

# 21세기 탄두의 설계 요소기술에 대한 개괄적 고찰 (2)



李俊雄  
(주) 한화  
기술고문, 공학 박사  
leejw@hanwha.co.kr



金成植  
國科研 책임연구원  
kss016249@add.re.kr

미래에는 정보전자전을 대비해서 전자기펄스탄(EMP 탄), 탄소섬유탄, 고성광 발생탄과 같이 물리화학적 파괴 능력을 갖는 특수 전용 탄두들이 소요될 것이다.

세계 대전의 가능성은 희박하나 지역분쟁이 발생했을 때 전후방과 군과 민이라는 구분이 없어지고, 전쟁상황이 실시간으로 전파되기 때문에 다양한 비실상 탄두가 주요 전술탄두로 등장할 수 있다.

따라서 전자기 펄스탄(EMP 탄), 탄소섬유탄과 같은 대 정보·전자전 탄두들이 우리가 미래를 대비하는 하나의 수단이 되리라 확신한다.

## 탄두 요소 기술

재 운용하고 있는 각종 탄두 설계에는 매우 다양한 기술들이 적용되어 있다. 그중 특히 에너지원인 고폭화약을개발하고 응용하는 기술, 화약에너지와 운동에너지가 표적 물질에 가하는 파괴와 변형을 모사하는 시뮬레이션 기법, 이를 뒷받침하는 각종 탄체와 표적 물질의 동적 물성을 확인하는 기술, 탄두의 폭발에너지와 운동에너지가 목표물에 가하는 살상 및 파괴 효과를 분

석하는 탄두효과분석 기술, 목표물을 최적 조건으로 감지하며 탄두 안전을 최대한 확보 하는 신관 기술,  $10^{-6}$  초 정도인 극미 시간에 일어나는 폭발현상과 표적물질의 변형과 파괴 현상을 계측하는 측정기술 등이 특히 중요하다.

군용 화약으로 현재 널리 활용하고 있는 TNT, 테트릴, RDX 등은 이미 19세기에 발명되었으나, 이들은 20세기초부터 탄두용 고폭화약으로 가치가 인정되면서 각종 탄두에 충전되었고, 현재에도 그 중요도는 변함이 없다.

HMX는 1940년대 RDX 제조 과정에서 부산물로 생성되었으나 현재로서는 가장 강력한 화약으로 고성능을 요구하는 탄두에 적용되고 있다.

1950년대부터 새로운 에너지 물질과 결합제 등을 첨가하여 위력과 안전성을 증대시킨 고성능 복합화약(PBX ; Plastic bonded Explosives)이 등장하여 대형 탄두에 충전되고 있다. 아래의 표들은 이러한 고폭화약의 성능과 안전성에 대한 여러 가지 특성을 보여 주고 있다.

화약은 폭발 시 폭속은  $10\text{mm}/\mu\text{s}$ (초당

#### 고폭화약의 특성

구 분	밀 도	폭 압(GPa)	폭 속( $\text{mm}/\mu\text{s}$ )	에너지(cal/gr)
HMX	1.89	42.0	9.11	1,198
HNS	1.40	14.4	6.34	954
PETN	1.26	14.0	6.54	1,383
TNT	1.63	21.0	6.93	977
Comp.B	1.71	29.5	7.98	1,120
Octol	1.82	34.2	8.48	1,132
PBXN-106	1.63	26.0	7.84	1,123
LX-14	1.86	37.5	8.84	1,250

#### 고폭화약의 안전성

구 분	Impact(joule)	friction( $\text{kg} \cdot \text{f}$ )	Card Gap
HMX	6.5	10.6	—
RDX	7.4	16.1	323
TNT	47	—	133
Comp.B	19.8	29.1	201
Octol	—	—	214
PBXN-106	40	—	191
LX-14	8.08	29.8	218

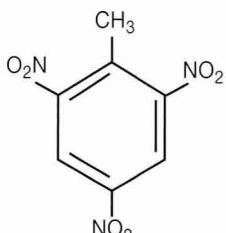
10km), 폭압은 40Gpa (40만 기압), 온도는  $3 \times 10^3$  K에 이른다. 화약폭발시 발생하는 고압가스는 파편을 생성시키고 이를 다시 초당 1.5km 이상의 속도로 가속시킨다.

또는 성형작약의 금속라이너를 봉괴시켜

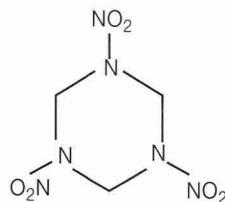
서 이를 초당 10km의 속도로 가속시키거나, 공중에 폭풍(Air Blast)을, 수중에 기포팽창(Bubble Expansion)을 일으킨다.

