Journal of the KIMST, Vol. 18, No. 4, pp. 402-408, 2015
ISSN 1598-9127
DOI http://dx.doi.org/10.9766/KIMST.2015.18.4.402

Research Paper 시험평가 부문

접적지역 대피소 방호수준 설정에 관한 연구

박영준[1] · 박상진[1] · 엄홍섭[2] · 손기영[*,3]

[1] 육군사관학교 토목환경학과
[2] 광운대학교 방위사업학과
[3] 울산대학교 건축학부

A Study on the Protective Capacity of Military Shelters in the Contact Areas

Young Jun Park[1] · Sangjin Park[1] · Hong Seob Eom[2] · Kiyoung Son[*,3]

[1] *Department of Civil Engineering & Environmental Sciences, Korea Military Academy, Korea*
[2] *Department of Defense Aquisition Program, Kwangwoon University, Korea*
[3] *School of Architecture, University of Ulsan, Korea*

(Received 31 December 2014 / Revised 25 May 2015 / Accepted 24 July 2015)

ABSTRACT

Protection against direct projectiles has been adapted just to the main command posts in the existing protective facility standards. However, protective capacity for the shelters against direct projectiles is also required because the initial survivability as well as the operation sustainment of the shelters is critical during a couple of days from outbreak of war. In this study, the Russian artillery is used to determine the existing and future threat of the North Korean Armed Forces indirectly. And then, required protective capacity of military shelters in the contact areas is calculated along with UFC 3-340-02 and it is verified using modeling and simulation. Based on the assessed capacity, actual inspect of military facilities with contact areas on spot is performed whether military shelters have enough protection capacity against determined threats. According to the field study, it is verified that proper earth bermed shelter has enough protection capacity. The results in this study could be used how to retrofit the current shelters in the contact areas.

Key Words : Shelters(대피소), Protective Capacity(방호성능), Overburden Soil Load(상재토사하중), Contact Area(접적지역)

1. 연구 개요

1.1 연구 목표

이 연구에서는 전쟁 초기 북한군의 갑작스런 포병사격으로부터 접적지역 전투원 및 장비 등의 전투력 보호를 위한 대피소 방호수준을 제시하고자 한다.

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

1.2 연구 배경

북한군 야포가 한국군에 비해 상대적으로 우세한 것은 일반적인 사실이다. 이는 포병운용을 중시한 스탈린의 영향을 받은 북한이 야포를 중심으로 군사력을 증강해 왔기 때문이다. 따라서 유사시 선제기습타격을 획책하는 북한군은 접적지역에 대한 무경고하 타격을 감행할 것이다. 중요한 것은 사(여)단급 이하의 편제포병의 경우 인간정보를 통해 화력을 유도하므로 접적지역 군사시설의 경우 포탄의 직접타격에 의한 피해가능성이 높다는 점이다[1,2].

이러한 우려에 따라 2013년도 국정감사에서도 직격탄에 대한 접적지역 대피소의 방호 대비책에 관한 의혹이 제기된 바 있다[3]. 직격탄 방호 개념은 현 한국군 방호기준에서 북한군 항공탄으로부터 주요 ○○시설부터 부분적으로 적용되었다[4]. 하지만, 개전 초 북한군은 상대적으로 우세한 야포을 이용하여 접적지역에 대한 고밀도 포병사격을 계획하고 있는 바, 북한군 항공탄에 의한 ○○시설 방호 이외에도 접적지역의 전투원, 무기체계 및 장비에 대한 초전 생존성 확보를 위한 포병 직격탄에 대한 대비책이 필요하다.

1.3 연구 방향 및 제한 사항

본 연구를 추진하기 위하여 우선적으로 구소련 중심의 사단급 편제포병에 대한 무기효과 분석을 통해 접적지역 대피소에 대한 현존 및 미래 위협을 간접적으로 판단하였다. 이와 함께 美 UFC 3-340-02 및 TM 5-855-1을 이용하여 대피소 방호수준을 제시하였으며, 제시된 수준을 유한요소해석을 통해 검증하였다. 아울러, 방호수준 미충족 시설에 대하여 복토를 통한 대피시설의 방호성능 보강에 따른 구조적 안전성을 검증하였다.

