

M&S를 통한 지하탄약고의 격실 방폭문 내폭력 산정 연구

박영준¹⁾ · 백종혁²⁾ · 손기영^{*,3)}

¹⁾ 육군사관학교 토목환경학과

²⁾ 한국교량및구조공학회

³⁾ 울산대학교 건축공학부

A Study on the Calculation of the Design Loads for Blast Doors of Underground Ammunition Facilities Using M&S

Young Jun Park¹⁾ · Jonghyuk Baek²⁾ · Kiyoung Son^{*,3)}

¹⁾ Department of Civil Engineering & Environmental Sciences, Korea Military Academy, Korea

²⁾ Korean Institute of Bridge and Structural Engineers, Korea

³⁾ School of Architectural Engineering, University of Ulsan, Korea

(Received 28 October 2015 / Revised 29 February 2016 / Accepted 20 May 2016)

ABSTRACT

An underground ammunition facility requires less quantity distances than the aboveground counterpart. However, chamber blast doors which resist the high blast-pressures are necessary for prevention of the consecutive explosions when an accident explosion occurs at any chamber. This paper aims to propose an procedure for calculation of the design loads for the chamber blast doors. Modeling considerations are drawn through analyzing the influences of the geometrical shapes and mechanical properties of rocks on the propagation of pressure wave along with the tunnels. Additionally, the design loads for the chamber blast doors in a newly-built underground ammunition facility are calculated based on the proposed procedure.

Key Words : Underground Ammunition Facility(지하탄약고), Blast Door(방폭문), Hydrocode(유체동역학 코드), Blast Mitigation(폭압 저감), Fluid-Solid Interaction(유체-고체 상호작용)

1. 서론

1.1 연구의 배경

지하탄약고는 지상 탄약고에 비하여 상대적으로 적

은 양거리를 필요로 하는 장점으로 인하여 인구밀도가 높아 넓은 토지를 확보하기 어려운 한국, 싱가포르 등지에서 운용되고 있다^{1,2)}. Fig. 1은 표준형 관통형 지하탄약고의 개략적인 배치도이다. 지하탄약고는 그 구조체의 특성 상 내부에서 발생하는 모든 폭발은 폐쇄 폭발이므로 폭발시 터널 내부에 매우 높은 압력이 발생되고, 이 압력으로 인하여 인접 저장격실 내부 탄약

* Corresponding author, E-mail: sky9852111@ulsan.ac.kr
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

의 연쇄폭발의 우려가 크다. 이러한 연쇄폭발 가능성을 차단하기 위하여 지하탄약고는 적절한 터널 형상 및 폭압 저감 장치 등이 요구된다. 폭압 저감 장치로서 방폭문은 임의의 격실에서 내부폭발이 발생하였을 경우, 인접 격실로 폭풍파가 유입되어 발생하는 연쇄폭발을 방지하는 역할을 한다^[1].

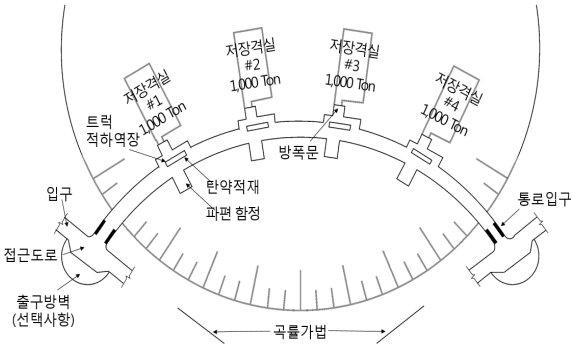


Fig. 1. Standard underground ammunition facility

이와 같은 이유로 방폭문의 내폭력을 산정하는 것은 연쇄폭발 방지를 위해 매우 중요하다. 문제는 지상탄약고와 같은 자유장에서 전파되는 폭발압력과 달리, 지하탄약고에서의 내부폭발에 따른 폭압의 크기와 양상이 폐쇄폭발의 특성상 구조체 내부의 형상에 크게 좌우된다는 점이다^[3-5].

지하탄약고 격실에서 내부 저장탄약의 우발적인 폭발로 인해 통로를 따라 전파되는 폭압을 산정하기 위해서는 실증실험을 통하는 것이 가장 확실하다. 하지만, 실규모 실증시험은 탄약고의 규모와 건설비용 등을 고려할 때 현실적인 제한사항이 많다. 이에 대한 대안으로 미 국방부(US DOD)와 NATO 등은 소·중규모 시험 결과를 바탕으로 한 경험식을 제시하고 있다^[6,7]. 하지만, 이러한 경험식은 탄약고 터널 출입구의 압력을 계산하는데 주목적이 있기 때문에 복잡한 터널 형상의 세밀한 반영, 압력측정점 이후의 터널의 분기, 꺾임 등에 따른 측정압력 변화 등의 요인을 반영하지 못하는 한계를 지닌다^[8-10]. 따라서 방폭문의 내폭력 판단을 위한 폭압계산을 위해서는 M&S(Modeling and Simulation)가 불가피하다.

