

마코프체인을 활용한 감시 능력이 무기체계 운용에 미치는 영향 연구

박원범¹ · 정지연² · 윤봉규^{1*}

¹국방대학교 운영분석 · 군수경영학과 / ²육군 지상작전사령부

A Study on the Effect of Surveillance Capability on Kill Probability Using Markov Chains

Wonbeom Park¹ · Jiyeon Jeong² · Bongkyoo Yoon¹

¹Department of OR / Military Logistics, Korea National Defense University

²R.O.K Army Ground Operations Command

This study investigates the impact of surveillance capability on the effectiveness of weapon system operations using a Markov chain-based combat model. As modern military operations increasingly rely on advanced surveillance technology, the ability to accurately identify targets plays a crucial role in resource allocation and strategic decision-making. This research analyzes how, when weapon systems exhibit high accuracy, improvements in surveillance identification significantly reduce mission completion time by curtailing unnecessary firing thereby decreasing overall ammunition waste. These results imply that in high precision weapon systems, the performance of surveillance equipment plays a critical role in minimizing operational delays and resource wastage. Consequently, for systems with high hit rates, prioritizing enhancements in surveillance accuracy is essential for optimizing overall operational effectiveness and ensuring prompt mission completion.

Keywords: Markov Chains, Combat Modeling, Surveillance Capability, Weapon System Operations

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

국방혁신 4.0에 따르면, 2021년 약 29만 명이던 병역자원은 인구 감소의 영향으로 2040년 약 13만 5천 명 수준으로 감소할 것으로 예상된다. 현재 약 50만 명 규모로 축소된 군 병력도 계속해서 감축이 이어질 전망이며, 이를 보완하기 위해 기존의 인력 중심 군사작전에서 첨단 기술 중심의 군사작전으로 작전 개념을 전환하고 있다. 이러한 전환의 일환으로 Amry Tiger 4.0 체계를 도입하여 한국군의 전투 효율성과 생존성을 크게 향상시키고자 한다. 특히 첨단 기술을 활용한 정밀 감시 및 타격 능력은 병력 감소 문제에 대한 해법을 제시하고, 보다 효율적이며

안전한 군사작전을 수행하게 할 것으로 기대하고 있다.

우리 군은 군단을 통합하고 2023년 드론작전사령부를 창설하는 등 병력 감축에 대비하고 첨단 기술 중심 작전 수행을 위해 전반적인 군 구조를 개편하고 있으며, 유무인 복합 전투체계(MUM-T)의 도입을 진행 중이다(Kim, 2023). 이와 더불어 무기체계 및 감시장비의 성능을 지속적으로 개발하고 있다. 병력 중심의 근접 교전 및 화기 의존도를 탈피하여, 과학기술에 기반한 정밀 감시 및 정밀 타격 능력을 극대화하는 방향으로 전투 양상이 변화하고 있다. 이는 현대전으로 전투의 양상이 변화할수록 병력 개개인의 전투력보다 감시장비와 무기체계의 성능이 작전에 중요한 영향을 미치게 될 것을 의미한다.

특히 감시장비는 표적을 정확히 탐지 및 식별함으로써 무기

* 연락저자 : 윤봉규 교수, 33021 충청남도 논산시 양촌면 황산벌로 1040 국방대학교 운영분석/군수경영학과, Tel : 041-831-5371, Fax : 041-831-0304
E-mail : bkyoon1@gmail.com

2025년 4월 16일 접수; 2025년 6월 2일 수정본 접수; 2025년 6월 13일 게재 확정.

체계 운용 시 탄약 소모를 최소화하고, 교전과정에서 표적 누락을 방지하는 역할을 수행한다. 이는 작전의 성공률을 높이는 데 중요한 역할을 한다. 우수한 성능의 감시장비는 표적의 위치와 상태를 신속히 판단하여 적절한 시기에 정확한 타격을 가할 수 있도록 지원하며, 전투 상황에서 대응 시간을 단축하고, 아군 피해 및 전투자산 소모를 최소화하는데 필수적인 요소이다.

전투에서의 목적은 효율적인 자산 운용, 즉 탄약이나 병력의 손실을 최소화하면서 최종 작전이 종료되었을 때 성공률을 극대화하는 것이다. 감시장비는 전투의 목적을 달성하는 데 중요한 도구로서, 작전이 이루어지는 모든 단계에 걸쳐 정확하고 신속한 정보를 제공하여 타격에 대한 결심을 지원, 성공적인 작전에 기여한다.

본 연구에서는 감시장비의 성능이 무기체계의 효율적인 운용 및 최종 임무 달성률에 어떤 영향을 미치는지 마코프체인을 활용한 전투모형으로 분석하고자 한다. 마코프체인은 일정 시간 간격마다 시스템이 여러 상태 중 하나로 전이하는 과정을 확률적으로 모델링할 수 있는 수학적 기법으로, 감시장비의 식별정확도, 무기체계의 명중률, 잔여 표적 수와 같은 상태 변수들의 변화를 체계적으로 표현할 수 있다. 이를 통해 감시 능력의 변화가 무기체계의 자원 소모량, 임무 성공률, 작전 소요시간 등에 어떤 영향을 미치는지를 정량적으로 분석할 수 있다.