군사보안을 준수하기 위하여 본 연구에서 사용된 북한군 위협은 인터넷 등을 통해 일반적으로 공개된 구소련 사(여)단급 편제포병을 활용하였다. 또한 위협에 따른 대피소 방호수준은 현 한국군의 방호 기준 및 실태와는 무관함을 밝히는 바이다.

2. 위협분석 및 무기효과

2.1 위협분석

구소련 사(여)단급 편제포병은 일반적으로 152 M 및 122 M 자주포로 알려져 있다[5,6]. 이 가운데 위협분석에서는 122 M 보다는 152 M 포병탄이 탄체 및 작약의 중량이 커서 구조체에 가하는 충격효과가 크다. 따라서 본 연구에서는 152 M 포병탄만을 위협수단으로 설정하였다. Table 1은 152 M 자주포에서 운용되는 포탄의 제원을 나타내고 있다.

Table 1. Specification of a shell

구경	탄체중량 (kg)	작약중량 (kg)	포구속도 (m/s)
152 M	27.44	6.9	560
	40.0	5.1	508
	40.0	5.66	508

2.2 무기효과

일반적으로 무기효과라 함은 주어진 조건, 즉 무기체계, 구조체 특성 및 피격조건에 따른 콘크리트 방호두께를 의미한다. 물론 여기서 콘크리트 방호 두께라는 개념에는 콘크리트 재료적 특성, 가령 압축강도 등을 포함한다. 주목할 점은 동일(유사)한 무기체계, 구조체 특성 및 피격조건이라 하더라도 폭발원점이 지상인지 지중인지에 따라 방호시설 내부에 있는 인원과 장비 보호를 위한 요구 방호두께가 현저히 다르다. 이는 지중폭발의 경우 지중에서의 폐쇄폭발로 폭압의 분산보다는 중첩으로 인하여 더 큰 초과압력을 발생시키는 전색효과로 인하여 폭발효과가 가중되어 구조체에 더 큰 피해를 야기하기 때문이다[7]. 참고로, 지중폭발에서의 전색효과는 지표면으로부터 30 cm 이상의 깊이에서부터 발생한다[5].

추가하여, 방호구조물 설계에서는 충격 및 관입효과가 주요한 무기효과 고려대상이며, 특히 직격탄의 경우 폭압 혹은 탄체의 충격에 의한 효과를 중심으로 방호두께를 산정하여 접적지역 방호시설에 대한 방호성능을 평가한다.

2.2.1 지상 콘크리트 구조물[7]

폭(포)탄이 목표물과 접촉폭발하는 경우 목표물에 심각한 변위와 파손을 일으켜 광범위한 피해를 입힌다. 이에 대비하는 방호시설은 동하중(動荷重)을 흡수할 수 있는 육중한 구조물이 상대적으로 더 효과적이다. 철근 콘크리트는 단위중량이 2.4 ton/m^{3}으로써 폭발작용에 효과적으로 저항할 수 있는 효과적인 재료

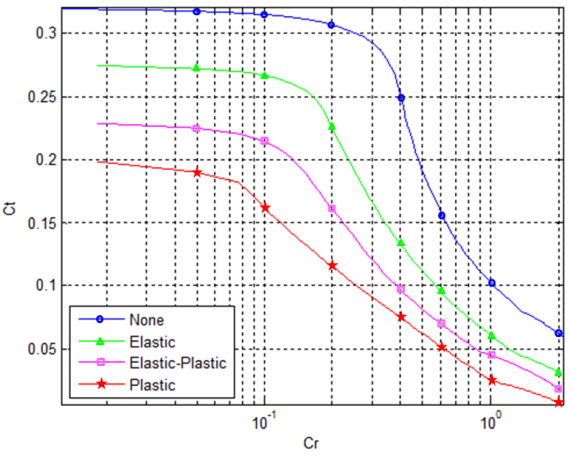
이다.