1.2 연구의 목적

지하탄약고 구조체의 특성이 터널을 따라 전파되는 폭풍파의 변화에 미치는 영향을 올바르게 반영하기 위

해서는 해석 프로그램의 선정, 구조체의 형상 및 제원의 적절한 모델링이 필요하다. 이 연구의 목적은 격실 저장탄약의 우발적인 폭발 시 지하탄약고 방폭문에 가해지는 압력을 M&S를 통하여 계산하는 일반적인 절차를 제시하는데 있다. 또한 사례연구로서 ○○부대 관통형 지하탄약고의 내부폭발로 인해 발생하는 폭풍파가 인접 격실 방폭문에 미치는 최대압력을 계산하고, 이를 토대로 방폭문 내폭력을 제시한다.

2. 방폭문 내폭력의 산정

2.1 개요

이 장에서는 M&S를 통하여 지하탄약고의 방폭문 내폭력을 판단하기 위한 절차 및 주요 고려사항을 다룬다. Fig. 2는 수치해석 절차를 나타낸 개략도이다.

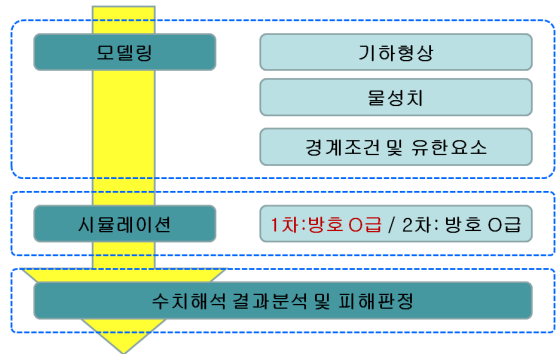


Fig. 2. Numerical analysis by using AUTODYN^[11]

2.2 단계 “1”: 구조체 모델링(Modeling)

압력파의 회절 및 반사 양상은 폭풍파의 진행경로 상에 위치하는 구조체의 형상에 따라 민감하게 변한다. 따라서 지하탄약고 내부의 격실 및 터널의 실제 형상을 정확히 모델링 하는 것은 정확한 방폭문 작용 압력 예측에 있어 중요하다.

특히 폭발격실 출입통로의 단면은 정확히 모델링되어야 한다. 수십만 파운드를 상회하는 작약이 완전히 폭발할 때 격실 내부 압력장의 최대값은 통상적으로 1,000 bar를 상회하고, 폭풍파의 유일한 배출구는 격실 출입통로가 된다. 이 격실 출입통로의 단면적에 따라 주통로를 따라 전파되는 폭풍압력의 최대값이 변화한다. 폭발격실 출입통로가 터널 내부 압력에 미치는 영향을 보이기 위해 Fig. 3과 같은 예시 탄약고를 선정하

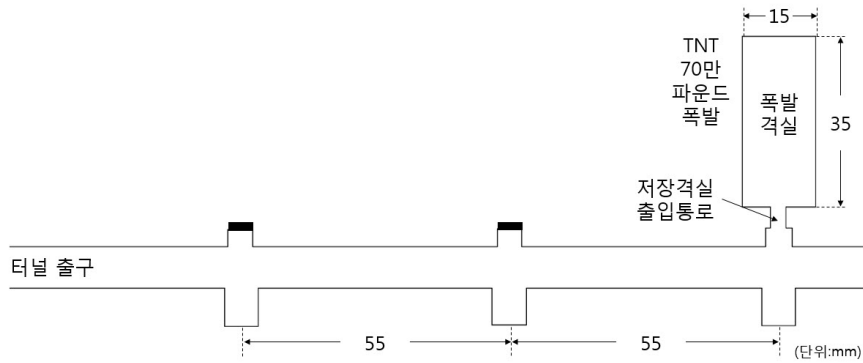


Fig. 3. Sample ammunition facility for Influence analysis of blast chamber

었다. Table 1은 출입통로의 단면적이 서로 다른 3개의 모델과 AUTODYN을 통해 계산한 세 개의 모델의 터널출구에서의 압력을 나타낸다. 출입통로 단면적이 약 8 % 줄었을 때 터널출구 압력이 7 % 가량 줄어들었고, 출입통로 단면적이 약 63 % 줄었을 때 터널출구 압력이 약 19 % 가량 줄어든 것을 확인할 수 있다. 격실 출입통로의 단면적이 실제보다 작아지도록 모델링한다면 비안전측의 내폭력을 얻게 될 것이다.

