

소구경 탄자에 대한 철근콘크리트 슬래브의 관입저항력 평가

An Assessment for Anti-piercing Designs of RC Slabs against Small Caliber Bullets

김석봉* **강영철**** **이종찬**** **백상호**** **박영준****
Kim, Suk-Bong Kang, Young-Chul Lee, Jong-Chan Baek, Sang-Ho Park, Young-Jun

ABSTRACT

So far, anti-piercing depths for concrete slabs have been determined using Conventional Weapon's Effects Program(CONWEP) that was developed by the U. S. Army's Corps of Engineering. However, it has been suggested by a number of field officers that the values computed by CONWEP tend to be too high for protective facilities used in small military units and that indiscriminate application of these values to such facilities would lead to uneconomical penetration-proof designs. In this study, gunshots onto RC slabs were carried out using KM80 bullets in order to measure the piercing depths. The observed depths and the depths offered by the CONWEP system differed greatly from each other by up to 119 centimeters. Based on the depth values obtained through this experiment, we have proposed a new equation to calculate effective anti-piercing depths for RC slabs against small caliber bullets.

주요기술용어(주제어) : Piercing-depth(관입깊이), Small Caliber Bullet(소구경 탄자), Correlation Analysis, Regression Analysis, Concrete Slabs

1. 서론

소부대(大隊급 이하) 축성시설은 지역 내의 자연적 방어력을 보강하고, 적의 공격으로부터 인원과 물자를 보호하며, 적의 기동을 제한·지연·분산시키고, 아군의 의도대로 적의 공격 방향을 유도하기 위하여 구축된 각종 시설을 일컫는다. 이러한 축성은 야전축성과 영구축성으로 구분되며, 야전축성은 적과의 접촉이 긴박하여 시간적 여유가 없을 때 급히 구축하는

진지 및 장애물을 말하고, 영구축성은 충분한 시간을 통해 예산과 자재를 투입하여 구축한 각종 군사시설을 일컫는다. 콘크리트로 구축된 축성시설은 통상 영구 혹은 반영구 축성시설이다. 이러한 축성시설은 화력과 적절히 운용될 때에는 적 보다 유리한 위치를 확보할 수 있도록 해 주며, 나아가 장차 작전을 위한 시간적 여유를 부여해 주지만, 적의 강력한 공격에 대한 지속적인 방호를 기대할 수는 없다^[1].

한국전쟁 후 남과 북은 각자의 입장에서 피아의 무기체계와 화력을 분석한 결과를 토대로 방어의 취약점을 보완하는 방향으로 축성시설을 발전시켜 왔다. 소부대 전투시설에 있어서 북한은 포병 화기 및 항공폭격의 특수 목적용 탄종 일부를 제외한 대부분의 직격탄에 방호 가능한 강도로 군사시설을 설계하였다.

† 2007년 1월 30일 접수~2007년 4월 3일 게재승인

* 육군사관학교 토목환경학과

** 화랑대 연구소 군 방호시설 특화연구실

주저자 이메일 : kimsukbo@kma.ac.kr

반면 한국군은 지상 및 항공화력에는 비교적 강도가 낮은 지근탄에 대한 방호 개념을 적용하였다^{14,7)}.

이러한 방호 개념의 차이로 인해 표 1(a)과 같은 콘크리트 축성시설의 두께 기준에 차이가 나타났다. 참고로, 소부대 전투시설의 콘크리트 방호두께 판단에 있어 소구경 탄자의 경우는 KM 80탄을 기준으로 설정하고 있는데, 이에 대한 설정 근거는 보안상의 이유로 기술이 제한됨을 밝히는 바이다. 물론 KM 80탄 보다 더 큰 피해를 발생시키는 소구경 탄자가 있으나, 소부대 축성시설 구축목적이 적의 모든 무기체계에 대한 완벽한 방호가 아님을 서두에서 밝힌 바 있다.

주목할 것은 표 1에서 지금까지 받아들여지고 있는 소구경 탄자의 콘크리트 관입깊이에 관한 연구결과 (b)는 대구경에 의한 피해를 중심으로 설정된 (a)보다 상당히 높은 안전율을 고려한 방호두께를 요구하고 있다는 점이다. 반면, 소부대 전투 유형협자 혹은 일선부대 지휘관들은 연구결과 (b)보다는 (a)의 콘크리트 두께를 더 크게 신뢰하고 있으며, 특히 결과 (b)에 근거한 벽체두께는 소부대 전투시설에서의 적용이 현실적이지 못하다는 의견이 줄곧 제기되어 왔다.