폭발위치와 구조물에 접하는 폭탄의 면적은 폭발력의 강도를 결정해 주는 중요한 요소이다. 구조물과 접하는 폭탄의 면적이 최대가 되는 측면폭발은 구조물에 가장 큰 효과를 발생시키며 탄두가 건물 벽체에 접촉하여 폭발하는 경우는 측면폭발이 유발하는 피해의 절반 정도이다. 따라서 최대한 안전한 방호구조물을 설계하기 위해서는 측면폭발을 기준으로 삼아야 한다. 접촉 및 근접 폭발에 저항하기 위해 요구되는 철근콘크리트의 두께는 Fig. 1(a)을 사용하여 구할 수 있다. 이 그림은 여러 가지 손상정도와 벽두께의 관계를 보여주고 있으며, 주어진 두께의 벽체에 특정한 손상을 주는데 소요되는 작약량(炸藥量)도 계산할 수 있다. 여기서, $C_r = r/w^{1/3}$, $C_t = t/w^{1/3}$이며, r은 폭발원점으로부터 구조체 최외곽벽체까지의 거리(m)이며, t는 벽체의 두께(cm), w는 작약의 무게(kg)를 나타낸다.

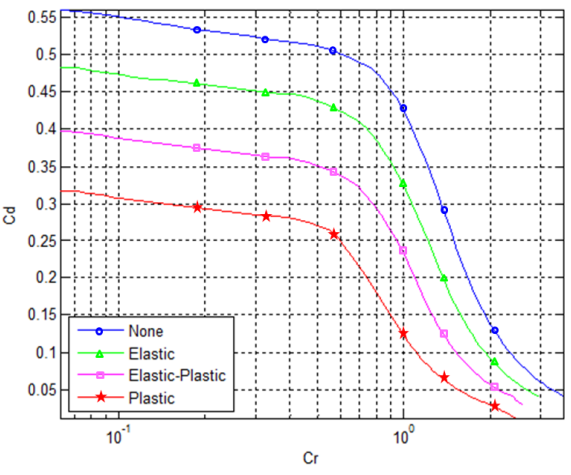
2.2.2 지하 콘크리트 구조물[7]

구조물에 대한 지하 폭발의 효과는 구조물의 무게, 크기, 형태, 강도 및 폭발 위치에 따라 다르다. 특히 지중(地中)에서의 접촉폭발시 주변 흙에 의한 전색(塡塞)효과 때문에 지상의 대기(大氣)중 폭발에 비해 더 큰 폭발력이 구조물에 작용하므로 피해가 더 커질 수 있다. 철근 콘크리트와 같은 중량 구조물의 경우 접촉폭발 효과는 폭발 지점의 주변 환경에 따라서도 크게 변한다. 즉 구조물과 폭발에 대한 저항이 큰 물체 사이에서 폭발이 일어나면 그 구조물에 대한 폭발 효과는 더욱 커진다. 따라서 다져진 뒷채움 흙으로 덮여진 구조물 벽체의 경우, 접촉 폭발로부터의 방호 두께는 대기에 노출된 벽체의 두께에 비해 약 2배가 되어야 한다.

지하 철근 콘크리트 구조물에 접촉 또는 인접하여 특정 거리에서 폭발하는 경우, 피해 정도에 따른 방호벽 두께는 Fig. 1(b)에서 구할 수 있다. 이 그림은 실물크기의 철근 콘크리트 구조물을 지하에 만들어 놓고 실시한 표본 실험에서 구한 자료로부터 얻은 것이다. 여기서, C_r은 폭발효과에 따른 폭발이격거리와 작약의 무게에 대한 관계를, C_d는 벽체의 피해에 따른 벽체의 유효깊이와 작약의 무게의 관계를 나타내는 것으로 $C_r = r/w^{1/3}$, $C_d = d/w^{1/3}$된다. r은 폭발원점으로부터 구조체 최외곽벽체까지의 거리(m)이며, d는 벽체의 유효두께(cm), w는 작약의 무게(kg)를 나타낸다.