Table 1. Access road cross-section area and blast-pressure

모델 번호	#1	#2	#3
출입통로 단면적(m ²)	24.0	20.0	9.0
출구 압력 P _n (bar)	60.9	56.7	49.3
P _n / P ₁	1.00	0.93	0.81

이외에도 터널의 단면적의 변화와 파편함정의 기하학적 형상 역시 정확히 모델링하여야 한다. 이들 기하학적 요소의 영향에 대해서는 3장에서 자세히 다룬다.

2.3 단계 “2”: 폭풍파 전파 모의실험(Simulation)

이 단계에서는 주어진 폭발조건에 따라 모의실험을 수행한다. 폭풍파 전파 모의실험을 위해서는 적절한 해석 프로그램이 선정되어야 한다. 폭발하중을 받는 구조물의 해석과 관련하여 사용되는 컴퓨터 소프트웨어는 크게 두 종류로 나눌 수 있다. 첫 번째는 폭발하중의 예측에 관련된 것이고, 두 번째는 폭발하중에 대한 구조체의 응답에 관한 것이다.

해석은 구조물의 응답과 관련하여 다시 크게 비결합 해석(Uncoupled Analysis)과 결합 해석(Coupled Analysis)으로 나눌 수 있다. 지하탄약고 내부폭발 해석 문제에서 비결합 해석은 폭풍파가 전파되는 오일러 영역(Euler Domain)의 경계를 강제로 가정하여 경계에서 압력과의 완전반사가 이루어지도록 한다. 이 방법은 암반을 따로 모델링하지 않아 구조시스템의 자유도가 줄어들고, 오일러 영역과 라그랑지 영역(Lagrange Domain)의 상호작용을 고려하지 않기 때문에 해석시간을 줄일 수 있다는 장점을 지닌다. 하지만 암반을 통한 압력과의 에너지 소산을 고려하지 못해 결과적으로 매우 보수적인 압력 계산 결과를 낳는다. 반면, 결합 해석은 라그랑지 영역에서 모델링된 암반 및 터널 라이닝 구조체와 오일러 영역에서 모델링된 대기의 상호작용을 고려함으로써 암반의 변형을 통한 압력과의 에너지 소산을 고려한다. 이 방법은 해석시간의 측면에서 비결합 해석보다 불리하지만 보다 현실적인 압력값을 산출한다^[12].

본 연구에서는 폭발 현상의 모의와 결합해석을 수행하기 위하여 Ansys사의 AUTODYN을 사용하였다. AUTODYN은 비선형성이 큰 동역학 문제를 해결하기 위해 특화된 프로그램으로, Euler 및 Lagrange Solver의 커플링을 통해 유체·고체 상호작용 문제를 해결할 수 있는 장점을 가지고 있다. 덧붙여, AUTODYN은 기하학적 모델링 프로그램인 SpaceClaim^[13]과의 연동이 수월한 장점을 지닌다^[14-17].

2.4 단계 “3”: 내폭력 제한

계산된 각 방폭문의 폭압을 바탕으로 적정 내폭력을 제안한다.

3. 현장 적용 연구

3.1 개요

이 연구에서는 ○○부대 관통형 지하탄약고(Fig. 4 참고)의 방폭문 내폭력을 판단한다. 이를 위하여 SpaceClaim을 활용하여 원통형 지하탄약고를 모델링 (Modeling)하고, AUTODYN을 활용하여 폭발계산을 위한 모의실험(Simulation)을 수행한다.

○○부대 관통형 지하탄약고의 각 격실별 최대저장량은 000,000 lb 이다. 따라서, 방폭문 내폭력 계산을 위한 폭발 조건은 다음과 같다.

폭발조건

1개 격실에서 중앙에서 저장 폭약의 완전폭발

* 폭약량 = 저장 폭약 000,000 lb의 TNT 등가당량 × 1.2(폭약량 증가계수 1.2 고려)

방폭문 내폭력은 해당 격실을 제외한 임의의 격실에서 내부폭발이 발생하였을 경우 발생가능한 최대초과압력 가운데 최대값으로 산정한다. 이 최대값을 내폭력으로 제한한다.

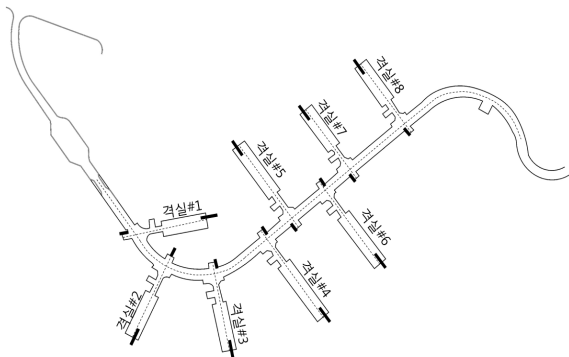
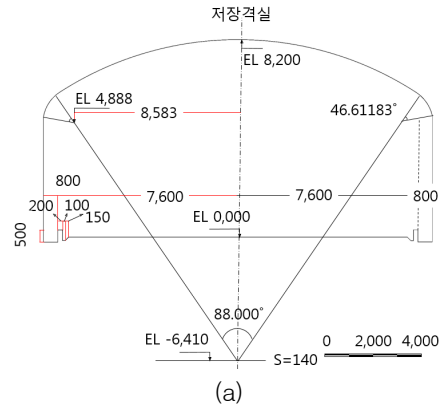


