

# 지상 및 지하 구조물 무기효과도 SW Framework

박종일<sup>1\*</sup> · 이성욱<sup>2</sup> · 김호수<sup>3</sup>

<sup>1</sup>서울과학기술대학교 안전공학과, <sup>2</sup>한남대학교 멀티미디어공학과, <sup>3</sup>국방과학연구소 공용기술단

## Framework of Weapon Effectiveness Tool for Hardened Targets

Jong Yil Park<sup>1\*</sup>, Sung Uk Lee<sup>2</sup> and Ho Soo Kim<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Safety Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Seoul, 139-743, Korea

<sup>2</sup>School of Multimedia, Hannam University, Daejeon, 306-791, Korea

<sup>3</sup>Agency for Defense Development, Daejeon, 305-600, Korea

### Abstract

In this paper, framework of weapon effects calculator for hardened targets is presented. Fast running time, validation and easy expandibility are required for weaponeering tools, and these requirements were met by using of physics-based fast-running models or semi-empirical equations for damage prediction and penetrations, and modular architecture. Key concepts and outputs, required functions and corresponding use cases were presented.

**Keywords** : weapon effectiveness, hardened target

### 1. 서 론

주된 구조 구성품이 강화 콘크리트로 구성되어 있는 지상 및 지하 구조물의 경우 중요한 인프라 표적 중 하나로, 일반적인 탄으로는 파괴하기 어려워 견고표적(Joint Chiefs of Staff, 2006)으로 정의된다. 견고표적에 대한 무기효과도를 추정하기 위하여 WEAS(Weapon Effectiveness for Above and underground Structures)가 개발되었으며, 본 논문에서는 WEAS의 framework에 대해 기술한다.

### 2. WEAS Framework

#### 2.1 기본 개념

WEAS는 다음의 3가지 기본 개념에 초점이 맞춰져 개발되었다.

- 사용자 편의를 고려한 유저인터페이스(UI) : 무기효과 산출 프로그램의 사용자는 무기체계 개발자와 무기체계

운용자로 구분될 수 있으며, 무기체계 개발자의 경우 다양한 변수를 입력으로 수용할 수 있도록 자유도가 높은 복잡한 UI가 적합하나, 무기체계 운영자(군)의 경우 직관적이며 단순한 UI가 활용성이 높다. 하지만 견고표적의 경우 입력되어야 하는 표적의 특성 항목이 매우 많음으로 군 사용자를 위한 표적 템플릿을 제공함으로써 자유도와 단순성을 동시에 확보한다.

- 빠른 속도로 검증된 결과를 산출 : 표적이 식별되고 그에 대한 공격방법 결정은 가용한 무기체계 중 최적의 무기체계를 선택하고, 선택된 무기체계의 조준점, 신관 설정, 사용 발수, 경로 설정 등의 운용방법을 결정하는 것으로 이루어진다. 이 때 이러한 변수들은 최대의 무기효과를 가지는 것으로 선택되어야 하며, 이를 위해서는 다양한 조건을 고려한 다수의 무기효과 계산이 이루어져야 한다. 또한 무기체계 고유의 불확실성(신뢰도, 정밀도 및 정확도 등)으로 인해 운용방법이 결정되어 있다하더라도 다수의 무기효과 계산이 필요하다. 이러한 과정은 효과기반 무기체계 설계 단계에서도 동일하게 이루어진

\* Corresponding author:

Tel: +82-2-970-6508; E-mail: jip111@seoultech.ac.kr

Received November 14 2014; Revised November 19 2014

Accepted November 20 2014

©2014 by Computational Structural Engineering Institute of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

다. 따라서 무기효과 산출 프로그램의 실제 적용을 위해서는 빠른 속도의 계산 능력이 필수적이며, 이를 위해 SDOF, 탄성 구조해석, Semi-empirical 관통 및 기폭 이론을 적용한다.

- 기능 별 모듈화된 코딩 : 기본적인 기반기술들(구성품 취약성, 폭압 예측, 침투 예측, 표적 모델링 등)은 향후 기술의 발전, 새로운 표적 특성의 식별, 신개념 무기체계 개발 등에 따라 손쉽게 수정될 수 있어야 하며, 이는 모듈화된 프로그램 작성으로 해결될 수 있다. 견고표적의 무기효과 결과를 실제 실험과 비교하여 검증하기 위해서는 변수들의 불확실성에 의해 다수의 실험이 요구되며, 이는 현실적이지 못하다. 따라서 사용된 기술에 대한 검증이 독립적으로 이루어져야 하며, 이는 각 모듈 별 결과의 검증으로 해결될 수 있다.

