

터널형 탄약고의 격실 설계 방법에 대한 연구

Study on Design Method of Tunnel-type Ammunition Storage Chamber

박 상 우¹

백 장 운¹

박 영 준^{2*}

Park, Sangwoo¹

Baek, Jangwoon¹

Park, Young-Jun^{2*}

Assistant professor, Korea Military Academy, Nowon-Gu, Seoul, 01805, Korea ¹

Professor, Korea Military Academy, Nowon-Gu, Seoul, 01805, Korea ²

Abstract

Recently, the demand for underground-type ammunition storage facilities has increased. Comparing with a ground-type ammunition storage facility, the underground-type ammunition storage facility can decrease the standard of safety distance because fragment and blast wave can be locked in the rock formation. However, the absence of a design method on the underground-type ammunition storage chamber became a major setback for the construction promotion. In this study, the process for designing an overall configuration of the underground-type ammunition storage facility was provided. First, the determination method for configuration and number of the chamber was developed by performing the ammunition storage simulation. Then, a tunnel (i.e., transfer channel for vehicles) and designed chambers can be arranged on the basis of safety distance standard. The safety distance standard also should be considered for determining the location and the size of entrances because of the blast wave and fragment effect at the entrances when an explosion is generated inside a chamber. In addition, considerations on the design for the waterproof and the drainage of subsurface water were analyzed through construction cases. Finally, an example of designing underground-type ammunition storage chambers was provided in order to verify the developed design process.

Keywords : underground-type ammunition storage chamber, ammunition and explosion storage facilities, design method of ammunition storage chamber, safety control standard of ammunition and explosion, safety distance

1. 서 론

탄약고는 안전거리 기준에 의거하여 주변 시설과 일정한 간격을 두고 설치되어야 한다[1,2]. 특히, 주거시설과의 안전 거리는 심각한 손상을 방지할 정도로 상당한 거리를 유지해야 하기 때문에 도심지에 위치하고 있는 탄약부대는 광범위한 군사보호구역을 설정하여 운영하고 있다. 또한 탄약부대는 탄약의 신속한 적재와 원활한 보급을 위해 교통적으로

우수한 곳에 위치할 수밖에 없어 해당 지역을 개발하고자 하는 민간단체나 지역 주민들로부터의 민원이 꾸준히 제기되고 있다.

반면, 최근 군에서는 국방개혁 2.0 정책을 통해 지역사회와 상생하는 군사시설을 조성하기 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 군 작전에 지장이 없는 범위 내에서 유희 군사시설을 정리하고, 해강안 경계 철책을 축소하고 있다. 또한 국가정책의 이행에 기여하고, 감축되는 병력으로도 최선의 국방력을 유지하기 위해 4차 산업혁명 핵심기술을 국방 분야에 적용하려는 움직임을 보이고 있다.

이와 같은 상황에서 민의 요구사항과 군의 소요를 동시에 만족시킬 수 있는 기술로 지하형 탄약고 기술이 대두되고 있다. 탄약고를 지하화 함으로써 안전성을 더욱 확보할 수 있고, 그만큼 안전거리를 축소시킬 수 있다. 또한 설비와 각

Received : February 21, 2020

Revision received : June 9, 2020

Accepted : June 10, 2020

* Corresponding author : Park, Young-Jun

[Tel: 82-2-2197-2955, E-mail: yjpark@kma.ac.kr]

©2020 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

중 구조물이 통합되고 경계가 용이해짐에 따라 감축되는 병력으로도 안정적으로 업무를 수행할 수 있다. 무엇보다도 지하형 탄약고 구축에 대한 사업이 일부 지역들을 토대로 이미 구체화되고 있다는 것이 중요하다.

문제는 현재 지하형 탄약고에 대한 설계 기준이 마련되어 있지 않다는 점이다. 군사시설이 설치되기 위해서는 설계 기준을 근거로 시공 가능성을 판단하여 사업이 추진되고, 이에 따라 기본 및 실시 설계가 이루어져야 한다. 하지만 현재 설계 기준뿐만 아니라 이를 마련하기 위한 설치 및 설계 지침조차 부재한 상태이다. 물론 지하형 탄약고의 격실 등 요소 지하 구조물이나 탄약 적재차량의 이동 통로인 터널 자체를 설계하는 기준은 민간에서 많이 연구되고 발전되어 있으나, 전체적인 형태와 격실을 어떻게 구성하고 배치해야 하는지에 대한 기준이 전무하다. 특히, 가장 기본적인 단계이자 시공비와 직접적으로 관계된 격실의 크기와 개수를 도출하는 방법조차 연구된 바가 없기 때문에 동일한 부지에 대해 동일한 저장소요를 가지고 지하형 탄약고의 격실 개수를 결정하고자 할 때에도 다양한 결론이 제시되고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 지하형 탄약고의 설계 방법 특히, 전체적인 형태와 격실의 크기 및 배치를 결정하는 방법을 표준화하는 작업을 수행하였다. 먼저 지하형 탄약고에 대한 기존 시공사례와 연구사례를 분석하고, 보완 사항들을 도출하였다. 그 결과를 토대로 격실의 설계에서부터 배치, 출입구 설계 및 각종 방호 구조물 적용 방안까지 설계 방법을 정리하였으며, 한 가지 사례를 예로 들어 설계 방법을 실제 적용해 보았다. 본 연구를 통해 개발된 설계 방법을 이용하여 향후 지하형 탄약고에 대한 사업 수행 시 신뢰성 있고 통일된 설계 안을 도출할 수 있도록 하였다.

