한국시뮬레이션학회 논문지
Vol. 32, No. 1, pp. 45-54 (2023. 3)
http://doi.org/10.9709/JKSS.2023.32.1.045
ISSN 1225-5904

# 모의 분석을 위한 표적 획득 체계의 특성 데이터 산출

김태윤† · 한상우 · 권승만

# Estimating Characteristic Data of Target Acquisition Systems for Simulation Analysis

Tae Yoon Kim† · Sang Woo Han · Seung Man Kwon

**ABSTRACT**

Under combat simulation environment when inputting the detection performance data of the real system into the simulated object the given data affects the simulation analysis result. ACQUIRE-Target Task Performance Metric (TTPM)-Target Angular Size (TAS) model is used as a target acquisition model to simulate the detection ability of entities in the main combat simulation tool. This model estimates the decomposition curve of the object sensor and output the detection distance according to the target type. However, it is not easy to apply the performance of the new detection object that the user wants to input to the target acquisition model. Users want to input the detection distance into the target acquisition model, but the target acquisition model requires sensor decomposition curve data according to encounter conditions. In this paper, we propose a method of inversely deriving the sensor decomposition curve data of the target acquisition model by taking the detection distance to the target as an input. Here, the sensor decomposition curve data simultaneously satisfies each detection distance for three types of targets: personnel, ground vehicles, and aircraft. Finally, the detection distance of various reconnaissance equipment is applied to the detection object, and the detection effect according to the reconnaissance equipment is analyzed.

**Key words** : ACQUIRE-TTPM-TAS, Combat Simulations, Detection Effectiveness Analysis, Defense M&S

**요 약**

전투 모의 환경 하에서 실제 모의 대상의 탐지 성능 데이터를 모의 개체에 적절히 입력하는 것은 모의분석 결과에 큰 영향을 미친다. 주요 전투 시뮬레이션 도구에서 개체의 탐지 능력을 모의하기 위한 표적획득모델로 ACQUIRE-Target Task Performance Metric(TTPM)-Target Angular Size(TAS) 모델을 사용하며, 이 모델은 전투 개체의 조우 조건을 입력으로 받아 해당 개체 센서의 분해 곡선을 추정하고, 표적 유형에 따른 탐지 거리를 출력한다. 그런데 사용자가 입력을 원하는 새로운 탐지 개체의 성능을 표적획득모델에 적용하는 것은 쉽지 않다. 사용자는 탐지 거리를 표적획득모델에 입력하길 원하지만, 표적획득모델은 조우 조건에 따른 센서의 분해 곡선 데이터가 필요하기 때문이다. 본 논문에서는 표적에 대한 탐지 거리를 입력으로 하여 표적획득모델의 센서 분해 곡선 데이터를 역으로 도출하는 기법을 제안한다. 여기서 해당 센서 분해 곡선 데이터는 인원, 지상차량, 항공기의 3종류 표적 유형에 대한 각각의 탐지 거리를 동시에 만족한다. 마지막으로 여러 정찰 장비의 탐지 거리를 탐지 개체에 적용하여, 정찰 장비에 따른 탐지 효과도를 분석한다.

**주요어** : ACQUIRE-TTPM-TAS, 전투 시뮬레이션, 탐지 효과도 분석, 국방M&S

* 이 논문은 2022년 정부(방위사업청)의 재원으로 국방과학연구소에서 수행된 연구임(사업부호 912818401)

**Received**: 16 February 2023, **Revised**: 20 March 2023, **Accepted**: 20 March 2023

† **Corresponding Author**: Tae Yoon Kim
E-mail: tykid76@gmail.com
Agency for Defense Development

## 1. 서론

드론과 같은 새로운 무기 개발에 대한 소요 제기가 활발해짐에 따라 새롭게 개발될 무기의 개념을 M&S 도구에 적용하고, 교전 시나리오를 구성하여 전투 효과도를 분석하는 것은 매우 중요해지고 있다(Kim and Lee, 2008).

이러한 M&S 도구는 적용분야별로 연습훈련용, 분석용, 획득용으로 구분이 되며, 전투 효과도의 결과를 보기 위한 분석용, 즉 전투 모의 분석 도구에는 AWAM, EADSIM, OneSAF 등이 있다(DAPA, 2017).

그 중 미국에서 개발한 OneSAF(One Semi-Automated Forces)는 여단급 이하 제대의 전투모의 모델링이 가능한 전투 시뮬레이션 프레임워크이다(Wittman and Harrison, 2001). OneSAF는 물리모델과 행위모델을 조립가능한 컴포넌트로 구성하여 개체, 유닛 생성이 가능하고, 지형 정보 위에서 CGF(Computer Generated Forces) 기반의 반자동 과업을 수행하여 상호작용함으로써 모의된다. 여기서 CGF란 인간행위와 부대의 집단논리를 표현하는 기술로써 자율적인 의사결정능력이 특징이다. 따라서 OneSAF는 조립성, 확장성, 상호운용성 측면에서 뛰어난 플랫폼(Lee et al., 2008)이므로, 기존 전투개체와 연계하여 미래전장개념 또는 첨단개념의 무기 성능을 분석하는데도 주요하게 쓰일 수 있다. 게다가 국내에서 OneSAF를 이용하여 지상무인차량, 드론 등을 포함한 유무인 복합 전투 체계를 모의할 수 있는 연구를 지속적으로 수행 중이다(Han et al., 2014; Han and Pyun, 2020).

전투 모의 분석 도구를 이용한 분석에서 여러 가지 요소가 전투 효과도의 결과에 영향을 미치지만, 그 중에서도 매우 중요한 요소 및 개체는 정찰 및 탐지 자산이다. 만약 아군의 정찰 개체가 먼저 적 개체를 발견하고 지휘관 개체에게 보고하여 사격할당 및 선제타격 한다면 아군의 피해를 줄이고 적에게 큰 피해를 입힐 수 있기 때문이다. 따라서 정찰 개체의 탐지 능력을 전투 모의 환경하에서 신뢰성 높게 모사하는 것은 중요하다.

