

로지스틱 회귀모형을 활용한 소산 및 전투시설의 방호성능 보강방안 연구

Reinforcing Method for the Protective Capacities of Dispersal and Combat Facilities using Logistic Regression

박 영 준¹ 박 상 진¹ 유 영 진² 김 태 희³ 손 기 영^{2*}

Park, Young Jun¹ Park, Sangjin¹ Yu, Yeong-Jin² Kim, Taehui³ Son, Kiyoung^{2*}

Department of Civil Engineering & Environmental Sciences, Korea Military Academy, Seoul, 01805, Korea ¹

School of Architectural Engineering, University of Ulsan, Ulsan, 44610, Korea ²

Department of Architectural Engineering, Mokpo National University, Mokpo, Jeollanam-do, 58554, Korea ³

Abstract

This study provides the numerical model to assess retrofit and strengthen levels in the dispersal and combat facilities. First of all, it is verified that direct-hitting projectiles are more destructive to the structures rather than close-falling bombs with explosion tests. The protective capacity of dispersal and combat facilities, which are modeled with soil uncertainty and structural field data, is analyzed through finite element method. With structural survivability and facility data, the logistic regression model is drawn. This model could be used to determine the level of the retrofit and strengthen in the dispersal and combat facilities of contact areas. For more reliable model, it could be better to identify more significant factors and adapt non-linear model. In addition, for adapting this model on the spot, appropriate strengthen levels should be determined by hands on staffs associated with military facilities.

Keywords : explosion verification test, finite element analysis, logistic regression, protective capacity reinforcement, dispersal facility, combat facility

1. 연구의 목적 및 필요성

접적지역에서는 경계태세가 상향될 경우 지역주민은 생존성 보장을 위한 민방위 소산시설로, 군인은 경계태세 유지를 위한 소부대 전투시설로 이동한다. 이는 북한군이 접적지역에 대한 선제기습타격을 위하여 항공 전력이 아닌 포병사격을 운용할 것으로 판단되기 때문이다. 실제로 북한의 각종 도발사례에서 북한군은 다양한 전력의 이동 및 배치에도 불구하고, 항공전력을 크게 운영하지 않았다. 이

는 북한군이 항공기 노후화로 인한 유지전력 부족으로 항공전력의 70% 이상을 방공 임무에만 할당하고 있으며, 주요 타격수단으로 항공기보다는 꾸준히 전력을 증강하여온 포병에 많이 의존하고 있기 때문이다. 따라서 개전 초 기습타격에 의한 피해가 클 것으로 예상되는 접적지역의 민방위 소산시설 및 소부대 전투시설의 방호는 북한군의 항공타격보다는 포병사격의 위협을 더 염두에 두어야 한다 [1].

한편, 일반적으로 한반도와 같이 피아가 서로 접촉하여 대치하고 있는 경우는 드물다. 특히, 지역상 상호 접촉할 수밖에 없는 경우에도 접적지역에는 최소한의 경계병력만 주둔할 뿐 군 본대와 지역주민은 적 편제포병의 사거리 밖에 위치하게 된다. 이에 각국에서는 통상 방호구조물 설계를 위해 포병의 직격탄이 아닌 항공기에 의한 지근탄을 설

Received : October 8, 2015

Revision received : December 4, 2015

Accepted : January 25, 2016

* Corresponding author : Son, Kiyoung

[Tel: 82-52-259-2788, E-mail: sky9852111@ulsan.ac.kr]

©2016 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

계요구조건으로 설정하고 있다. 우리나라의 경우도 민방위 소산시설 및 소부대 전투시설의 경우 포병에 의한 직격탄보다 항공기에 의한 지근탄을 방호기준으로 설정하고 있다[2,3]. 이는 미군의 UFC(Unified Facility Criteria, 통합시설교범)를 참조하여 설정한 것이나, 앞서 언급한 바와 같이 미군과는 접적상황이 상이한 한반도 접적지역의 실태를 고려할 때 다소 현실적이지 못하다는 지적이 꾸준히 제기되고 있다. 하지만, 이에 관한 명확한 실험적 근거가 없는 바 방호기준의 변경이 쉽지만은 않은 것이 사실이다. 특히, 포병에 의한 직격탄 방호는 포탄의 신관 작동원리(주로 충격에 의해 뇌관을 작동)를 고려할 때 복토에 의한 방호가 필수적이다. 이는 복토를 통해 폭발원점을 구조체로부터 이격시킬 뿐 만 아니라, 포병탄의 작약량 및 파편특성을 고려할 때 구조체로의 충격량 감쇠에 있어 복토가 방호에 상당히 효과적이기 때문이다. 반면, 항공기에 의한 지근탄의 경우는 이미 폭발원점 및 구조체가 지근거리의 개념으로 이격되어 있고, 폭발에 대한 고려가 크기 때문에 복토의 효과가 절대적이지는 않다[4].

