

시뮬레이션 연동형 TEWA 구조 모듈화 및 실시간 무기 배정 모델 제안

Modular TEWA Architecture for Simulation Integration and a Real-Time Weapon Assignment Model

현 철^{*,1)} . 김동건¹⁾ . 김현승¹⁾ . 정동민¹⁾

Chul Hyun^{*,1)} . Donggeon Kim¹⁾ . Hyunseung Kim¹⁾ . Dongmin Jeong¹⁾

[초 록]

현대 전장 환경에서는 다수의 위협이 동시다발적으로 등장하며, 제한된 무기 자산을 신속하고 효율적으로 운용해야 한다. 이러한 상황에서 위협을 평가하고 무기를 배정하는 TEWA(Threat Evaluation and Weapon Assignment)는 핵심 기술로 주목받고 있으나, 기존 TEWA 구조는 정적 규칙 기반으로 구성되어 있어 시뮬레이션 환경과의 연동이 어렵고, 구조 확장성과 실시간성 또한 제한되는 한계를 지닌다. 본 논문에서는 TEWA를 입력-처리-출력 흐름에 따라 모듈화하여, 시뮬레이션 환경에 유연하게 연동 가능한 구조로 재정의하고, 복잡한 최적화나 룩업 테이블 대신 단순 계산을 통해 실시간 판단이 가능한 무기 배정 모델을 제안한다. 제안된 구조는 정밀 유도무기뿐만 아니라 단순 방어 자산까지 통합 운용할 수 있도록 설계되었으며, 동일 입력 조건 하에서 기존 룩업 기반 전략과 비교 실험을 수행하여 판단 성능과 구조 유연성을 검증하였다. 본 연구는 시뮬레이션 기반 전술 실험의 반복성과 운용 적용성을 고려한 TEWA 모듈 구조의 실용적 구현 가능성을 제시한다.

[ABSTRACT]

In modern battlefield environments, multiple threats emerge simultaneously, requiring rapid and efficient deployment of limited weapon resources. TEWA (Threat Evaluation and Weapon Assignment), which determines the priority of threats and assigns appropriate weapons, is a critical component in this context. However, conventional TEWA structures are typically based on static rule sets, making them difficult to integrate with simulation environments and limiting their scalability and real-time responsiveness. This study proposes a modular TEWA architecture structured along an input-process-output flow, enabling flexible integration with simulation systems. A real-time weapon assignment model is also introduced, replacing complex optimization or precomputed lookup tables with lightweight score-based calculations. The proposed structure is designed to support not only precision-guided weapons but also simpler defensive assets, and its performance and flexibility are verified through comparative experiments against rule-based strategies under identical input conditions. The results demonstrate the practical applicability of the proposed TEWA module for repeated simulation-based tactical experiments and operational deployment.

Key Words : TEWA(TEWA), Weapon Assignment(무기 배정), Simulation Integration(시뮬레이션 연동), Decision Model(판단 모델), Modular Structure(모듈화 구조)

1. 서 론

현대 전장 환경은 다양한 위협이 짧은 시간 내에 다수 발

생하고, 이에 대응할 수 있는 무기 자원은 제한되어 있다는 특징을 가진다. 이러한 복잡한 환경에서는 어떤 위협을 우선 대응할지, 어떤 무기를 어느 표적에 배정할지에 대한 판단이 전투 효과성과 직결되며, 이를 담당하는 핵심 기술이 바로 TEWA(Threat Evaluation and Weapon Assignment)이다. TEWA는 함정의 전투 체계 내 대공 방어 시스템, 미사일 방어 체계, 육상 기반의 방공 시스템 등과 같이, 다수의 위협에 동시에 대응하면서 제한된 무기 자원을 효율적으로 운용해야 하는 복합 방어 체계에서 핵심적인 판단 모듈로 활용된다.

1) LIG넥스원 해양연구소.2팀

(Maritime R&D Center, LIG Nex1, Korea)

* Corresponding author, E-mail: chul.hyun@gmail.com

Copyright © The Korean Institute of Defense Technology

Received : May 15, 2025 Revised : June 25, 2025

Accepted : June 30, 2025

TEWA는 위협을 평가하고 무기를 할당하는 이중 구조를 가지며, 지금까지 다양한 룰 기반 또는 조건 일치 기반의 방식으로 구현되어 왔다[1,2]. 그러나 이들 대부분은 특정 무기-표적 조합에 대한 정적인 대응을 전제로 하며, 시스템 외부와의 연동을 전제로 한 구조화된 형태가 부족하여 시뮬레이션 환경 내에서의 적용성이 제한적이다[3,4].

특히 시뮬레이션 기반의 전술 실험 환경에서는 다양한 조건을 반복적으로 구성하고, 이를 통해 의사결정 모델을 시험하거나 평가하는 것이 핵심인데, 현재의 TEWA 구조는 내부 로직이 복잡하고 비표준적이기 때문에 반복 실험이나 구조 교체가 어렵다[4,5]. 더 나아가 무기 배정 판단에 사용되는 기준 역시 복잡한 최적화 알고리즘이나 조건 매칭 방식에 의존하면서, 실시간 처리의 부담이 크거나 상황 변화에 대한 유연성이 낮은 문제가 존재한다[2,5]. 이를 해결하기 위해서는 복잡한 연산이나 대규모 룰업 테이블 없이도 실시간 판단이 가능한, 예를 들어 위협과 무기 간의 매칭 점수를 빠르게 추정할 수 있는 간략 추정 모델이 요구된다[6,7].

