

탄두 개발의 CAE 활용

이 글에서는 각종 탄두 개발에 적용하고 있는 전산모사에 대하여 단계별로 간단히 정리하였으며, 향후 정밀 지능탄 개발에 요구되는 CAE에 대하여 기술하였다.

박관진 국방과학연구소 4본부 3부, 책임연구원

e-mail : kjpark@add.re.kr

탄두(彈頭; projectile)¹⁾는 대구경 화기나 발사대에서 발사되어 표적타격에 사용되는 재료 결합체이며, 궁극적인 용도는 선택된 표적을 파괴하는 것이다. 전장의 최후 승패를 결정하고 확인하는 각종 화기의 최종적인 무기효과는 탄두의 폭발 및 타격으로 성취되기 때문에 탄두의 형상과 필요성은 획기적인 변화 없이 군사 목적의 가치를 지켜오고 있다.

현대의 전장은 정보, 통신기술의 발전에 따라 전장의 가시화 및 정보의 공유가 제공되는 정보, 전자전의 양상하에 운영되기 때문에 탄두의 정밀화, 지능화를 위하여 최첨단기술이 적용되고 있다. 따라서 여러 선진국에서는 1980년대 초기부터 다량의 탄두에 의존하는 기존 전투개념에서 탈피하여 필요한 표적만을 선별하여 정밀 타격하는 탄두의 지능화 및 첨단 정밀 타격 기술 분야에 막대한 연구개발 투자를 하고 있다. 특히 미국은 이라크와의 전쟁에서 가격이 비싼 정밀지능화 탄약이 재래식 탄약보다 궁극적으로 경제적인 전투를 수행하는 방법이며, 무기효과

측면에서도 필요한 표적만 선별 타격하기 때문에 더욱 효과적이라는 판단을 하였으며, 재래식 무기체계의 거의 모든 분야에서 탄약의 혁신적인 개량을 추진하고 있다.

이 글에서는 탄두 구성품 중에서 화약, 추진제, 신관 등을 제외한 구조물을 중심으로 현재까지 각종 탄두구조물 개발에 적용하고 있는 전산모사(M&S: Modelling and Simulation)기법을 소개하고, 향후 정밀 지능탄 개발에 적용될 해석 분야에 대하여 소개하고자 한다.

탄두 위력 증대를 위한 CAE

최근의 탄두 발전 동향은 위력 증대는 물론, 사

표 1 대표적인 CAE의 단계별 내용

| | 발사시 (강내 탄도) | 포구이탈시 (천이탄도) | 비행시 (강외탄도) | 종말단계 (무기효과) | 저장단계 | 취급단계 |
|----------|--------------------|-----------------|------------------|-----------------|----------------------|-------------|
| 설계 개념 | 구조물 생존성 강내 안정성 | 정확도 향상 | 사거리 증대 항력 감소 | 파편 생성 관통력증대 | 고/저온 저장환경 둔감설계 | 내충격성 |
| CAE | 추진하중구조해석 흔들림 해석 | 유동장 해석 | 유동장 해석 열전달 해석 | 대변형 해석 관통 해석 | 열변형 해석 내압 해석 | 낙하 충격 해석 |

1) 탄두라 함은 크게 각종 유도탄의 무기효과를 발휘하는 부분의 탄두(warhead)와 대구경 화포에서 추진제에 의하여 발사되는 탄두(projectile)가 있으며, 이 글에서의 탄두는 후자(後者)를 의미한다.