이에 본 연구에서는 북한군 포병에 의한 직격탄 및 항공기에 의한 지근탄으로부터 구조물의 피해정도를 폭발실증시험을 통해 규명하고, 둘 중 보다 큰 위협에 대하여 접적지역 내 민방위 소산시설 및 소부대 전투시설이 방호성능을 유지할 수 있도록 복토를 통한 방호력 보강의 수치적 정도에 대한 판단 근거를 제시코자 한다.

본 연구를 통해서 포병 직격탄과 항공기 지근탄에 의한 구조물 피해 정도를 비교함으로써 현실적인 방호기준의 기초자료를 제공할 수 있으며, 동시에 방호성능 미충족 시설에 대한 방호성능 보강수준 제시 및 향후 확대될 소산시설 및 전투시설에 대한 실질적인 설치기준의 제시가 가능할 것으로 사료된다.

2. 연구수행방법

본 연구의 수행을 위하여 폭발실증시험, 유한요소해석 및 로지스틱 회귀분석을 이용하였다.

2.1 폭발실증시험

폭발실증시험에서는 항공탄에 의한 지근탄 및 포병탄에 의한 직격탄을 묘사한 폭발실증시험을 통해 실 구조물에 미치는 피해를 판단한다[5,6].

2.2 유한요소해석

유한요소 해석에서는 상용프로그램인 AUTODYN을 사용한다. 폭발하중에 대한 구조물의 거동예측을 위한 정밀성, 정확성 및 신뢰성을 확보하기 위해 일반적으로 기본역학 및 물리학 보존법칙에 기초한 유한요소해석을 수행한다. 본 연구에서 사용된 AUTODYN은 비선형성이 큰 동역학 문제를 해결하기 위해 특화된 프로그램이다. 따라서 폭발하중에 대한 응답특성과 같이 대변위 혹은 대변형 문제를 해결하는데 상당히 유용하다. 특히 Lagrange Solver와 Euler Solver간의 커플링으로 유체와 고체간의 연성문제를 해결 할 수 있는 장점을 가지고 있다. Figure 1은 AUTODYN을 이용하여 본 연구에 적용한 해석절차를 나타내고 있다[7].

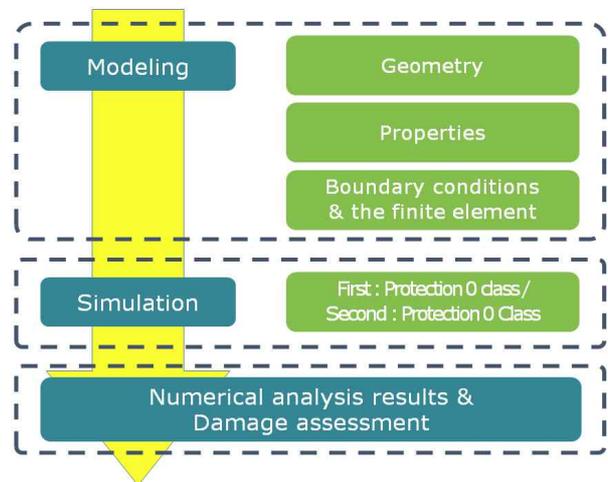


Figure 1. The procedure of the numerical analysis using AUTODYN

2.3 로지스틱 회귀모형

유한요소해석을 수행함에 있어 소부대 전투시설 및 민방위 소산시설을 둘러싸고 있는 복토에 대한 모델링이 가장 난해하다. 이는 복토 모델링 자체가 제한되기보다는 복토에 대한 물성치가 방호시설 현장여건에 따라 상당히 상이하기 때문이다. 실제로 유사한 사양의 방호구조물이라 하더라도 복토의 조건에 따라 방호성능 충족여부가 달라진다[8].

본 연구에서는 토성, 즉 함수율, 전단강도, 투수계수, 공극율, 입도분포 등의 다양한 변수 및 각 변수의 변량을 모두 고려할 수 없는 바, 확률적 분포에 의거 토성을 모의하였다. 모의된 토성과 현장에서 계측된 23개의 방호구조물

제원을 토대로 AUTODYN에 대한 방호성능 해석을 수행하였다. 따라서, 현장에서 계측된 방호구조물의 경우 동일한 구조물이라 하더라도 복토의 토성에 따라 방호성능 충족여부가 달라질 수 있다. 방호성능 충족을 1, 방호성능 미달을 0으로 한 로지스틱 회귀분석을 수행함으로써, 접적지역에서 복토 토성의 불확실성을 고려한 민방위 소산시설 및 소부대 전투시설의 방호성능 충족확률을 제시한다.