OneSAF에서 정찰 개체의 탐지 능력을 모사하기 위해 필요한 두 가지는 탐지 모의 논리인 표적획득모델과 표적획득모델에서 사용하는 센서의 분해 곡선 데이터이다. 여기서 센서 분해 곡선 데이터란 만약 센서의 성능을 나타내는 곡선이 있다고 가정하였을 때, 이 곡선식을 구성하는 여러 계수 또는 지수 파라미터를 의미한다. 이러한 센서 분해 곡선 데이터는 표적과 센서의 조우 환경 조건에 따라 달라진다. 조우 환경 조건으로는 계절, 시간, 날씨, 지형, 고도, 기상학적 시계 거리, 조도, 대기 파라미터 등이 있으며, 여러 조우 환경 조건에 따른 센서 분해 곡선의 데이터베이스가 전투 모의 분석 도구에 축적되어있다. 최종적으로 모의 분석 시 조우 환경에 따른 센서 분해 곡선 데이터가 정의되면 그에 따른 정찰 개체의 탐지 능력, 즉 탐지 거리가 계산되어 모의 분석에 반영된다.

OneSAF에는 정찰 개체 모의를 위한 표적획득모델과 센서 분해 곡선 데이터가 구축되어 있기 때문에 기존 정찰 개체를 이용한 모의 분석에는 아무런 문제가 없다. 그러나 새롭게 개발된 정찰 장비를 전투 모의 환경에 신규 정찰 개체로 추가하는 경우 문제가 발생한다. 기존의 표적획득모델은 재사용 가능하지만, 신규 정찰 개체는 탐지 능력이 기존 탐지 개체와 다르기 때문에 기존의 센서 분해 곡선 데이터를 그대로 활용할 수 없기 때문이다. 전투 모의 분석 도구에서 센서 분해 곡선 데이터의 곡선식이나 알고리즘은 일반적으로 제공되지 않기 때문에 신규 정찰 개체의 센서 분해 곡선 데이터를 추정하는 것은 어렵다.

표적획득모델은 기존에 구축되어 있는 센서 분해 곡선 데이터베이스에서 조우 환경에 따라 센서 분해 곡선 데이터를 추정한 후, 표적 획득 확률을 통해 최종적으로 탐지 거리를 계산하게 된다. 그리고 신규 정찰 장비는 탐지 거리가 요구 능력으로 정의되어 있다. 즉, 표적획득모델은 센서 분해 곡선 데이터로부터 센서 탐지 거리를 계산하는 논리를 가지고 있으나, 신규 정찰 장비를 적용하기 위해서는 반대로 조우 환경에 따라 신규 정찰 장비의 탐지 거리를 만족하는 센서 분해 곡선 데이터를 추정해야 한다.

게다가 OneSAF의 표적획득모델은 한 가지 표적 유형의 조우 환경 조건에 대한 센서 분해 곡선 데이터를 산출하는 것이 아닌, 세 가지 표적 유형의 조우 환경을 동시에 반영하는 하나의 센서 분해 곡선 데이터를 산출한다. 지상 전투 모의 환경 하에서 세 가지 표적 유형이란 주로 인원, 지상차량, 항공기로 정의된다. 센서 분해 곡선 데이터는 동일하더라도 표적 유형에 따라 표적 크기, 탐지율 등이 다르므로 표적 유형별 최종적인 탐지 거리가 다르게 계산된다. 마찬가지로 정찰 장비의 성능 역시 표적 유형에 따라 요구 탐지 거리를 다르게 정의하고 있다. 따라서 신규 정찰 장비를 모의 환경에 적용하기 위해서는 세 가지 표적 유형의 탐지 거리를 동시에 만족하는 하나의 센서 분해 곡선 데이터 추정 방법이 요구된다.

이에 본 논문에서는 신규 정찰 장비의 세 가지 표적 유형별 요구 탐지 거리로부터 센서 분해 곡선 데이터를 역으로 도출하는 기법을 제시한다. 제 2절에서는 신규 데이터베이스를 구축하는 방법과 최적화 방법을 사용하여 서로 다른 표적 유형에 대한 탐지 거리를 동시에 만족하는 센서 분해 곡선 데이터를 추정해보고, 결과를 비교하여 방법에 따른 특징을 파악한다. 이를 통해 사용자가 상황에 맞는 방법을 선택하여 신규 정찰 개체에 대한 센서 분해 곡선 데이터를 추정할 수 있다. 제 3절에서는 이를 활용하여 데이터를 생성하고 OneSAF의 정찰 개체에 적용하여 적 개체의 탐지 효과도를 분석하는 모의 실험을 수

행하고, 결과를 분석한다. 마지막으로 제 4절에서는 논문 내용에 대한 결론을 내리고, 향후 연구 주제를 제시한다.

## 2. 센서 분해 곡선 데이터 추정 방법

이 절에서는 표적획득모델의 센서 분해 곡선 데이터를 추정하는 방법에 대해 설명한다. 먼저 표적획득모델의 알고리즘에 대해 설명하고, 데이터베이스 방법과 최적화 방법에 대해 차례로 설명한다. 그리고 각 방법을 적용한 결과를 비교하여, 각 방법의 장단점을 분석한다.

### 2.1 표적획득모델

OneSAF와 같은 전투 모의 분석 도구에서 사용되는 표적획득모델은 ACQUIRE-TTPM(Targeting Task Performance Metric)-TAS(Target Angular Size) 물리모델로, 모의 환경에서 표적을 탐지하는데 사용된다(Lovell et al., 2019; Vollmerhausen et al., 2004). 표적획득모델이 표적을 탐지하는 절차는 그림 1과 같다.