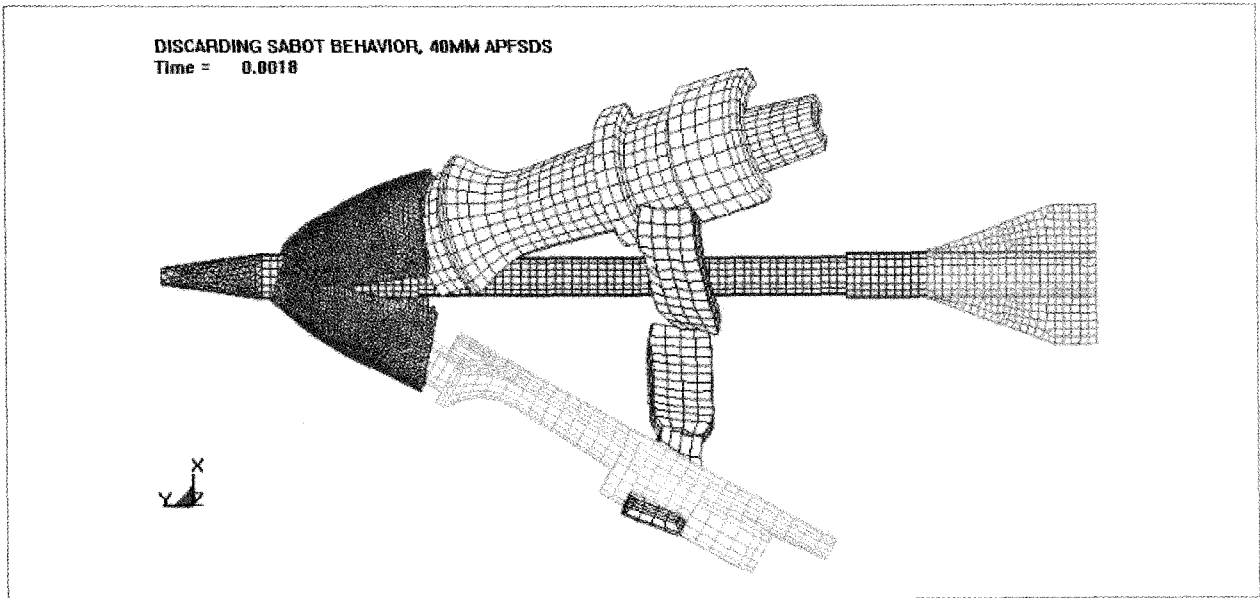


그림 1 회전력에 의한 날개안정철갑탄의 이탈피 분리

거리 증대 및 정확도 향상이다. 이를 위하여 고기능 재료 개발, 감량설계를 포함한 최적설계 및 위력증대 연구가 필수적으로 요구되며, 최근의 전산기와 상용 프로그램의 발전에 힘입어 각종 전산모사를 수행하고 있으며, 대표적인 CAE(Computer Aided Engineering)를 각 단계별로 정리하면 표 1과 같다.

① 발사단계(강내탄도)

탄두 설계의 기본이다. 추진제 연소에 의하여 발생하는 추진압력에 대한 구조해석을 수행하여 생존성을 평가하여야 하며, 위력 증대를 위한 중량 최적화를 수행한다. 특수 탄두의 경우, 50,000g's 이상의 극심한 가속도가 발생되므로 응력상태에 따라 인장/압축 강도를 각각 안전도 기준으로 적용하며, 소성변형을 고려하여 설계하기도 한다. 추진제 점화 후 탄두가 포강(砲腔)을 진행할 때 틈새와 제작공차에 기인한 횡방향 운동이 발생하며, 흔들림(balloting) 해석을 수행하여

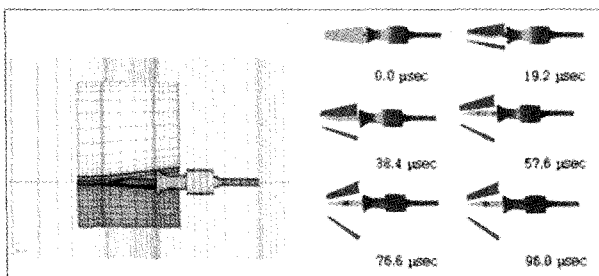


그림 2 중구경탄의 보호캡 이탈현상 해석

안정적인 포구 이탈 자세를 갖도록 형상 최적화를 수행한다. 기존에는 포신과 탄두를 빔(beam)으로 모델링하여 상호거동을 분석하였으나, 최근에는 전산기의 발달로 포신과 탄두를 그대로 모델링하여 외연적 코드(explicit code)를 사용하는 추세이다.