3. 문헌 고찰

3.1 용어정리

3.1.1 접적지역

통상 전쟁초기 전방지역의 군사작전에 직접 관련된 전방사단의 작전지역을 말하며, 전쟁이 진행됨에 따라 전선의 유동성이 발생한 경우에는 초기의 그것과는 달라질 수 있다.

3.1.2 소산시설

일반적으로 소산은 적의 공세적 행동에 대한 아군의 취약성을 감소하기 위해 집중되어 있는 인원, 물자, 설치물 등을 전술적으로 분산시키는 것을 의미하며, 본 연구에서는 민간인 대피시설 혹은 전시계획에 의한 민간 및 정부시설의 방호시설을 지칭한다.

3.1.3 전투시설

전투시설은 상급부대의 방호시설보다는 한 단계 낮은 개념의 군사시설로 대대급 이하 부대의 작전을 수행하기 위해 편성된 시설을 말한다.

3.1.4 방호시설

공중 및 지상공격, 화생방 및 악천후로부터 인원, 장비, 물자 등을 보호하기 위하여 구축한 강도 높은 시설물이다. 진지와 대별하여 직접적 전투행위보다는 간접적 전투지원 및 작전지속능력을 보존하기 위해 비교적 정밀하게 영구적으로 구축된 시설물로서 모든 장소와 상황에서 부대원, 민간 고용원, 가족, 시설 및 장비 등을 방호한다.

3.1.5 직격탄과 지근탄

직격탄과 지근탄에 대한 물리적 거리 개념은 상황에 따

라 상이하나, 일반적으로 방호시설과 접촉하여 폭발하는 것을 직격탄, 이격하여 폭발하는 것을 지근탄이라고 한다.

3.2 방호 설계

한국군은 방호구조물의 방호목표인 방호등급을 정보·작전측면에서의 적 위협 및 방호능력, 시설측면에서의 사용목적 등을 종합적으로 고려하여 총 0단계로 부여한다. 방호 등급이 결정되면, 폭발하중으로부터 구조체는 방호 등급에 따른 일정 수준 이내로 거동하여야 한다. 여기서 일컫는 방호등급에 따른 일정 수준은 미 UFC 3-340-02에서 제시하고 있는 변위연성도 및 지점회전각의 한계치를 의미한다.

Table 1. The design criteria of protective facilities in UFC and DMFC

Capacity	Construction Method	Damage Aspect	Max support rotation angle	
			UFC	DMFC
A	Elastic design	Microcrack	0~2°	0~1°
B	Carbon design	Crack, crush	2~5°	1~3°
C	Plastic design	Severe collapse	5~12°	3~12°

Table 1은 UFC 3-340-02 및 DMFC(Defense Military Facility Criteria, 국방군사시설 기준) 5-50-30에서 콘크리트와 같은 취성재료에 적용되는 각 방호등급에 따른 지점회전각의 허용한계를 나타내고 있다. 참고로, Table 1에서의 방호성능은 방호등급과 별도의 개념으로 설계 개념에 따른 구분을 의미한다. 한국군의 DMFC 기준은 미 UFC를 준용하여 방호구조물의 피해수준을 정의하고 있다.

지점회전각(θ)은 폭발 하중 작용 시 부재의 지점에서의 최대 회전각도로 Figure 2와 같이 정의된다. 여기서 X_m 은 최대 변위를, L 은 지점에서부터 최대변위가 발생한 지점까지의 최단거리를 의미한다[9, 10].