(a)



(b)

Fig. 1. Wall thickness estimation of above ground(a) and underground(b) structure

2.3 방호두께

전술한 바와 같이 방호두께 산정을 통하여 방호성능을 평가하기 위해서는 Fig. 1에 제시된 "다양한 피해양상"에 대한 이해가 필요하다. "다양한 피해 양상"이라 함은 미세균열, 파쇄발생 혹은 콘크리트 분리 등을 의미하며, 각각의 피해양상은 탄성, 탄·소성 및 소성 설계 개념에 적용된다. Table 2는 피해 양상에 따른 설계개념과 방호성능 평가를 위한 정량적 지수인 변위연성도와 최대 지점회전각을 나타내고 있다[8,9].

대피소의 경우 현 한국군에서는 방호기준 ○급을

적용한다. ○급 방호시설의 경우 일반적으로 영구적인 방호시설이 아니므로 방호수준은 Table 2의 “다” 급을 적용한다. 방호수준 “다”의 설계 개념인 소성 설계는 구조물에 피해가 심각한 수준으로, 구조물의 보수 및 보강이 제한되어 지속적인 사용은 불가하나, 내부의 인원과 장비에 대한 초전 생존성은 보장할 수 있는 상태를 나타낸다[4].

Table 2. Design concept for protective capacity evaluation

구분	설계 개념	피해 양상	변위 연성도	지점회전각 (°)
“가” 급	탄성 설계	미세균열 발생	0～1	0～2
“나” 급	탄·소성 설계	균열 또는 파쇄 발생	1～3	2～5
“다” 급	소성 설계	철근으로부터 콘크리트 분리	3～10	5～12

변위연성도는 최대변형 대비 탄성변형값의 비율로서 일반적으로 철근콘크리트와 같은 취성재료보다는 강판과 같은 연성재료에 의해 구축된 시설에 주로 적용되는 손상지수이며, 지점회전각은 부재의 지점에서의 최대 회전각도로서 철근콘크리트 구조체의 손상정도 판단에 주로 활용된다[8,9].

3. 방호설계 기준

3.1 방호수준 설정

방호설계 기준 제시를 위해서는 방호수준 설정이 필요하다. 한국군에서는 접적지역의 대피소에 방호 ○급을 적용하고 있다. 하지만, 연구의 제한사항에 밝힌 바와 같이 본 연구는 한국군의 방호기준과 관계없이 앞장에서 일반적으로 공개된 위협분석 및 무기효과에 따른 방호수준을 설정하였다. 방호수준 설정은 신관의 기능에 따른 지상 및 지중폭발로 구분한다. 이는 동일한 위력의 무기체계라 하더라도 지중폭발 시 전색효과로 인하여 구조물에 대한 피해가 증가되기 때문이다. Table 3은 본 연구에서 접적지역 대피소에 대한 방호수준 제시를 위한 방호조건을 나타내고 있다.

Table 3. Protection condition

구분	신관종류	폭발형태	작약량(kg)	구경
지상	탄두	접촉	6.9	152 M
지중	탄저	토피	5.1	

3.2 방호두께 계산

Fig. 1(a), (b)를 토대로 방호수준에 따른 콘크리트 벽체의 요구 두께가 Table 4에 제시되어 있다. 참고로, 지상폭발의 경우는 탄두신관에 의해 복토면에서 폭발하므로 복토두께가 구조체로부터의 이격거리를 의미하며, 탄저신관의 경우 약 탄체 관입깊이를 고려하여 복토두께에서 30 cm를 제하였다. 복토두께보다 관입깊이가 큰 경우는 이격거리가 없는 것으로 설정, 접촉폭발로 계산하였다.