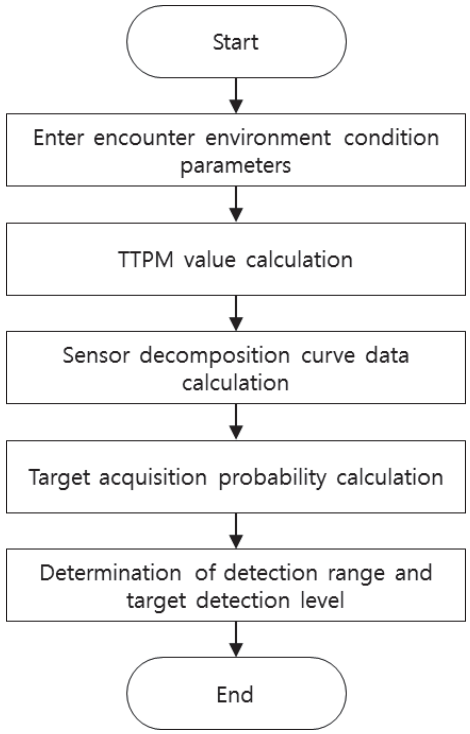


**Fig. 1.** Target acquisition model algorithm procedure

먼저 세 가지 표적 유형별 조우 환경 조건이 초기 파라미터로서 입력되어야 하며, 모의 환경에서는 운용자의 시나리오 입력에 따라 정의된다. 조우 환경 조건으로 센서 및 표적 이름, 시간, 계절, 날씨, 지형, 센서 화각 등이 있으며 세부 사항은 표 1과 같다. 조우 환경 조건들이 입력되면 이를 바탕으로 표적 유형, 난류 지수, 조도 레벨 등 많은 종류의 TTPM 값이 계산되고, 계산된 TTPM 값에 의해 조우 환경 조건에서의 센서 성능을 나타내는 센서 분해 곡선 데이터를 산출할 수 있다. 센서 분해 곡선 데이터가 산출되면 이전에 계산된 TTPM 값과 더불어 표적 획득 확률을 계산할 수 있고, 최종적으로 세 가지 표적에 대한 탐지 거리와 표적 탐지 수준을 결정할 수 있게 된다.

조우 환경 조건 중에서 센서 분해 곡선 데이터를 산출하는 과정에 사용되지 않는 항목을 표 1의 비고란에 미사용으로 구분하였다. 이것은 센서 분해 곡선 데이터 추정 방법을 간략화함으로써 계산의 간소화 효과를 가진다.

**Table 1.** Encounter environment condition parameters

| Input parameter | Unit | Remarks |
|---|---|---|
| Observer | N/A | Unused |
| Sensor Name | N/A | |
| Target Name | N/A | |
| Target Side | N/A | Unused |
| Time Of Day | N/A | |
| Hour Of Day | N/A | |
| Sensor Altitude | m | |
| Target Altitude | m | |
| Season | N/A | |
| Background | N/A | |
| Weather | N/A | |
| Countermeasure | N/A | |
| Target Exposure | N/A | |
| Magnification | N/A | Unused |
| FOV(Field of View) | N/A | |
| Aspect Angle | Deg | |
| Target Posture | N/A | Unused |
| Clutter | N/A | Unused |

### 2.2 데이터베이스 방법

전투 모의 분석 도구에는 기존 센서들에 대한 센서 분해 곡선 데이터베이스만 구축되어 있다. 따라서 신규 데이터베이스를 생성하여 이로부터 분해 곡선 데이터를 추정하는 것이 첫 번째 방법이며, 자세한 내용은 다음과 같다.

### 2.2.1 데이터베이스 구축

앞서 언급한 바와 같이 센서 분해 곡선 데이터의 곡선식 형태에 대해 알지 못하기 때문에 모의 논리에 기반하여 신규 데이터베이스를 구축하는 것은 어렵다. 이런 경우에는 일반적으로 임의의 여러 숫자 조합에 따른 데이터베이스를 구축한다. 그런데 전체 정수 범위에서 조합을 선정하기에는 조합의 수가 굉장히 많으므로 적절하지 않다. 그러므로 본 연구에서는 기존 분해 곡선 데이터베이스의 데이터 범위 내에서 다양한 조합을 선정하고 그에 따른 탐지 거리를 계산함으로써, 센서 분해 곡선 데이터의 조합에 따른 탐지 거리 데이터베이스를 구축하는 것을 제안한다.

센서 분해 곡선 데이터의 개수가 $n$개라면 다음 식 (1)과 같이 정의할 수 있다.

$$x = [x_1\, x_2 \cdots x_k \cdots x_n] \tag{1}$$

여기서 $x_k$는 $k$번째 데이터 파라미터를 의미한다.

**Table 2.** Database example

| Encounter environment conditions | | | | $x_1$ | $x_2$ | … | $x_k$ | … | $x_n$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sea-son | Wea ther | … | Light level | 0~5 range | -5~4 range | … | -2~3 range | … | -3~7 range |
| 0 | 0 | … | 0 | 0 | -5 | … | -2 | … | -3 |
| 0 | 0 | … | 0 | 1 | -5 | … | -2 | … | -3 |
| 0 | 0 | … | 0 | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| 0 | 0 | … | 0 | 5 | -5 | … | -2 | … | -3 |
| 0 | 0 | … | 0 | 0 | -4 | … | -2 | … | -3 |
| 0 | 0 | … | 0 | 0 | -3 | … | -2 | … | -3 |
| 0 | 0 | … | 0 | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| 0 | 0 | … | 0 | 3 | 0 | … | 1 | … | 2 |
| 0 | 0 | … | 0 | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| 0 | 0 | … | 0 | 5 | 4 | … | 1 | … | 7 |

표 2는 임의의 예시 값을 통한 데이터베이스의 형태를 나타낸다. 표 2로부터 기존 분해 곡선 데이터베이스는 조우 환경 조건에 따른 센서 분해 곡선 데이터 파라미터의 조합으로 구성되어 있음을 알 수 있다. 따라서 탐지 거리 데이터베이스를 구축하기 위한 데이터 범위를 기존 센서 분해 곡선 데이터베이스의 각 데이터 파라미터로부터 추정할 수 있다. 데이터 파라미터마다 중복된 값이 있으며, 중복된 값을 제외하고 고유한 값을 선정하여 집합화 할 수 있다. 여기서 $k$번째 데이터 파라미터 집합의 개수를 $N_k$라고 정의하면 탐지 거리를 계산하기 위한 데이터 파라미터의 총 조합 수 $N$은 식 (2)와 같이 계산할 수 있다.

$$N = \prod_{k=1}^{n} N_k \tag{2}$$

그리고 표적 유형이 세 가지이므로 탐지 거리 데이터베이스를 구축하기 위한 총 계산 횟수는 $3N$번이 된다. 탐지 거리 데이터베이스를 구축하기 위해 그림 1의 표적 획득모델을 이용한다. $3N$개의 조우 환경 조건 파라미터를 표적획득모델에 입력하면 $3N$개의 탐지 거리 데이터를 획득하여 탐지 거리 데이터베이스를 구축할 수 있다.