② 포구 이탈 단계(천이탄도)

일반적으로 가장 M&S가 어려운 부분이다. 탄두가 포구를 이탈할 때 속도는 마하 3~6 정도의 초음속으로 급격한 압력 변화와 함께 경계조건이 변화가 발생되며, 이 구간에서의 탄두거동은 정확도에 가장 큰 영향을 미친다. 초음속 유동에 대한 전산유체역학(CFD: Computational Fluid Dynamics)을 수행하여 현상파악은 가능하나, 적극적인 설계개선 연구는 미진하다. 그림 1은 상용코드(LS-DYNA)를 이용하여 회전력에 의한 날개안정철갑탄의 이탈현상 해석의 예이며, 그림 2는 키메라(Chimera) 격자 기법을 사용하여 CFD로써 탄체 부품의 이탈현상을 해석한 예이다.

③ 비행 단계(강외탄도)

탄두 형상설계에 가장 중요한 해석으로서 항력 감소, 사거리 증대, 정확도 향상 등을 도모한다. CFD를 이용하기도 하지만 미국에서 개발한 전용 프로그램(PRODAS: Projectile Design and Analysis

System)을 주로 사용한다. 이 프로그램은 미국에서 개발한 다양한 탄두의 공력자료가 데이터베이스화되어 있어 유사 탄종 개발에 적극적으로 활용되고 있다. 최근에는 포구 속도의 향상에 의한 구조물의 공력가열과 탄두의 장대화(長大化)에 기인한 공탄성 해석이 연구되고 있다.

④ 종말단계(무기효과)

탄두의 위력증대를 위하여 화약 폭발에 의한 구조물 파편 발생 해석, 관통해석 등을 수행하여 위력증대를 도모한다. 해석에는 대부분 수리동역학 코드(Hydrodynamic code)를 이용하는데, 해석의 특성상 고성능의 전산기 또는 병렬해석 기법 등이 적극적으로 활용된다. 이러한 해석은 대부분 초고속 변형을 동반하므로 초고속 변형에 대한 재료 모델링 기법과 재료 상수 결정에 많은 어려움을 포함하고 있다.

⑤ 저장단계

고·저온 특성이 취약한 전자부품이 내재되는 지능탄류를 제외한 모든 탄두는 저온(-43℃)과 고온

(+52℃)에서도 저장 및 작동이 보장되어야 한다. 최근의 탄두위력 증대 설계에 의하여 각종 폴리머(polymer), 복합재료 등과 같은 비금속 재질이 적용되며, 이러한 비금속 재질은 금속재질과 조립 시 열변형 문제를 야기한다. 탄두 구조물에 대한 열변형 해석을 수행하여 고·저온 상태에서도 기능을 발휘할 수 있도록 설계되어야 한다.

⑥ 취급단계

탄두는 취급단계에서 지상 및 해상 하역 시 낙하충격에 대한 보장 설계가 되어야 한다. 포장 또는 비포장 상태에서 낙하 충격에 대한 전산모사를 수행하여 내충격성을 갖도록 설계한다.

지능탄 설계를 위한 M&S

각종 화포용 탄두의 발전방향은 정밀타격으로서 지능화와 장사정화이며, 이는 전자기술의 발전에 의한 다양한 전자부품의 고기능 소형화가 가능해졌기 때문이다. 그림 3은 미국에서 개발 중인 사거리 연장 유도포탄(ERGM: Extended Range Guided Munition) 탄약의 구성을 나타낸 것으로서 탄체 내에 유도조정장치, GPS 센서, 가속도 및 각속도 센서, 송수신 장치, 배터리, 구동모터, 구동장치 등 다양한 부품으로 구성된다. 이러한 각종 전자부품은 포발사 시 포강 내 또는 포구에서 충격하중에 의하여 손상 또는 오작동을 유발하므로 이를 방지하기 위한 내충격 설계가 요구된다.

