

# Tunnelling Technology

## 지하탄약고의 방폭 설계



**김운영**  
육군사관학교 교수



**이명재**  
(주)도담 E&C 대표이사



**김민석**  
(주)도담 E&C 지반부 부장

### 1. 서언

산업화와 도시화에 따른 국토의 효율적 활용, 환경보존, 에너지 절약 등의 이유로 지하저장시설의 개발이 적극적으로 추진되고 있다. 지하저장시설의 국내 현황은 유류비축기지과 농수산물 저장창고 등이 있으며, 시험용탄

약고 ○개소가 운영되고 있다. 지하 유류비축기지는 지중의 수리특성을 이용한 효율적인 유류저장을, 농수산물 저장시설은 지하공간의 항온특성을 고려한 저장물의 품질보존을 주목적으로 하는데 비해, 지하탄약고는 두꺼운 암반에 의해 저장폭약의 우발적 폭발이 미치는 외부피해를 최소화할뿐만 아니라 외부공격으로부터의 보호를 제공하는데 목적이 있다. (표 1 참조)

표 1. 국내의 지하저장시설 현황

구분	지하탄약고	유류비축기지	농수산물 저장창고
목적	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 우발적 폭발시 외부 피해 차단</li> <li>· 적공격으로부터의 방호 제공</li> <li>· 균일한 저장환경 유지로 탄약의 품질 보장</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 정수압을 유류의 기화압력보다 높게 유지하여 유류 유출을 방지</li> <li>· 지하수가 공동속으로 스며들게 하여 유류의 효율적인 저장</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 암반의 축열 능력을 이용하여 에너지를 절약</li> <li>· 지하공간의 항온, 항습성을 이용하여 저장품의 품질 보존</li> </ul>
특성	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 동적 특성 (폭발/내진)</li> <li>· 중규모 공동 (폭12~20m)</li> <li>· 천심도, 중~대심도</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 암반의 수리적 특성 이용</li> <li>· 대규모 공동 (폭15~20m, 높이20~30m)</li> <li>· 중~대심도</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 암반의 열유동 특성 이용</li> <li>· 중규모 공동 (폭12~20m)</li> <li>· 천심도</li> </ul>
시설	방폭설비, 제습설비	수벽시설	냉각시설
현황	○○탄약창, ○○탄약고	거제도 유류비축기지	근지암 지하저장창고

탄약고 지역은 폭발 안전상 사방으로 광대한 부지를 확보해야 한다. 또한 안전구역 내의 민간 소유 토지에 대해서도 군사보호구역의 설정등을 통해 토지 활용을 제한할 수 밖에 없어 민원의 소지를 안고 있다. 지하탄약고는 이같은 민원에 대처하고 탄약고 지역 내의 부지를 효율적으로 활용할 수 있는 훌륭한 대안일뿐만 아니라 폭격의 위력과 정확도가 갈수록 높아지는 현대전에서 적의 공격으로부터 생존을 보장할 수 있는 방호능력을 발휘하므로 지하탄약고에 대한 인식 전환 및 기술축적이 시급한 실정이다.

지하탄약고에서는 지하암반공동 및 방폭시설의 특성을 살려 폭발시 외부의 안전을 보장하고 인접 탄약저장고의 연쇄폭발을 방지하기 위하여 방폭에 대한 설계가 가장 중요하다. 본고에서는 지하탄약고의 방폭 설계과정에 대하여 중점적으로 고찰하였다.

## 2. 지하탄약고의 방폭설계 개념

### 2.1 지하탄약고의 장점

지상형 탄약고는 우발적 폭발시 그 피해가 주변에 사방으로 확산되므로 막대한 인명 및 재산 피해가 발생할 가능성이 높다.

반면 지하탄약고는 폭발영향이 지하공간 안으로 구속되어 외부에 미치는 피해를 차단 또는 최소화할 수 있으므로 탄약고 건설을 위한 부지소요가 대폭 줄어들뿐만 아니라, 군사보호구역으로 인한 민원문제도 크게 해소할 수 있다. 이같은 장점 외에도 지하공간이 갖는 여러 이점들이 있으며 이를 열거하면 표 2와 같다.

### 2.2 방폭설계 개념

방폭이란 지하탄약고 내부폭발시 발생하는 폭풍압, 파

표 2. 지하탄약고의 장점

구분	장점 및 특성
단열성 항온성	지반이 갖는 큰 열용량과 낮은 열전달속도(지상의 1/5~1/10) 때문에 지표에서 5m정도의 깊이 이하이면 거의 일정한 온도를 보이므로 각종 설비의 운전 부하가 고르다
차광성	지하공간은 햇빛이 차단되므로 자외선에 의한 탄약·폭약의 화학적 변질 방지
불연성 방화성	저장고 상호간에 두꺼운 암반으로 격리되어 있기 때문에 화재 확산을 방지할 수 있으며 무엇보다 연쇄폭발의 위험을 차단할 수 있다.
방폭성	암반은 큰 강도와 중량을 갖고 있어 일정 두께 이상의 암반두께를 가질 경우 폭발의 영향을 지하공간 내부로 국한시킬 수 있음
방진성	지하 공동의 특성상 지진이나 충격등의 외력에 대한 저항성이 높다.
내후성	폭풍, 호우, 폭설, 결빙 등 기상으로 인한 시설과 탄약의 피해를 방지할 수 있다
보안성	입구부 외에는 접근이 원칙적으로 차단되므로 경계인원의 소요가 대폭 줄어든다. 또한 외부 및 공중 관측으로부터 보호된다.
유지관리 용이성	하나의 시스템으로 지하저장공간 전체를 유지 관리할 수 있으므로 인력 소요가 대폭 감소되고 자동화가 가능하다

편, 고열 등과 같은 위험요소를 차단하거나 감소시켜 인접 저장격실의 연쇄폭발을 방지하고 외부 지상에 미치는 피해를 최소화하는 것을 말한다. 지하탄약고의 방폭설계를 위해서는 지하탄약고의 내부배치 개념, 폭발시 발생하는 폭풍압의 전파(傳播) 거동, 방폭시설물의 기능에 대한 정확한 이해가 필요하다.

