상이 필요로 되고 있다. 또한, 탄의 발전추세인 인공지능이 있는 스마트(Smart)탄을 사격하기 위해서는 낮은 최대가속도로 발사되어야 한다.

이러한 화포의 설계 제한사항과 새로운 요구조건을 충족시키기 위해서는 약실에 주입되는 에너지 밀도를 높이면서 최대약실압력을 최소화 시키는 기술이 필요로 되며, 이를 위하여 선진국에서는 80년대 부터 전기 에너지를 이용하여 탄자를 가속하는 전기포(Electric Gun)에 대한 연구를 진행시켜 왔다. 전기에너지를

이용하는 전기포의 종류는 그림 1과 같다.



- EM Gun : Electro_Magnetic Gun
- ET Gun : Electro_Thermal Gun
- ETC Gun : Electro_Thermal_Chemical Gun

그림 1. 전기포 종류

전기포중 무기체계화로는 레일건과 전열화학포가 고려되고 있다. 레일건은 100% 전기에너지를 고전류 펄스 형태로 인가하여 로렌츠법칙(Lorentz's Law)에 의해 발생하는 전자력만으로 탄자를 가속시키며, 전열화학포는 화학에너지와 전기에너지를 합하여 발생하는 가스팽창력으로 탄자를 가속시킨다. 이들 전기포 개발의 가장 큰 기술적 난제는 고전류펄스의 전기에너지를 공급하는 전원장치의 고밀도화이다. 이를 위해서는 전원장치의 고밀도화와 아울러 소요되는 전기에너지를 감소시키는 기술이 필요로 된다. 따라서, 동급의 전자포에서 소요되는 전기에너지 20~30% 수준의 전기에너지가 사용되는 전열화학포가 전자포보다

먼저 무기체계가화가 예상된다.

본 논문에서는 2000년대 차기세대 화포로 예상되는 전열화학포의 추진원리와 소요기술, 선진국의 연구현황을 분석하였다.

2. 전열포 원리

전열포의 추진가스 발생 구조는 그림 2와 같이 고전류 펄스에 의해 발생하는 아아크에 의해 추진 작동 유체 재료가 플라즈마 제트 상태로 변화하면서 탄자를 추진하게 된다.

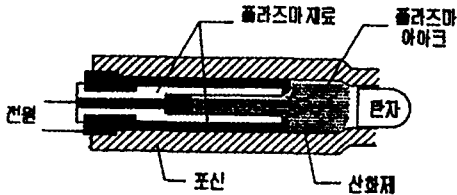


그림 2. 전열(화학)포 약실구조

순수 전열포의 경우, 약실에 인가되는 에너지는 100% 고전류 펄스 전기에너지로써 이 에너지에 의해 물, 폴리틸렌과 같은 비활성 물질을 플라즈마 상태의 탄자추진 유체로 변화시킨다. 이때, 플라즈마 제트에 의해 발생하는 약실압력은 인가되는 전류펄스 파형을 적절하게 변화시켜 그림 3과 같이 약실압력의 최대값/평균값 비율이 작도록 제어한다. 또한, 플라즈마 상태는 고체추진체의 연소가스보다 훨씬 가볍기 때문에 에너지 효율을 높여 고속발사가 가능하다. 그러나, 순수 전열포의 경우는 필요한 에너지가 100% 전기에너지로써 전자포와 같이 대규모의 전원장치와 필요하기 때문에 무기체계에 적용하기는 어렵다.

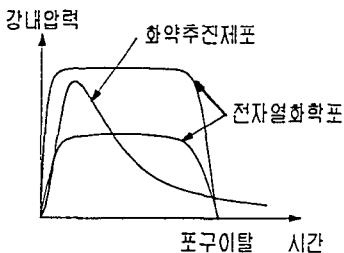


그림 3. 기존 화포 및 전열(화학)포의 약실압력 곡선

이러한 단점을 극복하기 위하여 플라즈마 발생 재료를 산화제, 탄화수소, 액체추진체, 기존 고체추진체와 같은 추진체의 활성에너지를 이용하여 전원장치의

규모를 감소시키는 것이 전열화학포와 전열포의 차이점이다. 전열화학포의 장점은 다음과 같다.