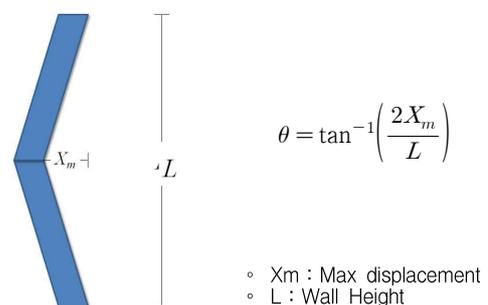


Figure 2. Maximum rotation angle

3.3 로지스틱 회귀모형

일반적인 회귀분석이나 분산분석은 종속변수가 연속형이다. 로지스틱 회귀모형은 종속변수가 0(死, 無, 失敗 등) 혹은 1(生, 有, 成功 등)과 같이 이원치(Binary Values)이고, 공산(Odds)의 로그변환을 종속변수로 모형화한다[11,12]. 즉, 다음과 같은 회귀모형으로 기술된다.

$$\log \frac{p}{1-p} = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \dots + \beta_n \cdot x_n$$

여기서, $Odds = \frac{p}{1-p}$ 이며, p 는 1(生, 有, 成功 등)일 확률을 나타낸다. Odds는 아래와 같이 exp의 형태로 표현된다.

$$\frac{p}{1-p} = e^{\beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \dots + \beta_n \cdot x_n}$$

x_i 가 연속형인 경우 e^{β_i} 는 x_i 를 한 단위 증가시켰을 때 (x_i+1)과 x_i 의 Odds ratio이고, x_i 가 (0,1)인 binary이면 e^{β_i} 는 0에 대한 1의 Odds ration이다. 따라서, 1이 일어날 확률은 다음과 같이 표현된다.

$$p = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \dots + \beta_n \cdot x_n}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \dots + \beta_n \cdot x_n}}$$

4. 폭발실증시험

폭발실증시험은 각각 지근탄에 대비한 1차 시험과 직격탄에 대비한 2차 시험으로 총 2회 걸쳐 동일한 실험체를 이용하여 수행하였다. Table 2는 1차 시험 조건이다. TNT △△ lb를 X.XX m만큼 이격하여 항공기에 의한 지근탄을 묘사하였다. Figure 3은 폭발 전 실험설정, 폭발양상, 폭발 후 구조체 피해 정도를 보여주고 있다.

Table 2. The 1st experiment condition

Content	Condition
Structures	The Concrete Strength : 92MPa(Age : 32 Days) The Thickness of the Wall / Roof : 150 mm
Threaten	TNT △△ lb, a Close-falling bomb (Distance : X.XX m)
Remark	000 lb Close-falling bomb Effect (Using the Cubic Root Scaling.)



(a) Pre-explosion



(b) Explosion



(c) Post-explosion

Figure 3. Explosion verification test for a close-falling bomb

Figure 4는 폭발실증시험에서의 구조체 거동(변위) 측정을 위한 센서 부착 및 부착 위치를 보여주고 있다. 1차 폭발에서 측정된 최대변위를 Table 3에 기술하였다.



Figure 4. Displacement and acceleration sensors to measure structural deformation

육안으로 크게 변형된 곳은 없었으며, 측정된 최대변위를 토대로 계산된 최대회전각이 0~1°사이로 Table 1에서의 성능 A 수준을 충족한 것을 알 수 있다.

Table 3. The results of the 1st experiment

Sensor #	①	②	③
Location	Left Wall (Close)	Right Wall (Far)	Roof
Max. Displacement	2.4mm	2.2mm	1.1mm
Support Rotation Angle	0.110008°	0.100840°	0.050420°
Naked Eye Observation	Front Fragment Crater (No Rear Crater)	None	None
Capacity	Satisfied with Level "A"		

다음 2차 폭발 시험으로는 동일한 실험체의 지붕에 이격거리 없이 TNT △△ 1b를 사용하여, 포병탄에 의한 직격탄을 묘사하였다. 실험 조건은 Table 4와 같다.

Table 4. The 2nd experiment condition

Content	Condition
Structures	The Concrete Strength : 92MPa(Age : 32 Days) The Thickness of the Wall / Roof : 150 mm
Threaten	TNT △△ 1b, a Direct-hitting Projectile (Distance : None)
Remark	152mm Direct-hitting projectile

Figure 5와 같이, 2차 시험으로 실험체는 지붕이 완전 관통되고 전면벽에 사인장 균열 발생하였다. 따라서 직격탄에 대해서는 방호성능이 현저히 충족하지 못하였으며, 3개소(좌·우측 벽체 및 지붕)에서의 변위 계측이 불가할 정도의 피해를 입었다.

폭발실증시험을 통해 포병탄에 의한 직격탄 피해가 항공탄에 의한 지근탄 피해보다 큰 것을 알 수 있다. 또한, 접적지역의 위협이 포병탄일 확률이 높은 만큼 항공기에 의한 지근탄 방호를 위한 현 방호기준보다는 북한군 포병탄을 위협의 기준으로 설정하는 것이 타당할 것으로 사료된다. 이 폭발실증시험 결과를 근거로 유한요소해석에서는 접적지역 민방위 소산시설 및 소부대 전투시설에 대한 기준상의 위협인 항공기 지근탄보다는 실질적인 위협인 포병 직격탄을 고려하여 방호성능을 평가하였다.