#### 1) 지하탄약고 구성

지하탄약고의 구성은 그림 1과 같으며 탄약이 보관되는 저장격실과 출입통로, 폭풍과 고열의 침투를 차단하는 방폭문, 파편함정, 병목장치, 출구방벽 등으로 구성된다.

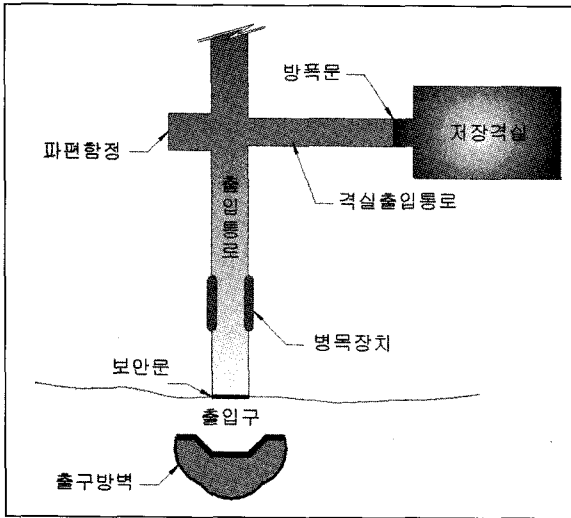


그림 1. 지하탄약고의 구성

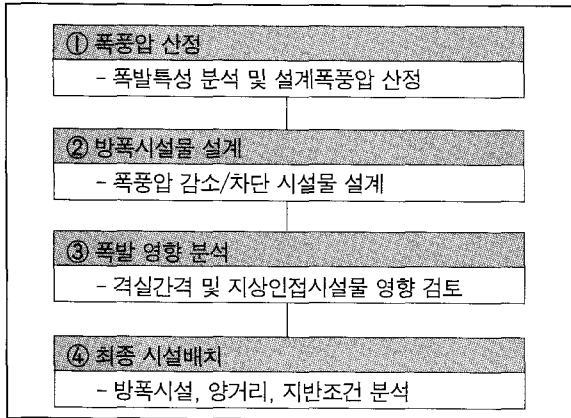


그림 2. 방폭설계 절차

## 2) 방폭설계 절차

방폭설계의 목적은 우발적 폭발시 인접 저장격실의 연쇄폭발을 방지하고 출입통로를 통해 방출되는 폭풍과 파편이 외부에 미칠 피해를 최소화하는 데 있다. 전자의 경우는 저장격실간 이격거리 확보, 방폭문 설치, 격실출입통로와 주출입통로의 엇각 배치, 파편함정 설치 등을 설계에 반영하며 후자의 경우는 파편함정·확장챔버·병목장치·출구방벽 등에 의한다. 지하탄약고 설계시 이 두가

지를 모두 만족하는 시설배치 계획을 수립하여야 한다. 지하탄약고의 방폭설계 절차는 그림 2와 같다.

## 3) 폭풍파

폭발물은 폭발시 고열, 고밀도, 고압의 가스를 분출하면서 강력한 폭풍파(blast wave)를 형성한다. 폭풍파의 전면(前面)을 충격전면(shock front)이라고 하며, 이의 전파에 의해 폭풍효과가 발생한다. 폭풍파의 확산에 따라 그 세기는 약화되고, 지속시간이 길어지면 전파속도도 감소한다. 이때 경로상에 위치한 구조물은 폭풍압(blast pressure) 및 충격(impulse)을 받으며 그 세기와 분포에 영향을 미치는 요소들은 다음과 같다.

- 폭약의 특성 : 폭약 종류 및 무게
- 폭약과 구조물 사이의 이격거리
- 구조물의 형태

지하공간이나 구조물 내부에서 폭발에 의해 발생하는 압력은 충격압(shock pressure)과 가스압(gas pressure)로 나눌 수 있다. (그림 3 참조)

충격압은 작용시간이 짧고 압력세기가 매우 높으며 구조물에 부딪히면 반사되어 그 세기가 증폭되기도 한다. 가스압은 충격압이 감소하면서 발생하며, 압력세기는 상대적으로 낮으나 작용시간이 길어 준정적압력(quasi-static pressure)이라고도 한다. 충격압은 폭발지점과의 거리가 지배적인 영향을 미침에 비해 가스압은 폭약밀도(폭약무게 대 구조물 내부체적의 비)에 좌우되고, 감소정도는 배기면적(排氣面積, vented area of enclosure)에 따라 달라진다.

일반적으로 지하탄약고 방폭설계는 폭풍압과 시간의 면적으로 산정되는 충격량에 의하여 설계하며 산정방법은 “3. 폭풍압 산정” 편에서 소개하였다.

## 4) 방폭시설물

방폭시설물은 폭풍파의 이동 특성을 파악하여 적절한 위치에 최대한의 기능을 발휘할 수 있도록 설치하여야 한다.

