

내마모강을 적용한 방폭 장비의 방호성능평가

김동희, 황경섭, 정민철
국방기술품질원 국방종합시험센터
e-mail:hee1420@gmail.com

Evaluation of protection performance of explosion-proof equipment using special wear-resistant steel

Dong-Hee Kim, Gyeong-seop Hwang, Min-Cheol Jeong
Defense Firing Test Center, Defense Agency for Technology and Quality

요약

군사용 장기 저장된 탄약의 수명을 평가하기 위해서는 탄약의 극한온도 노출, 검사, 점화 등을 통한 성능시험 프로세스를 거쳐야 한다. 노화된 탄약의 성능시험은 불완전 요인으로 인한 우발 폭발을 염두 해야 하며 이에 따라 시험시설은 충분한 방호성능을 갖추어야 한다. 시험시설은 별도의 방호설계 기준이 정립되어 있지 않으며, 강재를 활용한 방호 성능 평가에 관한 연구가 요구된다. 군사용 탄약의 경우 폭발물의 특성을 고려하여 시설을 배치하고 설계를 진행해야 하며 최종 방호성능에 대한 검증이 요구된다. 본 연구에서는 저장 탄약의 가속노화시험 중 내마모 강판을 적용한 환경시험장비에서의 내부 폭발 상황을 가정하여 전산수치해석을 통해 방호성능을 평가하였다.

1. 서론

군사용 탄약의 성능평가를 위해서는 ASTP(저장탄약시험절차), ATP(수락시험절차서) 등 관련 규격에 따라 비파괴검사, 저항검사, 환경시험 등을 통해 탄약 내 추진제, 뇌관 등 각종 구성품의 건전성을 판단하고, 성능시험을 수행하여 탄약 상태를 판정한다. 국방기술품질원에서는 저장 탄약에 대한 신뢰성평가를 주관하고 있으며, 각종 성능시험평가 및 분석을 통해 탄약의 폐기, 정비, 유지 등에 대한 등급 판정을 수행하고 있다. 저장탄약신뢰성평가 프로세스에 따라 탄약을 가속노화, 온·습도반복 등 극한 온도(예를 들면, +60~-40℃)에 노출하는 환경시험을 진행해야 한다. 극한온도에 탄약을 노출하거나, 취급 부주의, 연구 장비의 고장 등 각종 불완전 요인으로 인한 탄약의 우발 폭발이 발생할 수 있다. 따라서 탄약의 검사 및 환경시험을 진행하는 장소는 화약류 폭발에 대응하는 적절한 방호성능을 갖추어야 한다. 국방부에서는 탄약 저장소에 대한 엄격한 방호성능을 적용하기 위해 탄약고, 자주포 포상 등의 설계기준을 정립하였다[1]. 하지만, 시험시설 경우는 별도의 방호설계 기준이 정립되어 있지 않으며, 폭발물의 특성을 고려하여 시설물을 설계하고 방호성능에 대한 검증이 요구된다[2]. 본 연구에서는 저장 탄약의 가속노화시험 중 내마모 강판 AR-500 12t를 적용한 환경시험장비 내 탄약이 내부에서 우발 폭발하는 상황을 가정하여 전산수치해석

을 통해 방호성능을 평가하였다.

2. 본론

2.1 수치해석 모델

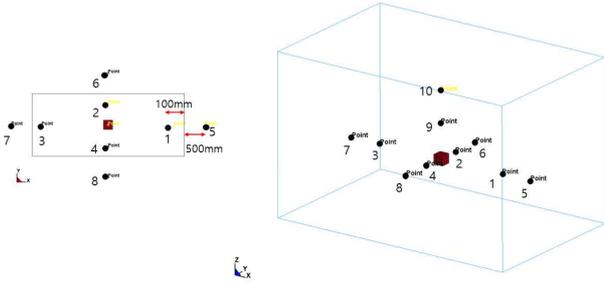
전산수치해석을 위해 ANSYS LS-DYNA 소프트웨어를 사용하였다. 수치해석 모델은 공기 mesh, 폭발물, 환경시험 장비로 구성하였으며, 공기 mesh는 non-reflecting boundary 지정하여 내부 폭발로 인한 폭발이 공기면에 접촉되도록 설정하였다. 이는 UFC 3-340-02에서 분류한 구속 폭발(Confined explosion)의 형태로 구분할 수 있다[3]. 아래 표 1은 해석 모델에 적용한 재료의 물성값이다.