이번 연구에서는 TEWA 구조를 시뮬레이션 환경에 연동 가능한 형태로 재정의하고, 무기 배정 판단은 간단한 계산으로 수행될 수 있도록 간략 추정 모델 기반 구조를 제안한다. 이를 위해 TEWA를 입력-처리-출력의 흐름에 따라 모듈화하고, 무기와 표적의 특성 간 상대 효과를 간단한 수식 또는 수치 계산 방식으로 추정할 수 있는 구조를 설계하였다. 또한, 기존의 정밀 유도무기뿐만 아니라 근거리 방어용 무기나 기만체계 등 단순무기까지 통합 고려할 수 있는 판단 구조를 제시하고, 이를 동일한 입력 조건 하에서 룰 기반 전략과 비교 실험함으로써 제안 방식의 실효성을 평가하였다.

본 논문은 이러한 구조적 재정의와 간략 추정 모델을 기반으로, 시뮬레이션 실험의 자동화 및 반복 운용을 가능하게 하는 TEWA 모듈을 제안하며, 결과적으로 실시간 전술 운용 체계에서 핵심 판단 모듈로 구현 가능함을 보여준다.

2. 배경 및 기존 연구 분석

효율적인 무기 자산 운용을 위한 핵심 기술 중 하나인 TEWA는 오랜 기간 다양한 형태로 연구되어 왔다. 그러나 현재까지의 TEWA 구현 방식은 특정 환경에 고정된 정적 구조, 복잡한 연산 로직, 그리고 시뮬레이션 시스템과의 연동성 부족 등 여러 한계를 내포하고 있다. 본 장에서는 기존 TEWA 구조의 문제점을 구조적 관점, 시뮬레이션 연동 관점, 판단 모델 관점에서 분류하여 정리하고, 본 연구가 어떤 차별점을 가지고 있는지를 설명한다.

2.1 TEWA의 구조적 한계: 정적 규칙 기반 구조

TEWA는 위협의 우선순위를 평가한 후, 가용 무기 자산을 이에 배정하는 이중 구조를 가진다. 상용 또는 군용 시스템에서는 이 과정이 대부분 정적 규칙 기반(IF-THEN 룰 기반)으로 구현되어 있으며, 사전에 정의된 위협 조건과 무기 배정 규칙에 따라 처리되는 방식이 주류를 이루고 있다[1]. 이

러한 방식은 특정 시나리오나 장비 조건에 맞춰 최적화된 결과를 유도하는 데는 유리하지만, 구조의 일반화나 유연성 확보에는 한계가 있다.

이와 같은 정적 접근의 한계를 극복하고자 최근에는 다목적 진화 알고리즘(MOEA/D)을 활용한 WTA(Weapon-Target Assignment) 문제 해석이 시도되고 있으며, 이는 기존의 룰 기반 또는 단순 휴리스틱 기반 TEWA가 갖는 최적화 한계를 직접적으로 지적하고 있다[2].

2.2 시뮬레이션 환경과의 연동성 문제

시뮬레이션 기반의 전술 실험 환경에서는 다양한 조건을 반복 구성하고, 이에 따라 의사결정 모델을 지속적으로 시험·검증할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 TEWA 구조 자체가 외부 시스템과 명확한 인터페이스를 갖는 모듈 형태로 분리되어야 하며, 입력 및 출력 변수를 기반으로 한 구조화가 필수적이다. 그러나 기존 TEWA 시스템은 대부분 내부 로직에 종속된 블랙박스 구조를 갖고 있어, 시뮬레이션 연동이나 반복 실험을 위해 쉽게 교체하거나 조정하기 어렵다[3].

특히 NATO MSG-101 등에서는 시뮬레이션 환경 내 핵심 기능 모듈(TEWA 포함)의 표준화 및 구조 분리를 강조하고 있으며, 센서-무기-지휘통제 체계 간 연동성을 보장하는 모듈화 설계가 필수적임을 명확히 하고 있다[4]. TEWA 성능 평가 및 통신 구조에 관한 연구에서도 TEWA가 시뮬레이션 엔진과의 통합에 있어서 명확한 데이터 흐름 구조를 갖추지 못하면 반복 실험 및 검증에 큰 제약이 발생한다고 지적하고 있다[5].

2.3 판단 모델의 복잡성과 실시간성 문제

기존의 TEWA 알고리즘은 복잡한 수치 최적화 기반 접근이 많으며, 이로 인해 실시간 운용에 제약이 크다. 특히 상황이 복잡해질수록 무기-표적 조합 수가 기하급수적으로 증가하며, 모든 조합을 사전에 계산하거나 룰업 테이블 형태로 저장하는 방식은 현실적으로 적용이 어렵다.

이에 대한 대안으로 일부 연구에서는 계산 비용이 적은 수식 기반 판단 구조를 통해 간단한 점수화 모델(score-based model)로 판단을 수행하는 방식이 제안되고 있다. 예를 들어, 특정 무기-표적 쌍에 대해 거리, 속도, 잔여 자산 상태 등을 입력 변수로 하여 실시간 계산이 가능한 간략 추정 모델을 설계하는 방식이다. 이러한 접근은 군용 훈련 시뮬레이터 등에서 특히 실용적이며, 반복 훈련 및 다양한 조건에 대한 유연한 대응이 가능하다는 장점이 있다[6,7]. 이러한 간략 추정 기반 접근은 최근 TEWA 연구에서 반복 실험과 실시간 적용 가능성을 높이기 위한 실용적 흐름 중 하나로 제시되고 있으며, 본 연구 또한 이와 유사한 방향성을 일부 공유하고 있다.