Fig. 4. Floor plan

3.2 기하형상의 모델링

○○부대 관통형 지하탄약고의 곡선형 터널과 00개의 아치형 격실, 폭풍포켓 등의 복잡한 기하형상을 정확하게 반영하기 위하여 대상 구조체를 모델링 전문 프로그램인 SpaceClaim을 활용하여 모델링하였다. 구조체의 유한요소 처리는 Workbench를 활용하였고, 대기 (air)의 모델링과 유한요소 처리는 AUTODYN을 활용하였다.



주동로-입출구부 50m

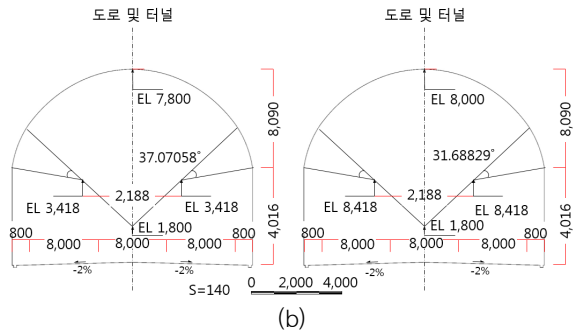


Fig. 5. Cross section plan (a) chamber, (b) road

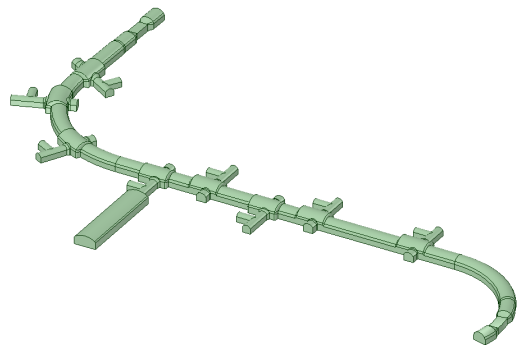


Fig. 6. 3D modeling for whole tunnel and #4 chamber by using SpaceClaim

Fig. 5는 본 수치해석 대상체 주요 부위의 설계 단면도이다. Fig. 6은 SpaceClaim을 활용한 전체 터널의 기하형상에 대한 3D 모델링을 보이고 있으며, 격실#4의 폭발 해석을 위한 터널 모델이다. 특정 격실에서 폭발이 일어날 때, 나머지 격실의 방폭문은 모두 닫혀있고

폭풍파는 방폭문에 의해 반사되는 것으로 가정되기 때문에 폭풍파가 도달하는 영역인 전체 터널과 폭발격실만을 모델링한다. SpaceClaim을 활용하여 격실 및 터널 주변의 암반을 처리하고(Fig. 7), Workbench를 활용하여 암반의 유한요소 처리를 수행한다(Fig. 8). 동일한 방식으로 총 8개의 격실에 대하여 터널형상을 독립적으로 모델링한다.

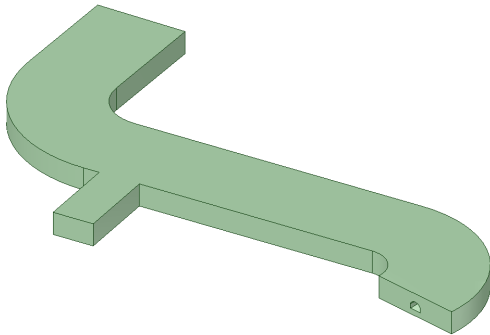


Fig. 7. Rock treatment of tunnel surroundings and #4 chamber

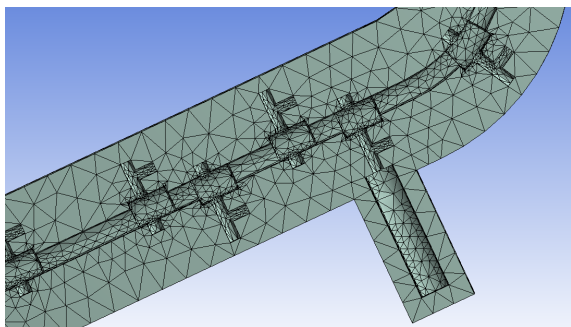


Fig. 8. finite element analysis of rock by using WORKBENCH

3.3 암반 물성치의 선정

기하형상 모델링 후, 암반의 재료 모델과 물성치를 선정한다. 상태방정식(equation of state)으로 다공성 재료(porous material)의 거동모사에 적합한 P- α 상태방정식을 선정하였다. 강도모델(strength model)과 파괴모델(failure model)로는 초고속 변형(high strain-rate) 하에 있는 취성재료(brittle material)의 거동모사에 적합한 RHT-concrete 모델을 적용하였다. 실제로 격실 및 터널 주변에 분포하는 암반은 그 성질이 비등방, 비균질하기 때문에 그 물성치를 명확히 규명하는 것에 어려움