$3N$번의 계산 횟수가 너무 많은 경우, 각 데이터 파라미터의 집합에서 대푯값을 적절히 선정하여 데이터베이스를 구축한다면 총 계산 횟수를 줄일 수 있다.

### 2.2.2 데이터베이스 기반 센서 분해 곡선 데이터 추정

신규 정찰 장비의 표적 유형별 요구 탐지 거리와 탐지 거리 데이터베이스를 활용하여 센서 분해 곡선 데이터를 추정하기 위한 절차는 다음과 같다.

- 다양한 데이터 파라미터 조합에 의해 탐지 거리 데이터베이스가 구축되었기 때문에 탐지 거리도 중복값이 존재할 수 있다. 따라서 탐지 거리 데이터베이스에서 탐지 거리의 고유값을 선정한 후 순차 정렬하면 탐지 거리 프로파일을 표적 유형에 따라 추정할 수 있다.
- 다음으로 표적 유형별로 탐지 거리 프로파일과 신규 정찰 장비에 대한 요구 탐지 거리의 차를 계산하여 가장 적은 값부터 순서대로 각각 정렬한다. 탐지 거리 프로파일은 각 탐지 거리에 해당하는 탐지 거리 데이터베이스의 조우 환경 파라미터와 센서 분해곡선 데이터의 인덱스 정보를 담고 있으므로, 탐지 거리 차가 적은 순서대로 표적 유형별 인덱스 세트도 각각 정렬한다.
- 인원, 지상차량, 항공기 표적 각각에 대한 첫 번째 인덱스 세트를 비교하여, 인덱스 번호가 같은 있는지 확인한다. 만약 동시에 만족하는 인덱스 번호가 없다면 다음 순번의 인덱스 세트를 차례로 확인한다. 인덱스 세트는 탐지 거리 프로파일 개수만큼 존재하므로, 표적 유형별로 약 10개 내외의 인덱스 세트 수량을 선정한다.

- 표적 유형별 인덱스 세트 비교 절차에서 동시에 만족하는 인덱스 번호가 있다면, 인덱스 번호에 해당하는 데이터 조합을 센서 분해 곡선 데이터로 추정한다.

## 2.3 최적화 방법

최적화 방법은 기존의 센서 분해 곡선 데이터베이스를 이용하지 않고, 최적화 기법을 통해 표적 유형별 요구 탐지 거리를 만족하는 센서 분해 곡선 데이터를 추정한다. 자세한 내용은 다음과 같다.

### 2.3.1 최적화 함수 구성

최적화 방법을 사용하기 위해서는 먼저 목적함수를 구성해야 한다. 최적화 방법을 통해 구하고자 하는 센서 분해 곡선 데이터를 식 (1)과 같이 정의된 $x$라고 가정하면 하나의 표적 유형에 대한 목적함수는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$f(x) = \left| R(x) - R_{\text{req}} \right| \tag{3}$$

여기서 $R(x)$는 조우 환경 파라미터를 미리 적용하고, 센서 분해 곡선 데이터 $x$를 입력으로 받아서 탐지 거리를 출력으로 계산하는 표적획득모델을 의미한다. 그리고 $R_{\text{req}}$는 신규 정찰 장비의 요구 탐지 거리를 의미한다. 따라서 목적함수 $f(x)$는 계산 탐지 거리와 요구 탐지 거리 차의 절댓값으로 정의된다.

그리고 표적 유형에 따라 인원 표적은 $f_{\text{ic}}(x)$, 지상차량 표적은 $f_{\text{gr}}(x)$, 항공기 표적은 $f_{\text{air}}(x)$으로 함수를 생성하면 최적화 목적함수 $Obj(x)$를 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$Obj(x) = \alpha f_{\text{ic}}(x) + \beta f_{\text{gr}}(x) + \gamma f_{\text{air}}(x) \tag{4}$$

여기서 $\alpha$, $\beta$, $\gamma$는 최적화 계산 시 적용되는 각 함수에 대한 가중치를 의미한다.

그리고 최적화 방법을 통해 센서 분해 곡선 데이터를 추정하는 경우에는 표적획득모델 $R(x)$의 내부 절차 중 일부 항목을 변경해야 한다. 표적획득모델의 알고리즘 절차를 나타내는 그림 1의 TTPM 값 계산 단계에서 계산되는 여러 값들 중, 표적의 크기를 나타내는 angular size 항목이 존재한다. 기존의 표적획득모델에서는 탐지 거리를 추정할 때, angular size를 표적 유형별로 일정한 상수값으로 고정하여 센서 분해 곡선 데이터를 추정한다. 그러나 실제 표적의 angular size는 탐지 거리마다 변경이 되므로, 식 (5)와 같이 ACQUIRE-TTPM-TAS 모의 논리에 정의된 angular size 수식을 표적획득모델에 반영하여 최적화 계산에 활용되도록 적용한다.

$$\omega = \frac{CD}{R}\frac{180}{1000\pi}MAG \tag{5}$$

여기서 $\omega$는 angular size, $CD$는 특성 치수, $R$은 표적과의 거리, $MAG$는 센서의 배율을 의미한다.

### 2.3.2 최적화 기반 센서 분해 곡선 데이터 추정

최적화 기법에는 다양한 기법이 있으나 본 논문에서는 Lagarias(1998)의 simplex 탐색 알고리즘을 사용하였다. 그리고 최적화 계산을 위한 초기값은 기존 센서 분해 곡선 데이터베이스에서 각 데이터 파라미터별 평균값으로 적용하였다.