1.2 기존 연구 고찰

군에서 확률모형을 활용한 연구는 오래전부터 현재까지 광범위하게 진행되고 있다. Kim(2007)은 장비의 고장률이라는 확률적 요소를 이용해 대기행렬과 흡수 마코프체인을 활용한 모형으로 전차의 최적 운영유지 대충장비 대수를 제시했으며, Son(2014)은 항공기의 피격률, 고장률, 수리율과 작전시간을 반영해 항공기의 적정 대수를 산출하는 모형을 제시했다. Jeong(2022)은 창고 도착과 서비스시간이 독립적이고 지수분포를 따르는 포아송 과정으로 발생하는 점을 고려한 비축 차량물자 불출 계획 개선 모형을 제시했다.

Hong(2003)은 확률 전투모형과 관련된 연구로 전투시간의 확률적 분포를 분석하여 특정 시점에서 최적의 화력 운용방안을 제시했고, Park(2015)은 포병 화력 투사의 피해율에 대한 확률적 특징이 있는 점을 반영하여 흡수 마코프체인을 활용한 확률모형을 통해 각기 다른 사격 유형의 효과를 비교하여 최적의 전술 개념을 제시했다. Stephan(2012)은 베르누이 과정 기반의 확률모형으로 서로 명중률이 다른 무기체계를 어떤 방법으로 조합하면 최소한의 자원으로 효과적인 파괴율이 나오는지 분석했다. Gaver(1995)는 Shoot-Look-Shoot Process를 기초 과정으로 하여 피해평가에 대한 확률모형을 통해 미래 전투에서 피해평가의 전략적 방향을 제시했다. 이들은 확률적인 요소를 전투모형에 반영해 정량적인 분석을 가능하게 했다는 장

점이 있지만, 전투모형 내 감시장비의 정확도나 정찰기의 성능을 전부 100%로 가정하여 실제 전장의 특성을 온전히 반영하지 못했다는 한계점이 있다.

감시장비의 성능과 관련된 연구로 Kim(2015)은 회전식 레이다(Radio Detection And Ranging; RADAR)를 대상으로 흡수 마코프체인 기반의 확률모형을 통해 탐지 거리와 제한 시간에 따른 최적의 레이다 조합을 제시했다. 하지만 이는 최초 탐지부터 표적이 식별될 때의 시점까지만 분석한 연구이며, 최종적으로 작전이 종료되었을 때 임무 달성률이나, 자원의 소모 정도 등 전반적인 전투 요소들을 분석하기에는 한계가 있다. 그 외 감시장비의 성능 향상과 관련된 연구는 대부분 정성적 자료이거나 기술적 분야의 개발 방안을 제시하는 연구이다. 이런 방향의 연구는 Nathan(2024)에 자세히 설명되어 있다.

본 연구에서는 기존 무기체계의 성능에 중점을 두고 분석했던 확률 전투모형과 달리 “무기체계의 명중률과 감시장비 식별 정확도가 임무 달성 시기와 자원 소모량에 어떤 영향을 미치는가?”와 같은 연구 질문에 답하고자 한다. 이를 위해 2장에서는 전투모형의 기초가 되는 Shoot-Look-Shoot Process(이하 SLS Process라 칭한다.)와 이산시간 흡수 마코프체인에 대해 설명하고 3장에서는 이를 기반으로 상태 정의, 전이행렬 및 전투모형을 구성해 수리모형을 제시했다. 4장에서는 수리적 모형을 토대로 표적의 수와 감시장비 식별정확도에 따른 자원 소모량과 임무 달성 시기를 분석하였으며 이를 통해 5장에서 표적의 수와 감시장비 식별정확도가 무기체계 운용에 미치는 영향과 향후 연구방향을 제시하였다.

2. Shoot-Look-Shoot Process와 이산시간 흡수 마코프체인

2.1 Shoot-Look-Shoot Process

SLS Process는 다수의 목표물에 대한 타격 후(Shoot) 관찰 및 피해 평가(Battle Damage Assessment; BDA)를 하고(Look) 명중하지 않아 아직 남아있는 목표물에 대해 무력화될 때까지 다시 타격(Shoot)하는 과정을 반복 수행하는 개념이다. 이는 단시간에 목표물을 무력화하고 부수적인 피해와 자원 소모를 최소화하는 것을 주된 목표로 한다(Gaver, 1997; Kevin, 2004).