(a) Pre-explosion



(b) Explosion



(c) Post-explosion (diagonal crack of the front wall)



(d) Post-explosion (roof penetration)

Figure 5. Explosion verification test for a direct-hitting projectile

4.1 유한요소해석

본 연구에서는 AUTODYN(방호해석 전용 프로그램)을 활용한 유한요소해석을 통해 폭발현상에 대한 구조물 피해에 대한 M&S(Modeling & Simulation)로 수행하였다 [13,14].

우선 23개 접적지역 소산시설 및 전투시설에 대하여 획득한 재원을 토대로 SPACECLAIM을 통해 구조체 모델링

을 수행하였으며, 확률적 특성을 고려한 토성을 토대로 WORKBENCH에서 복토를 모델링하였다. 폭발거동 시물레이션을 위한 유한요소해석은 AUTODYN에서 획득된 개별 구조체와 다수로 모의된 토성을 반영한 복토 모델링을 결합하여 해석하였다. 이때, 유한요소해석에서 방호성능 충족여부는 최대 지점회전각이 Table 1,2에서의 “성능 B”까지를 만족할 때 충족하는 것, 즉 로지스틱 회귀모형 구축을 위한 레코드에서의 종속변수 값 “1”로 판단하였다. 참고로, 폭발실증시험에서는 지근탄 및 직격탄의 피해규모 판단이 목적이었으므로, 구조체 후면부의 출입구를 생략하였다. 하지만, 유한요소해석에서는 폭발에 따른 구조물의 거동을 보다 정확하게 규명하기 위하여 00시설에 주로 구축되는 실 구조체와 동일하게 후면 개구부(출입문)를 모델링하였다. Figure 6은 구조체의 유한요소처리 모습을 보여주고 있다.

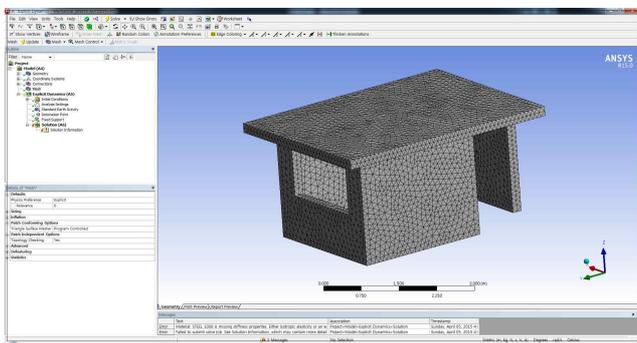


Figure 6. Meshing modeling of structures for finite element analysis

Table 5는 M&S를 이용한 방호성능 해석 제원 및 결과이다. Table 5에서 ID는 제원을 확보한 점적지역 소산시설 및 전투시설 번호이며, Trial은 각 제원에 랜덤으로 모의된 토성의 개수이다. 참고로, 본 연구에서 총 모의 101회 수행하였다. 1회 수행시 상당한 런타임이 요구되어 총 모의 횟수가 101회로 제한되었으나, 향후 구조체 제원 확보 및 토성 모의를 통한 보다 많은 모의가 수행된다면 연구 결과의 신뢰도를 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

각 구조체는 랜덤으로 모의된 토성을 반영한 복토와 결합하여 토성이 모의된 수만개의 방호성능 평가를 수행하였으며, Pass는 이러한 모의된 토성들을 반영한 구조체의 방호성능 해석결과 방호성능을 충족한 유한요소해석 빈도이다. Odds는 로지스틱 회귀모형에서의 공산, 즉 방호성

능 미달 확률 대비 방호성능 충족 확률을 나타낸다. CT, CS, ST, SR, IH는 각각 구조체에 대한 콘크리트 두께(cm), 콘크리트 강도(MPa), 복토 두께(cm), 철근비(%) 및 구조체 순높이(m)를 나타낸다.

Table 5에서의 해석 결과에 따르면, 복토가 없는 경우 (ST=0)에는 콘크리트 강도 및 두께가 현저히 강하거나 두꺼운 경우를 제외하고는 방호성능을 만족한 해석결과가 전무하다.