2. 문헌조사 결과

2.1 시공사례 분석

국외에서도 지하형 탄약고가 시공된 사례는 많지 않다. 과거에 일부 지어진 지하형 탄약고가 존재하나 1990년도 이후대규모로 시공된 사례는 2007년 시공된 싱가포르 지하 탄약저장시설이 유일하다. 폭 약 25m, 길이 약 100m의 대규모 격실을 보유하고 있으며, 파편함정, 팽창격실, 출구방벽 등 안전거리와 관련된 구조물이 적용되었다. 또한 이를 시공하기 위해 다양한 지하 폭발 시험도 수행되었으며, 이는 NATO 안전거리 기준의 근거를 마련하기도 하였다. 자동화

및 운용 시스템을 적용하여 약 20%의 인력을 절감하였으며, 공사비용은 약 15% 증가하였으나 동일한 용량의 지상형 탄약고를 구축하였을 때와 비교하여 약 4km²의 지상 면적을 절감할 수 있었다고 분석되었다. 이는 부지 구입 비용 중 약 90%가 절약된 효과이다[3].

국내에서 특히 육군에서 운용 중인 지하형 탄약고는 2가지 사례가 있다. 첫 번째는 지하형 탄약고에 대한 한미공동연구가 진행되었을 당시 연구 목적으로 지어진 지하형 탄약고이다. 폭 약 15m, 길이 약 35m의 격실을 보유하고 있으며, 이 제원은 지상형 탄약고 표준 격실에 대한 탄약 저장량을 토대로 결정하였다. 이 시공 사례를 통해 지하형 탄약고의 항온성, 차광성, 방화성, 방폭성, 방진성, 내후성, 보안성, 운영성 측면에서의 우수한 성능이 평가되었다. 두 번째 사례는 2015년 경기도 ○○탄약부대에 시공된 지하형 탄약고이다. 폭 약 15m, 길이 약 60m의 격실을 보유하고 있으며, 군 최초로 기부 대 양여 사업으로 시공된 지하형 탄약고이다. 경계 및 관리 인원이 감축되었고, 탄약 수불능에도 지상형 대비 많이 개선되었다는 평가를 받았다. 다만, 전체 시설이 쏫크리트로 마감되어 방수천막을 설치하여 탄약이 관리되고 있기 때문에 방수 및 배수와 환기 측면에서 운용상 문제점이 식별되었고, 이에 대한 중요성이 이슈화된 시공사례가 되었다.

2.2 연구사례 분석

전 세계적으로 지하형 탄약고에 대한 연구는 안전거리 기준에 초점이 맞춰져서 수행되었다. 앞서 언급한 바와 같이 한미공동연구로서 수행된 지하 탄약 저장기법 연구는 현재 군에서 사용하는 안전거리 기준의 근거를 마련하고자 수행되었으며, 파편함정, 팽창격실, 출구방벽 등 안전거리를 감소시키기 위한 다양한 방호 구조물을 개발하는 것이 목적이었다[2]. 그 후 2015년 ○○탄약부대에 지하형 탄약고를 구축하기 위하여 설계 및 설치 기준을 정립할 필요가 발생하였고, 이에 대한 연구가 진행된 바 있다[4]. 이 연구를 통해 격실의 최적 형상이 제시되었고, 토목 기술적 측면에서 설치 지침 안이 개발되었다. 하지만 구조물의 전체 형태 및 배치 설계에 대한 내용이 부재하였고 결국 설계 기준으로 발전되지는 못했다.

최근에는 경기도 △△탄약부대에 지하형 탄약고를 구축하기 위한 사업 추진이 구체화됨에 따라 사업비 산정 및 시공 가능성 판단을 위해 요구되는 격실의 개수와 배치도를 산정

하고자 하는 연구들이 수행되었다. 탄약고 지하화 요청 관련 기준 검토 연구(2019)에서는 단순화된 설계 방법을 이용하여 격실의 개수를 판단하였다[5]. 단순화된 설계 방법이란, 총 중량을 격실의 표준 형태에 급수대로 산술 계산하는 방법이다. 그러나 탄약마다 중량 대비 차지하는 부피가 모두 다르므로 이 방법을 사용할 경우 실제 필요한 격실 개수와 비교하여 많은 오차를 발생시킬 수밖에 없다. 또 다른 연구로는 △△탄약대대 지하형 탄약고운영요소 검토결과 연구(2016)가 있다[6]. 이 연구에서는 지상형 탄약고 표준 격실당 저장 가능한 탄약의 부피를 기준으로 격실 개수를 산정하였다. 하지만 이 방법도 지하형 탄약고 격실 설계에 그대로 적용될 수 없다. 먼저 지하형 탄약고의 격실 크기는 지반의 암반 종류, 부지의 면적, 시공비, 시공 장비의 진입여부 등에 따라 시공 가능여부가 결정되기 때문에 지하형 탄약고의 표준 격실을 미리 결정할 수 없다. 또한, Figure 1과 같이 지상형과 지하형 탄약고에서 탄약을 저장하는 형태가 다르므로 두 번째 연구에서 사용한 방법은 신뢰성이 높지 않다고 할 수 있다.

이와 같이 현재까지는 대규모 지하형 탄약고에 대한 사업이 전무하여 지하형 탄약고의 구조형태 설계 방법 개발에 대한 수요가 전무했으며, 지상형 탄약고에 대한 방법을 그대로 차용하거나 간략한 산술적인 설계방법만 사용하고 있다. 지하형 탄약고의 구조형태는 시공 가능성을 판단하여 관련 부처에서 사업추진 여부를 결정하기 위한 근거자료가 되므로 전체 형태나 격실을 설계하는 방법을 체계화시키는 것이 지하형 탄약고 사업 활성화를 위해 매우 중요하다 할 수 있다.