SLS Process의 대표적인 사례로 날아오는 미사일 처리를 들 수 있다. 날아오는 미사일을 방공망에서 처리하는 과정은 화력 투사 - 피해평가 - 파괴되지 않고 계속 날아오는 표적에 대한 재타격이 이루어지고, 해군 함정의 유도무기체계를 운용할 시 레이더에 의한 관측과 정밀유도무기의 타격이 반복 순환적으로 이루어진다(Almeida, 1995). 또한, 현재 교리상 정립되지는 않았지만, 향후 정찰·타격 복합형 드론을 비롯한 무인 전투체계에서도 기본적으로 목표물이 무력화될 때까지 지속적인 관측과 타격을 반복하는 과정을 거치는 것으로 운용방안을 제시하고 있어 SLS Process를 따른다고 볼 수 있다(Jang, 2024).

SLS Process는 감시장비와 무기체계가 서로 영향을 주는 특성을 잘 묘사할 수 있으므로 감시장비의 성능에 따른 무기체계의 영향을 분석하는 해당 연구를 진행하기에 가장 적절한 전투모형의 기본 틀이다. 따라서 본 연구에서는 감시장비 식별정확도의 변화에 따른 임무 달성시기와 자원 소모량에 대해서 SLS Process를 기반으로 다루겠다.

2.2 이산시간 흡수 마코프체인

이산시간 마코프체인(Discrete Time Markov Chain, DTMC)은 시간의 흐름이 연속적이지 않고 각 시간이 명확히 구분된 시간 간격을 가지며 각각의 시간에서 상태가 변화하는 마코프체인이다. 또한, 특정한 상태가 있을 때 다음 시간 간격에서 그 상태가 다른 상태로 전이할 확률이 존재하며, 이 전이 확률이 현재 상태에만 의존하는 체계이다.

SLS Process는 타격과 관측의 과정이 시간이 지남에 따라 연속적이거나 동시에 일어나는 것이 아닌 순차적으로 이루어지는 과정이기 때문에 이산시간 마코프체인으로 표현하기에 적합하다. 시스템이 특정 상태에 도달하면 더 이상 다른 상태로 전이할 수 없고 그 상태에 머무르는 흡수상태가 존재하는 마코프체인이다.

흡수 마코프체인의 흡수상태는 다른 상태로 전이할 수 없으므로 동일 상태로 전이할 확률이 1이며, 다른 상태로의 전이확률은 0이다. 위 특성은 끝나는 시점이 있는 상황을 모델링하는 데 유용하며 표적이 모두 파괴되었다고 관측했을 때, 모든 탄을 사용했을 때 등 작전이 종료되는 시점이 명확한 SLS Process의 과정을 잘 반영할 수 있다.

흡수 마코프체인은 확률과정이 특정 상태에 도달하기까지 소요되는 시간을 모델링하는 데 유용한 방법론이다. 특히 군 작전과 같이 상황 변화에 따른 신속한 대응이 필수적인 분야에서는, 일반적으로 안정 상태(Steady State)에 초점을 맞추는 방법론보다 일시 상태(Transient State)를 분석할 수 있는 접근이 더욱 적합하다. 흡수 마코프체인을 활용하면 특정 상태(흡수상태, Absorbing State)에 도달하기까지의 동적인 변화를 효과적으로 추적할 수 있어, 군사적 의사결정 과정에서 그 응용 가능성이 크다.

이산시간 흡수 마코프체인의 기본 개념은 다음과 같다. 상태공간 $S = \{0, 1, 2, \dots, N\}$ 에서 정의되는 확률과정 $\{X_n, n \geq 0\}$ 을 생각하자. $A = \{r, \dots, N-1, N\}$ 는 흡수상태들의 집합, $A^c = \{0, 1, 2, \dots, r-1\}$ 은 일시상태들의 집합이라고 하면 전이확률이 식 (1)과 같이 구성되는 마코프체인을 흡수 마코프체인이라고 한다(Kim, 2014).

$$P = \begin{pmatrix} TR & \\ 0 & I \end{pmatrix} \quad (1)$$

$[\cdot]_{ij}$ 를 행렬의 i 행 j 열 원소라고 정의하면 $[T]_{ij}$ 는 일시상

태들 간의 전이확률을 나타내고 $[R]_{ij}$ 는 일시상태로부터 흡수상태로 전이하는 확률을 나타낸다. 또한 아랫부분의 0행렬은 흡수상태에서 일시상태로 전이하는 확률이 0임을 나타내며, I 는 단위행렬이다. 위 식을 n 번 곱하면 식 (2)를 얻을 수 있다.

$$P^{(n)} = \begin{pmatrix} T^n (I + T + \dots + T^{n-1})R & \\ 0 & I \end{pmatrix} \quad (2)$$

식 (2)로부터 일시상태에서 시작해서 n 번 전이 후에 일시상태에 있을 확률은 T^n 으로부터, 흡수상태에 있을 확률은 $(I + T + T^2 + \dots + T^{n-1})R$ 로부터 얻을 수 있음을 알 수 있다.