대구경 지능포탄 탄두 설계에서 각종 전자부품을 적용할 때 고려해야 할 힘들은 다음과 같다.

① 후방 관성력(Set back force-Compression)

추진하중에 의하여 발생되는 20,000g's 이상의 힘으로 크기는 가장 크다. 그러나 탄두 구조물의 고유진동수에 비해 상대적으로 긴 지속시간(3~7msec)으로 작용되므로 정하중으로 가정한다. 전 절의 탄두 구조 건전성 평가에 사용되는 힘이다.

② 흔들림 하중(Balloting force)

강 내에서 탄의 회방향 운동에 의해 발생되는

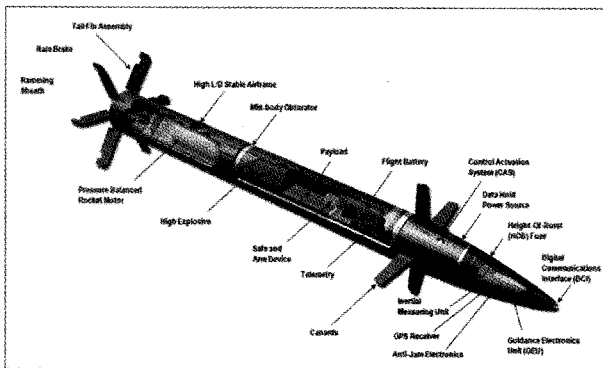


그림 3 미국의 사거리 연장 유도포탄(ERGM)

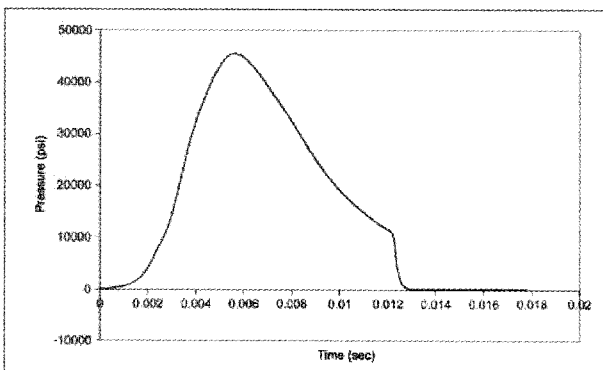


그림 4 시간에 대한 강내 압력 선도

힘으로 다른 하중에 비해 그 크기는 크지 않다. 일반적으로 후방 관성력(set back force)의 10% 정도이다.

③ 각가속도(Angular Acceleration)

포가 강선을 갖고 있을 때 탄에 발생하는 회전력으로, 20,000rpm의 고회전이 부여된다. 각종 구동기구 설계에서 반드시 고려되어야 한다.

④ 전방 관성력(Set forward force-Tension)

포장을 이동하던 탄두가 포구를 빠져나올 때 탄저에 작용하던 압력이 갑자기 대기압으로 강하하면서 발생하는 충격하중으로 그 크기는 일반적으로 후방 관성력(set back force)의 약 20% 정도로 추정되나 탄에 인장파를 유발한다. 하중의 크기가 작아 기존 탄두의 구조 해석에서는 그 영향을 무시하였으나, 압력이 짧은 순간에 강하하므로 충격하중을 유발한다. 그림 4는 155mm 탄두의 강 내 압력분포이며, 그림 5는 탄두 내의 센서장착 위치의 가속도 변화이다.