2.4 복합 무기 운용 전략에 대한 적용 부족

현실의 전장 환경에서는 정밀 유도무기 외에도 근거리 방

어용 기관포, 기만기, 연막탄 등 다양한 자산이 혼재하여 운용된다. 그러나 기존 TEWA 연구는 대부분 유도무기 중심의 할당 최적화에 집중되어 있으며, 복합 자산을 함께 고려하는 구조적 전략은 드물다.

일부 시뮬레이션 기반 연구에서는 하드킬(정밀무기)과 소프트킬(기만기 등)을 통합 운용하는 전략 구조가 제시되었으며, 다양한 무기군의 조합 효과와 효율성 비교 실험이 수행된 바 있다[3,6]. 그러나 이를 TEWA 구조로 일반화하여 모듈화한 사례는 아직 많지 않으며, 제안된 구조의 반복 운용 및 확장성에 대한 연구가 필요하다.

3. TEWA 구조 정립

3.1 기존 TEWA 구조의 일반적 흐름

TEWA는 전통적으로 위협 평가와 무기 배정의 두 단계로 구성된다. 위협 평가는 탐지된 표적의 거리, 속도, 진행 방향, 위협 유형 등의 정보를 바탕으로 우선순위를 부여하는 과정이며, 무기 배정은 가용한 무기 자산 중 해당 위협에 가장 적합한 자산을 선택하여 할당하는 과정이다. 이러한 구조는 개념적으로는 명확하게 구분되지만, 실제 운용 체계에서는 두 과정이 절차적으로 밀접하게 결합되어 있어 단일 로직으로 구성된 경우가 많다.

기존 시스템에서는 이러한 판단이 대부분 정적 규칙 집합 또는 고정된 평가 방식에 따라 진행되며, 결과적으로 시스템 내부의 처리 로직이 외부에서 보기 어렵고, 분석 또는 대체 실험이 제한되는 구조를 가진다. 특히, 외부 환경 변화나 시뮬레이션 조건의 변경에 따라 TEWA 로직을 반복 시험하거나 비교 분석하기에는 비효율적인 구조가 많다.

기존 TEWA 구조의 일반적인 흐름은 그림 1에 나타내었다. 위협 평가와 무기 배정이 하나의 절차적 블록 내부에서 순차적으로 수행되며, 전체 구조는 외부 입력과의 상호작용보다는 내부 처리 중심으로 구성되어 있다.

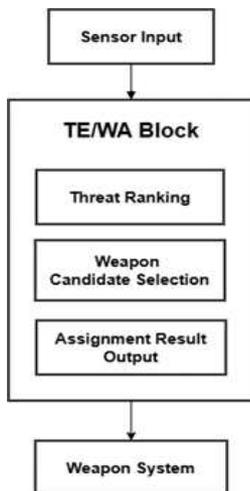


그림 1. 기존 TEWA 구조
Fig. 1. Existing TEWA Structure

도식에서 보듯, 센서로부터 수집된 표적 정보는 TE/WA 처리 블록 내부로 바로 유입되며, 이 안에서 위협 순위 결정, 무기 후보 선택, 배정 결과 출력이 연속적으로 처리된다. 이러한 구조는 외부 시뮬레이션 환경에서 TEWA 로직을 개별 단계별로 시험하거나 교체하기 어려운 형태임을 보여준다.

3.2 기존 구조의 구조적 문제점

기존 TEWA 구조는 다음과 같은 구조적 한계를 내포하고 있다. 첫째, 시스템 간 연동을 위한 입력 및 출력 인터페이스가 명확히 정의되어 있지 않아, 외부 시뮬레이션 환경이나 다른 모듈과의 통합이 어렵다. 특히 입출력이 하드코딩된 형태로 처리되는 경우, 반복 실험이나 환경 조건 변경이 제한된다.

둘째, 위협 평가 및 무기 배정이 하나의 연속적 처리 흐름으로 구현된 경우가 많아, 개별 기능의 분석 또는 교체가 어렵다. 이는 판단 알고리즘의 성능 비교 또는 알고리즘 단계별 영향도 분석 등을 어렵게 만드는 요인이다.

셋째, 내부 판단 로직이 규칙 기반 또는 복잡한 최적화 알고리즘에 의해 구성되어 있어 로직의 해석 가능성이 낮고, 시뮬레이션이나 테스트 환경에서 다양한 운용 조건을 반영하기 어렵다. 이는 구조 확장성, 모듈 대체 가능성, 시나리오 기반 실험 설계 측면에서도 실질적인 제약으로 작용한다.

3.3 제안된 구조: 입력-처리-출력 기반 모듈화

본 연구에서는 기존 TEWA 구조의 단점을 극복하고, 시뮬레이션 환경 또는 실제 작전 환경에서의 반복 실험과 연동을 용이하게 하기 위해, TEWA를 입력-처리-출력(input-process-output) 흐름에 따라 모듈화하는 구조를 제안한다. 각 단계는 독립된 기능 블록으로 구성되며, 외부 시스템이나 시뮬레이터와의 연동을 위해 입출력 형식이 명확하게 정의된다. 이 제안 구조는 그림 2에 도식화하였다.