이에 연구진은 이와 같은 소부대 전투시설의 현실적인 문제점 및 필요성에 따라 콘크리트 슬래브의 소구경 탄자에 대한 관입저항력을 실사격 실험을 통해 평가하고, 나아가 관입저항력 계산식을 제안하면서 관련 연구결과를 재정립하고자 이 연구를 수행하게 되었다.

[표 1] 소부대 전투시설의 콘크리트 두께 기준(mm)

(a) 남·북한 콘크리트 축성시설 두께

구 분	슬래브	벽체	피토
한국군	300	300	900
북한군	500	500	3,000

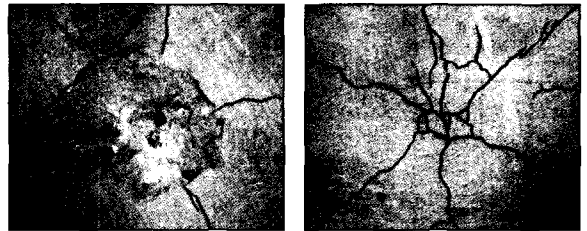
(b) 탄자의 콘크리트 관입깊이(콘크리트 압축강도 240 kg/cm²)

구 분	KM100	KM80	KM2
관입깊이	68	973	184

2. 본 론

가. 콘크리트 방호 이론 고찰

탄자가 콘크리트 슬래브나 벽체에 관입될 때 나타날 수 있는 현상들은 전면탄흔, 도탄, 후면탄흔 및 관통으로 크게 구분할 수 있다. 그림 1(a)에서 보는 바와 같이 전면탄흔은 충격 받침부 주위에 콘크리트 파편들이 떨어져 나오면서 불규칙한 모양의 원추형 탄흔을 말한다. 도탄은 탄자가 입사각이 충분히 클 때 목표물로부터 튀어나오는 현상을 말하며, 후면탄흔은 포탄의 충격속도가 증가함에 따라 슬래브는 균열되면서 콘크리트 파편이 떨어져 나오는 현상을 말한다. 그림 1(b)는 후면탄흔이 발생하기 시작하는 파쇄현상을 보여주고 있다. 마지막으로 관통은 충격속도가 파쇄한계 속도를 초과하여 계속 증가하면 점차적으로 더 깊은 후면탄흔이 생겨 결과적으로 콘크리트 슬래브를 탄자가 관통되는 현상이다.



(a) 전면탄흔

(b) 후면탄흔

[그림 1] 탄자의 충격에 따른 콘크리트 파쇄양상

콘크리트 목표물에 대한 비변형 운동에너지탄의 관입깊이는 미군에 의한 제안된 실험식인 식 (1)이 널리 쓰이고 있다⁶⁾.

$$X = \frac{1,740PD^{0.215}V^{1.5}}{\sqrt{f_{ck}}} + 0.5D \quad (1)$$

여기서, X는 관입깊이(cm), P는 탄자의 단면 압력(kg/cm²), D는 탄자의 직경(cm), V는 기준충격속도 305m/s에 대한 충격속도의 비율, f_{ck}는 콘크리트 설계 기준강도(kg/cm²)를 나타낸다.

식 (1)로부터 관입 깊이가 구해지면, 방호적인 측면

에서 후면탄흔 방지를 위한 파쇄한계두께를, 관통방지를 위한 관통한계두께를 관통도의 개념을 통해 구할 수 있다.

방호적인 측면에서의 파쇄 및 관통한계두께를 산정하기 위해서는 관련 실험자료 확보에 오랜 시간이 소요되며 막대한 실험 비용이 요구된다. 따라서 이 연구에서는 관입충격에 의한 관입깊이 산정을 위한 식 (1)의 수정식을 제안하는 것으로 연구범위를 제한하고자 한다. 연구결과의 실제적인 활용을 위해 이 분야에 대한 보다 심층적인 연구가 필요하다고 판단된다.