## 2.2 프로그램 결과물

WEAS는 아래와 같은 결과물을 도출한다.

- 살상확률 : 무기체계 운용법이 결정된 후 살상확률을 계산할 경우, 운반 정밀도 및 정확도와 조준점을 이용하여 다수의 표적 조우 위치를 확률변수로 생성하여, 조우 위치에 따른 살상확률을 계산하여, 이를 평균한 값을 최종 살상확률로 도출한다.
- 요구되는 살상확률이 주어질 경우 최적의 조준점과 사용 발수 : 조준점 결정을 위해서는, 조준점들을 설정하고 각 조준점 별로 살상확률을 구하고, 이 때 가장 높은 살상확률을 가지는 조준점을 선택한다(조준점이 변경될 시 운반 정확도 및 정밀도가 바뀌는 경우도 고려).

## 2.3 해석 방법론

### 2.3.1 기폭 위치 예측

기폭 위치 추정을 위해서 흙 또는 콘크리트 표적에 대한 침투 이력이 요구된다. 침투 해석을 위해서 Modified Petry (Kennedy, 1976), BRL(Kennedy, 1976; Gwaltney, 1968; Adeli *et al.*, 1985.), ACE(Kennedy, 1976; Chelapati, *et al.*, 1972.), Modified NDRC(NDRC, 1946; Kennedy, 1966; Li, *et al.*, 2006), Young's (Young, 1997)을 일부 변형하여 사용하였으며, 입력으로 흙의 경우 Static Soil Constant, 흙의 밀도, dynamic soil constant, 흙의 두께, 충돌속도, 탄두단면적, 충돌각, 탄두충무게이며, 콘크리트의 경우, 콘크리트압축강도, 콘크리트 두께, 충돌속도, 탄두 직경, 탄두 단면적, 충돌각, 탄두 충무게,

탄두형상계수가 사용되었다.

### 2.3.2 폭압 예측

TNT 기폭에 의해 발생하는 최대 과압(peak overpressure)과 충격량(impulse)은 Kingery 식을 사용하였다. 최대 과압 또는 압력은 기폭 위치 및 표적면과 압력충격과 각도에 영향을 받는다. 기폭위치는 지표면 기폭(surface burst)와 공중 기폭(air burst)로 구분되며, 이에 따라 경험식 내에 사용되는 상수 값이 달라진다. 각도에 따른 압력은 입사 압력(incident pressure or side-on pressure)과 반사압력(reflected pressure)을 구하고, 이 두 값과 각도를 이용하여 계산한다. 탄의 외피에 의한 폭압 감소영향을 고려하기 위한 등가화약량을 위해서는 Modified Fano(Dunnett and Wharton, 2006)식을 적용하였다.

### 2.3.3 구조구성품 피해예측

폭압에 의한 철근콘크리트 슬래브 및 벽, 기둥의 구조적 파괴정도는 Pressure-Impulse Diagram을 사용하여 산출하였다. Breach도 독립적으로 고려되었다.

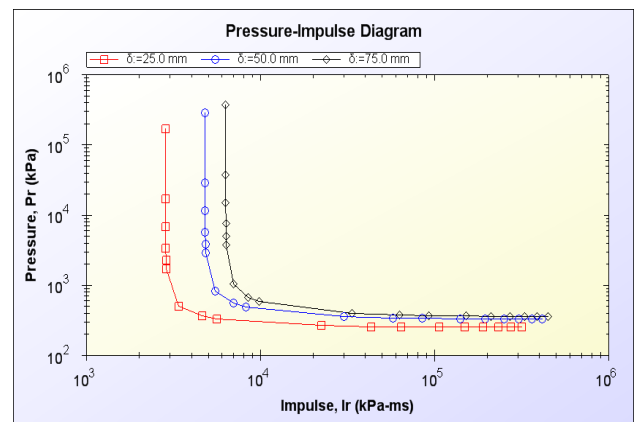


Fig. 1 Pressure-Impulse diagram

## 2.4 SW 개발 사항

Table 1은 WEAS 기본 개념을 충족시키기 위해 요구된 기능요구사항이다.

Table 2는 유스 케이스와 이와 관련된 기능 요구사항을 나타낸다.