3. 지하형 탄약고 설계방안 개발

3.1 탄약 저장 시뮬레이션 방법 결정

격실의 개수를 결정하는 가장 정확한 방법은 탄약을 실제 저장해보는 것이다. 다만, 군에서 규정하는 탄약을 저장하는 기준들을 준수해야 하며, 여러 가지 변수가 존재하기 때문에 몇 가지 상항을 가정할 필요가 있다. 먼저 탄약을 저장하는 중요 기준들을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 탄약은 받침대 위에 여러 개의 탄약을 고정시키고, 다시 그 받침대를 쌓는 방식으로 저장한다.

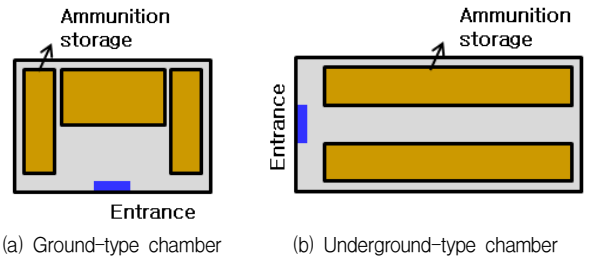


Figure 1. Schematic of ammunition storage method

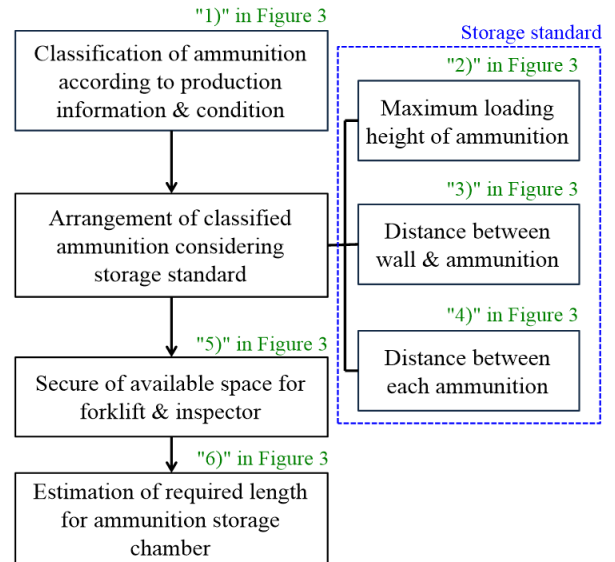


Figure 2. Process of ammunition storage simulation

- 2) 탄종, 생산 정보, 상태에 따라 구분하여 퇴적을 구성한 후, 퇴적별로 저장한다.
- 3) 탄약 저장 시 지게차의 운용과 검사를 위한 관리인원의 이동공간을 충분히 확보해야 한다.
- 4) 개인화기 등 부피가 작은 탄종은 상자(box) 단위로 저장이 가능하다.

이 때, 탄약의 생산 정보와 상태는 시간에 따라 지속적으로 바뀌는 변수이다. 또한, 각 생산 정보와 상태에 해당하는 탄약의 부피도 탄약 수불에 따라 매번 변하게 된다. 이에 미래의 상황을 모두 예측하여 격실을 설계할 수 없으므로, 현재의 생산 정보와 상태만을 고려하고, 각 생산 정보와 상태에 해당하는 탄약의 부피는 모두 균등하게 배분하였다. 마지막으로 상자 단위로 저장이 가능한 탄종은 받침대 위에 상자를 쌓는 방식으로 저장하되, 안정성을 고려하여 하나의 받침대 위에 최대 8개의 상자까지만 올려놓을 수 있도록 가정하였다. 이러한 탄약 저장 기준과 가정사항을 적용하여 탄약 저장 시뮬레이션을 수행하는 방법을 Figure 2에 제시하였다.

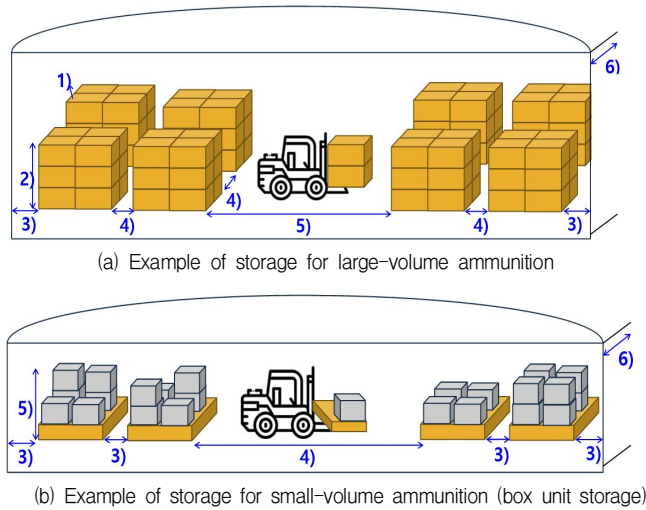


Figure 3. Example of ammunition storage simulation

여기서 최대 적재가능 높이와, 탄약과 벽면 그리고 탄약과 탄약 사이의 여유 공간은 지게차 성능과 관리인원의 이동 경로에 따라 치침이 제시되어 있다. 추가적으로 탄약 저장 시뮬레이션을 수행할 경우 나타날 수 있는 저장 예시를 상자 단위 저장 가능여부에 따라 구분하여 Figure 3에 도식하였다.