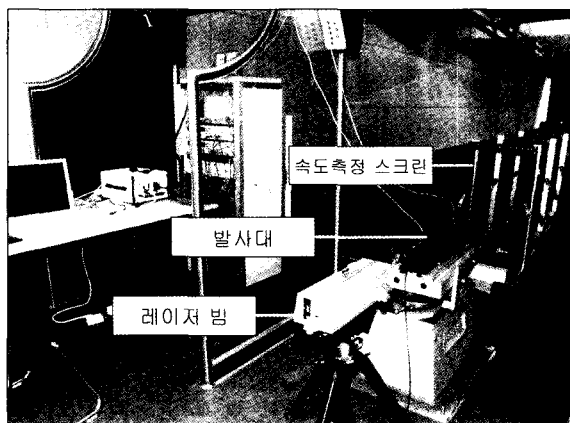
나. 실험 개요

이 연구에서는 실험 결과를 통계적으로 처리하여 분석하였다. 일반적으로 둘 또는 그 이상의 변수들이 서로 관련성을 가지고 변화할 때 그 관련의 정도를 규명해야 할 경우가 많이 있다. 이 때 변수 간의 관계를 분석하기 위해 사용되는 통계분석 방법에는 상관분석과 회귀분석이 있다. 상관분석이라 함은 변수들이 서로 얼마나 밀접하게 관련되어 있는가 하는 정도를 분석하는 통계적 방법을 말한다. 회귀분석이란 독립변수와 종속변수들 사이의 관련성을 수학적 모형을 이용하여 측정된 변수들의 자료로부터 추정하고 분석하는 통계적 방법이다^[2,3].

변수들 사이의 상관분석은 회귀분석을 위한 중요한 정보를 제공하므로 콘크리트 압축강도에 따른 KM 80 탄의 충격에 대한 관입깊이의 상관관계를 분석한다. 나아가 이 두 변수(콘크리트 압축강도, 탄자 관입깊이)에 대한 회귀분석을 통해 기존에 방호공학에서 주로 사용되는 탄자에 대한 관입식인 식 (1)과의 비교·분석을 수행한다. 이를 통해 소부대 축성시설의 효과적인 콘크리트 두께 산정을 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

나. 실험 평가 기준

이 실험에서는 시험 평가 기준으로 미군의 Mil STD 662 방탄 성능 시험 규격과 미국 법무연구소(NIJ : National Institute of Justice)에서 규정하는 방탄 성능 수준 NIJ Standard 0108.01(ballistic resistant protective materials)의 장갑 형태(armor type) III과



[그림 2] 실험장비 설치

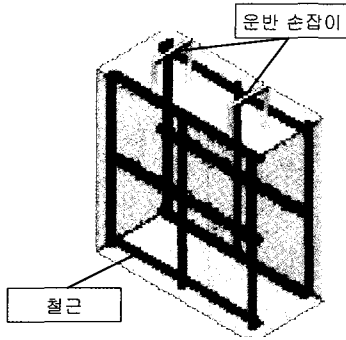
IV를 참고하였으며, 비행 탄자의 편주각(yaw angle)을 최소화시키기 위하여 사거리 5m에서 시험 평가를 실시하였다.

비행 탄자와 시험 재료를 직각으로 정렬시키기 위하여 총열 후면에 레이저빔 발생 장치를 설치하여 총열을 통과한 레이저빔이 표적의 조준점과 탄착점에 일치하도록 정렬시켰다. 총구로부터 2m 지점에서 15m 간격으로 비행 속도 측정 스크린 3개를 설치하여 구간 손실 속도를 고려한 총돌 속도를 측정하였다. 탄자의 총돌 속도 변화는 탄자의 추진제 양을 조절하여 산출하였다. 추진제의 무게는 0.001g 단위까지 측정이 가능한 전자 저울을 사용하였으며, 측정된 추진제를 탄피에 장입한 후, 탄피 결합 치구를 이용하여 결합한 시험용 탄을 제작하였다. 그림 2는 이 연구에 사용된 실험 장비의 설치 모습을 보여주고 있다.

라. 실험체 제작

실험체는 콘크리트 440(가로) × 440(세로) × 200(두께)mm 콘크리트 판재로 압축강도 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330kg/cm² 당 예비시험용 2개씩, 본 시험용 3개씩 총 35개를 제작하였다. 압축강도의 정확도를 기하기 위하여 PC(Precast Concrete) 공장에서 실험체의 크기 및 소요 강도에 맞게 주문 제작하였으며 철근 및 운반용 손잡이를 그림 3과 같이 배근 및 설치하였다.