[표 1] 재료 물성 값

구분	재료	입력값
환경 시험장비	AR500 MAT_PLASTIC KINEMATIC	$f_y=1200$ MPa, $f_u=1400$ MPa $E=200,000$ MPa
공기	공기 요소망 MAT_NULL	$\rho=1.23$ kg/m ³
폭발물	TNT MAT_HIGH_EXPLO SIVE BURN	$\rho=1630$ kg/m ³

아래 그림 3은 해석 모델에서 게이지 위치도이며 Point 1,

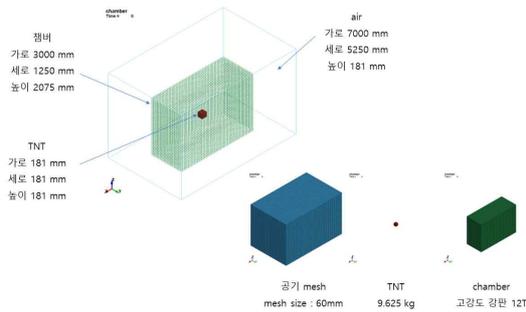
2, 3, 4, 9는 환경챔버 내벽에서 100mm 이격 및 Point 5, 6, 7, 8, 10은 환경챔버 외벽과 500mm 이격된 위치에 적용하였다.



[그림 1] 해석 모델 폭압 계측 게이지 위치도

2.2 폭발 조건 설정

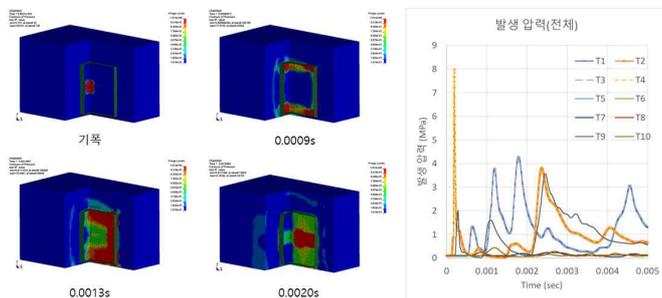
아래 그림 2와 같이 환경챔버는 3,000mm x 1,250mm x 2,075mm 크기로 구조물 내부에 고정되어 있으며, 폭발압력에 1차적으로 충격을 받는다. 따라서 탄약의 극한온도 노출로 인해 환경시험 중 우발 폭발 상황을 가정하여 방호성능을 선형적으로 검토하였다. 폭약량은 환경챔버 내 보관이 가능한 무게를 환산하여 TNT 9.625 kg를 적용하였다.



[그림 2] 폭발조건 및 해석 모델

2.3 수치해석 결과

수치해석 결과 환경챔버 내부 최대 발생압력은 T2, T4구간에서 약7.98 MPa가 발생하였다. 환경챔버와 500 mm 이격된 외부에서의 공기메질 영향은 약 0.54 MPa가 발생하였다. 아래 그림 3 및 표 2, 3은 폭발압력의 시간 이력이다.