3.2 격실 형상 설계

지하형 탄약고의 격실설계에서 가장 먼저 수행해야 하는 것은 격실 단면의 크기를 결정하는 것이다. 현재 군에서는 지상형 탄약고에 대해서 표준 격실 크기를 결정하여 이를 준수하도록 권고하고 있다. 반면에 지하형 탄약고는 앞서 언급한 바와 같이 여러 제한사항으로 인해 격실의 크기가 부지마다 달라져야 한다. 따라서 지상형 탄약고와 같이 지하형 탄약고에 대한 표준 격실 크기를 미리 결정하게 되면, 지하형 탄약고를 시공할 수 있는 곳이 매우 적어지게 될 것이다. 따라서 지하형 탄약고 격실의 크기는 부지 환경(지반의 암반 종류, 부지의 면적 등)과 시공 환경(시공비, 시공 장비의 진입여부 등)에 따라 결정되어야 한다. 이에 본 논문에서는 설계 시 참고할 수 있도록 격실 크기에 대한 연구결과와 권고 사항만을 소개하고자 한다.

먼저 국내 탄약 및 폭발물 안전관리기준 지시(2019)에 따르면 적재공간과 탄약 수불장비의 운용공간을 수용하기 위해 최소 10m 이상의 폭을 유지하도록 하였으며, 최대 폭은 무지보 폭에 의해 제한하도록 하였다[1]. 따라서 매우 강한 암반에서도 폭 30m 이상으로 격실을 구성하는 것은 제한된

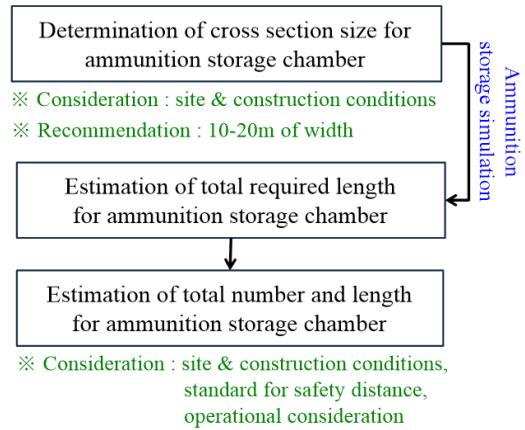


Figure 4. Process of ammunition storage chamber design

다. NATO (2010) 안전거리 기준에서는 100~200m의 길이와 5,000~15,000m³의 체적을 가지는 것이 가장 경제적인 설계라고 권고하고 있다[7]. 이 경우, 격실의 단면 형상을 간단하게 반원이라 가정하면 격실의 폭은 대략 8~20m 정도로 계산된다. 마지막으로 지하형 탄약고에 대한 가장 최근 연구인 지하형 탄약고 건립방안 연구(2013)와 터널형 탄약고 최적화 방안 연구결과에서는 최대 저장가능 중량과 지보량, 굴착방법 등에 따른 시공비 측면을 고려하여 15m를 가장 적절한 격실의 폭으로 제시하였다[4,6].

격실의 단면을 결정한 후, 단면의 크기에 맞게 탄약 저장 시뮬레이션을 수행하면 격실의 필요한 총 길이가 결정된다. 따라서 총 길이를 적절한 길이를 나누게 되면 격실 당 길이와 격실 개수가 도출될 수 있다. 여기서 격실 당 길이를 결정하기 위해서는 격실 크기 결정 시 고려했던 부지 환경과 시공 환경뿐만 아니라 안전거리 기준에 따른 최대 저장 가능 순폭약량도 고려해야 한다. 또한 너무 많은 수의 격실을 설치할 경우 증가하게 될 탄약 수불에 대한 소요시간과 전시의 동시 차량 출입에 대한 작전성 측면에서의 검토도 병행되어야 할 것이다. 전체적인 격실 설계 방법을 Figure 4에 정리하였다.

3.3 터널 형상 설계

격실을 배치하기 위해서는 먼저 탄약 수불차량이 이동하는 주 통로 즉, 터널의 형상을 먼저 결정해야 한다. 먼저 터널의 단면 크기를 결정하기 위해서는 부지환경과 시공환경도 중요하지만 전시에 차량을 최대 몇 대까지 수용해야 하는지를 파악하여 교통영향평가를 실시해야 하며, 적재 시 차량량의 주차공간 및 회차 공간을 충분히 확보해야 한다. 이를

기준으로 차선의 수를, 그리고 최대 적재 높이를 기준으로 터널 높이를 결정할 수 있다. 터널의 단면 크기를 기준으로 격실을 적절하게 배치하면 되며, 격실의 개수에 따라서 총 길이를 판단하면 된다. 단, 격실을 배치할 때 가장 중요하게 고려되어야 하는 것이 바로 안전거리 기준이다.

3.4 안전거리 기준에 의거한 격실 배치도 설계

안전거리란 폭발이 발생하였을 때 동반하는 폭풍압력, 파편 및 부스러기, 열 등으로부터 주변의 인명과 재산을 보호하기 위한 최소한의 이격거리를 의미한다. 보호해야 할 대상(위험노출대상)에 따라 주거시설거리(IBC; Inhabited Building Distance), 공로거리(PTRD; Public Traffic Route Distance), 내부격리거리(ILD; Intraline Distance), 그리고 탄약고간거리(IMD; Inter-magazine Distance)로 구분되며, 각 대상에 따라 허용되는 피해 정도가 다르므로 안전거리 또한 모두 다르게 계산된다[1,2].