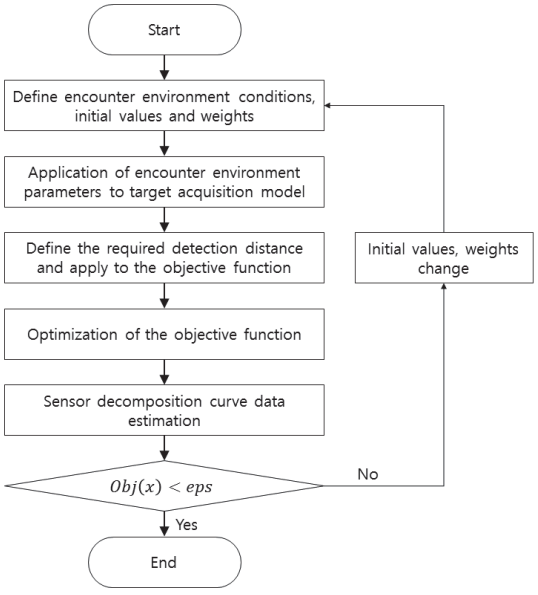


**Fig. 2.** Optimization method procedure

그림 2는 최적화 기반의 센서 분해 곡선 데이터 추정에 대한 절차를 나타낸다. 먼저 시뮬레이션 환경을 의미하는 조우 환경 조건 파라미터를 표적 유형별로 정의한다. 그리고 최적화를 위한 센서 분해 곡선 데이터의 초기값과 식 (4)에서 표현된 가중치를 정의한다. 센서 분해 곡선 데이터의 초기값은 기존 데이터베이스의 값을 참조한다.

최적화를 위한 단계로 먼저 조우 환경 조건 파라미터

들을 표적획득모델인 $R(x)$에 표적 유형별로 적용한다. 다음으로 사용자가 원하는 신규 정찰 장비의 요구 탐지 거리를 정의하고 목적함수에 입력한다. 그리고 처음에 정의하였던 최적화 가중치를 목적함수에 반영하여 목적함수에 대한 최적화를 수행한다. 최적화를 통해 최종적으로 최적화 센서 분해 곡선 데이터인 $x$값을 출력한다. 목적함수의 물리적 의미는 계산되는 탐지 거리와 신규 정찰 장비의 요구 탐지 거리와의 차이므로, 목적함수 값이 0에 가까울수록 적절한 해라고 볼 수 있다. 따라서 $x$값으로부터 도출된 목적함수의 값이 0에 근접한 수인 $eps$보다 작아야 신뢰성 있는 결과라고 볼 수 있다. 만약 목적함수 값이 $eps$보다 크거나 도출된 해로부터 계산된 표적 유형에 따른 탐지 거리가 요구 탐지 거리에 근접하지 못한다면 초기값과 가중치를 적절히 변경하면서 다시 최적화를 수행한다.

## 2.4 센서 분해 곡선 데이터 결과 비교

데이터베이스 방법과 최적화 방법의 특징 분석을 위해 임의의 신규 정찰 장비의 요구 탐지 거리를 가정하고, 이를 바탕으로 센서 분해 곡선 데이터 추정 및 결과를 비교하여 본다.

**Table 3.** Sensor decomposition curve data results

| Type | | Database | Optimization |
|---|---|---|---|
| $x_1$ | | 1.49 | -0.46 |
| $x_2$ | | -0.90 | 2.29 |
| $x_3$ | | 0.48 | 2.04 |
| $x_4$ | | 4.10 | 35.6 |
| $x_5$ | | 0.03 | -0.03 |
| $x_6$ | | 0 | 0.04 |
| Detection distance | Human | 1.99km | 1.99km |
| | Vehicle | 4.20km | 4.99km |
| | Aircraft | 7.42km | 7.00km |
| Relative mean error | | 7.50% | 0.23% |

표적 유형에 따른 요구 탐지 거리를 각각 인원 2km, 지상차량 5km, 항공기 7km로 가정하고, 식 (1)에 해당하는 센서 분해 곡선 데이터의 개수 $n$은 6개로 정의한다. 이에 대한 데이터베이스 방법과 최적화 방법 결과는 표 3과 같다. 센서 분해 곡선 데이터는 수식의 형태를 알 수 없는 곡선식의 계수 또는 지수 파라미터이므로, 표 3에서 나타난 센서 분해 곡선 데이터의 결과 값으로부터 데이터의 경향을 파악하는 것은 어렵다. 하지만 표적 유형별 탐지 거리를 비교함으로써 두 방법의 결과를 비교할 수 있다.

요구 탐지 거리가 인원 2km, 지상차량 5km, 항공기 7km인 임의의 정찰 장비에 대해 데이터베이스 방법은 각각 1.99km, 4.20km, 7.42km의 결과를 나타냈고, 최적화 방법은 1.99km, 4.99km, 7.00km의 결과를 보였다. 데이터베이스 방법은 인원 표적에 대해서는 근접한 결과를 나타냈지만 차량과 항공 표적에 대해 다소 오차가 있는 결과를 보였고, 최적화 방법은 모든 표적의 탐지 거리에 대해 근접한 결과를 보였다. 각각의 상대오차평균은 데이터베이스 방법 7.50%, 최적화 방법 0.23%로 탐지 거리에 대한 결과는 최적화 방법의 결과가 더 신뢰성 높은 결과를 보였다.

## 2.5 센서 분해 곡선 데이터 추정 방법 특징 분석

먼저 데이터베이스 방법은 계산 횟수가 너무 많은 경우 데이터베이스를 구축하는 과정의 시간이 오래 소요되는 단점이 있다. 따라서 새로운 센서에 대한 데이터베이스를 구축하는데 많은 시간이 요구된다. 이를 해결하기 위해서는 데이터 파라미터 집합의 개수를 줄여야하며, 이는 결국 탐지 거리 데이터베이스의 해상도 및 신뢰도를 낮추게 된다. 그리고 집합의 개수를 적절히 줄이기 위해서는 파라미터에 따른 민감도 분석이 요구된다. 게다가 여러 표적 유형을 동시에 만족해야 하는 경우, 요구 탐지 거리를 동시에 만족하는 파라미터 조합을 찾지 못할 탐지 가능성이 있다. 또한 파라미터 조합을 찾더라도 계산된 거리의 결과가 요구 탐지 거리와 어느 정도 오차가 나는 경향이 있다. 그리고 탐지 거리 데이터베이스의 범위를 벗어나는 탐지 거리가 요구될 때 해를 찾을 수 없다. 외삽을 통한 추정 기법을 적용하여 볼 수 있지만 표적 유형이 여러 가지이므로 이 방법 또한 쉽게 적용하기는 어렵다. 하지만 데이터베이스 방법은 데이터베이스 범위 내라면 완전한 파라미터 조합은 아니더라도 차선의 해를 추정할 수 있는 장점이 있다. 따라서 개발 단계에서 데이터베이스만 잘 구축해놓는다면 대부분의 사용자 입장에서 쉽고 빠르게 센서 분해 곡선 데이터를 찾을 수 있다.