$[E]_{ij}$ 를 상태 i 에서 시작해서 흡수될 때까지 상태 j 를 방문한 횟수로 정의하면 $[T^m]_{ij}$ 가 n 번 만에 상태 j 를 방문할 확률이고 방문할 때마다 방문 횟수가 1회씩 누적되므로, $[E]_{ij}$ 는 식 (3)과 같으며, 간단히 하면 식 (4)와 같다.

$$[E]_{ij} = [T]_{ij} + [T^2]_{ij} + \dots + [T^\infty]_{ij} \quad (3)$$

$$E = T + T^2 + \dots + T^\infty = (I - T)^{-1} \quad (4)$$

식 (4)로부터 일시상태 i 에서 시작해서 흡수될 때까지 걸린 총 시간의 기대치는 흡수될 때까지 $A^c = \{1, 2, \dots, r-1\}$ 를 방문한 시간의 합이므로 식 (5)와 같이 유도할 수 있다(Ross, 2014).

$$\sum_{k=1}^{r-1} [E]_{ik} = \sum_{k=1}^{r-1} [(I - T)^{-1}]_{ik} \quad (5)$$

한편, $[P_a^{(n)}]_{ij}$ 를 일시상태 i 에서 시작해서 n 번 만에 상태 j 로 흡수될 확률로 정의하면 마지막 전이에 조건을 걸어서 식 (6)을 얻을 수 있다.

$$[P_a^{(n)}]_{ij} = \sum_{k=1}^r [T^{n-1}]_{ik} [R]_{kj} \quad (6)$$

3. 분석모형

3.1 기본 전투모형

감시장비가 범할 수 있는 오류는 2가지이다. 첫 번째는 표적이 아직 생존해있는데 파괴되었다고 판단하는 1종 오류이다. 적군을 아군으로 오인하는 경우도 이에 해당하며, 적 전투력이 위험 수준임에도 불구하고 작전을 종료하게 된다. 이는 적 전투력에 대한 오판으로 차후 작전의 부담을 증가시킬 수 있으며, 최종 임무 달성률을 저하시킨다. 두 번째로 표적이 파괴되었는데 아직 파괴되지 않았다고 관측하는 2종 오류는 불필요한 탄과 물자를 낭비하여 작전 소요시간의 증가 및 전투의 효율성 저하에 영향을 줄 수 있다(Atherton, 2022). 본 연구에서

다음은 Look에 대한 전이 다이어그램이다. <Figure 2>와 같이 이전 상태에서 관측했던 S개의 표적에 대해 타격 후 다시 관측하는 과정이기 때문에 관측하는 표적의 수는 S개로 고정이며, 믿음 상태에 대한 전이 위주로 구성되어있음을 볼 수 있다. 믿음 상태가 0이 되면 흡수상태에 도달하게 되며 실제 상태(R)와 관계없이 작전이 종료되는 특성을 반영했다. 이를 통해 작전이 종료되었을 때 실제로 모든 표적이 파괴될 확률(임무 달성률)을 계산할 수 있다.

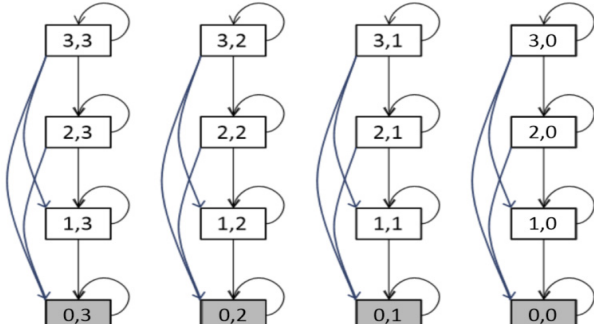


Figure 2. Transition Diagram for Looking Case(S=3, R=3)

Look의 과정은 타격으로 일어나는 변화가 없으므로 실제 상태의 변화가 없으며, 믿음 상태의 전이확률 공식은 식 (9)와 같다.

$$P[(S, R) \rightarrow (S', R)] = \sum_{x=0}^R \sum_{y=0}^{S-R} \binom{R}{x} b^x (1-b)^{R-x} \quad (9)$$

$$\left[\binom{S-R}{y} b^{S-R-y} (1-b)^y \right]$$

(단, $x+y=S', 0 \leq S' \leq S$)

이때, S' 은 전이 후 믿음 상태의 표적 수, b 는 감시장비의 식별정확도이며, x 는 R개의 표적 중 파괴된 수, y 는 (S-R)개의 표적 중 추가로 파괴된 수이다. 예를 들어 n이 3일 경우 Look 전이행렬 $P_L (= [P_{L1} \ P_{L2}])$ 은 식 (10), (11)과 같다. P_{L1} 은 (3, 3)에서 (2, 0)까지의 전이, P_{L2} 는 (1, 3)에서 (0, 0)까지의 전이를 나타내며, 가독성을 위해 편의상 구분하였다. Shoot과 Look의 과정을 모두 고려한 전이행렬 P_{SL} 은 P_S 와 P_L 의 행렬곱으로 나타낼 수 있다.