U-WEAS-001 표적 정보관리의 경우 시스템에서 아래 사항이 수행된다(Fig. 2, 3 참조).

- 재료 정보 관리 UI를 시현한다.
- 변경된 재료 정보를 저장, 반영한다.

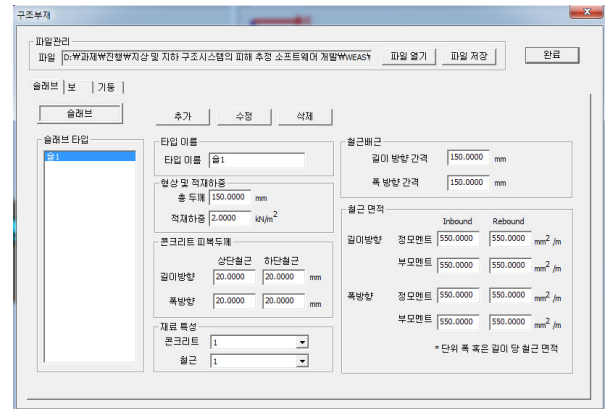
**Table 1** Function requirement

| Requirement ID | Function                                   |
|----------------|--|
| R-WEAS-001     | Material property management               |
| R-WEAS-002     | Structural component's property management |
| R-WEAS-003     | Structure information management           |
| R-WEAS-004     | Component management                       |
| R-WEAS-005     | Attack scenario management                 |
| R-WEAS-006     | Project management                         |
| R-WEAS-007     | 3D structure drawing                       |
| R-WEAS-008     | 3D component drawing                       |
| R-WEAS-009     | 3D point of view change                    |
| R-WEAS-010     | Structure floor plan                       |
| R-WEAS-011     | Component location in floor plan           |
| R-WEAS-012     | Structural component selection             |
| R-WEAS-013     | Structure information box                  |
| R-WEAS-014     | Structural component information box       |
| R-WEAS-015     | Scenario information box                   |
| R-WEAS-016     | Slab editing                               |
| R-WEAS-017     | Column editing                             |
| R-WEAS-018     | Beam editing                               |
| R-WEAS-019     | Wall editing                               |
| R-WEAS-020     | Structural stability analysis              |
| R-WEAS-021     | Damage analysis                            |
| R-WEAS-022     | structural capacity checking               |
| R-WEAS-023     | Aiming point recommendation                |
| R-WEAS-024     | Calculation                                |

- 구조 부재 정보 관리 UI를 시험한다.
- 변경된 구조 부재 정보를 저장, 반영한다.
- 구조물 정보 관리 UI를 시험한다.
- 변경된 구조물 정보를 저장, 반영한다.
- 컴포넌트 정보 관리 UI를 시험한다.
- 변경된 컴포넌트 정보를 저장, 반영한다.

U-WEAS-002 공격 정보 관리의 경우 시스템에서 아래 사항이 수행된다.

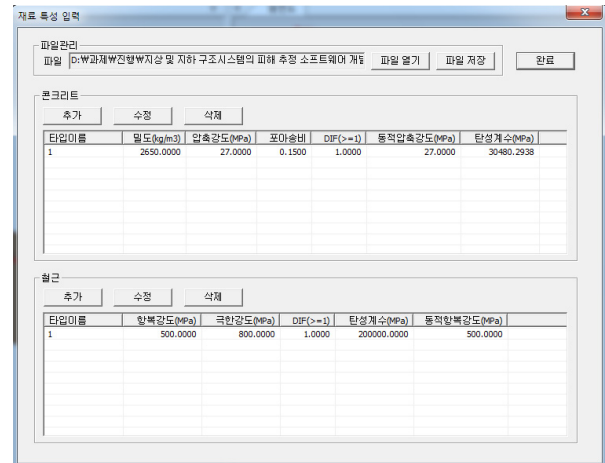
- 공격 시나리오 정보 관리 UI를 시험한다.
- 변경된 공격 시나리오 정보를 저장, 반영한다.