최적화 방법은 최적화 기법만 적절히 잘 구현된다면 비교적 목적함수를 구성하기 쉽고 최적화 계산에도 많은 시간이 소요되지 않는다. 다만 표적획득모델을 통한 탐지 거리를 계산하는 함수는 공학적 알고리즘으로만 구성된 함수가 아니므로 최적화 과정에서 발산할 가능성이 있다. 또한 최적화 방법을 통해 도출된 값이 유일한 해인지 또 다른 해가 존재하는지 검증하기 어렵고, 최적화 기법에

따라 다른 데이터 양상을 보일 수 있다. 그리고 무엇보다도 여러 표적 유형별 요구 탐지 거리에 대해 적절한 해를 도출하지 못할 가능성이 있다. 그러나 초기값과 가중치를 적절히 선정하여 입력한다면 신뢰성 높은 해를 찾을 수 있다.

두 방법의 특징으로부터, 최적화 방법을 기본으로 센서 분해 곡선 데이터를 추정하되 적절한 해를 찾지 못하는 경우에는 데이터베이스 방법을 적용하는 것이 적절하다고 여겨진다.

## 3. 전투 효과도 분석

이 절에서는 전투 모의 분석 도구의 감시 정찰 개체에 신규 센서 데이터 반영과 첩보획득 시나리오를 구성하고, 이에 대한 모의 실험을 실시하여 각 개체별 탐지율 결과를 도출한다. 이후 모의 결과 비교를 통해 탐지 효과도 분석을 수행한다.

### 3.1 감시 정찰 개체 생성

센서 분해 곡선 데이터는 앞서 제안한 방법 중 최적화 방법을 활용하여 추정한다. 그리고 첩보획득 시나리오에서 활용될 신규 정찰 개체를 팀, 중대, 대대정찰드론으로 구분하고, 각 개체들의 요구 탐지 거리를 주・야간 및 표적 유형에 따라 표 4와 같이 정의한다.

**Table 4.** Required detection distances

| Drone Type | Day and night | Detection distance(km) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Human | Vehicle | Aircraft |
| Battalion Drone | Day | 0 | 0 | 0 |
| | Night | 0 | 0 | 0 |
| Company Drone | Day | 0 | 0 | 0 |
| | Night | 0 | 0 | 0 |
| Team Drone | Day | 0 | 0 | 0 |
| | Night | 0 | 0 | 0 |

탐지 거리는 보안사항이므로 숫자를 표기하지 않지만, 인원, 차량, 항공 순서로 탐지 거리가 크고 팀, 중대, 대대정찰드론 순서로 탐지 거리가 크다. 단, 팀과 대대정찰드론의 탐지 거리 차이는 2.5배 수준 이내에서 정의한다. 주간과 야간은 동일한 값으로 정의한다. 그리고 표 1에서 미사용 파라미터를 제외하고 인원 표적을 대상으로 하는 주간에서의 팀정찰드론 조우 환경 파라미터는 표 5와 같다.

최적화 방법의 입력을 위해 표 5와 같이 인원, 차량, 항공 표적 및 주・야간에 대한 팀정찰드론, 중대정찰드론, 대대정찰드론의 조우 환경 파라미터를 모두 정의한다. 이와 같이 요구 탐지 거리와 조우 환경 파라미터가 정의되면 이를 입력으로 하여 최적화 방법을 통해 각 조건별 센서 분해 곡선 데이터를 추정한다. 그리고 조우 환경 파라미터에 따라 표 2와 같은 데이터베이스를 구축한다. 마지막으로 전투 모의 분석 도구의 기존 정찰 개체에 새로 생성한 데이터베이스를 반영하여 팀정찰드론, 중대정찰드론, 대대정찰드론 개체를 생성한다.

**Table 5.** Input parameters for personnel targets

| Input parameters | Data | Unit |
|---|---|---|
| Sensor Name | UAVDaySight | N/A |
| Target Name | IC_entity | N/A |
| Time Of Day | Day | N/A |
| Hour Of Day | 1100 | N/A |
| Sensor Altitude | 400 | m |
| Target Altitude | 2 | m |
| Season | Summer | N/A |
| Background | Vegetation | N/A |
| Weather | Clear | N/A |
| Countermeasure | Benign | N/A |
| Target Exposure | Fully Exposed | N/A |
| FOV(Field of View) | Narrow | N/A |
| Aspect Angle | 0 | Deg |

### 3.2 첩보획득 시나리오 입력

첩보획득 시나리오는 아군 전방 반경 4km 범위에 배치된 적 부대를 아군 정찰 개체가 정찰하는 상황으로 가정한다. 전투 모의 분석 도구에 시나리오 입력을 위한 아군과 적군의 전투편성은 표 6과 같고, 지형은 국내 임의의 지역을 선정한다.

탐지 효과도 분석을 위해 아군은 드론봇소대만으로 구성하였고, 적군은 보병소대, 땅크중대, 상급부대 등으로 구성된 제대이다. 정찰드론반에는 정찰 드론을 2대만 편성하였다. 아군의 드론과 드론 운용병 간에는 네트워크로 연결되어 있으며, 통신 중계 드론을 활용하여 먼 거리까지 통신 가능하도록 지원을 한다.

모의 분석은 정찰 드론의 정찰 능력을 비교하기 위해 아군의 정찰드론반 편성 및 적군의 편성은 동일하게 두고, 정찰 드론 개체만 팀정찰드론, 중대정찰드론, 대대정찰드론으로 변경하여 수행한다. 또한 주・야간을 구분하여 각각 모의 분석을 실시한다.