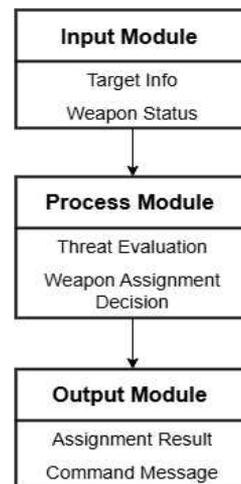


그림 2. 제안된 TEWA 모듈화 구조
Fig. 2. Proposed TEWA Structure

그림 2에서 보듯이 입력 블록에서는 센서 또는 시뮬레이터로부터 수집된 표적 정보, 무기 상태 정보, 환경 조건 등이 구조화된 형태로 유입되며, 처리 블록에서는 위협도 평가와 무기 배정 판단이 독립된 서브블록으로 구성되어 단계별 실행 또는 교체가 가능하게 설계되어 있다. 출력 블록에서는 배정 결과뿐 아니라, 명령 메시지나 상태 변경 신호를 포함한 다양한 운용 데이터를 외부 시스템으로 송신할 수 있는 구조를 갖는다.

이러한 구조적 모듈화는 시뮬레이션에서의 반복 실행, 조건 변경 실험, 판단 로직 교체 등을 구조적으로 지원할 수 있는 기반을 제공한다. 또한 각 단계의 연산을 분리함으로써 구조 해석 및 디버깅이 용이하며, 실시간 판단 기능의 경량화와 검증 측면에서도 장점을 가진다. 입력, 처리, 출력의 각 블록이 포함하는 주요 구성 요소는 Table 1에 정리하였다.

4. 판단 모델 구성

4.1 판단 모델 설계 개요

TEWA의 판단 과정을 실시간 운용이 가능한 구조로 단순화하기 위해, 위협 평가와 무기 배정 전반을 간략한 수식 기반의 점수화 모델(score-based model)로 구성하였다. 제안된 판단 모델은 입력-처리-출력 흐름에 따라 구조화된 TEWA 모듈 내에서 처리 블록의 핵심 기능으로 작동하며, 입력 정보로부터 위협도를 계산하고 무기-표적 조합에 대한 상대적 적합도를 점수화한 후, 이를 기준으로 배정을 수행한다. 복잡한 최적화 연산이나 사전 룩업 테이블 없이도 경량화된 계산으로 판단이 가능하도록 설계되었으며, 시뮬레이션 연동 및 운용 환경 내 실시간 적용을 고려하였다.

4.2 위협 평가 함수 구성

위협 평가는 각 표적이 갖는 위협도를 거리 및 속도 정보를 기반으로 정량화하는 방식으로 수행된다. 우선, 표적 i 에 대해 거리 기반 점수 $S_{dist,i}$ 와 속도 기반 점수 $S_{spd,i}$ 는 각각 다음과 같이 계산된다.

$$S_{dist,i} = 1 - \frac{d_i}{d_{max}}, \quad S_{spd,i} = \frac{v_i}{v_{max}}$$

여기서 d_i, v_i 는 각각 표적 i 의 현재 거리 및 속도이며, d_{max}, v_{max} 는 시스템 내에서 정의된 최대 범위 기준 값이다. 각 항목은 정규화된 값으로 0~1 사이의 범위를 갖는다.

최종 위협 점수 T_i 는 위 두 항목의 가중합으로 산출되며, 아래와 같은 형태를 갖는다.

$$T_i = \alpha \cdot S_{dist,i} + \beta \cdot S_{spd,i}$$

여기서 α, β 는 각각 거리 기반, 속도 기반 점수의 가중 계수로, 운용 환경 또는 사용자 설정에 따라 조정 가능하다.

4.3 무기 배정 및 매칭 점수 계산

무기 배정은 위협 점수가 높은 표적에 대해 현재 사용 가능한 무기 중 가장 적합한 자산을 선택하는 과정이다. 우선, 시스템 내 모든 무기 자산 j 에 대해 사거리, 사용 가능 상태, 잔여 탄약 등의 조건을 기반으로 사용 가능한 무기 후보를 필터링한다. 그 후, 각 표적 i 와 무기 j 의 조합에 대해 무기-표적 매칭 점수 M_{ij} 를 다음과 같이 계산한다.

$$M_{ij} = \gamma \cdot T_i + \delta \cdot E_j$$

여기에서 T_i 는 위에서 계산된 표적의 위협 점수이며, E_j 는 무기 j 의 효과성 계수(즉, 표적 유형 대응 적합도, 신뢰도 등)이다. γ, δ 는 위협 중심과 무기 중심 판단의 비중을 조절하는 계수로 운용 조건에 따라 설정된다.

최종적으로, 다음의 최대 점수 조건을 만족하는 조합 (i^*, j^*) 에 대해 무기를 배정한다.

$$(i^*, j^*) = \arg \max_{i,j} M_{ij}$$

이 판단 방식은 계산 복잡도가 낮고, 반복 연산 없이 일회성 평가로 결정되며, 실시간 운용에 적합한 연산 구조를 갖는다. 또한, 계수 조정 또는 필터링 조건 변경을 통해 다양한 작전 시나리오에 유연하게 대응할 수 있다.