**Fig. 2** Property management for slab, beam and column

**Table 2** Use case

| Use Case ID | Use Case Name                 | Related Requirement ID   |
|-------------|-------------------------------|--|
| U-WEAS-001  | Target information management | R-WEAS-001<br>R-WEAS-002<br>R-WEAS-003<br>R-WEAS-004               |
| U-WEAS-002  | Attack information management | R-WEAS-005   |
| U-WEAS-003  | Project management            | R-WEAS-006   |
| U-WEAS-004  | 3D visualization              | R-WEAS-007<br>R-WEAS-008<br>R-WEAS-009                             |
| U-WEAS-005  | Floor plan                    | R-WEAS-010<br>R-WEAS-011<br>R-WEAS-012                             |
| U-WEAS-006  | Property box                  | R-WEAS-013<br>R-WEAS-014<br>R-WEAS-015                             |
| U-WEAS-007  | Editing                       | R-WEAS-016<br>R-WEAS-017<br>R-WEAS-018<br>R-WEAS-019               |
| U-WEAS-008  | Assessment                    | R-WEAS-020<br>R-WEAS-021<br>R-WEAS-022<br>R-WEAS-023<br>R-WEAS-024 |



**Fig. 3** Property management for materials

U-WEAS-003 프로젝트 관리의 경우 시스템에서 아래 사항이 수행된다.

- 현재 진행 중인 프로젝트를 초기화한다.
- 파일 열기창이 시험한다.
- 선택된 프로젝트를 읽어서 적용 도시한다.
- 파일 저장창이 시험한다.
- 입력된 프로젝트 명으로 프로젝트를 저장한다.

U-WEAS-004 3차원 시각화의 경우 시스템에서 아래 사항이 수행된다(Fig. 4 참조).

- 표적정보를 3차원으로 도시한다.
- 컴포넌트 정보를 3차원으로 도시한다.
- 입력된 마우스의 정보로 표적 구조물의 줌인/줌아웃, 회전, 이동을 도시한다.

U-WEAS-005 평면도의 경우 시스템에서 아래 사항이 수행된다.

- 표적정보를 평면도로 도시한다.
- 컴포넌트 정보를 평면도에 도시한다.
- 선택된 구조부재를 표시하고, 속성창에 정보를 시현한다.

U-WEAS-006 속성창의 경우 시스템에서 아래 사항이 수행된다.

- 속성창에 구조물 정보를 시현한다.
- 속성창에 구조부재 정보를 시현한다.
- 속성창에 현재 선택된 시나리오 정보를 시현한다.

U-WEAS-007 표적 구조물 편집의 경우 시스템에서 아래 사항이 수행된다.

- 속성창에 선택된 슬래브 정보를 시현한다.
- 편집된 정보를 저장 반영한다.
- 속성창에 선택된 기둥 정보를 시현한다.
- 편집된 정보를 저장 반영한다.
- 속성창에 선택된 보 정보를 시현한다.
- 편집된 정보를 저장 반영한다.
- 속성창에 선택된 벽 정보를 시현한다.
- 편집된 정보를 저장 반영한다.

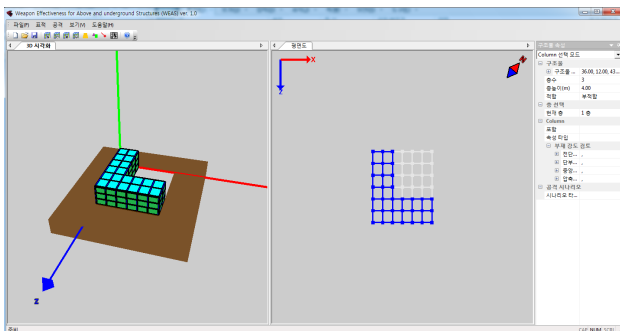


Fig. 4 3D Visualization

U-WEAS-008 평가의 경우 시스템에서 아래 사항이 수행된다(Fig. 5,6,7 참조).

- 표적 구조물에 대해 부재 강도를 검토하고, 결과를 시현한다.

- 공격 정보를 토대로 피해 평가를 수행하여 결과를 시현한다.
- 계산을 수행하여 결과를 시현한다.