이 따른다. 하지만, 암반의 물성치가 주요 인자가 되는 경우는 폭발에 의한 암반의 거동을 분석할 때이고, 터널 내부의 압력 전파 양상을 분석하는 경우에는 암반의 손상이 없는 것으로 가정하므로 암반 물성치가 결과에 크게 영향을 미치지 않는다¹⁸⁾. 본 연구에서는 이를 예비해석을 통해서 밝히고, 그 결과를 토대로 Table 2와 같이 암반의 물성치를 선정하였다.

Table 2. Main rock properties

Sound Speed (m/s)	Compressive Strength (MPa)	Bulk Modulus (GPa)	Shear Modulus (GPa)
3,242	140	35.27	22.06

Fig. 9는 예비해석 대상 격실 및 작약 배치를 나타낸다. 압력의 상대적 수치 비교를 위하여 AUTODYN의 2D Axial Symmetry 해석을 수행하였다. Fig. 10은 예비해석의 결과로, 암반 모델의 압축강도(Compressive Strength), 음향전파속도(sound speed), 체적탄성계수(Bulk Modulus), 전단탄성계수(Shear Modulus)에 따른 폭발 격실 출입통로에서의 압력 변화가 둔감함을 보인다.

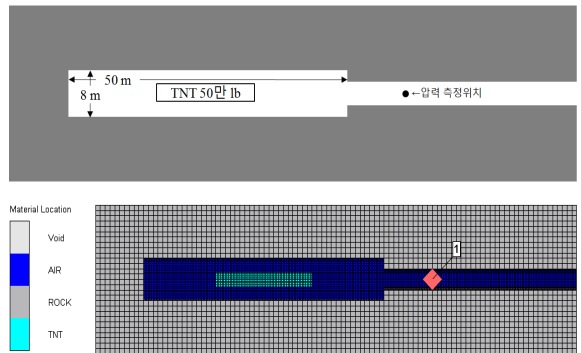
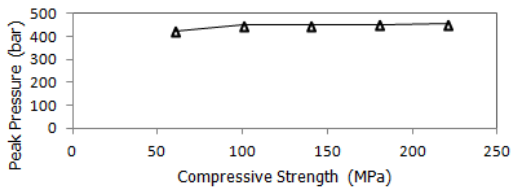


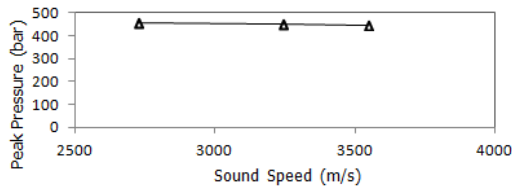
Fig. 9. Preliminary analysis target chamber and explosive placement(schematic plan(upper), AUTODYN model(lower))

3.4 터널내부 압력전파 시뮬레이션 결과

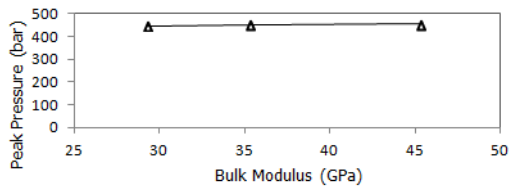
터널 내부에서 폭발이 일어났을 때, 특정 지점에 작용하는 압력은 폭풍파가 해당 지점에 도달한 시점까지 확산된 공간의 총 부피가 증가함에 따라 큰 폭으로 감소한다.