참고로, PC 공장에서는 현장 콘크리트의 압축강도가 설계기준강도 이하가 되는 확률이 1%가 되도록



[그림 3] 실험체 제작 개념도

배합강도를 조절한다. 현장에서는 통상 콘크리트의 압축강도는 유효숫자를 10단위로 계산하므로, 이 실험에서는 공장 생산 후 실험 당일까지의 재령기간을 고려하여 실험 당일 압축강도와 소요 압축강도의 차이가 소요 압축강도 값의 5% 이내가 되도록 배합강도를 통제하였다. 실험 당일 이 기준에 부합하지 않는 실험체는 모두 예비시험용으로 사용하였다.

마. 실험 내용 및 결과

1) 변수 선정

일반적으로 탄자가 총구를 떠나 목표물에 충돌하는 관입현상은 표적과 탄자의 특성에 따라서 좌우되며, 이에 추가하여 강재와 달리 콘크리트에 대한 관입현상은 탄자가 표적에 맞는 타격 각도에 따라라도 다소 달라진다. 탄자의 콘크리트 관입현상에 영향을 주는 인자로는 콘크리트 압축강도와 같은 표적 특성인자와 탄자의 속도 및 무게와 같은 탄자 특성인자로 대별된다. 이 외에도 재료조성과 균질성 등 여러 요소가 관통에 영향을 미친다^[5].

관통현상에 관한 연구 결과를 기초로 하여볼 때, 방호공학에서 효과적인 실험 결과를 얻기 위해서 실험 결과에 영향을 미칠 가변 요소로는 표적에 영향을 주는 인자로서 콘크리트의 압축강도를, 탄자에 영향을 주는 인자로서 탄자의 콘크리트 충격속도를 고려할 수 있다. 이는 무기공학 측면에서는 이 외에 여러 가지 요인을 모두 고려하여 탄자의 관입현상을 자세하게 규명하려는 노력이 시도되어야 하나, 방호공학 측면에서는 고려된 두 인자 외에 관입현상에 영향을 미치는 인자들은 콘크리트의 관입깊이에 대한 영향력

이 거의 없으며, 나타나는 영향력 역시 실험을 통해 제어가 가능하기 때문이다.

그러나 시공 과정에서 콘크리트의 압축강도에 따라 요구되는 방탄 성능을 얻기 위해서는 콘크리트 두께를 늘릴 수 있는 능동적인 제어가 가능한 반면, 탄체 속도의 경우는 실험 여건 내에서 능동 제어가 현실적으로 제한된다. 이는 탄체의 충격속도에 따른 가시적인 콘크리트 관입깊이 차이를 얻기 위해서는 발사대로부터 충격 지점까지 상당히 많은 이격거리를 요구하는데, 이 거리가 사수의 일반적인 가시거리를 벗어나므로 축성시설 공격을 위한 사거리로는 적당하지 않을뿐더러 실험실 여건상 묘사가 제한되기 때문이다^[8]. 또한 실험에 사용되는 탄의 작약량을 조절하는 방법이 있는데, 이는 탄체의 비행 및 표적에 대한 타격 각에 상당한 불확실 요소를 발생시켜 오히려 실험 데이터 확보에 더 큰 곤란을 초래한다^[8]. 따라서 탄체의 속도는 KM 80탄의 초구속도가 약 840%에 달하므로, 여러 가지 손실 요소를 고려하여 이 실험에서는 830%로 고정시켰다. 이는 유효사거리 내에서의 전술적인 상황을 고려한 현실적인 위협수준을 고려할 때 타당하다고 판단된다. 따라서 이 연구에서의 독립변수는 콘크리트의 압축강도이며, 종속변수 즉, 확률변수는 탄체의 충격에 대한 콘크리트 관입깊이로 설정하여 실험을 수행하였다.

2) 상관분석

두 개의 변수 사이에 한 변수의 변화가 다른 변수의 변화에 어떤 영향을 주고 있을 때 이 두 변수는 상관관계가 있다고 말한다. 선정된 두 변수 사이의 상관관계를 규명하기 위해서 먼저 압축강도별 관입깊이를 표시하여 두 변수간의 관계를 살펴보았다.