Table 4. Required thickness of concrete wall

이격 거리 (cm)		0	10	20	30	40	50
방호 두께 (cm)	지중				58.42	57.17	56.22
	지상	38.13	36.26	31.52	24.82	22.42	19.10

4. 유한요소해석

3.2에서의 방호두께와 같이 단순한 구조체나 혹은 구조요소에 대한 방호성능 해석을 위해서는 미군의 TM 혹은 UFC를 이용하거나, 혹은 이를 통해 개발된 CONWEP을 주로 이용한다. 하지만, 구조체가 복잡하거나 폭발거동에 대한 양상예측이 제한될 때는 폭발하중에 대한 묘사가 가능한 상용프로그램을 활용한 유한요소해석이 타당하다. 이에 본 연구에서 상용프로그램인 AUTODYN을 사용하였다. AUTODYN은 유체 및 고체에 대한 Coupled Analysis를 수행하는 것으로 폭발압력을 전달하는 매개체인 대기 또는 지반을 함께 모델링하고 유체-구조물 상호작용해석을 통한 폭발압력 하중과 이에 대한 구조물의 응답을 함께 계산하는 방법으로 보다 정확한 구조물의 응답을 얻을 수 있다. 다만, 해석시간이 긴 단점이 있다.

Fig. 2는 AUTODYN을 통한 유한요소해석 절차를 나타내고 있다.

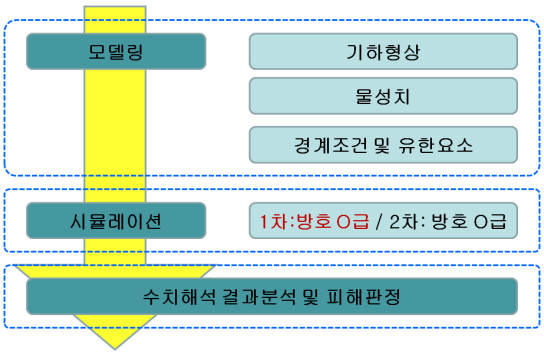


Fig. 2. Finite element method analysis through AUTODYN

먼저 기하형상 모델링을 진행하였다. 이후 철저한 도면 분석 후, 도면 치수 및 형상에 따라 콘크리트 및 뒷채움 흙에 대한 3D 모델링도 병행하였다. Fig. 4는 SPACECLAIM과 AUTODYN을 활용하여 모델링된 철근모델을 나타내고 있으며, 구조체의 콘크리트 강도는 24 MPa이고, 철근비는 약 0.42 %이다. 철근비는 방호시설에 관한 국내기준이 없어 해석모델의 순높이 및 벽체두께에 따른 UFC 3-340-02에서의 권고기준을 따랐다. Fig. 3은 SPACECLAIM에서 모델링 된 구조체가 AUTODYN으로 옮겨진 것을 나타내고 있다.

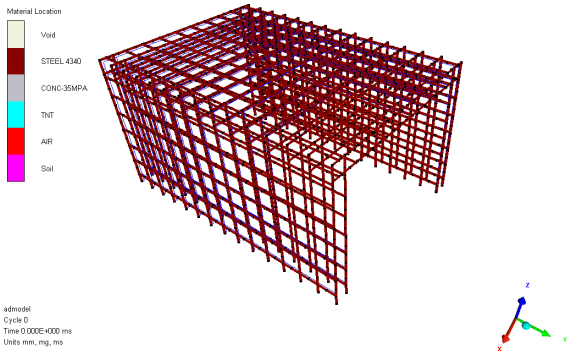


Fig. 3. Import of steel bar from SPACECLAIM to AUTODYN

기하형상 모델링 후, 철근 및 콘크리트 물성치를 WORKBENCH를 활용하여 반영하였다. 아울러, 폭발구 형상 및 응력전달 양상을 가장 잘 반영하는 Bibiana M. Luccioni의 흙 물성치를 뒷채움 흙에 반영하였다[10]. 이후, 폭풍력 전달에 다른 대기 및 지반의 경계조건을 처리하고, 구조체에 대한 유한요소 처리를 수행하였다.