이러한 파편, 폭풍, 성형작약 제트, 폭발성형 관통자, 수중 기포 등이 전술 목표물에 기

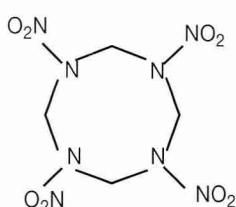
### 대표적 고폭화약의 분자 구성



TNT



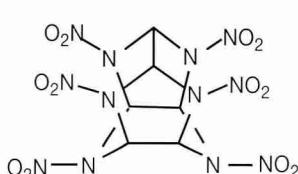
RDX



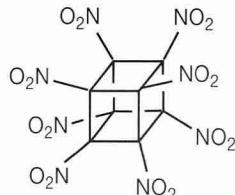
HMX

### 최신 고폭화약의 분자 구성

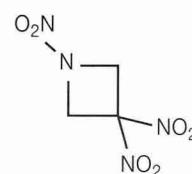
#### - 고성능 화약



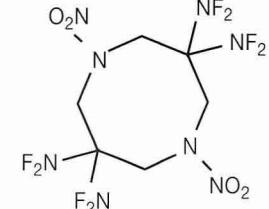
HNIW



ONC

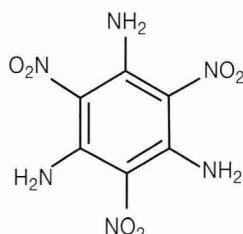


TNAZ

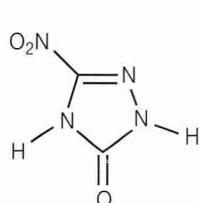


HNFX

#### - 둔감 화약

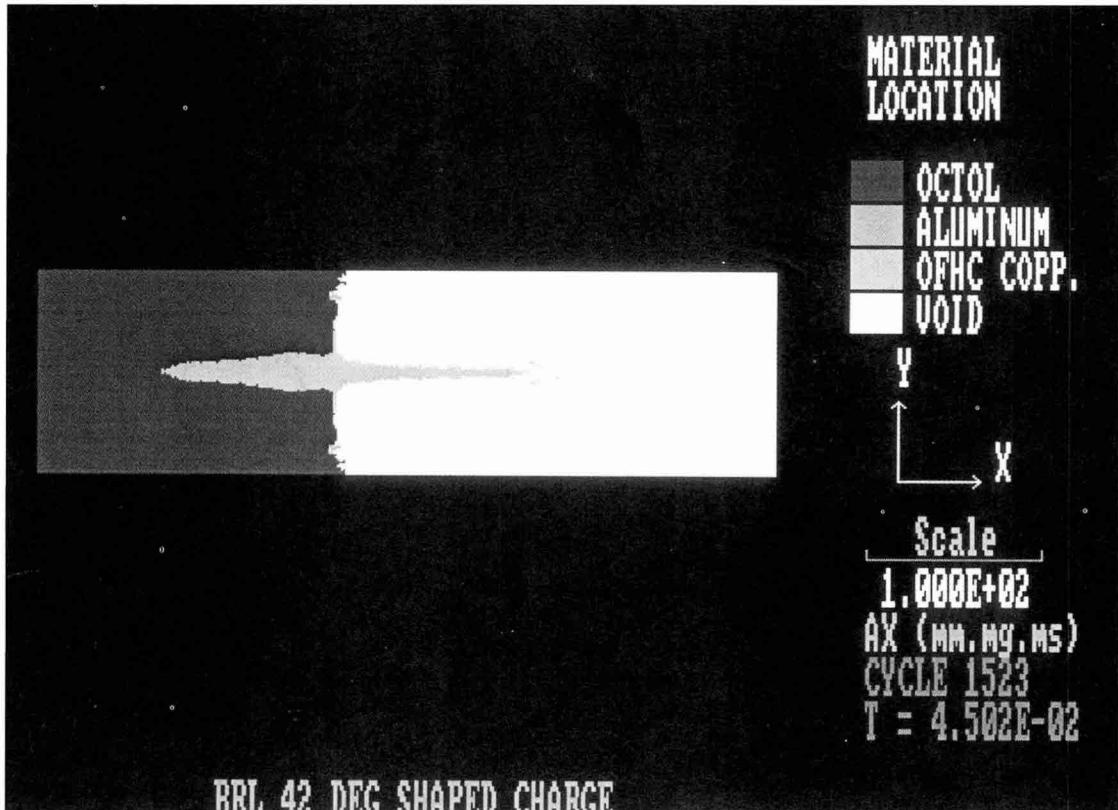


TATB



NTO

## 성형작약 제트 형성 시뮬레이션



계적 손상을 입혀서 파괴한다.