$$P_{L1} = \begin{pmatrix} b^3 & 0 & 0 & 0 & 3b^2(1-b) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & b^2(1-b) & 0 & 0 & 0 & b^2+2b(1-b)^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & b(1-b)^2 & 0 & 0 & 0 & (1-b)^2+2b^2(1-b) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (1-b)^3 & 0 & 0 & 0 & 3b(1-b)^2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & b^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & b^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & b(1-b) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & (1-b)^2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (10)$$

$$P_{L2} = \begin{pmatrix} 3b(1-b)^2 & 0 & 0 & 0 & (1-b)^3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & (1-b)^2+2b^2(1-b) & 0 & 0 & 0 & b(1-b)^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & (1-b)^2+2b^2(1-b) & 0 & 0 & 0 & b^2(1-b) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3b^2(1-b) & 0 & 0 & 0 & 0 & b^2 \\ 2b(1-b) & 0 & 0 & 0 & (1-b)^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2b(1-b) & 0 & 0 & 0 & (1-b)^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & b^2+(1-b)^2 & 0 & 0 & 0 & b(1-b) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2b(1-b) & 0 & 0 & 0 & 0 & b^2 \\ b & 0 & 0 & 0 & (1-b) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & b & 0 & 0 & 0 & (1-b) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & b & 0 & 0 & 0 & (1-b) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & (1-b) & 0 & 0 & 0 & 0 & b \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (11)$$

지금까지 수립한 수리적 모형을 통하여 확인할 수 있는 요소는 임무 달성 시기와 자원 소모량이다. 임무 달성 시기는 충분한 전이가 일어나 전투가 종료되는 상태까지 이르렀을 때, 즉 $(I-T)^{-1}$ 의 첫 행의 합을 통하여 구할 수 있다. 자원 소모량은 충분한 전이가 일어나 전투가 종료되는 상태까지 각 상태를 방문한 횟수를 통하여 구할 수 있으며, 본 연구에서는 1개의 표적마다 1발의 자원을 소모하므로 식 (12)와 같이 상태에 방문한 횟수에 현재 믿음 상태의 표적 수 S를 곱한 값을 합하여 자원 소모량을 구할 수 있다.

$$B_i = \sum_{k=1}^{r-1} [S_k (I-T)^{-1}]_{ik} \quad (12)$$

3.2 표적 수에 따른 계산속도 분석

표적의 수가 n개일 때 상태의 총 개수는 $(n+1)^2$ 개이며, 전이행렬은 $(n+1)^2 \times (n+1)^2$ 의 크기를 갖는다. 이에 따라 표적의 수가 증가할수록 전이행렬의 크기 또한 급격하게 증가한다. 전이행렬의 크기가 커질수록 흡수상태로 도달하기 전 transient 상태에서 평균적으로 머물렀던 단계 수 $(I-T)^{-1}$ 계산에 필요한 시간도 <Figure 3>과 같이 급격히 증가한다.

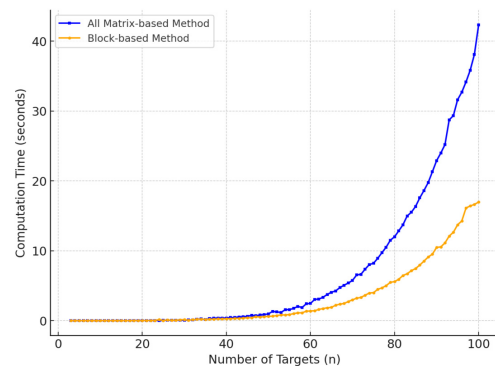


Figure 3. Computation Time Graph Based on the Number of Targets

따라서 계산 효율을 높이기 위하여 본 연구에서는 전이행렬 전체를 직접 계산하지 않고, 전이행렬이 블록 대각 구조를 갖는 특성을 활용하여 각 블록을 개별적으로 계산한 뒤 이를 조합하는 방식을 적용하였다(Daniel, 2021). Shoot과 Look 전이

Table 1. Computation Time Based on the Number of Targets

Number of Targets(n)		10	20	50	100	Total Time Elapsed ($t = \sum_{n=3}^{100} t_{(i,n)}$)
Computation time (second)	Transition Matrix ($t_{(1,n)}$)	0.0011	0.012	0.979	42.325	654.7
	Block Partitioning ($t_{(2,n)}$)	0.00057	0.01	0.613	16.975	301.5
Loss Rate($t_{(2,n)} \div t_{(1,n)}$)		0.518	0.833	0.626	0.401	0.467

행렬은 식 (8), (10), (11)에 따라 블록 대각 구조이며, 실제 상태의 표적 수 R 에 따라 계산된 작은 블록 P_S^R 과 P_L^R 들로 구성된 블록 대각 행렬이다. 두 행렬의 곱은 식 (13)과 같다.