Table 5. Input and output variables in M&S

ID	Trial #	Pass #	Odds	CT	CS	ST	SR	IH
1	8	7	7.00	43	42	90	0.5	3.2
2	4	3	3.00	37	19	85	0.4	2.8
3	6	5	5.00	32	31	95	0.4	2.2
5	7	5	2.50	22	21	95	0.4	2.0
6	6	3	1.00	18	18	87	0.3	1.8
7	5	4	4.00	40	22	63	0.3	2.6
9	7	6	6.00	33	32	60	0.3	2.1
10	9	5	1.25	29	20	56	0.4	2.0
11	4	2	1.00	20	21	65	0.5	2.6
12	9	7	3.50	37	40	27	0.5	1.9
13	4	3	3.00	43	21	31	0.4	2.2
15	4	3	3.00	33	42	30	0.3	2.0
16	3	1	0.50	28	27	27	0.5	2.4
17	5	2	0.67	44	21	0	0.4	2.1
18	3	1	0.50	30	40	0	0.5	2.3
19	2	0	0.00	29	28	0	0.4	2.9
20	5	0	0.00	32	21	0	0.3	3.1
21	3	0	0.00	19	36	0	0.4	2.9
22	4	0	0.00	20	29	0	0.3	2.8
23	3	0	0.00	22	21	0	0.4	2.5

이는 복토가 적정두께 이상일 경우 복토만으로도 포병탄의 직접사격으로부터 구조체 방호가 가능할 수 있다는 것을 보여주는 것으로 이는 실제 한국전쟁 이후부터 1970년대까지 구축된 점적지역 전투시설의 경우 복토두께를 상당히 중요하게 고려하고 있음을 통해서도 확인할 수 있다. 이는 참전경험을 토대로 구조체 방호를 위해서 복토의 중요성을 인식하였기 때문인 것으로 사료된다. 또한 콘크리트 두께(CT), 콘크리트 강도(CS) 및 철근비(SR)는 그 값이 증가할수록 방호성능 충족확률 또한 향상됨을 알 수 있었다. 반면 순높이(IH), 즉 실내공간의 층고가 높을수록 방호성능을 충족하지 못하는 것으로 나타났다. 이는 전투공간 혹은 대피공간 확장을 위한 무리한 층고 신장을 제한하여야 한다는 기존의 방호구조물 설계기준이 타당함을 보여주고 있다.

4.2 로지스틱 회귀분석

Table 5의 자료를 토대로 1차 회귀분석 결과 Table 6, 7과 같이, Adjusted R²=0.716, p-value=0.001이었으나, 철근비(SR)과 순높이(IH)의 p-value는 0.371, 0.235로 높게 나왔다. 따라서 두 변수를 제외한 2차 회귀분석을 수행하였으며, 우선 자료의 정규성 검토에서 Figure 7의 QQ-plot을 토대로 정규성을 만족하고 있음을 확인할 수 있다.

Table 6. Logistic regression results

R ²	Adjusted R ²	Std Error.	F	df1	df2	Sig.	DW
.777	.716	.207	12.752	3	11	.001	1.031

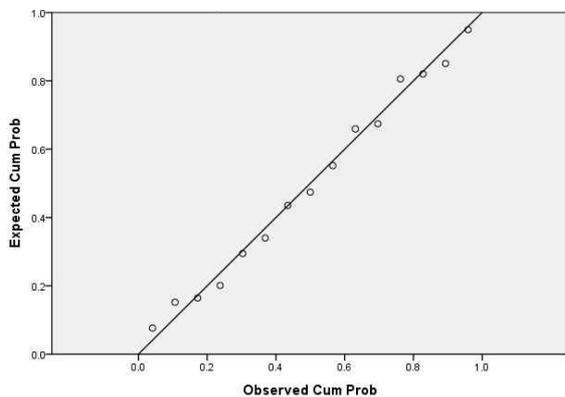


Figure 7. Normal PP plot of regression standardized residual

Table 7. ANOVA Results

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	1.644	3	.548	12.752	.001a
Residual	.473	11	.043		
Total	2.117	14			

해석결과 Durbin-Watson 통계치가 1.031이므로 회귀모형에서의 잔차가 다소 존재하나 1~3에 분포하고 있고, Adjust R²=71.6%이며, p-value=0.01이므로 합리적으로 받아들일 수 있는 해석결과이다. 잔차의 축소 및 Adjusted R²의 향상을 위해 폭발효과로부터 구조물에 피해를 주는 요소에 대한 추가적인 식별이나 비선형해석 등을 고려해 볼 필요가 있다.