지하형 탄약고는 일반적인 지상형 탄약고와는 다르게 지하 암반이 폭풍압과 파편을 지하로 가두는 특징을 가지고 있다. 따라서 지상형 탄약고와 비교하여 안전거리를 상당부분 감소시킬 수 있다. 다만, 격실 상부두께(즉, 저장격실로부터 지표면까지 거리)조건이 만족되지 않을 경우 격실 상부의 지반이 파괴되어 폭풍압과 파편이 주변으로 전파될 수 있기 때문에 격실 상부두께가 만족될 경우에만 감소된 안전거리 기준을 적용할 수 있다. 또한 격실이 폭발할 때 발생한 폭풍압과 파편이 주 통로(터널)를 따라 이동하여 출구로 빠져나갈 수 있으므로 이에 대한 안전거리도 별도로 고려되어야 한다. 안전거리 기준에 대한 설명을 Figure 5와 Table 1에 정리하였다.

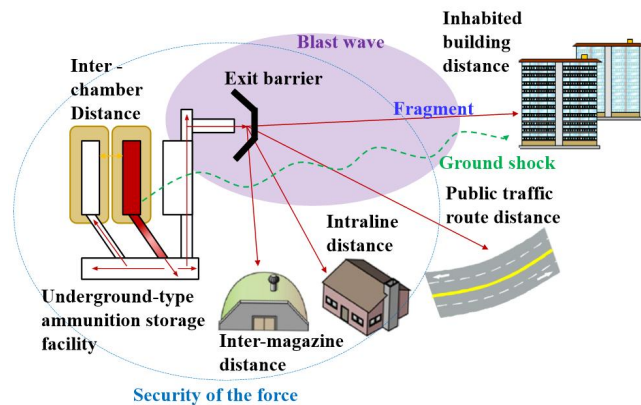


Figure 5. Schematic of safety distance standard for underground-type ammunition storage facility

Table 1. Safety distance standard for underground-type ammunition storage facility

Effect	IBD	PTRD	ILD	IMD	ICD
Ground shock (damage prevention)	○ (severe damage)	60% of IBD for whole effect	×	×	○ (spall)
Fragment	549 m (10°)		549 m (10°)		×
Blast wave (allowable pressure)	○ (6.2-8.3 kPa)		○ (24.1-82.7 kPa)	○ (55.2-186.2 kPa)	×

격실의 폭발에 의해 발생하는 지반충격은 인접한 격실에 영향을 주어 연쇄폭발을 발생시킬 수 있으며, 주변 지상시설에 대해서도 구조물에 손상을 발생시킬 수도 있다. 이에 지반충격에 대해서는 인접한 격실에서 배면파쇄가 발생하여 저장된 탄약에 충격을 주어 연쇄폭발을 발생하지 않을 정도의 간격을 유지하도록 하였으며, 지상 시설에 대해서도 심각한 손상을 방지할 정도의 안전거리가 존재한다.

반면 파편과 폭풍압에 대해서는 격실 간의 거리와 격실에서 인접 시설까지의 간격을 결정하는 요소는 아니다. 앞서 언급한 바와 같이 격실 상부의 지반두께(즉, 상부 임계두께 기준)가 충분하다면 파편과 폭풍압은 지하 암반으로 가둘 수 있으며, 인접 격실은 방폭문을 설치함으로써 피해를 방지할 수 있기 때문이다. 따라서 파편과 폭풍압 효과는 방폭문을 설계하는데 활용되는 요소가 된다. 다만, 폭풍압과 파편이 주 통로(터널)를 따라 이동하여 출구로 빠져나갈 수 있기 때문에, 출입구에서 주변시설까지의 이격거리가 안전거리 기준으로 규정되어 있다. 따라서 안전거리 기준에 의거하여 격실을 배치하는 방법을 Figure 6에 정리하였다.

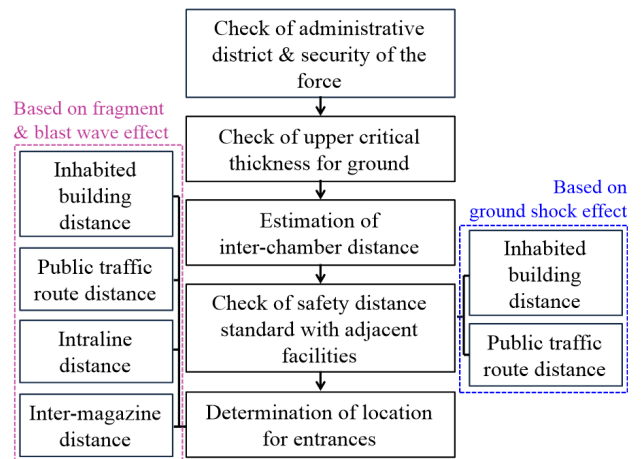


Figure 6. Process of ammunition storage chamber arrangement

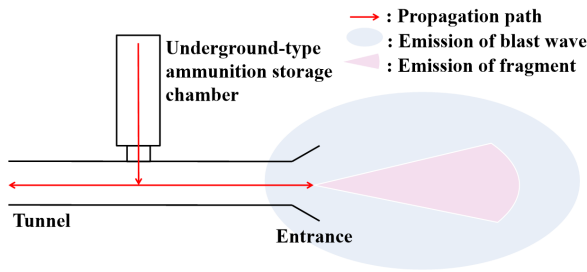


Figure 7. Propagation of blast wave and fragment in entrance

3.5 출입구 설계

안전거리를 고려하여 격실과 터널의 배치를 완료하였으면, 출입구의 위치와 크기를 결정해야 한다. 출입구를 설계할 때 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

- 1) 전·평시 차량의 동시 통행량을 기준으로 교통영향평가를 실시한다.
- 2) 전시 출입구 붕괴에 대비하여 예비 및 대피경로를 확보하고, 복구 작업 등 작전성 검토를 실시한다.
- 3) 격실의 우발적 폭발에 의해 출입구에서 발생하는 폭풍압과 파편에 의한 안전거리 기준을 만족해야 한다.