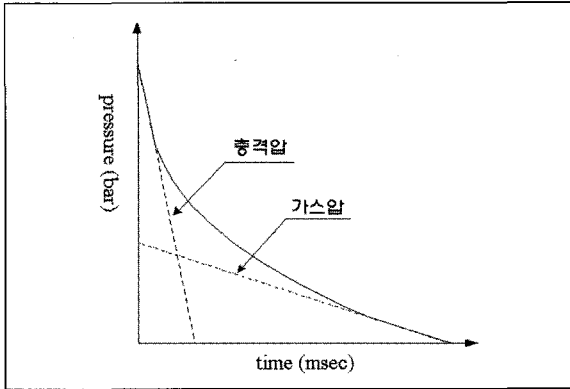


그림 3. 충격압 및 가스압

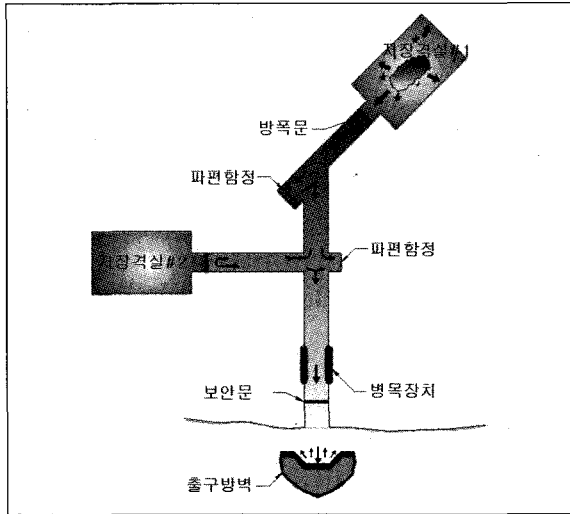


그림 4. 지하탄약고에서의 폭풍압 이동 특성

① 폭풍파 이동 특성

지하탄약고의 폭풍압 이동특성은 그림 4에서 보듯이 격실#1에서 폭발이 발생하면 먼저 파편함정을 이용하여 파편을 가두고 폭풍을 일시 정제시킨 그후 폭풍파는 통로 터널을 통해 이동하며 인접격실인 격실#2에 도달하면 방폭문이 차단함으로써 연쇄폭발을 방지한다. 한편 병목장치를 통하여 폭풍압이 감소되며 터널 출구로 분출되는 폭풍은 출구방벽에 부딪히면서 위로 소산된다. 또한 출구방벽은 폭풍과 함께 방출되는 파편의 비산을 차단한다.

② 방폭시설물 종류

방폭시설물은 그 방법에 따라 '기하학적 처리'와 '설비적 처리'로 나눌 수 있다. 기하학적 처리는 폭풍압 및 파편의 감소를 목적으로 터널내의 형상변화를 이용하는 방법으로 대표적인 것은 터널 선형(線形) 변화, 파편함정, 병목장치, 팽창격실(expansion chamber) 등이 있으며 설비적 처리로는 폭풍압 및 파편의 직접적인 차단을 목적으로 방폭문, 방폭밸브, 격실입구 방폭벽, 출구방벽 등이 있다. 방폭시설물에 대한 세부사항은 "4. 방폭시설물 설계" 편에 소개하였다.

5) 양거리 분석

양거리란 지하탄약고의 폭발시 발생하는 폭풍압이나 파편 등의 위험으로부터 확보해야 하는 안전거리를 말하며 검토항목으로는 격실간 이격거리, 상부임계두께, 외부 주거시설까지의 거리, 외부 지상형탄약고까지의 거리 등이 있으며 국방부의 관련 규정에 따른다. 검토방법 및 세부사항은 "5. 양거리 분석" 편에 소개하였다.

6) 시설배치

지하탄약고 시설배치는 폭발물 안전기준을 최우선적으로 만족시킬수 있도록 계획되어야 하며, 또한 지반조건, 수불의 편의성 등을 고려하여 배치 형식 및 각 구조물 계획이 수립되어야 한다.

3. 폭풍압 산정

폭풍압의 산정은 첫째, 구조물의 설계범주를 구분하고, 둘째, 폭풍압의 이상화(理想化)를 통하여 설계하중으로 단순화하고, 셋째, 터널형상에 따른 폭풍압 감소효과를 고려한 후, 넷째, 충격압, 가스압, 지속시간 등을 산정하는 과정으로 이루어진다.

1) 폭풍압의 설계 범주

방폭시설물의 응답특성은 압력세기에 따라 고압력 설계범주 (High-Pressure Design Range)와 저압력 설계범주 (Low-Pressure Design Range)로 구분하며 그 특징은 표 3에 나타내었다.

설계범주의 판정에는 여러 고려요소가 있지만 특히 구조물에 대한 폭약의 상대적 위치와 밀접한 관계가 있다. 밀폐구조물인 지하탄약고의 폭발현상은 고압력 범주로 분류할 수 있다. 즉, 초기압력이 크고 지속시간이 짧은 형태의 폭풍압이 발생되므로 압력-시간곡선의 면적인 충격량에 저항하도록 방폭시설물 설계가 이루어져야 하며 폐쇄형구조이므로 가스압도 설계하중에 고려하여야 한다.

2) 폭풍압의 이상화

시간 경과에 따라 감소하는 충격압과 가스압은 시간에 따른 변화 양상은 매우 복잡하지만 해석과 설계의 편의를 위해 그림5와 같이 이상화(idealization)한다. 여기서 초기충격압력 및 가스압력은 이상화된 삼각형으로부터 결정할 수 있다.