- (i) 전자포와 비교시 전원장치 규모 작음
- (ii) 기존포, 탄 부분 개조 사용 가능
- (iii) 연소속도 및 약실압력 파형 제어 용이
- (iv) 최대 약실압력 감소로 인하여 화포 중량 절감 및 탄자의 최대 가속도 감소
- (v) 추진에너지 증가 용이
- (vi) 둔감한 추진체의 사용으로 생존성 증대
- (vii) 군수지원 용이

전열화학포 단점은 기존 화포와 비교시 다음과 같다.

- (i) 새로운 기술 개발
- (ii) 고밀도 전원장치, 고전류 펄스발생 회로 필요
- (iii) 전원장치에 의한 시스템 중량, 부피 증가
- (iv) 고전압/고전류 취급 위험
- (v) 가격 상승

3. 전열화학포 소요기술

전열화학포 시스템의 구성은 그림 4와 같다.



그림 4. 전열화학포 시스템 구성도

전열포 시스템의 무기체계를 위해서는 포구에너지, 사격속도(최대/급속), 전투소요시간, 사격절차 등이 고려되어야 하며, 이것으로부터 소요되는 전기에너지 및 출력이 결정되어 전열화학포 시스템 각각의 구성품 성능이 결정될 수 있다. 여러가지 요구되는 구성품의 성능중에서 전원장치 에너지밀도와 전기 및 화학에너지 비율이 가장 중요시 되고 있다.

가. 전원장치 및 펄스발생회로

전열화학포를 무기체계화 하는데 가장 큰 장애가 전원장치의 고밀도화 기술이다. 전원장치로는 커패시터 뱅크(Capacitor Bank), 보상펄스 발전기, 교류펄스 발전기 등이 연구되어지고 있다. 이들 전원장치는 전기포외로 고전류 펄스가 필요로 되는 핵융합, 건설분야, 환경분야, 소재개발, 우주, 항공 등 각분야에서 그 용도를 넓혀가고 있다.

고전류 펄스용 커패시터 뱅크의 경우 전원장치 및 펄스발생회로 구성은 그림 5와 같다. 커패시터의 경우 간단한 구조, 모듈화 및 확장성, 안전성, 신뢰도, 펄스

발생 및 제어의 용이성으로 인하여 널리 사용되고 있다. 또한 상용화가 손쉬워 다른 분야의 수요가 많다. 그러나, 에너지 밀도가 회전기기보다 낮으며 에너지 향상이 어려운 단점이 있다.

커패시터 모듈은 일반적으로 저장에너지 2~5MJ(충전전압 10~20KV) 크기로 구성되며 인덕터 회로를 변화시켜 다양한 전류펄스(200~300KA, 1~2msec)를 발생시킨다. 각각의 구성 모듈 스위치 점호시간을 다

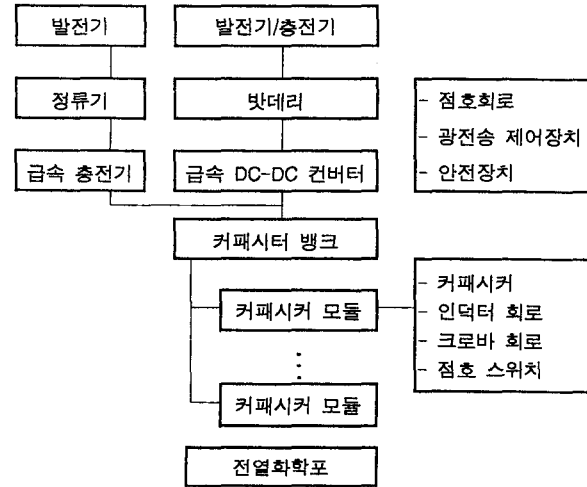


그림 5. 커패시터 전원장치, 펄스발생장치 구성도

르게 하여 전열포에서 필요로 되는 임의의 전류파형을 만든다. 무기체계화를 위해서는 커패시터를 포함한 시스템의 고밀도화, 고유전율 물질, 고전류 펄스 스위칭 및 정류 스위칭(전력 다이오드)에 대한 기술 연구와 또한 연속발사를 위해서는 커패시터 급속충전(수 MJ/sec)을 위한 전력전자 기술이 필요로 된다. 특히 커패시터의 고밀도화가 가장 중요하다. 커패시터 뱅크 시스템의 밀도는 표 1과 같다.