[그림 3] 폭발압력의 시간 이력

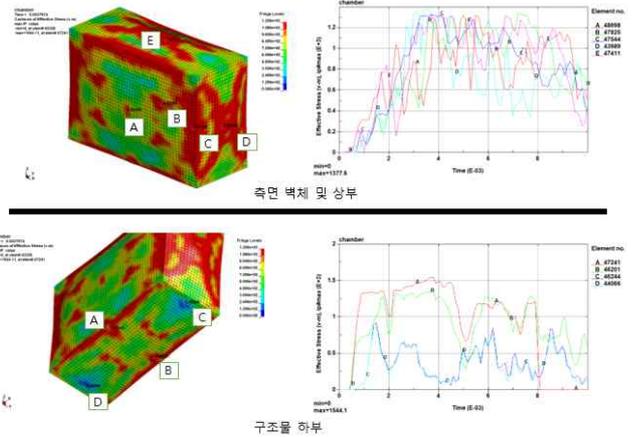
[표 2] 내부에서 측정된 폭발압력

Point	T1	T2	T3	T4	T9
Maximum (MPa)	4.29062	7.98261	4.29062	7.98261	3.57009

[표 3] 외부에서 측정된 폭발압력

Point	T5	T6	T7	T8	T10
Maximum (MPa)	0.544374	0.544374	0.544374	0.544374	0.544374

TNT에 의해 발생하는 폭발압력이 구조물과의 영향성을 검토하기 위해 아래 그림 4와 같이 내마모강 AR500을 적용한 환경챔버 내부에서 폭발이 발생함에 따라 폭발압력과 구조물과의 상호작용에 대한 시간 이력을 나타내었으며 구조물의 변형 및 파손 여부를 확인하고자 하였다. 구조물의 측면 벽체 및 상부는 허용 응력 이내로 발생하고 있으나, 구조물 하부 A 지점은 3.8ms 구간에서 1544.11 MPa가 발생하였다. 강판의 허용 응력 1400 MPa 보다 초과하여 구조물의 변형 및 손상 가능성이 있는 것으로 확인되었다.



[그림 4] 폭압과 구조물 간 상호작용에 대한 시간 이력

내마모강을 적용한 환경챔버는 탄약 폭발에 의한 구조물의 변형, 파손에 의해 근접한 시설, 장비 피해가 우려되며 내부 폭발로 인한 외부 공기 요소에도 약 0.6 MPa의 압력이 전파된다. 따라서 방호성능을 만족하기 위해 시험시설의 재배치 및 재설계가 요구된다. 시험장 여건을 고려하여 이동형 컨테이너 실험실을 구축하여 외부에는 내마모강을 적용하고, 상용 환경챔버를 내부에 배치하는 방안을 수립하였다.

3. 결론

특수내마모강을 적용한 방폭장비의 방호성능평가를 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

AR500 내마모 강판 12t을 적용한 환경챔버실 내 TNT 9.625 kg가 비정상 폭발할 경우 챔버 내부에서 발생하는 폭압은 최대 약 7.98 MPa이며, 외부 공기매질로 전파되는 압력은 약 0.54 MPa가 발생하였다.

내부 폭발에 의한 폭압과 구조물 간의 상호작용 검토 결과 측면 벽체 및 상부는 허용 응력 이내로 발생하고 있으나, 구조물 하부 A지점은 3.8ms 구간에서 1544.11 MPa가 발생하였다. 강판의 허용 응력 1400 MPa 보다 초과하여 구조물의 변형 및 손상 가능성이 있는 것으로 검토되었다.

본 연구결과를 토대로 탄약시험 중 비정상 폭발에 의한 방호성능을 보장하기 위해 탄약시험실 전체를 고강도 강재를 적용하고 구속 폭발에 의한 압력을 적절히 분산시키기 위한 설계변경이 요구되었다. 후속 연구로는 압력 누설구간을 적용한 방호셸터를 구축 및 환경시험장비를 내부에 설치한 경우 전체 구조물에 대한 방호M&S를 수행하여 폭압저감 효과성을 연구할 예정이다.

참고문헌

- [1] 국방부, “방폭 및 방탄 시설 설계기준”, (2017), DMFC 2-20-10
- [2] 국방부, (2015) “방호시뮬레이션 업무지침서”
- [3] U.S. Department of Defense. (2008). “Unified Facilities Criteria Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions”, UFC 3-340-02