이중에서 출입구 설계와 관련하여 가장 중요한 요소는 바로 안전거리 기준이다. 시설의 손상과 인명피해 여부를 결정하는 기준이며, 무엇보다도 상당히 긴 안전거리를 요구하여 부대의 크기를 결정짓는 결정적인 요소가 되기 때문이다. 이 안전거리의 길이를 결정짓는 요소로는 출입구의 면적, 둘레 길이, 격실 내 동시 폭발이 예상되는 탄약의 순폭약량, 폭풍압 및 파편의 이동부피(Figure 7) 등이 있다.

또한 출입구에서의 안전거리가 상당히 크게 나오기 때문에, 이를 감소시킬 수 있는 여러 구조물들이 개발이 되기도 하였다. 대표적으로 출구방벽, 파편함정, 고압폐쇄장치 등이 있다. 출구방벽은 출입구 앞에 큰 방벽을 세워 나오는 폭풍압과 파편을 막아주는 역할을 하며, 파편함정은 격실 맞은편에 설치되어 나오는 파편을 가두는 역할을 한다. 마지막으로 고압폐쇄장치는 격실에서부터 강한 압력이 발생하면 이동경로를 중간에 막도록 하여 압력의 전파를 방어하는 구조물이다.

출입구에서부터의 안전거리에 따라서 출입구의 위치 및 크기가 결정되어야 하며, 그 후 해당 지하형 탄약고를 관리하는 부대시설을 적절하게 배치하여야 한다.

3.6 공조시설 설계

앞서 언급한 바와 같이 현재 운용 중인 국내 지하형 탄약

고는 방·배수에 대한 구조적 시스템을 제대로 갖추지 않았다. 슛크리트만으로 터널 및 격실 벽면을 마감하였으며, 탄약에 대한 지하수의 직접적인 접촉을 방지하기 위해 방수천막을 설치하였다. 따라서 지하수가 방수천막을 따라 흘러내리고 있고, 안개와 높은 습도로 인해 운용상 문제점이 많이 식별되고 있다. 탄약고의 목적은 단순히 탄약을 저장하는 것이 아니라 장기적 측면에서도 기능이 발휘할 수 있도록 성능을 유지시켜주는 것이 목적이 되어야 한다. 탄약의 성능을 유지하기 위해서는 일정한 온도와 습도를 지속적으로 유지시켜주어야 하며, 시설의 관리 및 탄약 점검을 위해서는 차량의 이동에 따라 발생하는 매연과 유해가스를 배출할 수 있는 환기 시스템도 마련해야 한다. 이러한 환기 시스템은 우발적인 폭발에 의해 증가된 내부 압력과 가스를 신속하게 배출하는 역할도 하게 된다. 따라서 다음의 사항들을 고려하여 공조설비의 설계가 이루어져야 할 것이다.

- 1) 터널 라이닝을 필수적으로 설치하고, 슛크리트와 라이닝 사이에 부직포 및 배수재를 설치함으로써 지하수를 유도 배수 시킨다.
- 2) 모든 격실마다 온도 및 습도를 유지할 수 있는 제습난방 시스템과 폭발에 의한 가스나 매연을 배출할 수 있는 환기 시스템을 설치한다.
- 3) 터널에는 폭발에 의한 가스나 매연을 배출할 수 있는 환기 시스템을 설치한다.
- 4) 비상 시 최소한의 환기가 가능하도록 발전기 등을 설치하여 예비 전력을 확보할 수 있게 한다.

이외에도 수직구를 설치하거나 지열 냉난방 시스템 등 신재생에너지를 활용한 공조설비도 적용될 수 있을 것이다.

4. 지하형 탄약고 설계 예시

4.1 예시 개요

본 연구에서는 개발된 설계방법을 통해 지하형 탄약고 설계의 예시를 제공하고자 하였다. 저장해야 할 탄약의 정보는 Table 2와 같고, 상부 임계두께 45m를 만족하는 부지가 충분하게 존재한다고 가정하였다.

Table 2에서 A-type과 B-type은 부피가 큰 탄약으로 받침대에 탄약을 여러 발 올리는 방식으로 저장되는 것이고(Figure 3 (a)), C-type은 부피가 작은 탄약으로 상자 하나에 10,000발이 저장될 수 있고 총 8 상자까지 받침대에 쌓아놓는 방식으로 저장되는 것을 의미한다(Figure 3 (b)).

Table 2. Summary of ammunition information for design

Information	A-type	B-type	C-type
① Total number of ammunition	250,000	32,000	1,500,000
② Number of ammunition per unit support	100	6	80,000
③ Net explosives weight per ammunition	0.5 kg	2.5 kg	0.05 kg
④ Box unit storage	×	×	○
⑤ Number of production information	5	8	8
⑥ Number of ammunition condition	2	6	12

* Volume of one support after full storage = 1.8 m × 2.8 m × 0.8 m

4.2 격실 설계

가장 먼저 격실의 단면 크기를 결정한다. 이를 위해 부지 환경과 시공 환경이 고려되어야 하지만, 본 예제에서는 권고사항에 따라 폭 15m, 높이 7.5m로 격실의 단면 크기를 결정하였다. 이 후, 탄약을 저장하는데 필요한 총 받침대의 수와 생산 정보 및 상태의 수를 고려하여 구분해야 할 퇴적 개수를 계산하고, 각 퇴적 당 동일한 부피(개수)의 받침대가 배분될 수 있도록 구분해야 한다. 계산 결과는 Table 3과 같다.