4.2 유한요소해석 결과

4.2.1 폭발조건 #1:152 M 포탄(TNT 6.9 kg, 탄두신관)

Fig. 4는 복토 두께가 30 cm인 지상구조물에 대하여 TNT 6.9 kg이 복토면 위에서 폭발하였을 경우의 압력전파 양상과 구조체의 거동을 보여주고 있다. 해석결과 대피소는 폭발조건 #1에서 벽체와 철근의 변형이 거의 없었으며, 최대 지점회전각은 0.158°로 나타났다.

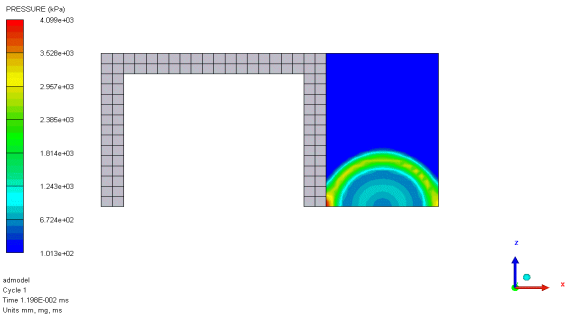


Fig. 4. Pressure phase, explosion condition #1

4.2.2 폭발조건 #2:152 M 포탄(TNT 5.10 kg, 탄저신관)

Fig. 5는 지하구조물의 벽체에 TNT 5.10 kg이 접촉하여 지중폭발하는 경우 압력전달 양상과 구조체의 거동을 보여주고 있다. 수치해석 결과에 따르면, 최대 지점회전각은 0.301°로 폭발조건 #1에 비해 약 2배 증가하였다. 지연신관에 의한 탄체의 관입으로 폭발이격거리가 단축된 면도 있지만, TNT의 양이 폭발조건#1에 비해 약 25 % 감소(6.9 kg ⇨ 5.1 kg)되었음에도 불구하고 최대지점회전각이 2배 가까이 증가한 결과는 지중폭발이 전색효과 때문에 지상폭발에 비해 구조물에 큰 피해를 입힐 수 있다는 사실에 부합한다.

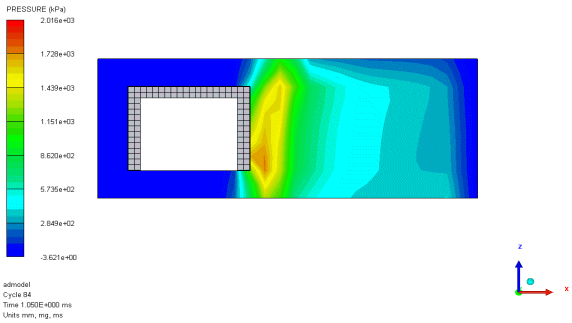


Fig. 5. Pressure phase, explosion condition #2

5. 방호성능 보강을 위한 구조계산

접적시설 방호성능 향상을 위한 가장 현실적인 보수·보강 방안은 복토이다. 방호력 보강을 위해 복토 두께 증대시 상재토사하중으로부터 구조물의 안전여부를 구조계산을 통해 확인하였다. 구조계산을 위하여 Midas FEA 해석 프로그램을 사용하였다. Fig. 6은 해석대상인 대피소의 일반적인 형태를 나타내고 있다.