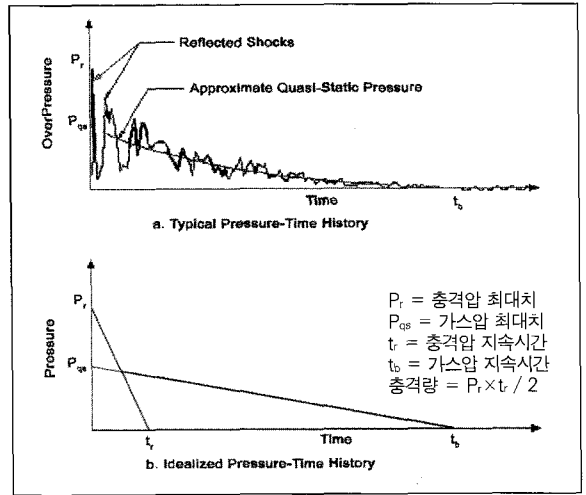


그림 5. 충격압과 가스압의 이상화

표 3. 설계범주에 따른 특징

고압력 설계범주의 주요특징	
· 초기 압력이 매우 높고 반사에 의해 압력세기가 증폭된다.	
· 작용하중의 지속시간(duration of applied load)이 구조부재의 응답시간(response time)에 비해 짧다. 응답 시간이란 부재가 최대변형에 이르는 시간을 의미한다.	
· 압력-시간 곡선의 최대압력보다 곡선면적인 충격량에 근거하여 설계한다	
저압력 설계범주의 주요특징	
· 고압력 범주에 비해 폭발압력의 세기가 훨씬 낮다.	
· 구조부재는 폭발압력에 저항한다.	
· 폭발하중 지속시간은 반응시간을 초과하지 않는다.	
· 부재는 압력 또는 압력-시간 이력에 입각하여 설계된다.	

표 4. 터널 방향에 따른 감소효과

구분	개요도	전달 압력과 최고 압력 비 ( $P_T / P_{So}$ )
진행방향과 직각 (side-on)		0.5
진행방향과 45°		1.0
단면축소		1.5
통로 교차로		(a) 0.5 (b) 0.8
진행 방향과 직각으로 양방향분산		0.8
진행 방향과 90°		$(0.94)^n$ n: 직각방향 전환 개수

**표 5. 폭풍압 산정방법**

**DDESB 제안식**

$$P_w = 895 \left( \frac{W}{V_T} \right)^{(1.35/3)}$$

여기서,  $P_w$ : effective overpressure, psi  
 $W$ : MCE, pounds,  $V_T$ : total volume, ft<sup>3</sup>

**Conwep 프로그램**

TM 5-855-1, "Fundamentals of Protective Design for Conventional Weapons"에서 제시하는 공식과 곡선들을 근거로 재래식 무기들의 영향을 계산한다. 순폭약량, 내부체적 및 배기면적 등을 고려하여 격실 입구에서 발생하는 압력 및 지속 시간을 산정한다.

**BlastX 프로그램**

국방부 공식 프로그램으로 1개 이상의 격실을 모델링하여 폭풍파의 반사에 의한 증폭 감쇠를 계산하며 격실내에서의 폭발에 의한 타 격실의 영향 평가가 가능하다.

**3) 터널내의 폭풍압 감쇠효과**

폭풍압은 터널 형상과 터널입구의 모양에 따라 크기가 증감될 수 있다. 일반적으로 단면이 축소될 경우 압력이 증가하고, 터널 방향이 변경되거나 분기될 경우에는 감소한다.

그러므로 설계폭풍압 산정시 이러한 감쇠효과를 고려하여야 하며 터널 방향에 따른 감쇠비를 표 4에 나타내었다.

**4) 폭풍압 산정방법**

DDESB 산정식, Conwep 프로그램, BlastX 프로그램을 이용하여 산정하며 표 5와 같다.

DDESB의 유효압력 산정식은 최대폭약량 및 내부 팽창체적만을 고려하는 간단한 경험식으로써, 국방부의 방폭문 설계기준에서 요구하는 지속시간(duration)과 충격량을 계산할 수 없다.

Conwep 프로그램에서 계산된 입력값들은 주개격실의 입구부에서 산출된 것으로서, 주개격실의 방폭문, 폭풍압의 터널내 진행 및 격실 배치에 의한 진행방향 전환 등을

고려한 감쇠특성을 반영할 수 없다.

이에 반해 BlastX는 터널내 감쇠 및 방폭문에 가해지는 압력 등을 직접 계산할 수 있어 더욱 정확한 결과를 제시해 주므로 국방부 공식 프로그램으로 실제 설계에 적용된다.

**4. 방폭시설물 설계**

방폭시설물은 주로 탄약폭발시 지하탄약고 내부의 폭풍압 또는 파편의 차단 내지 감소를 위한 시설물이며, 그 방법에 따라 ① 기하학적 처리, ② 방폭전용시설 설치로 구분된다.

**4.1 기하학적 처리**

기하학적 처리란 터널 단면 변화 및 터널 방향 전환을 통하여 폭풍압 및 파편의 감소를 꾀하는 것으로 단면 변화, 터널 교차, 방향 전환, 주출입구 다수화 등의 방법이 있다. 파편 함정, 병목 장치, 팽창격실(Expansion Chamber) 등이 일반적으로 채용된다.