Table 3. Assumptions for ammunition storage simulation

Information	Equation	A-type	B-type	C-type
⑦ Total number of support	① / ② in Table 1	2,500	5,334	19
⑧ Number of classification	⑤ × ⑥ in Table 1	10	48	96
⑨ Number of support per one classification	⑦ / ⑧ in Table 2	250	112	1

그 후, 구분된 퇴적에 따라 저장 시뮬레이션을 하되, 퇴적과 퇴적 사이, 퇴적과 벽면 사이, 그리고 지게차 운동을 위한 여유공간을 확보하면서 수행한다. 또한 최대 쌓을 수 있는 받침대의 높이는 지게차의 최대 적재 가능 높이를 고려하여 결정한다. 본 예제에서는 퇴적과 퇴적 사이, 그리고 퇴적과 벽면 사이는 1m의 공간을 두고, 지게차 회전반경 3.5m를 고려하여 여유공간을 확보하였다. 마지막으로 지게차의 최대 적재 가능 높이를 3.5m로 가정하여 받침대를 최대 5단까지 쌓을 수 있도록 하였다. 이 경우 격실 단면상에 총 4개의 받침대가 저장될 수 있으며, 이를 기준으로 요구되는 격실의 총 길이가 Table 4와 같이 계산될 수 있다. 본 예제에서는 시공 가능한 부지의 면적은 충분하다고 가정하였으므로 부지환경이나 시공환경, 그리고 작전성에 대한 검토는 생략하고, 안전거리에 따라 격실 설계를 마무리하였다. 상부 임계두께가 45m이므로 안전거리에 의거하여 하나의

격실 당 최대 저장할 수 있는 순폭약량은 약 88,500kg로 계산되며, 이를 근거로 Table 5와 같이 격실의 개수와 각 격실의 형상을 도출해낼 수 있다.

Table 4. Calculation of required length of chamber

Ammunition	Total net explosives weight	Total length of chamber	Required length of chamber
A-type	125,000 kg	49.4 m	55 m
B-type	80,000 kg	22.8 m	25 m
C-type	75,000 kg	90.2 m	100 m

Table 5. Design result for underground-type ammunition storage chamber

Ammunition	Number of chamber	Length per one chamber	Net explosives weight per one chamber
A-type	2	28 m	62,500 kg
B-type	1	25 m	80,000 kg
C-type	4	25 m	18,750 kg

4.3 격실 배치

다음 단계는 터널의 형상을 결정하는 것으로 교통영향평가와 작전성 측면에서의 검토가 필요하나, 본 예제에서는 2차선 도로 폭과 적재공간 및 회차공간을 고려하여 폭 15m, 높이 7.5m로 간단하게 설계하였다. 터널의 형상을 결정했으면, 그에 따라 격실을 배치하면 된다. 이 경우 안전거리 기준을 준수해야 하며, 격실 간 간격과 지반 충격에 의한 안전거리를 산정하면 Table 6과 같다. 계산된 안전거리 기준에 의거한 격실 배치도를 Figure 8에 대략적으로 나타냈다.

Table 6. Safety distance on ground shock effect

Ammunition	ICD	IBD	PTRD	ILD	IMD
A-type	39.36 m	91.30 m	54.79 m	-	-
B-type	42.73 m	99.14 m	59.48 m	-	-
C-type	26.35 m	61.13 m	36.68 m	-	-

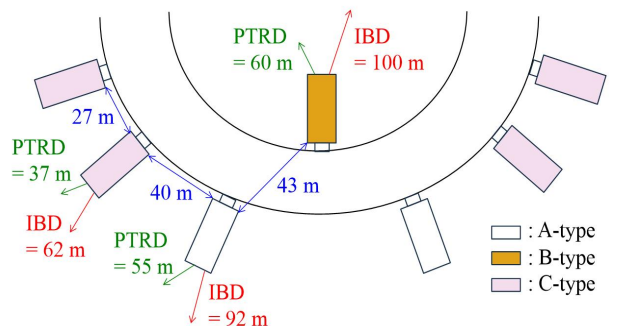


Figure 8. Result of ammunition storage chamber arrangement

4.4 출입구 설계

격실의 배치를 완료한 수에는 출입구의 위치와 크기를 결정해야 한다. 출입구의 크기는 일반적으로 터널의 단면 크기와 동일하게 설계하는 것이 시공적으로 그리고 경제적으로 유리하다. 하지만 지하형 탄약고의 설계에서는 군 작전성과 출입구에서의 안전거리를 동시에 고려해야 한다. 본 예제에서는 군 작전측면에 대해서는 고려를 하지 않고 있으므로, 안전거리 기준에 의거하여 출입구 설계를 진행하였다. 출입구에서부터 첫 번째 격실이 나올 때까지의 거리를 50m로 가정하면 Table 7과 같이 안전거리가 계산된다.