기존의 탄두는 상기의 ①, ②, ③항의 하중 상태

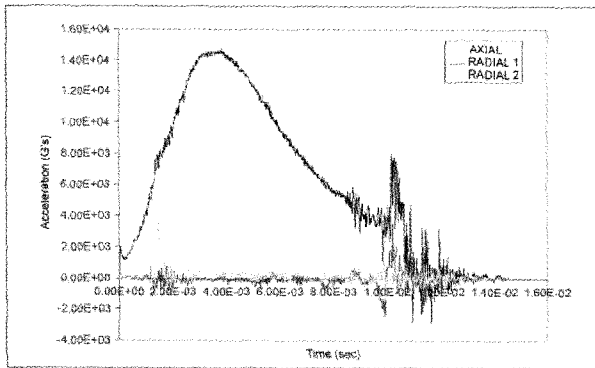


그림 5 탄두 내의 가속도 분포 선도

만을 고려하여 생존성 설계/해석을 수행하였으나, 지능탄두는 ④항을 추가적으로 고려하여야 한다. 또한, 조정날개 등 각종 구동기구가 적용됨에 따라 생존성 확보는 물론 모드해석, 기구해석 등 다양한 해석이 요구된다.

특히 전자부품의 충격하중에 대한 구조해석에서 전자부품 자체의 내충격성도 중요한 요소이지만, 이를 구조물에 부착하는 방법, 회로기판(PCB) 조립체에 대한 몰딩제의 선택 등은 중요한 설계요소이다. 각 특성에 따라 생존성 평가 해석이 수행되고 있지만 접촉조건 설정과 재료 모델링 등 아직 신뢰성을 확보하기에는 부족한 상태이다.

이를 보완하기 위하여 해석과 함께 실험적으로 포발사 탄체를 회수하기 위한 장치가 이용되기도 하는데, 그림 6은 미국 육군연구소(ARDEC)에서 운용 중인 포발사 회수시스템(Soft Recovery System)이다.

맺음말

기존의 탄두 설계에 활용되는 CAE 현황과 향후 지능탄두 설계에 요구되는 CAE를 간단히 요약해 보았다. 아직 기존 무기체계에서도 초음속 유동장 해석, 발사체계와 발사체간의 상호 영향성 평가, 천이탄도 등 M&S 미해결 분야는 산재한다. 야포용 지능탄의 개발은 저탄소 녹색 성장에 발맞추어 지속적으로 요구될 것이며, 성공적인 개발을 위하여 CAE는 필수적이다. 그동안 기초연구, 위탁연구 등을 추진하여 관련 해석 기술을 확보하고자 노력하고 있으나 실용화하기에는 아직 부족한 상태이며, 국내의 학계와 산업계의 많은 연구와 관심이 요구된다.

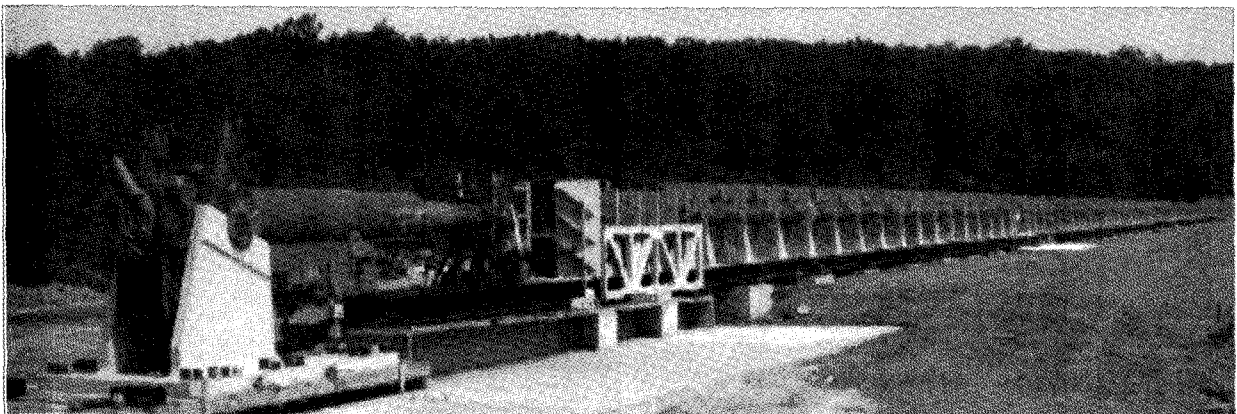


그림 6 포발사 회수 시스템(미국, ARDEC)