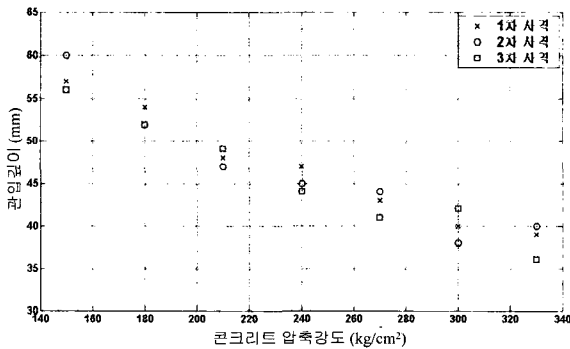
표 2와 그림 4는 콘크리트 압축강도별 KM 80탄자의 콘크리트 슬래브에 대한 관입깊이를 나타내고 있다.

가) 상관성 분석

그림 4에서 가로축의 콘크리트 압축강도가 증가하면 세로축에 표시된 탄자의 관입깊이는 거의 일정한 기울기로 감소한다는 사실을 통해 이 두 변수 사이에는 음(陰)의 상관관계가 있다고 볼 수 있다. 따라서

[표 2] 압축강도별 KM 80탄의 콘크리트 관입깊이

콘크리트 압축강도 (kg/cm ²)	관입 깊이(mm)		
	1차 사격	2차 사격	3차 사격
150	57	60	56
180	54	52	52
210	48	47	49
240	47	45	44
270	43	44	41
300	40	38	42
330	39	40	36



[그림 4] 압축강도별 KM 80탄의 콘크리트 관입깊이 산포도

콘크리트 압축강도와 탄자의 관입깊이는 밀접한 관련성이 있다고 볼 수 있다.

나) 표본상관계수

이 연구에서 콘크리트 압축강도를 독립변수 X , 탄자의 관입 깊이를 종속변수 Y 라고 할 때 두 변수의 상관계수(r)는 변수 X 의 표준편차(S_X), 변수 Y 의 표준 편차(S_Y), 변수 X 와 Y 의 공분산(S_{XY})으로부터 다음과 같이 계산된다. 계산에 사용된 공분산 값은 399이며, X 와 Y 의 표준편차는 각각 61.48, 6.74이다.

$$r = \frac{S_{XY}}{S_X S_Y} = -0.9627 \cong -0.96 \quad (2)$$

이 값은 -1에 가까우므로 이 두 변수 사이는 음의 상관관계가 아주 강하다고 말할 수 있다.

다) 상관계수의 검정

이 연구에서 유의수준 $\alpha=0.01$ 에서 두 변수(콘크리트 압축강도, 탄자의 관입깊이)의 모상관계수(ρ)가 -0.96으로 받아들여지기 위한 대립가설 「 $H_1 : \rho < -0.96$ 」이며, 귀무가설 「 $H_0 : \rho = -0.96$ 」이다. 또한, 실험에서 사용된 표본의 수 $n=21$ 이므로 귀무가설의 기각역은 $T \leq -t_\alpha(21-2, 0.01)$ 이다.

여기서, 검정통계량

$$T = \sqrt{21-2} \frac{-0.96}{\sqrt{1-0.96^2}} = -14.945 \quad (3)$$

는 $-t_\alpha(19, 0.01)=-2.539$ 보다 작으므로 귀무가설은 기각된다. 따라서 모집단에서도 콘크리트의 압축강도와 탄자의 관입깊이는 유의수준 0.01에서 모상관계수가 -0.96으로 깊은 음의 상관관계가 있다고 볼 수 있다.

3) 회귀 분석

일반적으로 회귀분석은 둘 또는 그 이상의 변수들 사이의 관계를 규명하거나 또는 이를 이용하여 한 변수의 변화로부터 다른 변수의 변화를 예측하는 데 사용된다. 이번 연구에서는 탄자의 충격속도가 거의 일정하므로 콘크리트의 압축강도 및 탄자의 콘크리트 관입깊이를 각각 독립 및 종속변수로 하는 회귀분석을 실시한다.

가) 회귀모형 및 적합도

실험결과를 표본으로 하여 얻은 회귀모형은 식 (4)와 같다.

$$y = 0.0004x^2 - 0.2749x + 90.7619 \quad (4)$$

단, $150 \leq x \leq 330$

여기서, x 는 콘크리트 압축강도(kg/cm²), y 는 탄자의 관입깊이(cm)를 나타내고 있다. 회귀분석에서 중요한 점은 주어진 표본회귀선이 얼마나 잘 모회귀선을 추정하고 있는가와 관련되어 있다. 이러한 분석은 표본

회귀선에 관측 값들이 얼마나 잘 적합하고 있는가에 근거를 두고 있으며, 이것을 적합도(goodness of fit)라고 부른다. 적합도를 나타내는 대표적인 척도로 결정계수가 있다. 결정계수 값은 항상 0과 1 사이에 있고, 그 값이 1에 가까울수록 표본들이 회귀선 주위에 밀집되어 있음을 뜻하고 이는 추정된 회귀식이 관측 값들을 잘 설명하고 있다는 것이다³⁾.