콘크리트 강도 및 두께, 복토의 두께에 따라 임의로 모

의된 토성 하에서의 구조체가 방호성능을 충족할 확률은 식 (1)과 같다.

$$p = \frac{e^{-1.504+0.027 \cdot CT+0.015 \cdot CS+0.010 \cdot ST}}{1+e^{-1.504+0.027 \cdot CT+0.015 \cdot CS+0.010 \cdot ST}} \quad (1)$$

또한, Table 8과 같이, 각 변수의 VIF가 10 미만이므로 Multicollinearity의 영향은 고려할 필요가 없다. 제시된 회귀모형은 방호성능 평가결과보다 임의의 복토 환경에서 콘크리트 두께 및 강도, 복토 두께에 따른 구조체의 방호성능 충족확률을 나타낸다.

실무에서는 이를 활용하여 해당 구조체가 적정수준의 방호성능 충족확률을 만족할 수 있도록 콘크리트의 두께 및 강도, 복토 두께 등에 대한 방호성능 보강정도를 판단할 수 있다. 다만 방호성능 충족확률에 대한 적정수준은 가용한 예산과 시간을 토대로 관련 당사자들이 판단해야 할 사항이다.

4.3 적용

Table 5에서 ID 18번 구조체의 경우 양호한 콘크리트 강도와 적정의 콘크리트 두께에도 불구하고, 복토가 없어서 유한요소해석결과 및 회귀모형에서의 생존확률이 33% 및 48%에 불과하였다. 한편, 콘크리트 및 철근의 보강 없이도 복토 두께를 150cm까지 증가시켰을 경우 18번 구조체의 생존확률은 식(1)에 따르면 80%까지 도달할 수 있었다. Figure 8은 복토두께(ST)만을 변화시켰을 경우, 18번 구조체의 생존률 변화추이를 나타내고 있다.

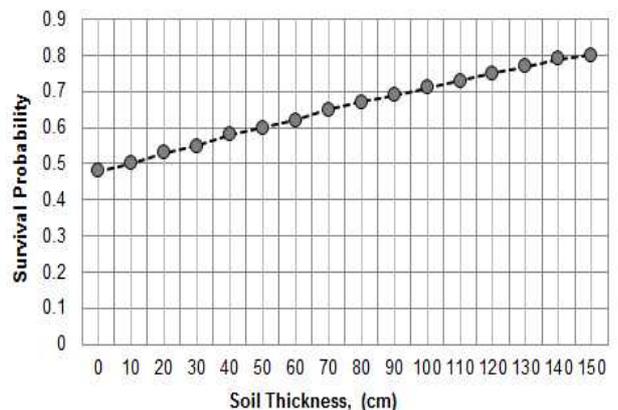


Figure 8. The survival probability of ID 18 structures following soil thickness

Table 8. Coefficients analysis results

Model	Unstandardized Coefficients		t	Sig.	95.0% Conf. Interval for B		Collinearity Statistics	
	B	Std. Error			Lower Bound	Upper Bound	Tolerance	VIF
Constant	-1.504	.319	-4.719	.001	-2.206	-.803		
CT	.027	.007	3.748	.003	.011	.043	.866	1.155
CS	.015	.006	2.356	.038	.001	.029	.895	1.117
ST	.010	.002	5.330	.000	.006	.014	.863	1.159

결과적으로 대부대 지휘시설 및 정부기관 소산시설에 비해 상대적으로 중요도가 낮은 소대부 전투시설 및 민방위 소산시설의 경우 본 연구에서 제시한 로지스틱 회귀모형을 활용하여 요구되는 생존율을 고려한 복토를 통한 방호성능 보강정도를 충분히 판단할 수 있을 것으로 사료된다. 참고로, 토성의 불확실성 하에서 적 공격준비타격으로부터 요구되는 생존확률을 고려할 때, 80%의 생존율을 상당히 만족할만한 수준이다. 특히, 식(1)의 경우 생존여부에 대한 판별기준을 Table 1, 2에서의 “성능 B”를 고려하고 있는 바, 생존성 보장만을 고려한 “성능 C”까지를 고려한다면 방호성능 충족확률은 더욱 높을 것이다.

5. 결론

폭발실증시험을 토대로 항공기에 의한 지근탄보다 포병에 의한 직격탄에 의한 피해가 더욱 큼을 확인하였다. 유한요소해석에서는 현장에서의 방호시설 제원과 복토 물성치의 불확실성을 고려한 모델링 구조체의 포병 직격탄에 대한 방호성능을 검증하였다. 이를 통해 동일 제원이라도 복토의 두께 및 토성에 따라 방호성능 충족여부가 다름을 확인하였다. 아울러, 이러한 방호성능 충족여부, 즉 생존여부에 대한 결과를 토대로 로지스틱 회귀분석을 수행하였다.