Table 7. Safety distance on fragment and blast wave in entrance

Ammunition	Distance to entrance	IBD	PTRD	ILD	IMD
A-type	135 m	810 m	486 m	307 m	170 m
B-type	185 m	790 m	474 m	300 m	166 m
C-type	50 m	750 m	450 m	285 m	158 m

예제에서 격실 당 순폭약량은 B-type 탄약을 저장한 격실이 가장 많지만 최대 안전거리는 A-type 탄약을 저장한 격실에 의해 결정되고 있다. 즉, 격실 당 최대 순폭약량뿐만 아니라 출입구에서부터 격실까지의 거리에 따라 최대 안전거리를 좌우하는 격실이 달라질 수 있으며, 따라서 지하형 탄약고의 출입구를 설계할 경우에는 모든 격실에 대해서 출입구에 대한 안전거리를 계산해야 할 것이다. 본 예제에서는 출입구에서부터 부대시설까지의 거리는 최소 307m의 이격거리를, 병영시설이나 민간시설 등 주거시설까지의 거리는 최소 810m의 이격거리를 유지해야 한다는 결론이다.

5. 결 론

본 연구에서는 지하형 탄약고의 전체적인 구조 형태와 격실의 형상 및 배치를 설계하는 방법을 개발하고, 이를 이용하여 설계 예시를 수행하였다.

먼저 탄약을 저장하는 여러 기준들을 정리하여 탄약 저장 시뮬레이션 방법을 제시하고, 이를 이용하여 격실을 정확하게 설계하는 방안을 개발하였다. 격실의 단면을 결정하고, 탄약 저장 시뮬레이션을 수행하여 탄약을 저장할 경우 요구되는 격실의 총 길이를 결정하도록 하였다. 여기서 부

지 및 시공환경과 상부 임계두께 기준에 의거하여 격실 당 길이와 총 개수를 결정할 수 있다. 그 후에 여러 안전거리 기준을 토대로 시공 가능한 부지를 선택하여 격실을 적절하게 배치한다. 격실 배치 후에는 출입구의 위치와 크기를 군 작전 측면과 출입구에서의 안전거리 기준에 근거하여 결정하게 된다.

설계 예시는 군 작전 측면을 배제하고 안전거리 기준에만 의거하여 설계를 진행하도록 구성하였다. 격실 설계에서부터 격실배치, 그리고 출입구 설계까지 단계별로 따라할 수 있도록하였으며, 이를 통하여 전문가가 아닌 인원들도 지하형 탄약고에 대한 안전검토나 개념 설계를 수행할 수 있을 것으로 기대한다.

요 약

최근 지하형 탄약고에 대한 수요가 발생하고 사업이 구체화되고 있는 상황에서 지하형 탄약고에 대한 설계 방법의 부재가 상당한 걸림돌이 되고 있다. 본 연구에서 분석한 바와 같이 군 작전적 측면과 안전거리 기준 등의 안전 문제로 인해 민간에서 사용하는 일반적인 터널 설계 기준이나 지하형 탄약고에 대한 기존 연구결과들을 통해서는 제대로 된 지하형 탄약고를 구축할 수 없다. 따라서 실무자들이 지속적으로 순환되는 우리나라 군 및 관 특성상 표준화된 설계방법이 존재하지 않을 경우 지하형 탄약고의 설치에 상당히 지연될 수 밖에 없을 것이다. 이에 본 연구에서는 격실 설계, 격실 배치, 터널 및 출입구 설계, 공조설비 설계 방법에 대해 고려해야 할 사항들을 분석하고 전체적인 설계 프로세스를 정립하였다. 이를 토대로 설계 예시를 제공하였으며, 관련 전문가가 아니더라도 단계별로 설계를 따라할 수 있도록 하였다. 지하형 탄약고는 세계적으로 시공사례가 많지 않다. 하지만 민·군 상생에 대한 국가 정책과 시장 추세를 비추어볼 때 지하형 탄약고에 대한 수요는 지속적으로 증가할 것으로 전망된다. 따라서 본 연구를 시작으로 지하형 탄약고에 대한 연구가 활성화되어 향후 대한민국이 기술 수출 등을 통해 세계 시장을 좌우할 수 있게 되기를 기대한다.

키워드 : 지하형 탄약고, 탄약저장시설, 탄약고 설계, 탄약 및 폭발물 안전관리기준, 안전거리

Funding

This research was supported by Hwarang-dae Research Institute of Korea Military Academy.

ORCID

Sangwoo Park, <http://orcid/0000-0003-2381-3146>

Jangwoon Baek, <http://orcid/0000-0002-5988-9276>

Young Jun Park, <http://orcid/0000-0003-4006-8192>

References

1. Ministry of National Defense. Instruction of Safety control standard for ammunition and explosion. Korea, Seoul: Ministry of National Defense; 2019. 483 p.
2. Department Of Defense. Manual of DOD ammunition and explosives safety standards. USA, VA.: Department of Defense Explosive Safety Board; 2017. 63 p.
3. Lee HS, Zho Y. Status and issues for underground space development in singapore. *Tunnel and Underground Space*. 2018 Aug;28(4):304-24. <https://doi.org/10.7474/TUS.2018.28.4.304>
4. Ministry of National Defense. A study on the design and construction criteria for military underground ammunition facility. Korea, Seoul: Korea Military Academy, Hwarang-dae Research Institute; 2013. 360 p.
5. Ministry of National Defense. Study on criteria review regarding on request for underground ammunition construction. Korea, Seoul: Seoul National University of Science and Technology; 2019. 191 p.
6. Army Analysis Evaluation Group. Research results of optimization method for tunnel-type ammunition facility. Korea, Gyeryong: Army Analysis Evaluation Group; 2016. 27 p.
7. AASTP NATO. Manual of NATO Safety Principles for the Storage of Military Ammunition and Explosives. Ammunition Safety Group, NATO; 2010. 588 p.