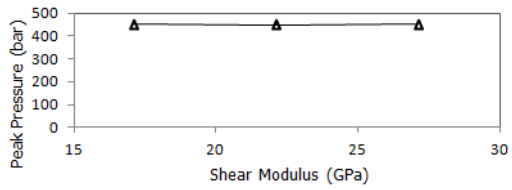
(a) 압축강도



(b) 음향전파속도



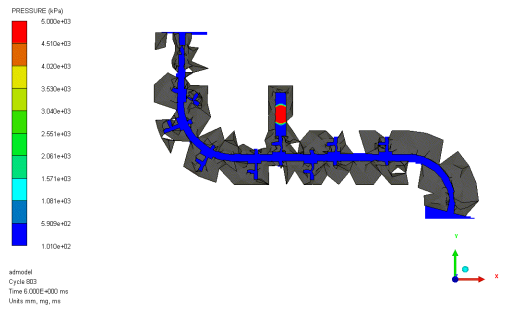
(c) 체적탄성계수



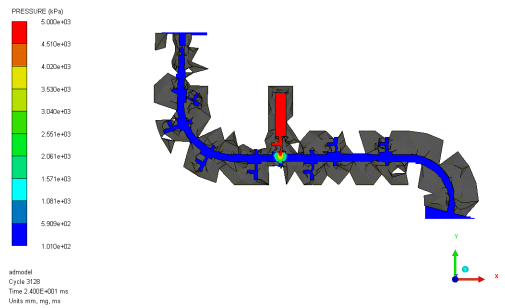
(d) 전단탄성계수

Fig. 10. Maximum pressure of chamber access road according to rock property

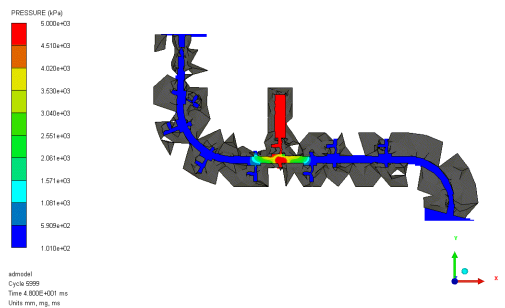
Fig. 11은 격실 #5의 폭발시 터널 내부의 폭풍과 전파 양상을 보이고 있다. 폭발 직후 격실 내부의 압력이 크게 증가하지만, 폭풍파가 격실을 빠져나온 후 맞은편의 파편함정에 구속되고 터널 좌우로 분산되면서 그 크기가 큰 폭으로 감소됨을 확인할 수 있다(6, 24 ms). 또한 폭풍파가 주통로를 진행함에 있어서도 폭풍파 확산 부피의 증가, 터널의 잦은 분기와 단면의 변화 등으로 인해 폭풍압력의 크기가 빠르게 감소함을 확인할 수 있다(48, 100 ms). 따라서 각 격실 출입구 방폭문이 받는 최대 압력은 해당 격실과 가장 가까운 격실인 좌우측 격실의 폭발로 인한 압력 중 더 큰 값으로 결정한다.



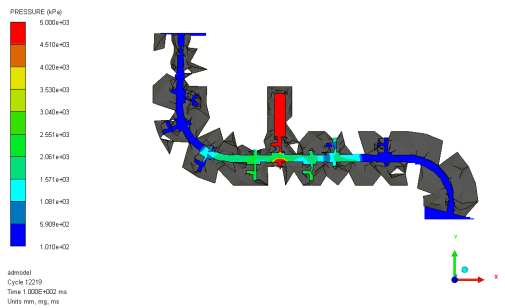
(a) t = 6 ms



(b) t = 24 ms



(c) t = 48 ms



(d) t = 100 ms

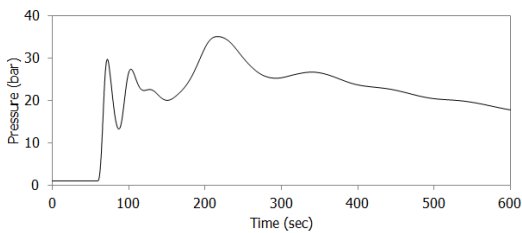
Fig. 11. Maximum pressure of chamber access road according to volume elastic modulus

Table 3은 각 격실별 방폭문이 받는 최대압력을 나타내고, Fig. 12는 주요 격실의 방폭문이 받는 압력-시간 곡선을 나타내고 있다.

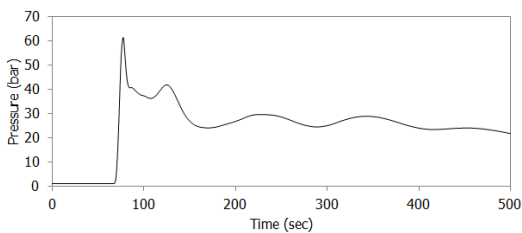
Table 3. Blast door pressure in each chamber(unit:bar)

측정격실번호(N)	1	2	3	4	5	6	7	8
N-1번 격실폭발시	-	33.84	61.48	41.23	56.05	52.50	44.91	27.83
N+1번 격실폭발시	33.84	55.61	44.60	46.61	38.90	32.75	23.06	-
최대값	33.84	55.61	61.48	46.61	56.05	52.50	44.91	27.83

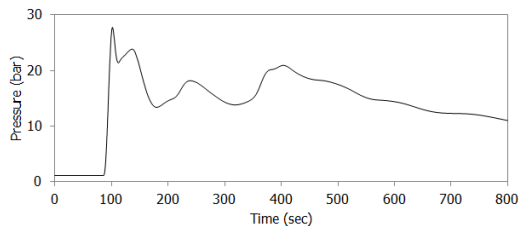
주목할 점은 격실 #1 방폭문의 최대압력 발생시점이 다른 격실과는 달리 충격전단이 도달하는 시점(최초 반사압력 발생시점)이 아니라 그로부터 약 150 ms 이 후라는 점이다.