이번 연구에서의 결정계수는 0.955로 계산되었으며, 이는 표본들이 회귀선 주위에 상당히 밀집되어 있음을 의미한다.

4) 결과 분석

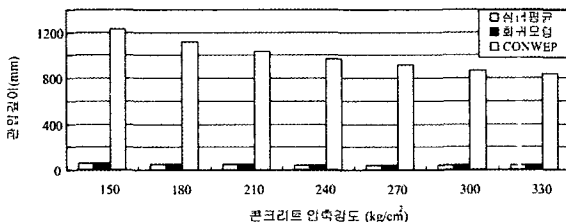
식 (1)에 의하면 KM 80탄의 콘크리트 벽체 관입식은 식 (5)로 재정리된다. 이 때, 사용된 탄의 제원은 탄두직경을 7.823mm, 탄두중량을 0.0972kg이다.

$$X = \frac{1,498.38}{\sqrt{f_{ct}}} + 0.39 \quad (5)$$

표 3과 그림 5는 압축강도별 KM80탄의 충격에 의한 관입깊이를 실험평균, 실험을 통해 얻어진 회귀모형에 의한 결과, 그리고 CONWEP에 의한 결과로 구분하여 나타내고 있다. 표 3에서는 콘크리트의 압축강도별로 각 3회씩 충격실험을 하여 구한 관입깊이의

[표 3] 콘크리트 충격 관입 깊이

압축강도(kg/cm ²)	150	180	210	240	270	300	330	
관입 깊이 (mm)	실험평균	57.7	52.7	48.0	45.3	42.7	40.0	38.3
	회귀모형	57.5	52.7	48.6	45.1	42.3	40.0	38.5
	CONWEP	1229	1123	1040	973	918	872	831



[그림 5] 콘크리트 충격 관입 깊이

평균값을 구한 것을 ‘실험평균’ 행에 기록하였으며, 21개의 관측 값과 압축강도와와의 관계로부터 얻은 회귀 모형으로부터 각 압축강도에 해당하는 관입깊이를 계산하여 ‘회귀모형’ 행에 기록하였다. 주목할 점은 실험에 의한 값(실험평균 및 회귀모형)과 CONWEP에 의해 계산된 값 사이에는 최대 119cm까지 차이가 있다는 것이다. 이는 기존의 방호공학 혹은 CONWEP에서 제시하고 있는 탄자의 관입깊이에 대한 계산결과가 소구경 탄자에 대한 축성시설물의 방호설계에 적용하기에는 비현실적임을 보여 주고 있다. 이러한 큰 결과 값의 차이가 발생하는 원인은 여러 가지가 있겠으나 가장 큰 원인은 기존의 방호공학에서 제시하고 있는 실험식이나 계산과정은 대구경탄인 포탄 및 폭탄의 관입 효과를 근거로 해서 얻어졌거나 제작된 것인데, 이를 소구경 탄자의 관입깊이에도 아무런 제한 없이 사용했기 때문이라고 사료된다. 이는 방호구조물 설계과정에서 과도한 방호두께를 산출케 하는 것으로 비경제적이며 기술적으로도 적합하지 않은 것으로 판단된다.

3. 결론

지금까지 전투시설의 콘크리트 방호두께 결정을 위해 식 (1)은 탄자의 충격에 대한 콘크리트 관입깊이 계산을 위한 유일무이한 식으로 받아들여져 왔다. 이는 미군에 의해 막대한 예산을 통해 수행된 실험결과를 근거로 한 경험식이었으며, 대구경탄의 콘크리트 관입깊이 계산을 위해서는 유용하게 사용되어 온 것이 사실이다⁶⁾. 그러나 이 식을 토대로 계산된 소구경탄자의 콘크리트 관입깊이 값이 일선부대 실무자 및 관련 전문가들의 경험을 토대로 설계에 반영되는 값과 너무 큰 차이가 있었다. 즉, 식 (1)은 포탄 및 폭탄을 기준으로 실험을 수행하였기에 소구경 탄자에 대한 콘크리트 관입깊이 계산에 적용하기엔 다소 무리가 있었던 것이다.