**1) 파편함정**

격실폭발시 발생하는 파편의 일부를 가두는 곳으로 해당격실과 통로의 연장선상에 설치한다. 폭과 높이는 파편을 효율적으로 가두기 위해 폭은 파편함정을 향하는 통로폭의 20%, 높이는 10%이상 크게 계획한다.(그림6 참조)

**2) 병목장치**

폭풍압 감소효과를 위하여 통로 일부의 단면적을 줄인 것으로 통로단면적의 1/2이하, 길이는 통로직경의 1.5배 이상으로 출입구로부터 통로직경의 5배 이내에 설치한다.(그림7 참조)

### 3) 팽창격실

저장 격실과 출구 사이에 있는 커다란 공간으로 단면적은 팽창 격실을 교차하는 가장 큰 통로의 3배 이상, 길이는 팽창 격실폭 이상이어야 하며 팽창 격실로 들어가고 나오는 통로축 사이의 간격이 통로 폭의 2배 이상 떨어져 엇갈리게 배치된 경우, 팽창 격실로 들어가고 나오는 방향이 45° 이상 틀어져 있는 경우 파편을 가두는데 효과적인 역할을 한다.

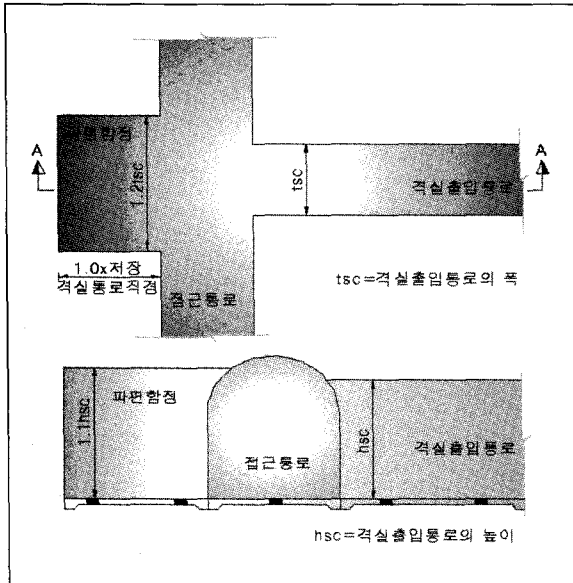


그림 6. 팽창격실 개요도

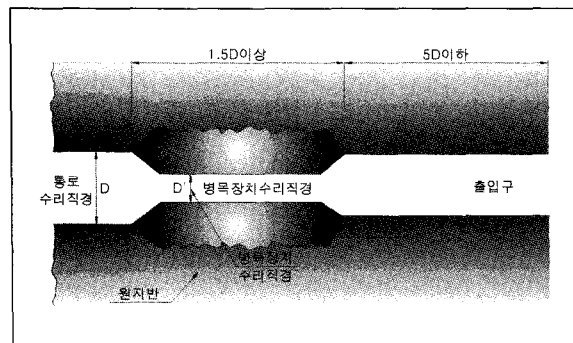


그림 7. 병목장치 개요도

### 4.2 방폭전용시설 (설비적 처리)

방폭전용시설의 종류에는 방폭문, 방폭밸브, 격실입구 방폭벽, 출구방벽 등이 있으며 폭풍압에 대하여 직접적으로 저항하여 폭풍압을 차단하거나 방지하는 역할을 한다.

#### 1) 방폭문

방폭문은 다른 격실의 폭발이 발생하였을 경우 해당 격실로의 폭풍압 및 고열(高熱) 전파로 인한 연쇄폭발을 방지하기 위하여 격실출입통로에 설치하는 중요한 방폭구조물로 다음과 같은 기능이 요구된다.

첫째, 다른 격실의 폭발에 의한 폭풍압이 내부의 인원, 장비 및 폭발물에 피해를 끼치지 않을 것

둘째, 폭풍파의 양압력 및 흡입현상에 의한 부압력에 대하여도 안전할 것

셋째, 비산 파편의 충격에 안전할 것

방폭문의 종류에는 철재방폭문과 콘크리트 방폭문이 있으며 각각의 특징은 표 6과 같다.

#### 2) 방폭밸브

격실내 환기 및 제습용 배관을 통한 폭풍파 유입을 차단하기 위해 격실과 통로의 배관 연결부에 방폭밸브를 설치한다.

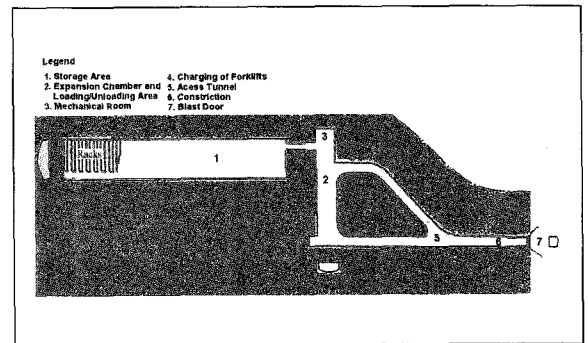


그림 8. 팽창격실 개요도

표 6. 철재방폭문과 콘크리트방폭문 비교

구분	철재 방폭문	콘크리트 방폭문
개요도		
장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 콘크리트 충전 없음</li> <li>· 중량이 가벼워 설치 및 작동 용이</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 내부는 콘크리트 충전</li> <li>· 가격 및 운반비용 저렴</li> <li>· 열,방사는 차폐 효과 큼</li> </ul>
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 외자구입으로 가격 및 운반비 고가</li> <li>· 1인 수동개폐 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 콘크리트 충전작업 곤란</li> <li>· 중량이 과다하여 1인 수동개폐 어려움</li> </ul>