$$A = \begin{pmatrix} P_S^R & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & P_S^{R-1} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & P_S^{R-2} & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & P_S^1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & P_S^0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_L^R \\ P_L^{R-1} \\ P_L^{R-2} \\ \vdots \\ P_L^1 \\ P_L^0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_S^R \times P_L^R \\ P_S^{R-1} \times P_L^{R-1} \\ P_S^{R-2} \times P_L^{R-2} \\ \vdots \\ P_S^1 \times P_L^1 \\ P_S^0 \times P_L^0 \end{pmatrix} \quad (13)$$

실험은 Julia 1.11.3과 Intel(R) Core(TM) i5-8250U CPU @ 1.60GHz(8 CPUs), 8GB RAM의 Windows 10 환경의 컴퓨터에서 실험하였다. Table 1과 같이 표적의 수가 100개일 때 전이행렬 전체로 계산하는 경우 약 42.325초 소요되나, 블록으로 분할하여 계산하는 경우 16.975초 소요되어 계산시간은 약 0.401배로 감소하며, 표적의 수가 3개일 때부터 100개일 때까지 총 소요되는 계산시간은 654.7초에서 301.5초로 약 0.467배로 감소하여 블록 곱셈 방식은 전체 전이행렬을 직접 계산하는 것보다 메모리 효율성과 계산시간에서 큰 이점을 제공한다.

4. 연구 결과

4.1 무기체계의 명중률과 감시장비 식별정확도에 따른 자원 소모량 분석

<Figure 4>는 무기체계의 명중률과 감시장비 식별정확도의 변화에 따른 단위 표적당 예상 자원소모량(자원 소모율)을 시각화한 것이며, 식 (12)를 통하여 구할 수 있다. 각 값은 무기체계의 명중률과 감시장비 식별정확도가 같은 그룹의 자원 소모율의 평균값이다. 이 그래프에서 각각의 곡선은 식별정확도를 기준으로 무기체계의 명중률이 증가함에 따라 자원 소모율이 어떻게 변화하는지를 나타낸다. 특히 주목할 점은 무기체계의 명중률이 증가함에 따라 감시장비 정확도의 영향력이 점점 커진다는 것이다. 예를 들어 무기체계의 명중률이 0.7일 경우 식별정확도의 변화에 따른 자원 소모율의 차이가 비교적 작게 나타나지만, 무기체계의 명중률이 1.0일 경우 식별정확도의 변화에 따라 자원 소모율이 크게 달라지는 양상을 보인다.

이는 곧 무기체계가 높은 명중률을 갖는 상황에서는 감시장비의 성능이 전체 시스템 효율성에 미치는 영향이 더욱 뚜렷하게 나타난다는 것을 의미한다. 이러한 결과는 시스템 설계

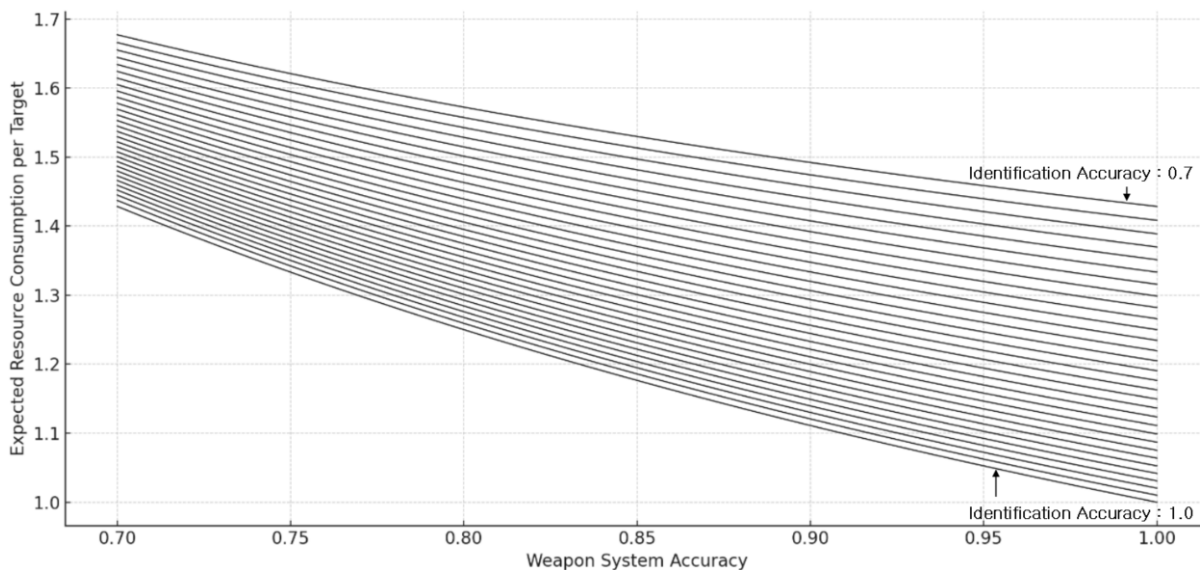
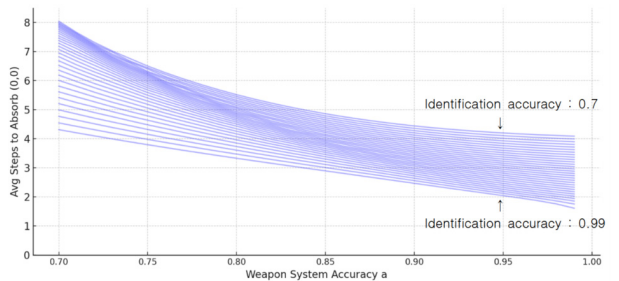