표 1. TEWA 모듈화 구조의 구성 요소

Table 1. Modular components of the proposed TEWA structure

Module Type	Sub-component	Description
Input	Target Info	Position, speed, classification, target ID
	Weapon Status	Type, availability, remaining ammunition
Process	Threat Evaluation	Calculate relative threat score for each target
	Weapon Assignment Decision	Score-based matching between threats and weapons
Output	Assignment Result	Final pairing of weapon-target
	Command Message	Fire command, standby order, system status update

4.4 실시간 운용성과 구조적 유연성

제안된 판단 모델은 정규화 기반 점수 계산, 가중 합 방식의 단순 수식 적용, 그리고 무기-표적 매칭의 Greedy 선택 구조로 구성되어 있어, 복잡한 최적화 과정을 필요로 하지 않으며 연산량 또한 제한적이다. 이러한 구성은 실시간 운용 환경에서도 충분한 응답속도를 확보할 수 있도록 하며, 구조 해석이 용이하다는 장점을 가진다.

또한, 각 수식 내 변수 및 계수들은 운용 목적에 따라 유연하게 조정 가능하므로, 위협 우선도, 무기 효율성, 작전 전략에 따른 판단 기준을 쉽게 변화시킬 수 있다. 판단 수식 자체가 모듈화 구조 내 처리 블록에 명확히 구분되어 존재하기 때문에, 시스템 전체를 수정하지 않고도 다양한 실험 조건이나 전술 조건에 맞춘 판단 구조 설계가 가능하다.

특히 시뮬레이션 환경에서 반복 실험 및 조건 비교를 수행할 경우, 입력 요소 변경만으로 다양한 조건 설정이 가능하며, 판단 수식 및 배정 로직을 비교·교체하여 성능 분석을 용이하게 수행할 수 있다. 이러한 구조적 유연성은 향후 강화학습 기반 자동화 구조나 협업 기반 다중 자산 운용 모델로의 확장에도 유리하게 작용할 수 있다.

5. 시뮬레이션 실험 및 전략 비교 분석

이 장에서는 제안된 판단 구조의 실시간 운용 가능성과 전략적 유연성을 평가하기 위해 시뮬레이션 기반의 비교 실험을 수행해 보았다. 실험은 단일 교전 시나리오를 기반으로, 입력 정보와 판단 로직이 각각 동일한 조건 하에서 룰 기반 전략과 제안된 판단 모델에 적용되도록 구성되며, 무기-표적 배정 결과를 정량 및 정성적으로 비교한다.

5.1 실험 환경 및 시나리오 설정

본 실험은 표적 6개와 무기 3종으로 구성된 단일 교전 시나리오를 기반으로 수행되었다. 6개의 표적은 각각 고유한 초기 거리와 속도 특성을 가지며, 이는 100m에서 1000m 사이의 거리와 10m/s에서 50m/s 사이의 속도 내에서 균등 분포 (Uniform Distribution)를 사용하여 무작위로 초기화되었다. 특히, 시나리오에는 위협도(속도 기준)가 높음에도 불구하고 상대적으로 원거리에 위치하는 표적 조건이 포함되어, 단순 거리 기반 판단과 위협도 기반 판단 간의 전략적 차이를 명확히 관찰할 수 있도록 구성되었다. 무기 자산은 표적에 대한 효과성을 나타내는 고유한 효과성 계수(E_j)를 가지며, 각각 0.2, 0.5, 0.9의 값으로 설정된 3종의 무기(Weapon A, Weapon B, Weapon C)로 구성된다. 각 무기는 단일 표적에만 대응 가능한 일대일 배정(one-to-one assignment)을 기준으로 한다.

모든 판단은 동일한 입력 구조를 기반으로 수행되었으며, 판단 구조는 모듈화된 TEWA 구조에 따라 입력-처리-출력 형태로 구성되었다. 실험은 총 100,000회 반복 수행되었으며, 각 회차는 동일한 표적/무기 조건을 유지한 상태로 기준 룰 기반 전략과 제안된 판단 모델을 각각 독립적으로 적용하였다.

5.2 비교 전략 정의

기준 룰 기반 전략은 아래의 논리를 따르도록 구성되었다:

- 가장 가까운 표적을 우선 순위로 설정
- 무기 사거리 내에 있는 표적 중, 가장 위협도(속도 기준)가 높은 표적 선택
- 특정 무기와 특정 표적 유형 간의 대응 규칙이 우선 고려됨 (예: 근거리 위협 → 단거리 무기)

이는 실제 TEWA 알고리즘에서 자주 활용되는 거리 기반 우선 정책과 유형 매칭 기반 배정 정책을 혼합한 구성이다. 이 실험에서는 이 전략이 무기 편중 배정 및 위협도 누락 가능성이 있음에도 불구하고, 구조적 단순성과 응답 속도 면에서는 유리한 기준이 될 수 있도록 합리적인 설계를 통해 반영하였다. 또한 본 실험에서는 위협도가 높은 표적이 원거리 위치에 존재하는 상황을 일부 포함시켜, 다양한 조건에서 전략 간의 판단 차이를 평가할 수 있도록 구성하였다. 이러한 구성은 단순 거리 기반 판단이 적용될 경우 발생할 수 있는 한계를 고려한 것으로, 보다 복잡한 상황에 대한 대응 능력을 검토하기 위한 목적을 가진다.