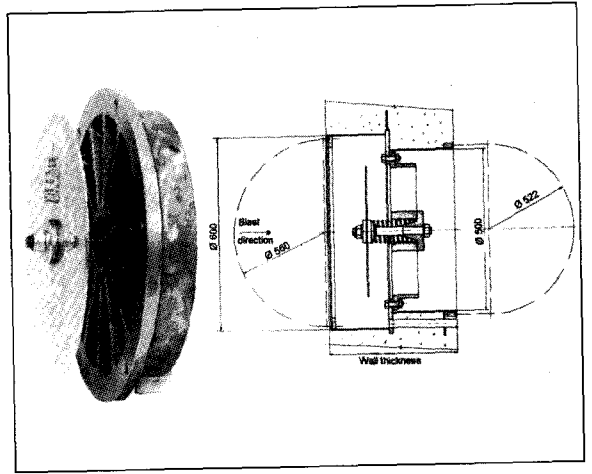


그림 9. 방폭밸브

표 7. 방폭밸브 작동원리

Normal Ventilation	Blast Pressure from outside	Negative Pressure from outside
Valve open	Valve close	Valve close

· Normal Ventilation  
 평상시에는 차단판이 환기가 가능한 지점에 위치하여 정상적인 배관 기능 발휘

· Blast Pressure or Negative Pressure from outside  
 폭압의 작용방향에 따라 중앙의 차단판이 방폭밸브에 좌우로 밀착되어 폭풍압의 유입을 차단

방폭밸브는 파편에 의한 손상이 없어야 하고, 밸브와 구조물 사이가 완전히 밀폐되어야 한다. 밸브의 작동원리는 평상시에는 열려 있으며 주개격실 폭발로 인한 폭풍압이 받개격실로 전달되는 순간 닫히고 다시 폭풍압이 빠져나가 부압력이 발생하는 경우 반대방향으로 닫히게 되는 원리이며 표 7과 같다.

### 3) 격실입구 방폭벽

평상시에는 방폭문을 지지하며 폭발시 방폭문에 작용하는 폭풍하중을 주변 암반으로 전달시킨다. 전단파괴가 발생하지 않도록 썸기형태의 벽체로 설계되며 폭풍하중에 의해 발생한 에너지가 썸기변위에 의해 소산되도록 유도하는 것이다.

격실입구 방폭벽은 다음과 같은 사항을 만족하여야 한다.

- ① 벽체는 암반에 상하좌우로 지지한다.
- ② 앵커 매커니즘은 록볼트와 썸기 형태에 의해서 이루어진다.
- ③ 주변 암반의 균열과, 콘크리트와 암반이 접하는 면은 그라우팅으로 밀폐시킨다.
- ④ 폭발에 의한 지반진동이나 폭풍압을 충분히 저항할 수 있어야 하며, 폭풍압에 의한 방폭문의 반동 반응에 대해서 견딜 수 있어야 한다.
- ⑤ 벽체 주변 암반은 추가보강이 요구된다.
- ⑥ 벽체 두께는 작용압력에 대하여 아칭현상이 일어날 수 있도록 충분히 두꺼워야하며, 철근 보강을 한다.

격실입구 방폭벽은 콘크리트 구조물이므로 강도설계



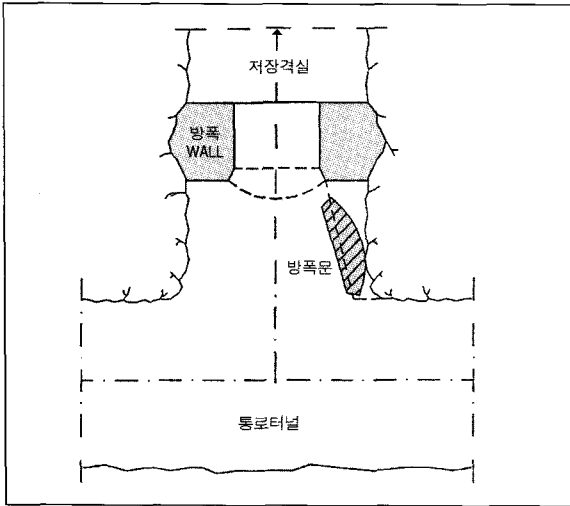


그림 10. 격실입구 방폭벽

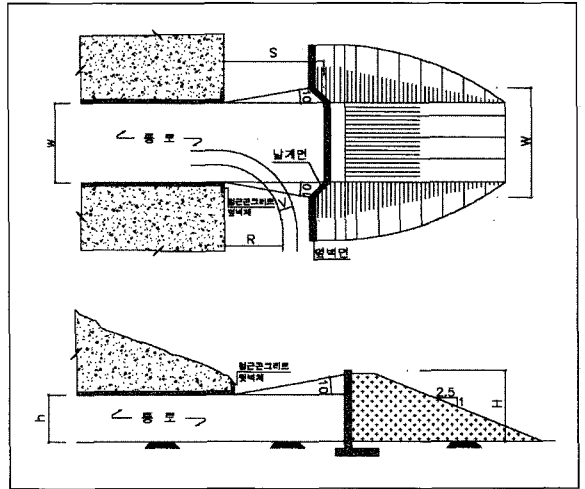


그림 11. 출구방벽

법에 따라 폭발압을 정적 및 동적하중으로 환산하여 구조 해석을 수행한다. 정적해석은 폭발압을 압력형태로 환산하여 단위면적당 하중으로 작용시키며, 동적해석은 폭발압을 지속시간 대 압력형태의 시간이력곡선을 산정하여 시간단계별로 해석을 수행한다. 또한 동적해석시에는 지속시간 개념을 적용한다.

#### 4) 출구방벽

출구방벽은 터널 출구부에 설치하여 파편 비산을 방지하는 역할을 하는 방폭구조물로 다음사항을 만족하도록 설치하여야 한다.