이와 같이 화약은 일반적으로 일정 수준 이상으로 폭속, 폭압, 폭풍압이 요구되며, 동시에 열, 마찰, 충격 등 외부 자극에 둔감해야 하는 안전성이 요구되는데, 이 2가지 기본 요구 사항은 서로 상반되는 특성을 갖고 있다.

그리고 서로 상반되는 이 2가지 기본 요구 사항을 동시에 만족시키는 것이 화약 개발의 기본 요구 조건이다.

이를 위해 화약 분자 내에 있는 에너지그룹 함량 증대, 질소 함량 증대 또는 탄소 함량 감소, 구조적 응력을 증대시키는 노력이 이루어지고 있다.

이와 같은 발전 방향에 따라 최근 합성된 고성능 화약으로서 HNIW, ONC, TNNAZ, HNFX 등이 있으며, 둔감 화약으로는 TATB, NTO 등이 있다. P.41의 그림들은 이와 같은 대표적인 고폭화약과 최근 새롭게 합성된 고폭화약의 분자 구조를 보여 주고 있다.

화약 폭발현상과 탄자 또는 파편이 표적 물질을 파괴, 변형시키는 현상은 극한 조건 즉, 극히 시간, 초고속, 초고온, 초고압 상태에서 발생하므로 이를 완벽히 해석하기에는 한계가 있다.

이러한 한계를 극복하기 위해 최근에 개발해서 널리 활용하는 것이 탄두작동 시뮬레이

션 기법이다. 이는 초고속 대용량 전산체계에 의해서만 수행할 수 있는 전산유체역학이 중심이 된다.

전산유체역학은 고에너지, 고압상태를 수반하는 물질-에너지 체계에서 물질의 변형 및 운동, 상호작용을 기술하는 계산방법인데, 점성 압축성 유체역학, 물질-에너지 상호작용 이론 등이 적용된다.

전산유체역학을 이용한 탄두작동 시뮬레이션에는 탄두와 표적을 구성하는 모든 물질의 기체, 액체, 고체 상태와 폭발 및 충격으로 인한 고속변형, 열역학적 변화, 물성 변화가 고려되며, 또한 물질 운동과 압력 및 에너지의 전파가 고려된다. 이를 통해 고체의 변형과 거동이 고압유체 유동으로 해석된다.

그런데 화약이 폭발하는 실제 현상에서 물질운동은 극히 시간에 초고속으로 발생하므로 동적 변형률이 대단히 크다. 따라서 이러한 동적 조건을 고려한 동적 물성이 적용되어야 한다.

현재 전산유체역학을 이용한 탄두작동 시뮬레이션 기법은 탄두특성에 대한 해석 및 탄두설계에 필수적인 수단으로 간주되고 있다. P.42의 그림은 이러한 전산 시뮬레이션으로 해석된, 성형작약 탄두 폭발시 형성되는 제트의 형상을 보여 주고 있다.

화약의 폭발현상과 탄자나 파편이 표적 물질을 파괴, 변형시키는 현상을 계측하기 위해서는 초당 약 백만 프레임(Frame)으로 찍을 수 있는 고속카메라, 동조시간 단위가 10<sup>7</sup> 초 정도인 섬광 X선 카메라 등이 필요하다.

화약의 폭발 압력과 폭발 온도를 계측하기 위해서는 각각 망간게이지와 스펙트로스코프(Spectroscopic)가 활용된다. 이를 장비들은 극한 조건에서 작동해야 하므로 고도의

첨단기술이 활용된다.

P.44의 사진은 고풍탄두가 폭발하는 모습을 고속카메라로 25μs 간격으로 촬영한 것으로서 폭발가스의 생성과 탄체의 순차적 파열 모습을 잘 보여 주고 있다.

탄두효과 분석은 탄두가 갖는 위력이 전술표적에 가할 수 있는 파괴효과에 대한 수치적 해석이다. 이것은 탄두가 갖는 파괴위력과 전술표적이 갖는 표적취약성 그리고 탄두와 전술표적의 상호 조우관계를 고려해서 주로 전산처리로 해석되는 종말효과(End Game) 분석이다.

탄두가 갖는 파괴위력은 파편의 특성(중량분포, 공간분포, 속도분포), 거리별 폭풍압, 관통자의 관통력, 성형작약 제트의 관통력 등을 말한다.