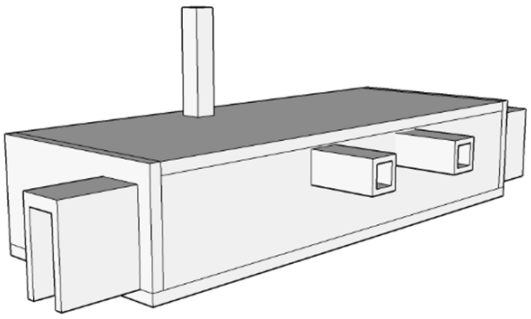


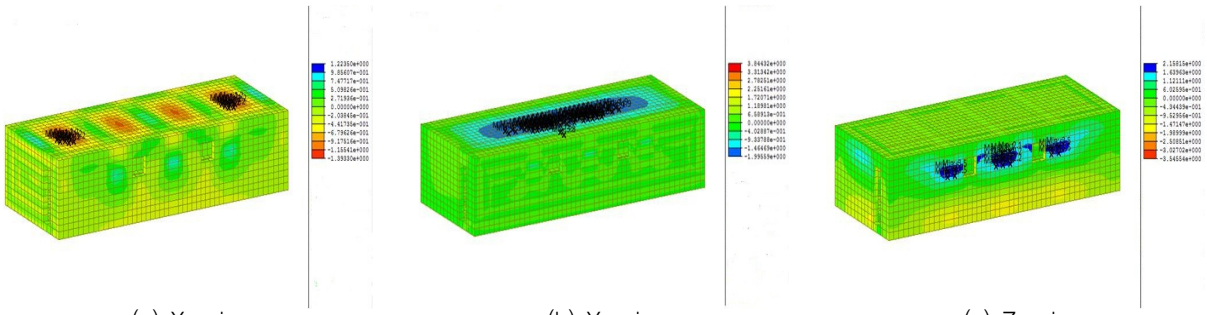
Fig. 6. Typical shelter

해석을 위한 상재토사하중(P_o)은 다음과 같이 계산된다. 이를 토대로 콘크리트 자중 및 상재토압에 대한 하중조합은 극한하중설계법에 따라 Table 5와 같이 적용하였다. 또한, 해석에서 국방·군사시설기준 상의 표준 콘크리트 압축강도 f_{ck} = 24 MPa, 철근의 항복응력 f_y = 350 Pa를 적용하였으며, 지반경계조건은 고정단, 유한요소처리는 콘크리트는 솔리드로, 철근은 빔 요소로 처리하였다.

Table 5. Load combination

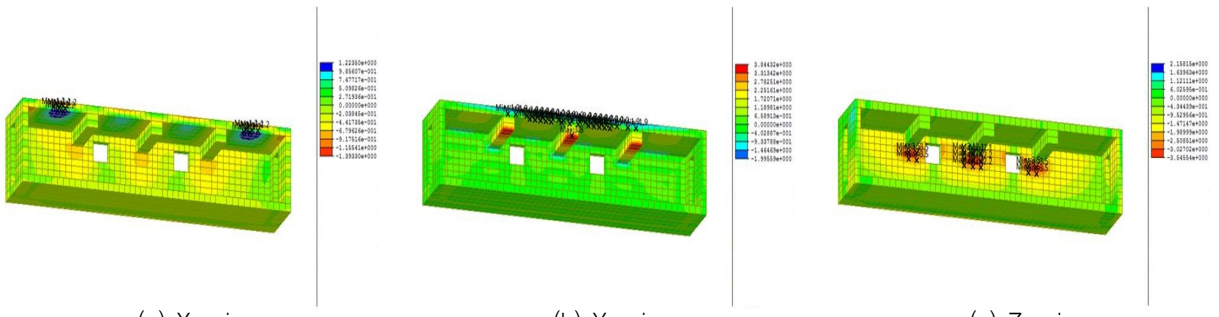
구분	자중	상재토압
극한하중(단면) 검토시	1.40	1.40

Fig. 7 및 Fig. 8은 각각 구조체 외부 및 내부에서의 3축(X, Y, Z) 단면응력 해석결과를 나타내고 있다. 해석결과를 바탕으로 안전성 판단에 가장 중요한 최대 인장 및 압축응력 및 콘크리트 허용응력을 Table 6에 종합하였다.