- ① 양쪽 날개면은 출구쪽을 향하여 30° ~ 60° 의 각도를 가져야함
- ② 폭(연벽면 제외)은 터널폭의 좌우 10° 이상
- ③ 높이는 연장된 터널 높이의 윗쪽에 대해 적어도 10° 이상
- ④ 출구로부터 터널폭의 1-3배 사이에 설치
- ⑤ 출구방벽의 전면(날개면 포함)은 철근콘크리트로 시공되어야 하며 최소두께는 0.305m와 출구방벽 높이의 10%중에서 큰 값 적용

#### 5. 양거리 분석

방폭시설물은 주로 지하탄약고 내부의 폭발피해를 방지하는 시설이며 지하탄약고 외부의 폭발 피해 방지 방법으로는 지하탄약고로부터의 거리확보가 가장 안전한 방법이다.

이에 국방부에서는 지하탄약고 양거리에 대한 기준을 제시하였으며 양거리 검토는 각 저장격실의 폭약저장량(W)과 통로거리, 방폭구조물 설치여부, 압반상태 등을 변수로 인접격실 및 지하탄약고 외부 주변시설에 대하여 최소 이격거리(D)를 산정하며 다음 4가지 항목에 대하여 검토를 수행하여야 한다.

##### 1) 격실간격

폭발이 발생한 격실과 인접 격실간의 거리로서 다음과 같이 결정한다(그림 12 참조)

- 스폰에 의한 손상방지거리 (저장밀도 및 압반상태에 따라)

$$D_{ca} = 2.5 \sim 5.0 W^{1/3} \quad (1)$$

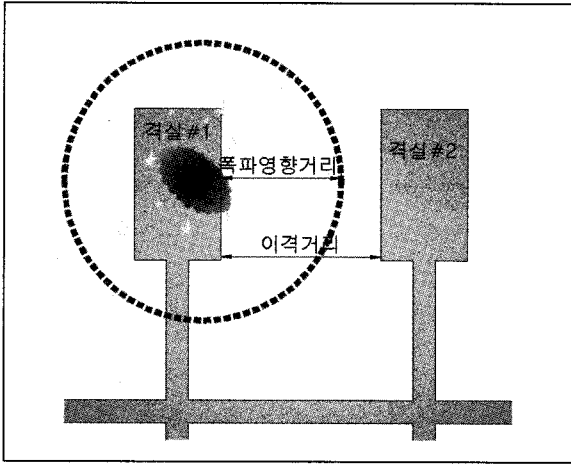


그림 12. 격실간격 개요도

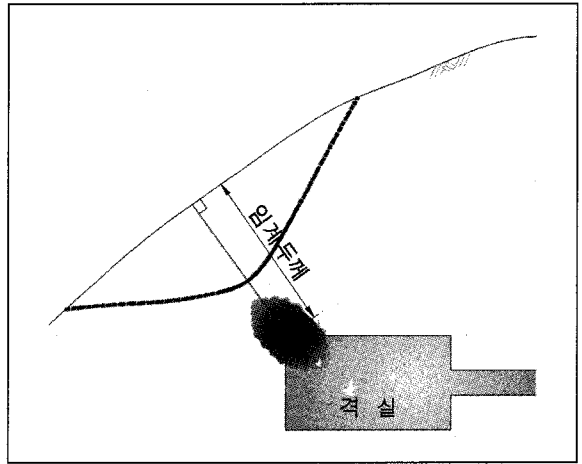


그림 13. 격실상부 임계두께 개요도

$D_{ca}$  : 최소격실간격(ft), W : 순 폭약량 (Lbs)

- 스펴에 의한 폭발 전파 방지거리 (보호용 구조물 설치여부에 따라)

$$D_{cp} = 0.75 \sim 1.5 W^{1/3} \quad (2)$$

$D_{cp}$  : 최소격실간격(ft), W : 순 폭약량 (Lbs)

### 2) 격실상부의 임계두께

폭발에 의한 상부 암반의 파괴에 의해 폭발이 외부로 분출되지 않기 위해 확보해야할 최소토피두께 (그림 13 참조)

$$D = 2.5 \sim 5.0 W^{1/3} \quad (3)$$

### 3) 안전 양거리(주거시설)

폭발에 의해 발생하는 지반충격, 파편 또는 폭풍의 영향으로부터 확보해야할 외부시설과의 안전거리 (그림 14 참조)

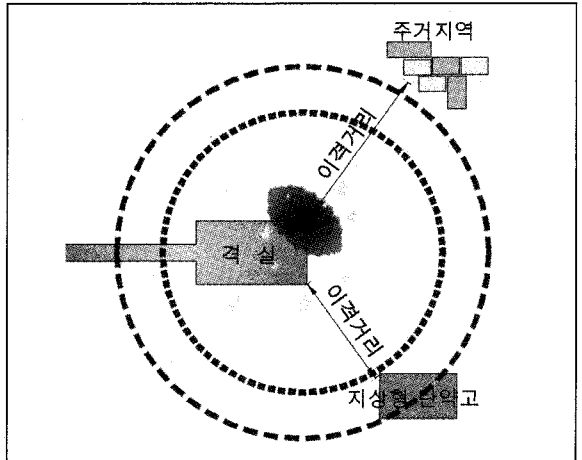


그림 14. 주거시설, 지상형 탄약고까지의 거리 개요도

- 지반충격에 의한 거리 (저장밀도 및 암반상태에 따라)

$$D_{ig} = 2.1 \sim 12.5 f_g W^{4/9} \quad (4)$$

$$f_g = (4/15)w^{0.3}, \quad w : \text{격실저장밀도 (Lbs/ft}^3\text{)}$$

- 파편에 의한 거리 (격실상부 임계두께의 확보 여부에 따라)