이번 연구에서는 이러한 소부대 전투시설의 콘크리트 방호두께 결정시 식 (1)을 사용함으로써 나타나는 문제점을 파악하기 위해, 실사격을 통해 소구경 탄자에 대한 콘크리트의 관입 저항력을 평가하였다. 표 3

에서 보는 바와 같이 실사격 실험을 통해 얻은 값과 기존의 CONWEP 공식에 의한 값 사이에는 최대 119cm까지 차이가 나는 것을 확인할 수 있었다. 즉, CONWEP 공식을 사용하여 소부대 방호 구조물을 설계한다면 과다설계가 이루어진다는 것을 의미한다. 나아가 이번 연구에서는 소구경 탄자의 콘크리트 관입깊이 계산에 적용 가능한 실험식을 제안함으로써 관련 연구결과를 재정립하였다.

이번 연구를 통해 밝혀진 결과는 다음과 같다.

첫째, 관련 연구 및 업무 수행자들로부터 꾸준히 제기되어 온 문제점을 토대로 수행된 이번 연구에서, 소부대 전투시설의 방호두께 설정의 근거가 될 수 있는 KM 80탄의 콘크리트 압축강도별 관입깊이 계산식인 식 (4)를 제안했다. 이 식은 콘크리트 압축강도를 독립변수로, 탄자의 콘크리트 관입깊이를 종속변수로 하는 통계처리 과정을 통해 제시된 회귀모형으로, 표본치와의 적합도 분석을 통해 얻은 결정계수 0.955를 고려할 때, 줄곧 제기된 문제점에 대한 객관적 자료로 충분히 타당성이 있다고 사료된다.

둘째, 소구경 탄자의 충격에 대한 콘크리트 관입깊이에 관한 기존의 연구 결과의 적용이 잘못되었음을 명백히 밝힐 수 있었다. 즉, 기존의 연구도 포탄 및 폭탄에 대한 콘크리트 관입깊이를 계산한 실험이었음을 제한하고 있는 바, 소구경 탄자까지 확대하여 적용하는 것은 다소 무리가 있다고 판단된다.

셋째, 표 2와 그림 4에 제시된 실험결과를 통해 소구경 탄자는 콘크리트에 대한 그 피해정도가 대구경 탄에 대한 피해에 비해 상당히 경미하다고 볼 수 있으며, 소부대 전투시설의 방호두께 설정시 실질적인 고려사항이 아님을 밝힐 수 있었다. 즉, 포병 및 포탄에 의한 근접폭발(작약량 500lb, 폭발이격거리 25ft)이 여전히 피해 산정을 위한 주요한 고려사항이며 이

는 기존의 전투 유경험자 및 일선부대 지휘관들의 의견을 충분히 뒷받침해 줄 수 있는 근거로 활용될 수 있다고 생각한다⁶⁾.

보다 정확하고 신뢰성 있는 연구를 위해 콘크리트 압축강도뿐만 아니라, 탄자의 충격속도, 충격각 등 다양한 변수에 대한 고려가 기대되며, 추가적으로 보다 많은 시간 및 실험표본을 통해 파쇄 및 관통한계두께에 대한 연구가 수행된다면 보다 활용가치가 높은 연구결과를 얻을 수 있으리라 판단된다.

감사의 글

이 논문은 육군사관학교 화랑대연구소 특화연구과제에 의해 지원되었으며 이에 감사드립니다. 또한 논문을 심사해 준 익명의 심사위원들께도 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 김석봉 외, 신소재를 이용한 전투시설 구축방안에 관한 연구, 화랑대연구소, 2003.
- [2] 김제영 외, 확률 및 통계, 청문각, 1997.
- [3] 박성현, 회귀분석, 대영사, 2004.
- [4] 서관세 외, 군 방호 구조물 최적설계에 관한 기초 연구, 화랑대연구소, 1993.
- [5] 서관세 외, 비핵탄용 다층복합 군방호 구조물 연구, 화랑대연구소, 1995.
- [6] 전병호 외, 방호공학, 청문각, 2006.
- [7] 진지 및 방호시설, 육군본부, 1998.
- [8] M60 기관총, 육군본부, 1998.