Figure 4. Expected Resource Consumption Per Target Graph Based on the Weapon System Accuracy

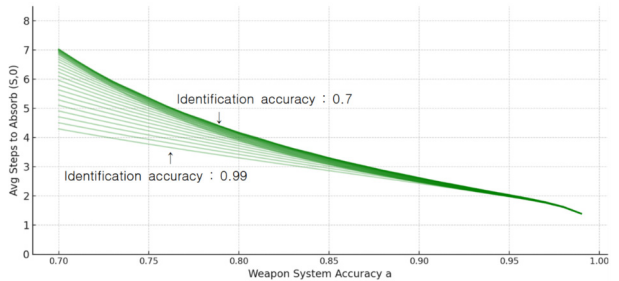
또는 자원 배분 측면에서 중요한 시사점을 제공한다. 즉, 무기 체계의 명중률이 높을수록 감시장비의 식별정확도를 개선하는 것이 탄약 소모량 절감 측면에서 더 효과적인 전략이 될 수 있음을 보여준다. 따라서 제한된 예산이나 성능 개선 자원이 있을 때, 무기체계가 일정 수준 이상의 명중률을 확보하고 있다면, 감시장비에 대한 투자 우선순위를 높게 설정하는 것이 합리적이다.

4.2 무기체계의 명중률과 감시장비 식별정확도에 따른 임무 달성시간 분석

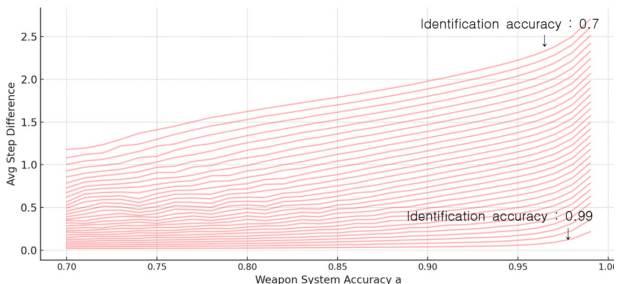
<Figure 5>는 무기체계의 명중률과 감시장비 식별정확도의 변화에 따른 임무 달성시간을 시각화한 것이며, 식 (5)를 통하여 구할 수 있다. 각 값은 무기체계의 명중률과 감시장비 식별정확도가 같은 그룹의 평균값이다. <Figure 5> ①은 (0, 0) 상태를 흡수상태로 설정하여 흡수상태로 도달하기까지 소요되는 사격 횟수이며, 모든 표적이 실제로 제거되고, 관측 결과 표적이 모두 제거되었다고 확인할 때까지의 걸린 시간이다.



① : the (0, 0) state is defined as absorbing



② : the (S, 0) states are defined as absorbing



③ : difference between absorbing at (0, 0) and (S, 0)

Figure 5. Mission Completion Time Comparison Graph of by Weapon System Accuracy

<Figure 5> ②는 (S, 0) 상태를 흡수상태로 설정하여 흡수상태로 도달하기까지 소요되는 사격 횟수이며, 모든 표적이 실제로 제거될 때까지의 걸린 시간이다. <Figure 5> ③은 <Figure 5> ①과 <Figure 5> ②에서 같은 조건의 감시장비 식별정확도 간의 사격 횟수 차이를 시각화한 것이며, <Figure 5> ③은 모든 표적이 실제로 제거된 이후 표적이 모두 제거되었는지 확인함에 따라 추가적으로 낭비한 시간을 의미한다. 4.1과 유사하게 무기체계의 명중률이 증가함에 따라 감시장비 정확도의 영향력이 점점 커진다는 것이다. 예를 들어 무기체계의 명중률이 0.7일 경우 식별정확도의 변화에 따른 임무 달성시간의 차이가 비교적 작게 나지만, 무기체계의 명중률이 0.99일 경우 식별정확도의 변화에 따라 임무 달성시간의 차이가 크게 나는 양상을 보인다.

이는 곧 무기체계가 높은 명중률을 갖는 상황에서는 감시장비의 성능이 작전 성공 시기에 미치는 영향이 더욱 뚜렷하게 나타난다는 것을 의미한다. 즉 무기체계가 정밀할수록 불필요한 사격으로 인한 자원 낭비와 시간 손실을 줄이기 위해서는 감시장비가 표적 부재를 신속히 인지하고 적절히 대응할 수 있어야 한다는 점이다. 이러한 조건에서는 감시장비의 식별정확도가 미세한 차이에도 작전 전체의 효율성과 임무 달성시간에 상당한 영향을 미치게 되므로 전체 시스템의 성능을 극대화하기 위해서는 단순히 무기체계의 명중률뿐 아니라 감시장비의 성능 개선에도 우선순위를 두어야 하는 것이 합리적이다.