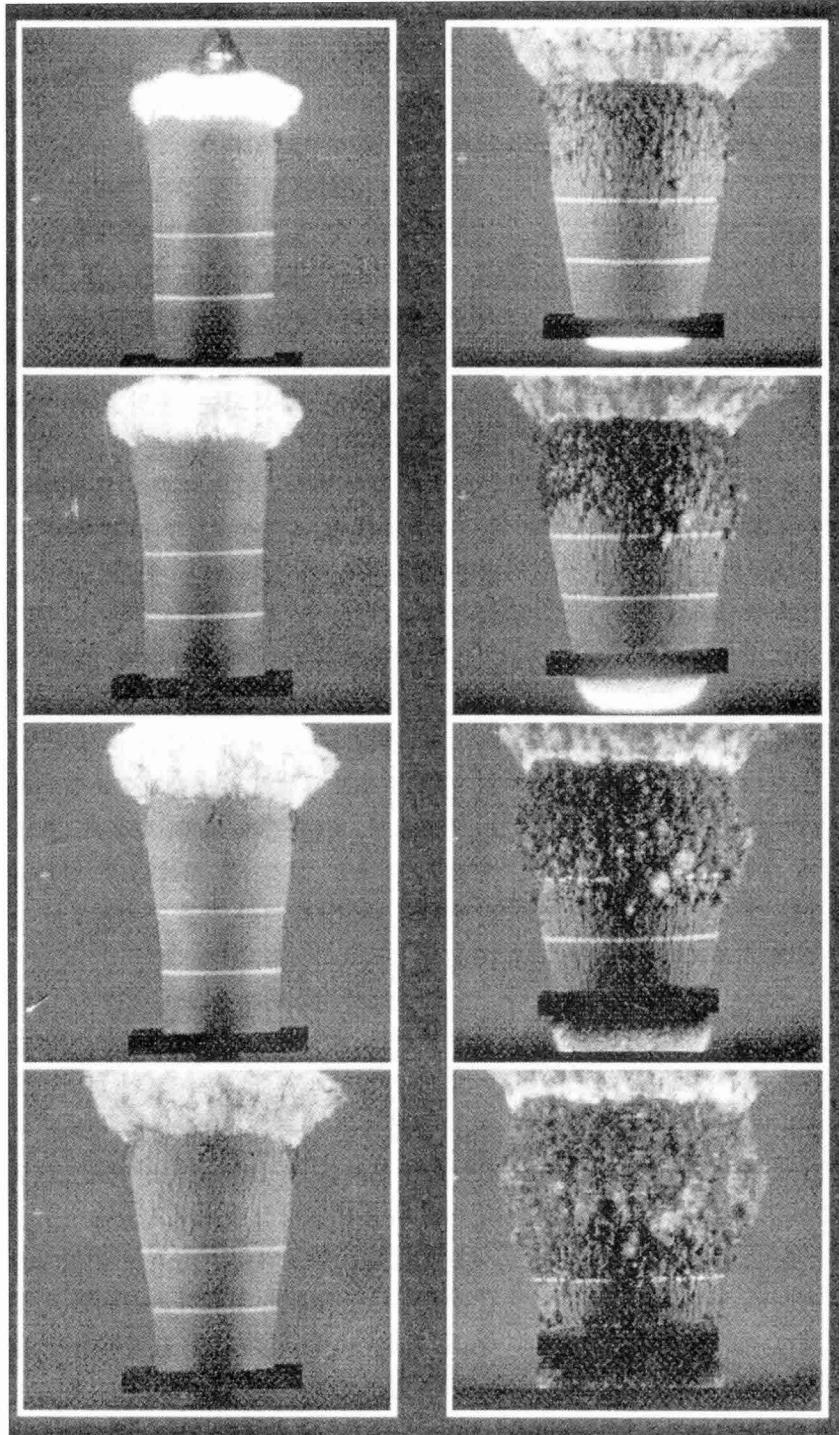
표적 취약성은 각종 피해기구 즉 파편, 폭풍압, 운동에너지 관통자, 성형작약 제트들에 의해 가해지는 표적 구성품의 손상 및 이로 인한 표적의 무능화를 정량적으로 표현하는 것으로서, 이는 인마, 차량, 항공기, 전차, 장갑차, 탄약고, 함정, 군 시설물 등 탄두나 탄약이 파괴하고자 하는 각종 전술표적이 갖는 고유 특성이다.

표적 취약성 데이터는 사람을 포함한 각종 전술 표적의 고유 특성이기 때문에 다양하고 오랜 전투 경험과 표적 분석, 표적 파괴시험 등을 통해서만 획득할 수 있는 특성치로서 탄두효과 분석의 중심이 되며, 선진국으로부터 대외 유출이 엄격히 통제되고 있다.

대개의 경우 탄두위력은 공격 무기체계의 관점에서 사용되는데, 피해기구에 의한 영향 즉 표적 취약성뿐만 아니라 표적에 손상을 가할 수 있는 능력까지 포함된다.

따라서 탄두효과 분석은 탄두개발 뿐만 아

## 고폭탄두의 폭발 현상



니라 무기시스템 개발, 기술시범, 기술개발, 기초연구 등 거의 모든 연구개발 단계에서 필요하다. P.45의 그림은 일반적인 탄두 설계 과정을 보여 주고 있는데, 탄두효과 분석이 갖는 중요도를 잘 나타내고 있다.