**Table 6.** Unit organization structure

| Unit | | | Core | High |
|---|---|---|---|---|
| Friendly force | Drone robot platoon | Reconnaissance drone squad | - | - |
| Opposing force | Infantry platoon | 1st infantry squad | 1 | - |
| | | 2nd infantry squad | 1 | - |
| | | 3rd infantry squad | 1 | - |
| | Tank company | 1st tank platoon | - | 3 |
| | | 2nd tank platoon | - | 3 |
| | | 3rd tank platoon | - | 3 |
| | Senior unit | Anti-tank platoon | - | - |
| | | Mortar platoon | - | 3 |
| | | Tank hunter team | 1 | - |
| | Total | 43 | 4 | 12 |

그리고 고가치 및 핵심 표적 식별률을 분석하기 위해 표 6과 같이 고가치 표적과 핵심 표적을 구분한다. 각 보병분대의 1개체씩과 땅크사냥꾼조 1개체를 핵심 표적으로 정의하였고, 각 땅크소대에 3개체씩과 박격포소대 3개체를 고가치 표적으로 정의하였다.

### 3.3 모의 실행

전투 모의 분석 도구에 시나리오를 입력하여 아군과 적군을 배치한 모습은 그림 3과 같다. 6시 방향의 파란색 개체가 아군이며, 적군인 붉은색 개체들이 반경 4km 범위에 배치되어있다. 그리고 아군 진영에서 뻗어나가 되돌아오는 2개의 검은색 선은 아군 정찰 드론 개체들의 정찰 경로를 나타낸다. 드론 개체들은 고도 300m 이상 비행하므로 적 개체들이 발견하지 못하거나 공격받더라도 큰 피해를 입지 않는다.

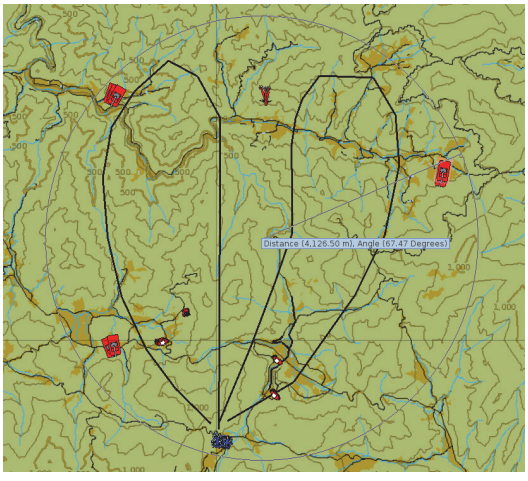


**Fig. 3.** Scenario input and simulation running

### 3.4 모의 분석 결과 비교 분석

모의 실험은 각 시나리오별 30회씩 수행하였고, 정찰 개체 및 주 · 야간 조건에 따라 총 180회 모의 실험을 실시하였다. 각 모의 실험에서 2개의 정찰 개체가 같은 표적을 식별한 경우에는 탐지율 결과에서 중복 제외하였다.

주 · 야간 조건에서의 핵심 표적과 고가치 표적의 탐지율 결과는 그림 4와 같다. 먼저 주간 모의 결과에서 팀, 중대, 대대정찰드론 순서대로 표적 유형별 탐지 거리가 크기 때문에 탐지율 결과도 탐지 거리가 큰 순서대로 높은 경향을 보인다. 팀정찰드론의 핵심 표적 탐지율과 대대정찰드론의 핵심 표적 탐지율은 약 1.5배 차이로 아주 큰 차이를 보이지는 않는다. 이것은 핵심 표적이 인원 표적이고, 드론의 정찰 경로와 비교적 가까웠기 때문으로 간주된다.

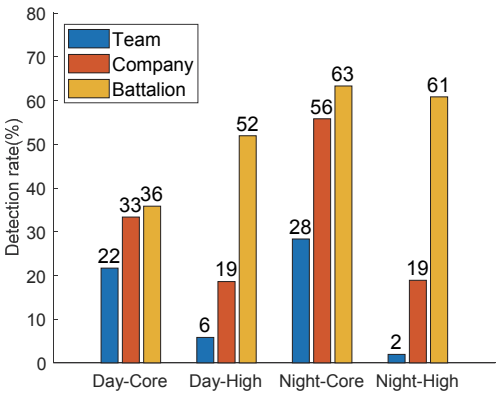


**Fig. 4.** Target detection rate by day and night

따라서 팀정찰드론도 사거리 내의 인원 표적이라면 비교적 준수한 정찰 능력을 보유하고 있다고 볼 수 있다. 그러나 고가치 표적에서 팀정찰드론과 대대정찰드론은 약 8.9배의 큰 차이를 보인다. 그림 3으로부터 고가치 표적은 정찰 경로로부터 주로 먼 곳에 배치되어있는 것(2시, 7시, 10시, 12시 방향)을 알 수 있다. 따라서 고가치 표적의 결과는 각 드론의 탐지 거리 능력에 영향을 많이 받았음을 알 수 있다.

야간 모의 결과 역시 팀, 중대, 대대정찰드론 순서로 탐지율이 높지만, 야간 탐지율이 조금 더 큰 경향을 보인다. 이것은 주 · 야간의 평균 탐지 거리 결과 데이터는 실제로 유사하지만 센서의 화각과 배율 차이 때문으로 판단된다.

그림 5는 주 · 야간 각각의 전체 탐지율과 주 · 야간 전체 평균 탐지율 결과를 나타낸다. 주 · 야간 전체 평균 탐

지율 측면에서 대대정찰드론은 2대만으로도 50% 이상을 탐지하였으므로 비교적 편성이 적절하다고 볼 수 있다. 그러나 반경 4km 범위의 구역에 대해 팀정찰드론과 중대정찰드론의 탐지율은 비교적 낮으므로, 탐지율 결과에 근거하여 추가 편성이 필요할 것으로 판단된다.

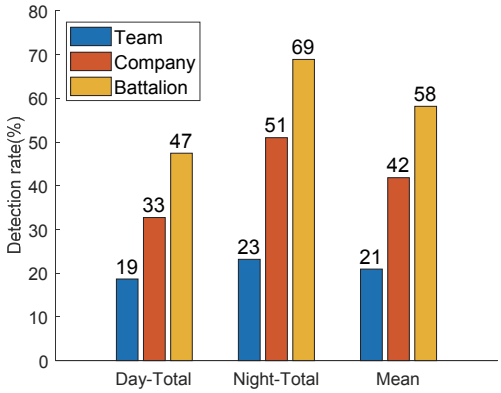


**Fig. 5.** Total target detection rate

## 4. 결론

미래 전장 상황에서 드론의 역할이 매우 중요해지고 있는 현 시점에서, 전투 모의 도구를 통해 신뢰성 높은 전투 효과도를 분석하기 위해 중요한 요소 중 하나는 신규 정찰 장비의 탐지 능력을 반영하는 것이다. 그러나 기존의 전투 모의 도구에 신규 정찰 장비의 데이터를 반영하는 것은 많은 제약이 따른다.