나. 보상펄스발전기(Compulsator)

보상펄스발전기(Compulsator ; Compensated Pulsed Alternator)를 이용한 전원장치 및 펄스발생회로 구성은 그림 6과 같다. 보상펄스발전기는 회전체의 고속회전 운동에너지에서 고전류 펄스를 직접 발생시키는 발전기이다. 보상펄스발전기의 경우 그림과 같이 고전류 펄스 발생과정이 간단하여 신뢰도를 높일 수 있고 펄스의 연속발생이 용이한 장점이 있다. 표 1에 서와 같이 커패시터에 비해 에너지 밀도가 높다. 그러나, 커패시터는 충전되어 있는 에너지 전체를 부하측에 전달하는 전원이지만 매사격시 보상펄스발전기는 회전체에 저장된 에너지중 매회 10% 미만만을 활용

가능하기 때문에 상대적으로 저장에너지는 10배 이상 되어야 하는 단점이 있으며 커패시터와 달리 구조가 복잡하고 시제품 연구개발 단계에 있다.

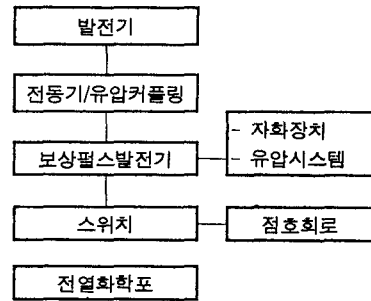


그림 6. 보상발전기와 전열가속기 구성도

보상펄스 발전기의 원리는 회전자에 인가되는 자장을 보상방법으로 상쇄시키므로써 회전자 권선의 내부 인덕턴스를 주기적으로 감소시켜 전류펄스가 발생토록 하는 것이다. 보상기법에는 수동보상(Passive Compensation), 능동보상(Active Compensation), 선택수동보상(Selectively Passive Compensation) 등이 있으며 구형과 펄스발생에는 선택수동보상이 적합하다. 선택수동보상법의 원리와 회전자의 위치에 따라 변화하는 인덕턴스와 출력전압 및 전류 파형이 그림 7과 그림 8에 제시되어 있다. 보상펄스발전기에 필요한 기술로는 에너지 밀도를 높이기 위한 베어링과 관련된 중량물 고속회전기술(10 Ton, 6,000RPM), 회전체 소재 및 제작기술(Carbon Fiber Epoxy), 고속(600m/s)에서의 브러쉬 접촉기술, 고밀도 자속발생기술, 냉각기술, 고전류펄스 스위칭 기술, 전열포를 고려한 임피던스 매칭기술 등의 첨단기술이 필요로 된다.

표 1은 커패시터 뱅크와 보상펄스발전기의 에너지 밀도로서 전열화학포의 무기체계화를 위한 전원장치로 채택하기 위해서는 커패시터 뱅크 경우 현재 수준의 5배 이상, 보상펄스발전기의 경우 2배 이상의 에너지 밀도 향상이 필요한 것으로 판단된다. 전기포 연구용 전원으로는 커패시터 뱅크가 계속 사용되어질 전망이다.

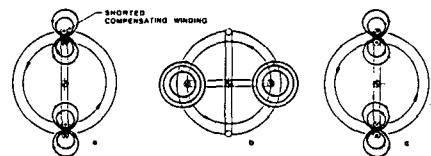


그림 7. 선택수동보상법 개념도

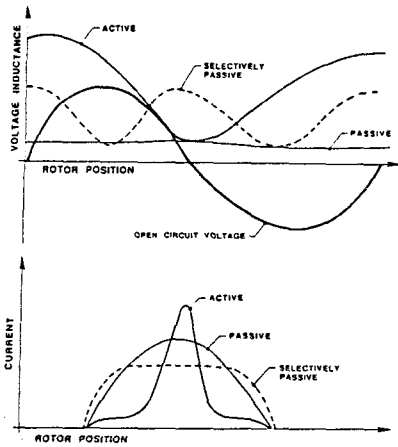


그림 8. 선택수동보상 보상펄스발전기의 인덕턴스와 출력전압 및 전류 파형

표 1. 커패시터 बैं크 및 보상펄스 발전기의 에너지 밀도

구분		커패시터 बैं크	보상펄스 발전기 (Compulsator)
현재	중량밀도	1.5MJ/Ton	20MJ/Ton*
	체적밀도	1.7MJ/m ³	-
'07	중량밀도	5.9MJ/Ton	-
	체적밀도	2.5MJ/m ³	-

* 설계 목표치

다. 가속기 및 탄약

가속기는 기존 화포의 구조와 구성이 일부부품을 제외하고 유사하여 기존 화포기술을 100% 활용 가능하다. 필요시 기존 탄약의 사용도 가능할 것이다. 그러나 포미장치는 고전압, 고전류 공급을 위한 절연기술이 필요로 된다.