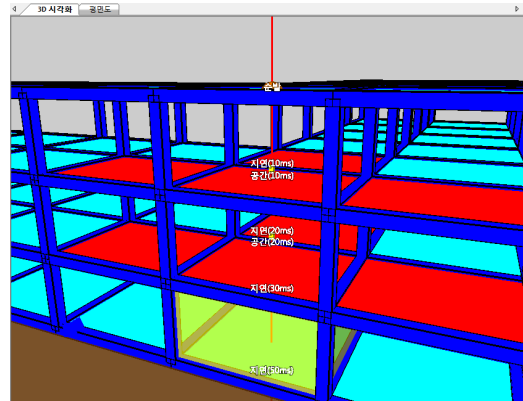


Fig. 5 3D Penetration Analysis

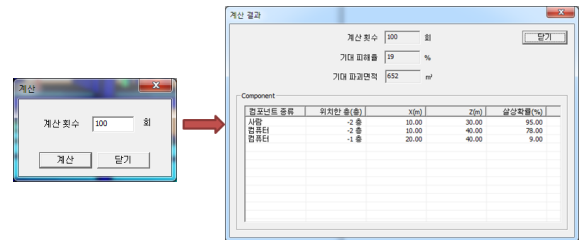


Fig. 6 Damage analysis for structural and non-structural components

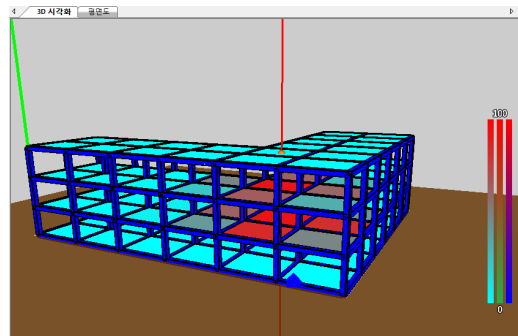


Fig. 7 Damage probability for components

### 3. 결 론

무기의 목적은 표적을 효과적으로 무력화하는 것이며, 이를 위해서는 표적이 입는 피해를 정량적으로 예측할 필요가 있다. 하지만 국외 도입이 불가능함에도, 국내의 경우 여전히 독립적으로 이에 대한 분석 도구를 개발한 사례가 없다. 본 연구에서는 견고표적을 대상으로 하는 무기효과도 SW와 그 framework을 개발함으로써 향후 국내 독자개발의 시초를 마련하고자 한다.

## 감사의 글

본 연구는 국방과학연구소가 주관한 “지상 및 지하 구조시스템의 피해 추정 소프트웨어 개발”의 지원을 받아 수행되었습니다.

## References

- Adeli, H., Amin, A.M.** (1985) Local Effects of Impactors on Concrete Structures, *Nucl. Eng. & Des.*, 88(3), pp.301~317.
- Chelapati, C.V., Kennedy, R.P., Wall, I.B.** (1972) Probabilistic Assessment of Aircraft Hazard for Nuclear Power Plants, *Nucl. Eng. & Des.*, 19(2), pp.333~364.
- Dunnett, J., Flynn, D., Wharton, J.** (2006) Blast Algorithm Development: Definition of Modified Blast Algorithms for PBX Based Explosives, *Insensitive Munitions and Energetic Materials Technical Symposium IMEMTS*.
- Gwaltney, R.C.** (1968) Missile Generation and Protection in Light Water-cooled Reactor Power Plants, *Oak Ridge National Laboratory, TN. ORNL NSIC-22*.
- Joint Chiefs of Staff** (2006) Department of Defense Dictionary of Military and Associated Terms, *Joint Publication 1-02*, Washington, DC.
- Kennedy, R.P.** (1966) Effects of an Aircraft Crash into a Concrete Reactor Containment Building, *Holmes & Narver Inc. Anaheim*.
- Kennedy, R.P.** (1976) A Review of Procedures for the Analysis and Design of Concrete Structures to Resist Missile Impact Effects, *Nucl. Eng. & Des.*, 37(2), pp.183~203.
- Li, Q.M., Reid, S.R., Ahmad-Zaidi, A.M.** (2006) Critical Impact Energies for Scabbing and Perforation of Concrete Target, *Nucl. Eng. & Des.*, 236(11), pp.1140~1148.
- NDRC** (1946) Effects of Impact and Explosion. Summary Technical Report of Division 2, Vol. 1, *National Defence Research Committee*, Washington, DC.
- Young, C.W.** (1997) Penetration Equations, SAND-97-2426, *Sandia National Laboratories*.

## 요 지

본 논문에서는 견고표적 피해분석 무기효과 계산 SW의 Framework에 대하여 기술하였다. 탄두의 침투이력, 기폭에 의해 발생하는 폭압, 폭압에 의한 구조 및 비구조 구성품 파괴가 이론식 및 경험식을 통해 계산되었다. 또한 사용자의 편의를 위해 손쉬운 UI가 설계되었으며, 각 해석 단계는 모듈화되어 향후 개선 및 보완이 용이하게 하였다.

**핵심용어** : 무기효과, 구조물, 폭압