제안된 판단 모델은 거리 및 속도에 기반한 위협 점수와 무기 성능 계수를 조합하여, 각 무기-표적 쌍에 대한 매칭 점수를 정량적으로 계산하고, 이 값을 기준으로 배정을 수행한다. 위협 점수 T_i 는 거리 및 속도 정보를 이용하여 아래와 같이 정의된다.

$$T_i = \alpha \cdot \left(1 - \frac{d_i}{d_{\max}}\right) + \beta \cdot \left(\frac{v_i}{v_{\max}}\right)$$

$\alpha = 0.6, \beta = 0.4$ 로 설정하였으며, 이는 위협 평가 시 표적의 거리를 속도보다 상대적으로 더 중요하게 고려하는 전술적 판단을 반영한 것이다. 일반적으로 방어 시스템에서는 표적의 접근 거리가 짧을수록 위협도가 급격히 증가하므로, 초기 대응 시 거리에 더 큰 가중치를 부여하는 것이 합리적이라고 판단했다. 이 위협 점수와 무기 성능 계수를 조합하여 무기-표적 배정 점수를 다음식과 같이 계산한다.

$$M_{ij} = \gamma \cdot T_i + \delta \cdot E_j$$

본 시뮬레이션에서는 위협도와 무기 성능 간의 균형 있는 고려를 위해 $\gamma = 0.5, \delta = 0.5$ 로 설정하였으며, 이는 표적의 위협도(T_i)와 무기의 효과성 계수(E_j)를 동등한 중요도로 종합하여 가장 효율적인 무기-표적 조합을 찾고자 하는 전략적 의도를 반영한 것이다. 이처럼 균형적인 접근은 특정 요소에 편향되지 않고 전반적인 전투 효율성을 극대화하는 데 기여할 수 있다. 이를 통해 무기 성능 차이가 판단 결과에 충분히 반영되도록 구성하였다.

두 판단 방식은 입력된 표적 정보에 따라 우선순위를 계산하고, 무기-표적 매칭을 수행한다는 점에서 공통 구조를 가지지만, 판단 기준의 차이로 인해 실제 배정 결과에는 의미 있는 차이가 발생한다.

그림 3은 두 전략의 구조적 차이를 시각적으로 설명하기 위한 개념도로, 표적의 위치 및 위협 수준에 따라 각 전략이 어떤 방식으로 자산을 배정하는지를 간략히 표현한 것이다.

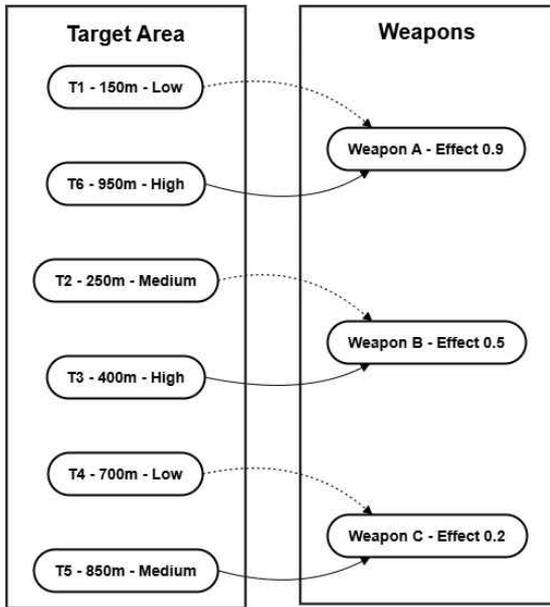


그림 3. 무기-표적 배정 전략 구조 개념도

Fig. 3. Conceptual Structure of Weapon-to-Target Assignment Strategies

를 기반과 제안된 판단 방식은 입력된 표적 정보에 따라 우선순위를 계산하고, 무기-표적 매칭을 수행한다는 점에서 공통 구조를 가지지만, 판단 기준의 차이로 인해 실제 배정 결과에는 의미 있는 차이가 발생한다.

이러한 구조적 차이는 그림 3에 제시된 개념도를 통해 시각적으로 확인할 수 있다. 해당 그림은 전략 간 구조적 배정 특성을 설명하기 위한 예시로, 점선은 를 기반 전략에 의한 배정을, 실선은 제안된 판단 모델에 의한 배정을 나타낸다.

그림에서 볼 수 있듯, 를 기반 전략은 거리 우선 판단에 따라 근거리 표적에 자산이 집중되는 반면, 제안된 모델은 위협 점수를 기준으로 원거리 고위협 표적에 대해서도 무기를 우선적으로 배정하는 경향을 보인다.

이는 배정 기준이 단순 거리 중심인지, 위협도와 자산 특성을 함께 고려하는지에 따라 판단 구조에 본질적인 차이가 발생함을 보여주는 사례이다. 이러한 구조적 차이는 단순 정량 지표 외에도 정성적 해석 관점에서 의미가 있다. 예를 들어, 제안된 판단 모델은 거리 중심 우선순위가 아닌 위협 점수와 무기 성능의 조합에 따라 판단이 수행되므로, 표적 대응의 분산성, 자산 활용의 유연성, 판단 구조의 해석 가능성 측면에서 차별적 특징을 보인다. 이는 단순 규칙 기반 전략에 비해 구조적으로 더 정제된 판단 흐름을 제공함을 시사한다.

5.3 실험 결과 비교

본 절에서는 제안된 판단 모델과 를 기반 전략 간의 무기-표적 배정 성능을 정량적으로 비교한 결과를 제시한다. 실험은 총 100,000회 반복 수행되었으며, 각 회차마다 동일한 표적 조건을 입력으로 사용하여 두 전략을 각각 독립적으로 적용하였다. 각 전략은 입력 정보에 따라 동일한 판단 흐름(입력-처리-출력)을 따르되, 우선순위 계산과 배정 기준에서 구조적인 차이를 가지며, 이에 따라 실제 배정 결과의 분포와 자산 활용 형태에도 차이가 발생할 수 있다.