---

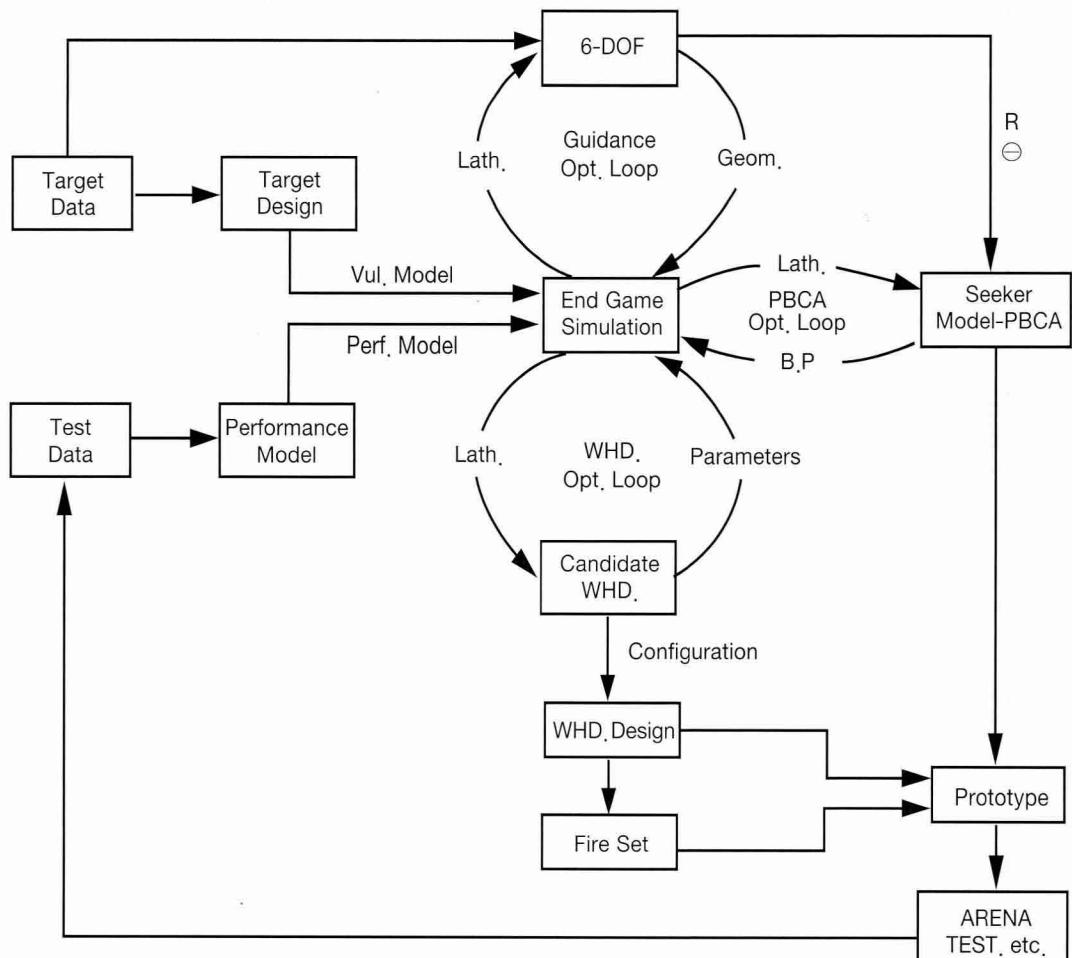
### 미래전 양상 및 탄두의 미래상

---

이 글에서 언급하는 21세기와 미래전은 각각 2030년 전후와 이 때 발발할 수도 있는 전장을 가정한 것이다.

현재 논의되고 있는 많은 주장들을 보면, 2030년경의 국제환경으로 미국은 군사적 주도권을 계속 장악하며, 지금의 중동 지역과 인도-파키스탄, 유고 지역에서와 같은 지역분쟁은 지속될 것이고, 그 분쟁 영역이 지금의 육지, 해상, 항공 영역에서 우주 및 사이버 영역까지 확장될 것으로 간주되고 있다.

일반적인 탄두 설계 과정



또한 지금과 같은 군 대 군 전략만이 아니라 군 대 민 또는 민 대 군 전략도 일반화할 것으로 판단하며, 한반도 환경으로는 중국, 일본, 러시아들과 북방국경 분쟁, 독도 분쟁, 해저자원 분쟁이 야기될 것으로 전망되고 있다.

전쟁 양상은 과학기술의 발달과 이에 따른 사회환경의 변화와 전장환경의 변화에 의해

크게 달라져 왔다. 전장은 20세기에 들어서 산업기술 발달에 따라 1차 대전에는 참호전, 2차 대전에는 고속 기동전, 그 이후 걸프전과 유고전에서는 공습전과 원격 타격전 등으로 변화하였다.