본 논문에서는 사용자의 신규 정찰 장비의 요구 탐지 거리로부터 전투 모의 도구에서 사용되는 표적획득모델에 적용할 수 있는 센서 분해 곡선 데이터를 추정하는 방법을 제시하였다. 단순히 한 가지 표적에 대한 요구 탐지 거리가 아닌, 세 가지 표적 유형별 요구 탐지 거리를 동시에 만족하는 하나의 센서 분해 곡선 데이터를 추정하는 방법에 대해 2가지를 연구하였고, 하나의 예시 결과 데이터를 통해 각 방법의 장단점에 대해 서술하였다.

본 논문에서 제시한 데이터베이스 방법의 단점은 기존 데이터베이스 값의 범위를 벗어나는 센서 분해 곡선 데이터를 추정하기 어려운 것이다. 따라서 외삽법을 통해 데이터베이스를 확장하는 방법이 향후 연구 주제로 제시될 수 있다. 그리고 최적화 방법은 기존의 데이터 범위와 상관없이 적용할 수 있는 방법이지만 적절한 초기값이 제시되지 못한다면 올바른 해를 도출하기가 어렵다. 따라서 센서 분해 곡선 데이터에 따른 민감도 분석을 수행한다면 초기값 선정에 도움이 될 것으로 판단된다.

마지막으로 신규 정찰 장비의 요구 탐지 거리로부터 생성된 센서 분해 곡선 데이터를 OneSAF에 반영하여 정찰 개체를 생성하고, 첩보획득 시나리오 입력 및 모의 결과 비교를 통해 정찰 자산에 따른 고가치 표적 탐지율과 정보자산 편성 적절성을 분석하였다. 본 연구의 결과를 여단급 교전 시나리오에 반영하여 모의 실험을 수행한다면 첩보처리 및 전파시간, 기동·화력 자산과의 연계, 작전지속 능력 등을 분석하는데 활용할 수 있다.

## References

Defense Acquisition Program Administration(DAPA) (2017), M&S Application Manual.
(방위사업청 (2017), M&S 적용 매뉴얼.)

Han S. W., Pyun J. J., and Cho H. S. (2014), “A Method of System Effectiveness Analysis for Remote-Operated Unmanned Ground Vehicles Using OneSAF”, *Journal of Korean institute of industrial engineers*, 40(4), 388-395.
(한상우, 변재정, 조현식. (2014). OneSAF를 이용한 원격조종 무인차량 회수효과분석방법. 대한산업공학회지, 40 (4), 388-395.)

Han, S. W., & Pyun, J. J. (2020). “Modeling and Analysis of Cooperative Engagements with Manned-Unmanned Ground Combat Systems”, *Journal of the Korea Society for Simulation*, 29(2), 105-117.
(한상우, & 변재정. (2020). “유무인 지상 전투 체계의 협동 교전 모델링 및 분석”, 한국시뮬레이션학회 논문지, 29, 105-117.)

Kim D. H. and Lee S. K. (2008), “Defense M&S system development direction”, *Korea Information Processing Society*, 15(6), 14-24.
(김동현, 이선경 (2008). “국방 M&S 체계 발전방향”, 한국정보처리학회논문, 15 (6), 14-24.)

Lagarias, J. C., Reeds, J. A., Wright, M. H., & Wright, P. E. (1998). “Convergence properties of the Nelder-Mead simplex method in low dimensions”, *SIAM Journal on optimization*, 9(1), 112-147.

Lee S. K., Park J. H., Park J. C., Yoo C. G and Kang M. G. (2008), “Defense M&S Application Status and Utilization Plan of Autonomous Intelligent Computer Virtual Object Technology”, *Korea*

*Information Processing Society*, 15(6), 33-40.
(이성기, 박재현, 박정찬, 유찬곤, & 강명구. (2008). "자율지능형 컴퓨터 가상객체 기술의 국방 M&S 적용현황 및 활용방안", 정보과학회지, 26(1), 27-32.)

Lovell, G., Gabrovic, A., Higgins, T., & Evangelista, P. (2019). "Representation of Search and Target Acquisition Protocol in Models and Simulation", *Industrial and Systems Engineering Review*, 7(1), 31-38.

Vollmerhausen, R. H., & Jacobs, E. (2004). The targeting task performance (TTP) metric a new model for predicting target acquisition performance, CENTER FOR NIGHT VISION AND ELECTRO-OPTICS FORT BELVOIR VA.

Wittman, R., and Harrison, C. (2001), OneSAF: A Product Line Approach to Simulation Development, *The MITRE Corporation*, USA.

**김 태 윤** (ORCID : https://orcid.org/0000-0001-7417-5581 / tykid76@gmail.com)

2013 부산대학교 기계공학부 공학사
2015 부산대학교 기계공학부 공학석사
2020 부산대학교 기계공학부 공학박사
2020~ 현재 국방과학연구소 지상기술연구원 선임연구원

관심분야 : 다물체동역학, 자율주행, 국방 M&S

**한 상 우** (ORCID : https://orcid.org/0000-0002-9529-9505 / swhan22@gmail.com)

2003 중앙대학교 컴퓨터공학과 공학사
2005 광주과학기술원 정보통신공학부 공학석사
2011 광주과학기술원 정보기술공학부 공학박사
2012~ 현재 국방과학연구소 지상기술연구원 책임연구원

관심분야 : 지상무인체계, 체계효과분석, 국방 M&S

**권 승 만** (ORCID : https://orcid.org/0000-0001-5781-4935 / ksman0203@gmail.com)

1990 경북대학교 기계공학과 학사
1992 경북대학교 기계공학과 석사
1992~ 현재 국방과학연구소 지상기술연구원 책임연구원/팀장

관심분야 : 지상전투체계 성능분석, 모델링/시뮬레이션