표 2는 주요 성능 지표를 정리한 것으로, 단일한 대응 성과 외에도 자산 운용 방식과 판단 분산성 등 구조적 특성의 차이를 함께 보여준다.

표 2에서 나타난 지표들은 각 전략이 자산을 판단하고 운용하는 방식의 차이를 구조적으로 반영한다. 상위 위협 표적 대응률(Top-3 Threat Covered)의 경우, 제안된 판단 모델은 평균적으로 모든 주요 위협 표적에 대응한 반면, 를 기반 전략은 일부 표적이 배정에서 누락되는 경우가 발생하였다. 이는 위협도 기반의 계산식이, 거리 중심 규칙보다 특정 조건에서 더 일관된 대응을 유도할 수 있음을 보여주는 결과로 해석할 수 있다.

자산 활용의 분산성과 균형을 나타내는 Coverage Count와 Entropy 지표 또한 제안 모델이 우세한 경향을 보였다. 무기-표적 조합의 활용이 다양하고 배정 결과가 특정 방향에 편중되지 않았다는 점은, 판단 구조가 보다 유연하게 작동했음을 시사한다.

또한 표적별 편중 정도(Col STD)는 를 기반 전략에서 더 크게 나타났으며, 이는 판단 기준이 일부 근거리 표적에 반복 배정되는 경향을 구조적으로 유도함을 나타낸다.

한편, 무기별 사용 편차(Row STD)는 제안된 판단 모델에서 더 크게 나타났는데, 이는 무기 성능 차이를 판단 구조 내에서 정량적으로 반영하고, 그에 따라 자산을 차등 운용했다는 점을 보여준다. 반대로 를 기반 전략은 단순 거리 기준에 따라 무기 선택이 이루어지며, 결과적으로 운용의 다양성이 제한될 수 있다.

이러한 지표 간 차이는 제안된 구조가 무조건적으로 더 우수함을 의미한다기보다는, 판단 기준의 구조적 구성 방식에 따라 특정 조건에서 운용 결과가 달라질 수 있음을 정량적으로 보여주는 사례로 해석하는 것이 타당하다. 특히 본 연구에서는 위협도와 거리의 상관관계가 일관되지 않은 상황을 일부 포함하여, 다양한 환경에서 판단 구조가 어떻게 작동하는지를 실험적으로 관찰하고자 하였다.

결과적으로 본 연구는 TEWA 판단 구조를 보다 단순화하고 계산 기반으로 정형화함으로써, 시뮬레이션 연동성, 반복 실험 가능성, 판단 기준 유연성 측면에서 적용 가능성을 탐색하고자 하는 시도이며, 본 절의 정량 비교는 그 구조적 가능성을 보여주는 하나의 사례로 이해될 수 있다.

표 2. 전략 간 무기-표적 배정 성능 비교 지표

Table 2. Performance Indicators for Weapon-to-Target Assignment Strategies

지표 항목 (Metric)	제안 모델 (Proposed)	룰 기반 전략 (Rule-Based)	지표 설명 (Description)
Top-3 Threat Covered	3.00	2.37	위협도 상위 3개 표적에 대한 평균 대응 개수
Coverage Count (18 중)	18	17	사용된 무기-표적 조합 수
Entropy	3.947	3.682	전체 배정 분포의 균형성 (높을수록 고른 분포)
Row STD (Weapons)	6265.932	1188.070	무기별 사용 횟수의 표준편차 (전략적 차등 운용)
Col STD (Targets)	7678.411	12043.012	표적별 배정 편중 정도 (낮을수록 분산된 대응)

5.4 결과 해석 및 구조적 논의

앞선 실험 결과에서는 특정 조건 하에서 제안된 판단 모델이 기존 룰 기반 전략에 비해 정량적 지표상 더 안정적인 대응 성과와 자산 활용의 분산성을 보이는 경향을 확인할 수 있었다. 그러나 이러한 수치적 우위만큼 중요한 점은, 각 판단 구조가 시뮬레이션 기반의 실험 환경에 어떻게 연동되고, 얼마나 유연하게 적용될 수 있는가에 대한 구조적 측면이다.

제안된 판단 모델은 위협도와 무기 성능 정보를 정량화하여 단순 수식 형태로 계산함으로써, 실시간 운용뿐 아니라 반복 실험, 시나리오 기반 비교 평가, 자동화된 판단 환경에 쉽게 통합될 수 있는 구조를 가진다. 특히 판단 기준이 정형화되어 있기 때문에 다양한 환경 조건(표적 수, 자산 종류, 배치 형태 등)의 변화에도 별도의 규칙 조정 없이 동일한 판단 구조를 유지할 수 있으며, 이는 시뮬레이션 기반 전술 실험이나 평가 시나리오의 일관성과 비교 가능성을 확보하는 데 유리하다. 반면, 룰 기반 전략은 비교적 직관적이고 간단한 로직으로 구현되기 때문에 특정 전술 환경에서는 빠른 응답성과 간편한 운용이 가능하지만, 조건 변화에 따른 규칙 수정이나 우선순위 재정의가 수반되어야 하며, 구조적으로 반복 실험과

자동화 연동에는 제약이 따를 수 있다.