탄약의 경우는 그림 2에 제시한 바와 같이 다음과 같은 구조와 기능을 갖어야 한다.

- (i) 아아크 발생을 위한 플라즈마 재료와 전극
- (ii) 플라즈마 제트 공급의 제어에 용이한 모세관
- (iii) 화학추진제의 연소 공간
- (iv) 탄자
- (v) 고전압, 전류의 절연
- (vi) 고압약실압력 밀폐

이를 위해서는 아아크 발생을 위한 전극과 플라즈마 재료, 모세관이 탄피내에 있는 구조가 유리할 것으로 판단된다. 또한 추진장약량의 조정을 고려하여 플라즈마 발생 구간과 추진제/탄자 구간을 분리하여 장전하는 분리탄 구조도 고려될 수 있으며, 이 경우 약실에

입력되는 전류파형도 추진장약량 변화에 따라 변화되어야 할 것이다.

라. 강내탄도

탄자를 가속하는 작동유체의 발생 과정과 동작특성이 기존 화포와 다르기 때문에 이를 예측, 설계할 수 있는 전열화학포의 강내탄도 연구가 필요하다. 현재 선진국은 이를 위하여 이론연구와 실험연구를 병행하고 있다. 연구내용은 다음과 같다.

- (i) 플라즈마 재료의 전기 및 연소 특성
- (ii) 전류펄스의 크기 및 파형과 작동유체 발생 및 약실압력 관계
- (iii) 작동유체의 열동작 특성
- (iv) 고체 또는 액체, 기존 또는 추진제 개발
- (v) 플라즈마 공급과 관련된 모세관, 전극 설계

이러한 내용의 연구를 통하여 전열화학 강내탄도를 0,1,2,3차원 모델로 발전시키는 연구를 활발히 진행중에 있다. 개발중인 강내탄도 코드로는 FNGUN, IBHVG2, XKTC, CRAFT 등이 있다.

4. 연구현황

가. 선진국의 연구동향

전기포에 관한 무기체계연구는 미국이 주도하고 있으며 그외로도 독일, 불란서, 영국, 이스라엘 등 10개국 이상에서 연구실적이 발표되고 있다.

미국의 경우 80년대 초반부터 SDI 계획의 일환으로 전자포와 전열포, 이에 필요한 전원장치의 연구를 진행하여 왔으나 90년대 부터는 전열포 개발에 특히 중점을 두고 있다. 미육군과 해군 그리고 UD사, GDLS사의 다수 기관을 통하여 $\phi 30 \sim 203$ 밀리 구경의 전열화학포를 연구개발하고 있다. GDLS에서는 포구에너지 17MJ을 목표로 M256 120밀리 전자포를 이용한 전열포를 연구중에 있으며 '94년 현재 전기에너지 2.5MJ을 입력시켜 포구에너지 11MJ을 달성한 것으로 보고되고 있다. UD에서도 전기에너지 5MJ, 화학에너지 35MJ을 이용하여 포구에너지 10MJ을 달성하였다. 특히, 무기특성상 전원장치 규모에 크게 제한을 받지 않는 해군에서는 표 2에서 제시된 제원의 $\phi 60$ 밀리 전열포를 UD사, GDLS사와 개발, '93년 부터 시험중에 있으며, 함포로써 5" 및 8" 전열포 연구도 진행중이다.

전원장치 경우, 커패시터는 Maxwell에서 회전기기 발전기는 Texas 대학에서 주로 연구가 수행되고 있다. 180MJ 보상펄스 발전기가 Texas 대학에서 연구, 개발되고 있다.

표 2 ϕ 60밀리 전열포의 주요 제원

용도	미사일 요격을 위한 레이더 유도 스마트 탄약 사격
포신	Phalanx MK15 CIWS 60mm 전차포
포구에너지	2.5MJ(2.5~3.5Kg, 1.2~1.4Km/sec)
전류펄스	140~160KA
약실압력	70,000 psi
최대가속도	30,000~40,000G
추진제	액체추진제(HAN)
발사속도	200발/분, 10발 급속사격

독일의 경우, 라인메탈 TZN 연구소에서는 30MJ 커패시터 뱅크를 포함한 설비를 갖추고 전열포 강내탄도연구와 $\sim \phi$ 120밀리까지의 전열포 시험연구를 진행하고 있다. 그의 유럽국가에서도 비슷한 수준의 연구를 독자 또는 미국을 포함하여 공동으로 진행하고 있다.