본 연구에서 제시된 로지스틱 회귀모형은 향후 접적지역에서의 민방위 소산시설 및 소부대 전투시설의 방호성능 보강정도 판단을 위한 수치적 근거로 활용될 수 있을 것이다. 보다 정확한 회귀모형 도출을 위하여 폭발효과로부터 구조체에 피해를 주는 요소에 대한 추가적인 식별이나 비선형 해석 등을 고려하면 더욱 신뢰성 있는 방호성능 보강 지침으로 발전시킬 수 있을 것이다.

요 약

본 연구에서는 소산 및 전투시설의 복토를 통한 방호성능 보강 정도에 대한 수치적인 판단근거를 제시하였다. 먼저 지근탄보다 직격탄의 피해가 더 크며 이를 방호기준에 적용해야 함을 폭발실증시험을 통해 확인하였다. 지근탄과 달리 직격탄의 경우 신관의 작동특성을 고려할 때 복토에 의한 방호가 중요하다. 복토를 위한 수치모형 제시를 위해 현장실사를 통해 방호시설 제원을 확보하고 이를 복토 물성치의 불확실성과 함께 고려하여 유한요소해석을 통한 방호성능 충족여부를 판단하였다. 해석결과를 토대로 로지스틱 회귀분석을 수행하여 복토를 통한 방호성능 보강을 위한 수치적 판단근거를 제시하였다. 본 연구에서 제시한 수치모형은 접적지역 내 소산시설 및 전투시설의 방호성능 보강정도 판단에 활용될 수 있다. 향후 폭발효과가 구조체에 미치는 요소에 대한 추가적 식별하거나 비선형 회귀모형을 이용한다면 보다 신뢰성있는 모델 제시가 가능할 것이다.

키워드 : 폭발실증시험, 유한요소해석, 로지스틱 회귀분석, 방호성능보강, 소산시설, 전투시설

References

1. Defense Installations Agency. A study on reestablishment of protection criteria in contact area. Incheon (Korea): D.I.A. 2014. 64 p.
2. Republic of Korea army headquarters. Field manuals 0-1 strategy. Gyeryong (Korea): Department of the Army Field Manuals; 2013. 241 p.
3. Republic of Korea army headquarters. Field manuals 9-8 division. Gyeryong (Korea): Department of the Army Field Manuals; 2013. 198 p.

-
4. Lee PS, Seo KS, Jeon BH, Kim UY, Kang YC, Kim SB, Oh KD, Baek SH, Hyeong SS. Protective design, 1st ed, Paju (Korea): Cheongmoongak; 1998. 536 p. Korean.
 5. Department of US Army. PAM 385-64: Ammunition and explosives safety standards. Washington DC: Department of the Army Pamphlet; 2011. 331 p.
 6. North Atlantic Treaty Organization Military Agency for Standardization, AASTP-1: Manual of NATO Safety Principles for the Storage of Military Ammunition and Explosives, Allied Ammunition Storage and Transport Publication; 2010. 528 p.
 7. Kim HS, Ahn JG, Ahn HS. A Simplified Modeling Method for Blast Analysis of Reinforced Concrete Buildings. Journal of The Korean Institute of Building Construction, 2012 Jul;28(7):91-8.
 8. US Army. TM 5-855-1, 1965.
 9. Choi HS, Kim MS, Lee YH. Parametric Study on Reinforced Concrete Columns under Blast Load. The Journal of the Computational Structural Engineering Institute of Korea, 2012 Jun;25(3):219-26.
 10. Park JK, Lim CW, Ryu DW, Son KY, Baek JH, Park YJ. The Design and Protective Capacity Assessment of the Prefabricated PC Arch Ammo Magazines. Journal of The Korean Institute of Building Construction, 2014 Dec;14(6):615-21
 11. US DoD. UFC(Unified Facility Criteria) 3-340-02, 2008.
 12. Bibiana,L, Daniel,A, Gerald,N, Izak,S. Craters produced by underground explosions. Computers & Structures, 2009 Nov;87(22):1366-73
 13. Park BH, Yang JM, Kim JY. Logistic regression accident models by location in the case of Cheongju 4 legged signalized intersections. Journal of the Korean Society of Road Engineers, 2009 Jun;11(2):17-25.
 14. Han MC, Yin JF, Jeon CK, Choi YW, Han CG. Study on the strength development of concrete at early age. Journal of The Architectural Institute of Korea Structure & Construction, 2001 Apr;21(1):285-8.