(a) 격실 #1



(b) 격실 #3



(c) 격실 #8

Fig. 12. Pressure-time curve of blast door in each chamber

최대 압력 발생에 지연이 나타나는 이유는 격실 #1 옆 터널 시점부에 설치되어 있는 병목장치 때문이다. 격실 #2로부터 전파되기 시작한 폭풍파가 격실 #1을 지나 병목장치에 도달하게 되면 감소된 단면이 폭풍파의 전진을 방해하고, 충격전단 뒤편(폭풍파 진행의 역방향)으로 반사파와 그로 인한 압력파의 중첩을 발생시킨다. 압력파의 중첩이 격실 #1의 출입통로에 도달하게 되는 순간 방폭문이 받는 압력은 한차례 더 증가하고, 이 증가폭이 최초 최대값을 초과하는 것을 Fig. 12(a)를 통해 확인할 수 있다. 압력의 2차 증가는 폭풍파 진행 방향 상에 터널의 급격한 꺾임(90도 이상) 등에 의해서도 마찬가지로 발생될 수 있다. 참고로, 이러한 현상은 현재 제시되어 있는 미군과 나토의 경험식에 반영되어 있지 않은 사항이기 때문에 수치해석의 필요성을 보여준다. 격실 #8을 포함한 나머지 격실의 경우, 병목장치의 위치가 각 격실로부터 멀리 떨어져 있기 때문에 압력 중첩의 영향이 크지 않아, 그로 인한 압력의 증가가 최초 최대치를 넘어서지 못하는 것으로 나타났다.

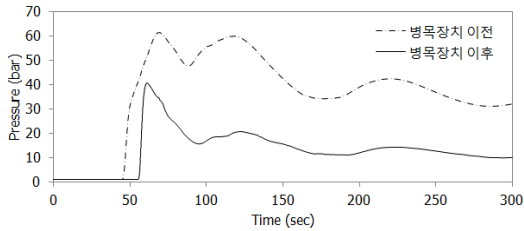
Fig. 13은 터널 시점부와 터널 종점부에서의 압력-시간 곡선을, Table 4는 최대압력을 보이고 있다. 폭풍파가 병목장치에 도달하게 되면 일정부분의 압력파는 좁아진 단면에 의해서 뒤편으로 반사되고, 남은 압력파가 병목장치를 통과한 후 다시 넓어지는 단면에 의해 분산되어 압력이 감소되게 된다.

Table 4. Maximum pressure of tunnel

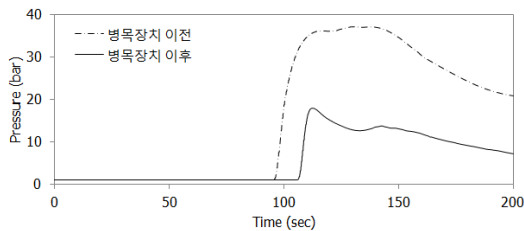
위치	병목장치 통과 前	병목장치 통과 後	감소율
터널 시점부	61.69 bar	40.76 bar	33.93 %
터널 종점부	37.12 bar	18.03 bar	51.43 %

압력의 감소율은 각각 33.93 %와 51.43 %로 나타났으며, 병목장치의 압력 감소효과가 큼을 확인할 수 있다. 한편, 터널 시점부의 최대압력은 격실 #1 저장탄약의 폭발에 의해 발생되며, 터널 종점부의 최대압력은 격실 #8 저장탄약의 폭발에 의해 발생된다. 격실 #1과 터널 시점부까지의 거리는 약 80 m, 격실 #8과 터널 종점부까지의 거리는 120 m이기 때문에 상대적으로 폭발격실로부터의 거리가 가까운 터널 시점부의 최대압력이 더 크게 발생하였음을 확인할 수 있다. 또한

격실 #8과 터널 중점부 사이에 존재하는 곡선 터널도 압력감소의 원인이 되었음을 추정할 수 있다.



(b) 터널 시점부



(b) 터널 중점부

Fig. 13. Pressure-time curve in tunnel entrance

3.5 내폭력의 산정

계산된 각 격실 방폭문별 최대압력을 토대로 방폭문 제작을 위한 내폭력을 다음과 같이 제시한다.

Table 5. Design load of blast door(unit:bar)

격실 번호	1	2	3	4	5	6	7	8
내폭력	33.84	55.61	61.48	46.61	56.05	52.50	44.91	27.83

단, 시뮬레이션의 결과는 방폭문에 도달하는 최대초과압력의 최대치이나 이는 안전율이 고려되어 있지 않다. 또한, 격실에 따른 상이한 설계요구하중에 따른 방폭문을 제작하는 것은 오히려 제작비용을 상승시킬 것으로 사료된다. 따라서, 안전율(1.2)과 제작비용을 고려하여 Table 6과 같이 내폭력에 따른 방폭문 사양을 제시한다.