또한 제안된 모델은 무기-표적 매칭 점수를 중심으로 판단이 수행되므로, 판단 결과의 추적 가능성과 근거 설명이 용이하다는 점에서도 구조적인 장점을 가진다. 이는 알고리즘의 운용 결과에 대한 해석, 튜닝, 그리고 성능 최적화에 있어 실용적인 기반을 제공할 수 있다.

결과적으로 본 절에서는 수치적인 비교 결과에 덧붙여, 제안된 판단 구조가 다양한 시뮬레이션 환경이나 자동화된 실험 플랫폼에 보다 유연하게 적용될 수 있는 구조적 이점을 가지고 있으며, 이는 단순한 배정 성능 그 자체를 넘어 시스템 운용 및 평가 환경 전반에 걸친 적용 가능성 측면에서의 의미 있는 구조 제안이라고 할 수 있다.

위와 같은 구조적 해석을 기반으로, 본 논문에서 제안한 판단 모델과 기존 연구들에서 사용된 전략 간의 주요 차이점을 정리하면 다음의 표 3과 같다. 본 비교는 판단 방식, 구조 유연성, 시뮬레이션 연동성 등 구조적 특성을 중심으로 요약한 것으로, 각 방식이 지닌 적용 가능성과 운용 관점에서의 차이를 보다 직관적으로 파악할 수 있다.

표 3. 기존 연구와 제안 구조의 판단 모델 비교

Table 3. Structural Comparison of Threat Evaluation and Weapon Assignment Models

구분	룰 기반 전략[1]	스코어 기반 모델[6,7]	본 논문(제안)
판단 방식	IF-THEN 규칙 기반	정규화된 점수 계산	점수 기반 + 무기성능 가중
연산량	매우 낮음	낮음	낮음
실시간 운용 가능성	O(단순성)	O	O
구조 유연성	낮음(규칙 변경 어려움)	중간(모델 구조 고정)	높음(모듈화 구조 적용)
시뮬레이션 연동성	제한적	중간	높음(I-P-O 분리 구조)

6. 결 론

본 논문에서는 위협 평가 및 무기 배정(TEWA) 구조를 시뮬레이션 환경에 연동 가능하도록 재정의하고, 정량적인 위협-무기 매칭 점수를 기반으로 판단이 가능한 단순 계산 기반의 배정 모델을 제안하였다. 제안된 구조는 TEWA 프로세스를 입력-처리-출력 흐름에 따라 모듈화함으로써, 판단 과정을 명확하게 분리하고 반복 운용 가능한 틀로 정형화하는 데 목적을 두었다. 실험 결과, 제안된 판단 모델은 일부 조건 하에서 기존 룰 기반 전략에 비해 높은 위협 대응률과 자산 활용의 분산성을 보였으며, 특히 위협도가 거리와 일치하지 않는 환경에서 구조적으로 유리한 판단 흐름을 보였다.

그러나 본 연구의 핵심은 단순한 성능 우위보다는, 판단 구조 자체를 시뮬레이션 기반 진술 실험에 보다 유연하게 통합할 수 있는 정형화된 구조로 제시한 데 있다. 제안된 구조는 다양한 조건 변화에도 판단 기준을 유지할 수 있어 반복 실험, 자동화된 평가, 운용 알고리즘의 추적 및 해석에 유리하며, 이는 단순한 판단 모듈을 넘어 실시간 진술 판단 체계와 시뮬레이션 플랫폼 간 연계 가능성을 열어주는 하나의 구조적 접근 방식으로 이해될 수 있다.

향후 연구에서는 위협 평가 및 무기 성능 모델의 정교화, 다표적 다무기 상황에서의 판단 최적화, 그리고 강화학습 등 다른 판단 기법과의 결합 가능성에 대해 보다 확장된 연구가 필요할 것으로 보인다. 본 연구는 TEWA 판단 구조의 시뮬레이션 연동 가능성과 구조적 적용성을 검토한 첫 단계로, 향후 다양한 전장 시나리오와 판단 방식에서의 확장을 통해 그 실효성을 더욱 높여갈 수 있을 것이다.

References

- [1] Cambridge Pixel, "Threat Evaluation and Weapon Assignment (TEWA) Datasheet," Cambridge Pixel Ltd., UK, 2016.
- [2] X. Li, Y. Zhang, and Z. Wang, "Weapon-Target Assignment Problem by Multiobjective Evolutionary Algorithm Based on Decomposition," *Math. Probl. Eng.*, vol. 2018, pp. 1-19, October, 2018.
- [3] R. Rivers, "An overview of the AAW simulator: A knowledge-based TEWA testbed," *Def. Tech. Inf. Cent. (DTIC)*, Report No. ADA630586, 2012.
- [4] NATO STO, "Simulation in Support of NATO Operations," *STO Meeting Proc.*, MP-MSG-104, September. 2013.
- [5] F. Johansson, "Evaluating the Performance of TEWA Systems," *Ph.D. dissertation*, Örebro University, Örebro, Sweden, 2010.
- [6] M. Pelosi, M. Brown, and K. Ahmad, "Improved Hybrid Opponent System for Professional Military Training," *Adv. Sci. Technol. Eng. Syst. J.*, vol. 2, no. 3, pp. 1804 - 1814, 2017.
- [7] J. N. Roux and J. H. van Vuuren, "Threat Evaluation and Weapon Assignment Decision Support: A Review of the State of the Art," *ORiON*, vol. 23, no. 2, pp. 151 - 187, 2007.