(a) X-axis (b) Y-axis (c) Z-axis

Fig. 7. External section force diagram



(a) X-axis (b) Y-axis (c) Z-axis

Fig. 8. Internal section force diagram

Table 6. Maximum tensile and compressive stresses obtained by structural analysis

허용응력(MPa)		발생응력(MPa)		
허용인장	허용압축	철근비	최대인장	최대압축
0.675	6.75	무근	0.884	3.546
		0.1	0.8774	3.368
		0.2	0.747	2.706
		0.3	5.587	1.968
		0.4	0.485	1.448
		0.5	0.452	1.125

토피 100 cm의 상재토사하중에 대하여 철근비를 0.3 % 이상으로 철근을 배근하였을 경우는 최대인장 발생응력이 허용인장응력 이내였으며, 최대압축 발생응력의 경우는 무근일 경우에도 허용압축 응력이내였음을 확인할 수 있었다.

일반적으로 실제 접적지역의 대피소의 경우 대부분 철근비 0.4 % 이상으로 철근이 배근되어 있었음을 고려할 때 상재토사하중으로부터 대피소는 안전하다고 볼 수 있다. 아울러, 본 해석에서 100 cm 두께의 상재토사에 여유력 있는 하중계수를 사용한 바, 실제 야전축성시의 일반적인 토피두께에는 더욱 충분히 구조적 안전을 확보할 것으로 판단된다.

6. 결 론

기존의 방호개념은 항공탄의 지근탄 개념이었으나, 접적지역의 경우 개전 초 무경고하 타격, 즉 포병탄의 직격 위협에 대비 방호개념이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 포병 직격탄으로부터 방호 가능한 접적지역 대피소의 방호수준을 판단하였다. 이를 위하여 접적지역에서의 가장 큰 위협이 되는 북한군 포병제원을 러시아군 포병화기 제원을 통해 간접적으로 파악하였다. 판단된 위협에 대응가능한 대피소 방호수준을 UFC 3-340-02와 TM 5-855-1에 기초하여 계산하였다. 아울러 계산된 결과는 유한요소해석을 통해 방호성능을 충분히 갖추었는지 검증하였으며, 검증결과를 바탕으로 현장실사를 통해 접적지역 대피소의 방호수준을 판단하였다. 판단결과, 적정의 접적지역 대피소는 적정의 복토만으로 충분한 방호성능을 확보하고 있는 것으로 확인되었다. 이상의 결과는 현 접적지역 대피소의 보수 및 보강에 활용될 수 있다. 군사보안을 준수하기 위하여 북한군 포병제원의 직접적 활용 및 현 접적지역 대피소에 대한 명확한 제원 제시가 제한될 수밖에 없음을 밝힌다.

후 기

본 연구는 육군사관학교 화랑대연구소 2014년도 군사학술연구지원사업에 의해 수행되었습니다.

References

[1] Field Manuals 0-1 Strategy(ROK Army Headquarters, 2013).
[2] Field Manuals 9-8 Division(ROK Army Headquarters, 2009).
[3] A Study on Reestablishment of Protection Criteria in Contact Area(Defense Installations Agency, 2014).
[4] A Study on Protective Criteria for the Important Military Facilities(Ministry of National Defense, 2012).
[5] Hazardous Materials Management(Consolidated Army Logistics School, 2010).
[6] Design Guideline to Ammunition Storage(Ministry of National Defense, 2012).
[7] Modern protective structures(Yangseogak, 2012).
[8] TM 5-855-1(US Army, 1965).
[9] UFC 3-340-02(US DOD, 2008).
[10] L. Bibiana, and A. Ricardo, “Craters Produced by Underground Explosions,” de Mecanica Computacional, Vol. 225, pp. 1603-1614, 2006.