특히, 이스라엘의 Soreq 원자력 연구소에서는 미국의 ARL, 미국 우주전략방위 사령부와 공동으로 기존 고체추진제를 이용한 전열화학포의 연구를 표 3과 같이 상당 진척시킨 것으로 보고되고 있다. 여기서는 소 요되는 전기에너지가 매우 적음을 알 수 있다.

표 3 이스라엘의 전열화학포 주요 내용

용도	전차포, 자주포, 대공포, 미사일 요격
용도	전차포, 자주포, 대공포, 미사일 요격
포구에너지	9MJ(4.9~6.3Kg, 2~2.5 Km/sec)
전기에너지	1.5~2.0MJ 입력(약실에너지의 수%)
약실압력	65,000~80,000psi
추진제	고체추진제
기타	49발 시험결과 제시

나. 연구설비 사례

(1) 미국

ARDEC의 Building 717로 명명된 실험건물에 커패시터 뱅크 52MJ(3.2MJ x 16개)를 포함한 제어장비 및 계측장비를 갖추어 전자포 및 전열포 연구를 수행하고 있으며, 실험실만의 면적은 약 800평이다. 또한, Green Farm에는 32MJ(4MJ x 8개)의 커패시터 뱅크를 갖춘 실험실과 이 전원을 이용하여 구경 120밀리 이상의 전기포 사격시험이 가능한 실험설비를 갖추고 있다. GDLS, UD에서도 이동 가능한 10MJ 이상의 커패시터 뱅크를 갖추어 155밀리까지의 전열화학포 실험을 수행하고 있다. Texas대학에서는 60MJ

의 동극발전기와 인덕터를 이용하여 구경90밀리 전자포 사격실험실을 갖추어 전자포와 회전기기형 펄스발생 전원장치를 연구하고 있다.

독일의 경우 라인메탈 TZN 연구소에서는 108명의 인력과 총 30MJ 커패시터 뱅크 및 실험장을 갖추고 전열화학포 및 고전류펄스 응용분야를 연구하고 있다. 그의 영국, 불란서, 네덜란드, 이스라엘 등에서도 독자 또는 공동연구에 필요한 커패시터 뱅크와 시험평가 설비를 갖추고 있다.

5. 결론

기존 고체추진제 화포의 성능향상 한계를 설명하였고 그 한계를 혁신적으로 극복하기 위한 새로운 기술로 전기에너지를 이용하여 탄자를 가속하는 전열화학포, 전자포 기술이 대안임을 제시하였다.

전기포의 무기체제화를 위한 가장 핵심 기술로는 고전류 펄스 전기에너지를 공급하는 전원장치의 고밀도화 기술이며 이 기술을 확보하기 위해서는 시간과 예산이 문제가 된다. 따라서, 전원장치 규모가 작고 기존 화포기술을 최대한 활용할 수 있는 전열화학포가 전자포보다 차세대 화포기술으로써 유력시 되고 있다. 전열화학포 개발을 위한 주요 연구과제는 다음과 같다.

- (i) 전원장치 고밀도화
- (ii) 새로운 고밀도 전열화학포용 추진제 및 강내탄도 코드 개발
- (iii) 에너지 효율 향상

선진국의 전열화학포 연구개발현황과 소요되는 연구설비를 소개하였다. 국내 전기포 연구개발에는 선진국의 지난 15년 동안의 투자예산과 기간을 고려할 때, 이스라엘 및 유럽국가의 사례와 같이 국내 산학연 및 국제 공동연구를 통한 기술축적이 필요한 것으로 판단된다.

참고문헌

[1]W.F. Morrion, "Trend in Gun Propulsion for Tactical Army Application," MilTech, Mar. 1993, pp 10-23.
 [2]국방과학 기술 조사서 제1권, 1995.4., 335-384쪽
 [3]M.L. Span, "Compulsator research at the Univ. of Texas at Austin," IEEE Trnas. Jan. 1989, pp529-537
 [4] DefenseNet 정보검색 자료