20세기 후반 들어 급속히 발전하고 있는 전자광학 기술, 컴퓨터 기술, 인공위성 기술,

정보·통신 기술, 인터넷 기술 등으로 21세기에 발발할 수 있는 미래 전장은 지금과 대단히 다른 양상을 보일 것으로 판단된다.

미국의 정책 문서들에 의하면 그들은 차차기(After Next) 이후 미래전에 대해 다양한 대비책을 제시하고 있다.

정책문서로는 Joint Vision 2010/2020, Joint Warfighting Capability Objectives, Joint War fighting Science and Technology Plan(1999), Military Critical Technology 2000, Army after Next(1998), Air Force 2025(1996), Technology for US Navy and Marine 2000~2035(1996) 등이 있는데, 이들 문서들의 기본 내용은 첨단기술(Cutting-Edge Technology)을 적극 발전시켜 정밀 유도무기의 확충과 전자전 능력 및 정보통신 분야의 우위를 계속 유지해서 미래에는 “정보 우위 동시 통합 전투”를 수행해야 하고, 또한 지금부터 이를 대비해야 한다는 것이다.

“정보 우위 동시 통합 전투”로 전쟁 양상이 변화하는 것은

- \* 정보화·과학화 위주로 전쟁환경 변화
- \* 기동과 화력 중심에서 지식과 정보로 힘 중심 변화
- \* 화력의 초고속 장사정화와 위력 증대
- \* 센서 발달에 의한 전술·전략 목표 동시 타격 및 명중률 향상
- \* 실시간 정보획득 및 타격
- \* 핵, 화생제 등 대량 살상무기를 사용하는 정규전과 테러와 같은 비정규전을 동시 수행
- \* 전후방 구분 상실
- \* 해커, E-mail 폭탄 등 사이버 전에 민간인 참여, 상용장비의 군사적 응용

등을 의미한다. 이에 따라 전장에서 정보를 획득하는 기술, 인공위성을 무력화하는 기술, 위성으로부터 지상목표를 공격하는 기술, 원거리에서 초고속으로 고도의 정밀도로 타격하는 기술, 물리학, 화학 및 생물학적 이론을 이용한 비살상 무력화 기술, 정보체계를 공격해서 혼란, 마비시키거나 방호하는 사이버 기술, 고밀도 에너지를 방출하는 대체 에너지 기술, 그 밖에 탄두나 탄약을 운반하는 체계의 지능화 및 무인화 기술, 특점 시설이나 전차의 방호력을 강화하는 기술 등과 같은 군사과학기술의 극단적 발전이 요구될 것으로 보인다.

“정보 우위 동시 통합 전투”로 전쟁 양상이 변화하고, 이와 관련된 군사과학기술이 극단적으로 발전함으로써 미래 탄두가 파괴해야 할 주요 목표물은 현재와 매우 다른 양상을 가질 것이다.

지휘부나 탄약고, 항공기 격납고와 같은 특점은 콘크리트 두께 6미터 이상의 방호력을 가질 것이며, 전차의 방호력도 장갑 1미터 이상이 될 것으로 판단된다.

전술 유도무기는 음속 5~8배의 비행 속도를, 탄도탄은 음속 8배 이상의 속도를 가져서 이를 타격하는 탄두는 현재와는 판이한 조우 조건을 가질 것으로 보인다. 파괴해야 할 항공기, 전술 유도탄, 함정, 잠수함은 모두 스텔스(Stealth) 능력을 갖출 것이다.

또한 전장에는 파괴해야 할 레이더, 탐색기, 통신장비, 컴퓨터 등과 같은 정보전자전 무기체계가 폭넓게 산재할 것이다.

이와 같이 미래의 전장 양상과 탄두와 탄약이 파괴해야 할 목표물의 특성으로 볼 때 다음과 같은 상황을 예상할 수 있다. 파괴수단을 운반하는 체계로 인공위성이 포함됨으로

써 전장은 우주공간으로 확대될 것이며, 사용되는 에너지로서 극대화된 화약 에너지와 함께 전자기 에너지, 레이저 에너지가 더욱 확대, 이용될 것이다.

첨단 화상센서 기술, GPS(Global Positioning System) 활용기술, 광 자이로 기술, 대용량 고속컴퓨터 기술 등의 발달은 정보수집 수단과 목표감지 능력을 현재보다 한 차원 높일 것이고, 이로써 탄두나 탄약은 스스로 예정된 목표물을 찾아 비행하며 그 목표물을 선택하고 파괴할 수 있는 고도의 자체판단 능력을 보유한 자율 유도체계(Autonomously Guided Munition)로 발전해 나갈 것이다.