$$R = 9.91 \times D \times W^{0.581} / V_E^{0.357} \quad (6-2)$$

$$100,000 \leq W < 250,000 \text{Lbs}$$

$$D_{id} = f_d \cdot f_c \cdot W^{0.41} \quad (5)$$

$$R = 161.0 \times D \times (W/V_E)^{1/2.8} \quad (6-3)$$

$$W > 250,000 \text{Lbs} \text{ 일 때}$$

- 폭풍파에 의한 거리

$$R = 131.1 \times D \times (W/V_E)^{1/2.8} \quad (6-1)$$

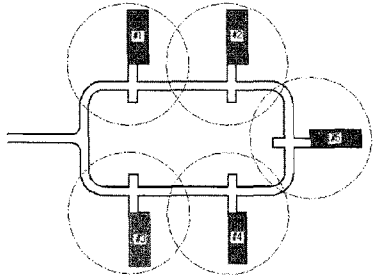
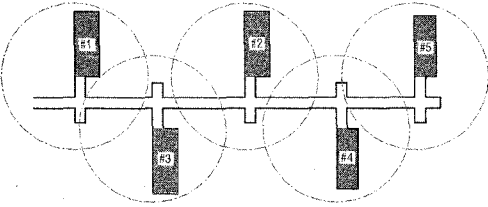
$$W < 100,000 \text{Lbs}$$

W : 순폭약량 (Lbs), V<sub>E</sub> : 폭풍파가 지나간부피 (ft<sup>3</sup>)

#### 4) 지상형 탄약고까지의 거리

지상형 탄약고를 폭풍 등의 영향으로부터 구조상의 손상을 막기 위한 거리 (그림 14 참조)

표 8. 지하탄약고의 Layout 개념도

LOOP 형 (탄약고)	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 통로의 Loop화 계획으로 운반장비의 통행이 편리</li> <li>• 격실간 이격거리 최대화로 폭발에 대한 안전성 양호</li> <li>• 통로 방향전환으로 폭풍압 감소효과 양호</li> <li>• 부지면적 증대로 용지매입 및 굴착공사비 증가</li> </ul>
직선형 (탄약고)	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 격실 지그재그형 배치로 폭발에 대한 안전성 양호</li> <li>• 시설배치 계획의 단순화로 시공성 양호</li> <li>• 통로의 직선화로 폭풍압 감소효과가 미약</li> </ul>

- 지반충격에 의한 거리 : 적용안함

- 파편에 의한 거리 (격실상부 임계두께의 확보 여부에 따라)

$$D_{id} = f_d \cdot f_c \cdot W^{0.41} \quad (7)$$

- 폭풍파에 의한 거리 (방벽설치 여부 및 압력에 따라)

$$R = (14.2 \sim 33.8) \times D \times (W/V_E)^{1/2.8} \quad (8)$$

## 6. 시설배치계획 (Layout)

지하탄약고의 내부형상 및 시설배치는 지금까지 언급한 방폭시설물 설치와 안전양거리 확보를 최우선적으로 고려하여 계획되어야 한다. 국내에 적용된 배치 형식은 방폭시설물 배치방식과 탄약수불 운영방식에 따라 순환(loop)형과 직선형이 있으며 표 8과 같다.

그 외 암석의 강도, 암반의 절리상태, 지하수 상태 등이 고려되어야 하며 또한 탄약수불의 편의성도 만족시켜야 한다.

## 7. 결론

모든 토목구조물에서 가장 중요한 것은 작용하중에 대한 안전성이다. 지하탄약고는 이리역 폭발사고에서 경험 하였던 지상 폭발의 광범위한 피해를 차단하거나 최소화 할 수 있는 최선의 대안으로서, 소기의 목적을 달성하기 위해서는 방폭설계에 초점을 두면서 탄약의 품질 보존을 위한 저장환경과 수불의 편의성을 위한 운영환경을 함께 고려하여 설계되어야 한다.

특히 우리나라의 경우 지상 탄약고 건설을 위한 대규모 부지의 확보가 어려운 반면 산지가 발달해 있으므로, 지하탄약고 건설을 활성화한다면 국토의 효율적 이용, 주변 민간시설의 민원 해소, 적공격으로부터의 생존성 제고, 경계 및 유지관리 인력의 절감 등 많은 효과가 기대된다. 한편 우리나라는 그동안 도로터널, 철도터널, 지하유류비축기지, 지하대피시설 등의 건설을 통해 지하공간 관련 설계·시공·설비기술이 선진국 수준에 이르렀으므로 방

폭설비 등의 일부 기술만 보완한다면 한국적인 특성에 맞는 지하탄약고의 설계·건설·유지관리 기술의 정착은 충분히 가능한 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 국방부, "탄약 및 폭발물 안전관리기준"
2. "총포·도검·화약류 관계 법·령·규칙"
3. 국방과학연구소 "국방과학연구소 설계지침"
4. 김운영, 1992. 3, "기존 탄약저장시설의 실태분석 및 지하동굴형 탄약고의 설계요소 연구", 육군사관학교
5. 국방과학연구소, 1993. 3, "지하탄약고 설계의 구조적 안전성 분석기법 연구"
6. 국방과학연구소, 1997. 4, "시험용 방폭시설의 기초설계 연구용역"
7. 박의섭, 2000. 8 "모형실험 및 수치해석에 의한 저장공동내 콘크리트 플러그의 역학적 거동에 관한 연구", 서울대학교
8. Manuals-Corps Of Engineers U.S Army, "Design Of Underground Installations In Rock"