Table 6. Load carrying capacity of blast door(unit:bar)

격실 번호	1	2	3	4	5	6	7	8
방폭문 내하력	50	75	75	75	75	75	75	50

4. 결론

이 연구에서는 M&S를 통한 지하탄약고의 방폭문의 내폭력 산정절차 및 주요 고려사항을 제시하였다. 또한 제시된 절차를 통하여 ○○부대 관통형 지하탄약고의 내부폭발로 인해 발생하는 폭풍파가 인접 격실 방폭문에 미치는 최대압력을 계산하고, 이를 토대로 방폭문 제작을 위한 내폭력을 제안하였다.

추가하여, 터널의 기하형상이 압력과 형성에 미치는 영향을 확인할 수 있었다. 격실 출입통로의 면적이 감소할수록 터널을 통해 전파되는 폭풍압력의 최대값이 줄어드는 경향을 보였다. ○○부대 관통형 지하탄약고의 병목지점에 대한 시뮬레이션 결과에 따르면, 병목장치에 의한 초과압력 저감은 상당히 효과적임이 나타났다. 또한 폭발 격실과 터널 출구까지의 거리 및 곡선구간의 유무가 터널 출구 압력 저감에 영향을 미침을 추론할 수 있었다. 따라서, 앞서 논의한 터널의 기하학적 형태상의 각 요소들이 폭발압력 저감을 위한 의미있는 설계방안임을 확인할 수 있었고, 향후 지하탄약고 설계에 충분히 고려할 수 있다고 사료된다.

이 연구에서 제안한 해석방법은 지하탄약고 내의 폭발격실 및 전체 터널 주변부 암반의 유한요소해석을 포함하고 있기 때문에 계산적 부담이 큰 방법이라고 볼 수 있다. 따라서 계산상의 효율성을 제고하기 위하여 병렬연산기법이나 효율적인 유한요소 처리에 관한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

References

- [1] Ministry of National Defense, "Design Guideline for Ammo," DMFC 5-60-30, p. 51, 2011.
- [2] J. Lee, Y. Park, G. Kim, T. Lim and Y. Park, "A Basic Study on Upgrading of the Evaluation Factors of the Protective Capacity in Military Protective Facilities," Architectural Institute of Korea, Vol. 22, No. 1, pp. 31-38, 2006.
- [3] ROK Army, "Field Manuals 0-1 Strategy," 2013.
- [4] ROK Army, "Field Manuals 9-8 Division," 2013.
- [5] Defense Installations Agency, "A Study on Reestablishment of Protection Criteria in Contact Area," 2014.
- [6] U.S. Army, "Ammunition and Explosives Safety

- Standards,” DA PAM 385-64, p. 346, 2011.
- [7] NATO, “AASTP-1 : Manual of NATO Safety Principles for the Storage of Military Ammunition and Explosives,” NATO, p. 528, 2010.
- [8] Ministry of National Defense, “A Study on Protective Criteria for the Important Military Facilities,” 2012.
- [9] Consolidated Army Logistics School, “Hazardous Materials Management,” 2010.
- [10] Ministry of National Defense, Design Guideline to Ammunition Storage, 2012.
- [11] ANSYS, “AUTODYN Manuals for Nonlinear Dynamic Simulation,” ANSYS, p. 112, 2009.
- [12] J. Baek, S. Kim, K. Son and Y. Park, “The Study on Assessment of Protective Capacity of the Reinforced Concrete Box-type Artillery Positions,” Journal of the KIMST, Vol. 17, No. 2, pp. 275-281, 2014.
- [13] ANSYS, “SpaceClaim Guideline for 3D Modeling,” A SpaceClaim Document, p. 60, 2014.
- [14] Y. Park, S. Park, H. Eom and K. Son, “The Study on the Protective Capacity of Military Shelters in the Contact Area,” Journal of the KIMST, Vol. 18, No. 4, pp. 402-408, 2015.
- [15] Y. Park, T. Kim, Y. Yu, and K. Son, “A Study on the Reinforcing Method for the Protective Capacities of Dispersal and Combat Facilities Using Logistic Regression,” Journal of Korea Institute of Building Construction, Vol. 16, No. 1, pp. 77-85, 2016
- [16] J. Park, C. Lim, D. Ryu, K. Son, J. Baek, and Y. Park, “The Design and Protective Capacity Assessment of the Prefabricated PC Arch Ammo Magazines,” Journal of the Korea Institute of Building Construction, Vol. 14, No. 6, pp. 615-621, 2014.
- [17] B. Luccioni, D. Ambrosini, G. Nurick, and I. Snyman, “Craters Produced by Underground Explosions,” Computers & Structures, Vol. 87, No. 21-22, pp. 21-22, 2009.
- [18] A. Cardona, N. Nigro, V. Sonzogni and M. Storti, “Craters Produced by Underground Explosions,” Mecanica Computacional, Vol. 225, pp. 1603-1614, 2006.