방호력이 향상된 전차, 장갑차를 파괴하기 위해서는 이중 성형작약(Tandem Shaped Charge)과 화약단조파편 탄두가 부착된 지능형 종말 유도자탄이 광범위하게 활용될 것이다.

또한 지하 시설, 비행장 활주로, 항공기 격납고, 지상에 있는 견고표적 등을 파괴하기 위해 종말 유도장치가 부착된 침투탄두가 각종 운반체계에 의해 투발될 것이다.

소형 핵탄과 화학탄의 중요도는 더욱 점증될 것이며, 이를 위한 방어체계도 더욱 강화될 것이다. 고폭탄은 둔감화약과 둔감추진제가 적용되어서 운용상 안전도가 획기적으로 높아질 것이며, 이러한 점은 군의 사기 진작과 함께 작전환경과 군수지원에 큰 변화를 줄 것으로 전망된다.

또한 다양한 비살상 탄두가 널리 활용되어 불필요한 살상을 피할 수 있을 것이며, 초정밀 전자기계장치 즉 MEMS(Micro-Electronic Mechanical Systems)기술, 전자광학기술, 마이크로프로세서 기술의 발달로 신관은 모든

탄두와 탄약을 최대의 효과를 발휘할 수 있는 조건에서 폭발시킬 것이다.

그리고 정보·전자전의 주요 요체인 각종 전자·통신 장비들을 무력화하기 위해 EMP탄, RF(Radio Frequency) 자탄, 고섬광 발생탄, 탄소섬유탄 등이 사용될 것이다.

현재 레이저를 이용한 파괴방법과 입자 빔 무기들이 연구되고 있으나 이들과 관련된 고도기술을 응용하고 실용화하는데는 기술적으로 극복해야 할 사항이 매우 많기 때문에 대공 방어체계에 제한적으로 응용될 것으로 예상되며, 앞으로도 전장에서 재래식 탄두와 탄약의 비중과 역할은 결코 줄어들지 않을 것으로 전망된다.

이에 더하여, 주변의 첨단기술과 융합하여 더욱 정확하고 파괴효율이 증대된 탄두와 탄약체계가 다양하게 실전 배치될 것이다.

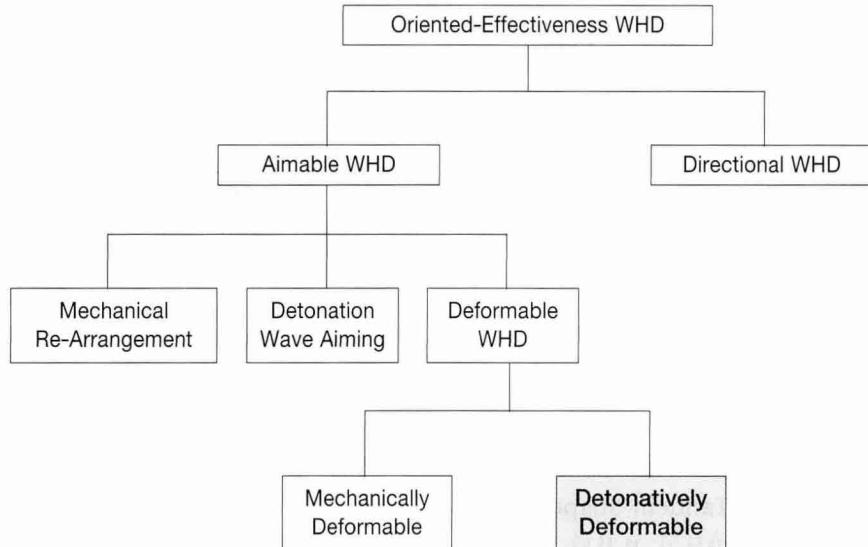
## 미래 탄두 핵심 요소 기술

현재까지 운용된 각종 무기체계는 주로 강구조물을 중심으로 하는 경성 물질로써 기계적 파괴에 의해서 무력화시키는 방법이 사용되어 왔다.

탄두와 탄약은 그러한 기계적 파괴를 일으키기 위해 에너지원인 화약의 성능 향상, 탄체 형상과 구조의 최적화를 통한 파괴효율 향상, 화약 에너지와 파편이 갖는 운동에너지를 일정한 곳으로 집중시키는 것에 의한 파괴효율 향상(P.48의 그림 참조), 운용자의 안전성 향상 등으로 기술개발이 집중되어 왔다.

미래에는 전술한 바와 같이 “정보 우위 동시 통합 전투”로 전쟁 양상이 변하고 군사과학기술이 지속적으로 발전해서 탄두는 더욱

## 지향성 탄두 분류



더 소형화, 고성능화, 폭발위력 집속화, 인공 지능화, 둔감화, 물리화학적 파괴 능력 보유 등으로 발전할 것이다. 이에 따라 미래전 탄두의 개발에는

- \* 신 에너지물질 개발 기술
- \* 탄두작동 시뮬레이션 기술
- \* 초고압 물성 계측 및 제어 기술
- \* 초정밀 전자기계장치(MEMS) 개발 기술
- \* 화약을 이용한 전자기 펄스(EMP) 발생 및 제어 기술
- \* 에너지 물질을 이용한 프라즈마 발생 및 제어 기술
- \* 물리화학적 파괴를 이용한 비살상 파괴 기술

\* 신 전술표적(정보 · 전자전 체계)에 대한 탄두효과 분석 기술  
들이 필요할 것으로 판단된다.

**맺는 말**

재래식 탄두의 기본 개념은 1차 대전 당시 이미 확립되었고, 다만 그 성능개량이 현재 까지 진행되어 오고 있다. 21세기에도 고폭 화약을 중심으로 한 첨단 고폭탄의 중요도는 변함이 없으나, 전장이 “정보우위 동시 통합 전투”를 기본개념으로 우주 및 사이버 공간으로 확장됨에 따라, 미래전 탄두는 정밀화, 소형화, 고위력화, 지능화, 둔감화가 요구된

다고 본다.

또한 미래에는 정보전자전을 대비해서 전자기펄스탄(EMP 탄), 탄소섬유탄, 고섬광 발생탄과 같이 물리화학적 파괴 능력을 갖는 특수 전용 탄두들이 소요될 것이다.

세계 대전의 가능성은 희박하나 지역분쟁이 발생했을 때 전후방과 군과 민이라는 구분이 없어지고, 전쟁상황이 실시간으로 전파되기 때문에 다양한 비살상 탄두가 주요 전술탄두로 등장할 수 있다고 본다.

우리의 여건을 감안해 볼 때, 중국·러시아·일본·미국들과 같은 세계 초강대국과 어떤 형태로든 이해 관계가 생기게 마련이며, 이때도 또다시 20세기 초와 같이 힘없이 이리 저리 밀릴 수는 없다고 본다.

국가간의 대립과 충돌에는 소위 “1 대 1”의 대칭적 대결이 보통이나 강자와 약자간에는 비대칭적 전략을 잘 구사하면 얼마든지 약자도 버틸 수 있는 방안이 있다고 본다.

그 한 예로, 미국은 미래에 전쟁이 발발하면 “정보우위 동시 통합전투”를 하도록 모든 장비와 교리를 발전시켜 나가고 있는데, 이 때 모든 전장상황의 파악과 보고, 결정, 명령 하달, 전장 상황 평가들이 모두 통신에 의존한다는 사실이, 현재의 분석으로는 아주 취약한 부분이란 점이 그들의 모의 전쟁(War Game)에서도 밝혀진 바 있다.

바로 이점이 우리가 비대칭적 전략을 구사 할 수 있다는 것을 보여 주고 있는 것이라고 생각한다. 그들처럼 거대한 군사력을 갖고 있지는 않지만 만약 군사력을 움직이는 통신 체계를 교란, 파괴하는 고도의 수단을 갖고 있다면, 이는 바로 골리앗을 쓰러트린 조그만 조약돌이 되리라 판단되고, 이러한 측면에서 전자기 펄스탄(EMP 탄), 탄소섬유탄과

같은 대 정보·전자전 탄두들이 우리가 미래를 대비하는 하나의 수단이 되리라 확신한다. **❶**

#### 참고자료

- ▲ Joseph Carleone, 1993, 「Tactical Missile Warheads」, Progress in Astronautics and Aeronautics, Vol. 155,
- ▲ Richard M. Lloyd, 1998, 「Conventional Warhead Systems Physics and Engineering Design」, Progress in Astronautics and Aeronautics, Vol. 179.,
- ▲ 이준웅, 「미래전장에서의 탄두」, 〈국방과 기술〉 1987년 6월호, PP 64~72.
- ▲ 이준웅, 「21세기 탄두 요소기술의 개괄적 고찰」, 2000년 군사기술학회 초청강연, 화랑대, 2000년 11월.
- ▲ 주미 무관 보고서, 「미국의 국방과학기술 정책」, 1999년 5월.
- ▲ 육군, 교육사령부, Vision 2025 세미나, 2000년 5월.
- ▲ 미국, vision 2010/2020.
- ▲ 미국, Joint War fighting Capability Objectives
- ▲ 미국, Joint War fighting Science and Technology Plan (1999)
- ▲ 미국, Military Critical Technology 2000.
- ▲ 미국, Army after Next (1998)
- ▲ 미국, Air Force 2025 (1996)
- ▲ 미국, Technology for US Navy and Marine 2000~2035 (1996)
- ▲ 미국, 국방성, Annual Report to the President and the Congress (2001)