5. 결론 및 향후 연구방향

본 연구에서는 무기체계의 명중률과 감시장비의 식별정확도가 임무 수행 시 필요한 자원 소모율과 임무 달성시간에 미치는 영향을 분석하였다. 연구 결과 무기체계의 명중률이 높은 고정밀 무기일수록 감시장비의 식별정확도가 자원 소모율 및 임무 달성 시기에 미치는 영향이 더욱 두드러지며, 이로 인해 자원의 효율적 운용과 임무 완수에 있어 양 시스템 간의 균형 있는 성능 개선이 필수적임을 확인할 수 있었다. 또한 본 연구는 감시-사격 반복 구조를 갖는 SLS Process에 마코프체인을 적용하여 감시 능력의 변화가 전투성과에 미치는 효과를 정량적으로 분석한 데에 의의가 있다. 이는 불확실성과 복잡성이 증대하는 미래 전장 환경에서 감시장비의 역할과 중요성을 평가하는 기초 자료로 활용될 수 있으며, 감시체계 기반 전투모델의 이론적 확장 가능성도 제시한다.

향후 연구방향으로는, 본 연구에서 사용한 단순화된 가정을 넘어 표적의 이동성 및 감시장비 성능이 상황별로 변화하는 동적 환경을 고려한 현실적인 모델링이 요구된다. 또한, 감시장비가 산출하는 식별정확도에 대해 인간의 인지적 신뢰도 및 판단 능력이 어느 정도까지 영향을 미치는지를 모사하는 연구를 추가하는 것도 중요한 향후 과제로 제시된다. 이러한 연구는 감시장비와 운용자의 상호작용이 실제 작전 성공에 어떠한 영향을 미치는지

에 대한 심도 있는 통찰을 제공할 것으로 기대된다.

참고문헌

- Almeida, R., Gaver, D-P., and Jacobs, P-A. (1995), Simple Probability Models for Assessing the Value of Information in Defense Against Missile Attack, *Naval Research Logistics*, **42**, 535-547.
- Atherton, K. (2022), Understanding the Errors Introduced by Military AI Applications, *Brookings Institute*, May 6, 2022.
- Bar-Shalom, Y. and Li, X. R. (1993), *Estimation and Tracking: Principles, Techniques, and Software*, Artech House.
- Bourn, S. (2012), *Probabilistic Shoot-Look-Shoot Combat Models*, Ph.D. Dissertation, The University of Adelaide.
- Daniel, J. S. and David, J. W. (2021), Nearly Reducible Finite Markov Chains : Theory and Algorithms, *The Journal of Chmical Physics*, **155**(14), 1-26
- Gaver, D. P. and Jacobs, P. A. (1997), *Probability Models for Battle Damage Assessment (Simple Shoot-Look-Shoot and Beyond)*, Monterey, California: Naval Postgraduate School.
- Hong, Y-K. (2003), Probability Distribution of Battle Duration in Stochastic Combats, *Military Operations Research Society of Korea*, **29**(2), 1-12.
- Jang, S. B. (2024), The Direction of Drone Operation Development in Republic of Korea Army, *Journal of International Society for Humanities and Social Studies*, **6**(2), 117-132.
- Jeong, Y. J. (2022), *A Study on the Improvement Model of Distributing Stockpiled Goods in Warehouses using Markov Chain*, Master's Thesis, Korea National Defense University.
- Kevin, G. and Alan, W. (2004), Shoot-Look-Shoot: A Review and Extension, *Operations Research*, **52**(3), 454-463.
- Kim, D. I. (2023), Trends and Development Directions of Manned-Unmanned Teaming (MUM-T), *Defense & Technology: Korea's Only Comprehensive Defense Industry & Military Technology Journal*, **529**, 98-111.
- Kim, S. W. and Yoon, B. K. (2014), An Analysis on the Performance of the Close In Weapon System Using Absorbing Markov Chains, *Journal of Korea Institute of Military Science and Technology*, **17**(6), 733-743.
- Kim, S. W. and Yoon, B. K. (2015), An Analysis on the Identification Rate of Detection System Using Non-Homogeneous Discrete Absorbing Markov Chains, *Journal of the Korean Operations Research and Management Science Society*, **40**(2), 31-42.
- Kim, Y. and Yoon, B. K. (2007), An Analysis on the Optimal Level of the Maintenance Float Using Absorbing Markov Chain, *Journal of the Military Operations Research Society of Korea*, **34**(2), 163-174.
- Ministry of National Defense (2023), Defense Innovation, Ministry of National Defense.
- Nathan, S., Marc, V. J., and Elizabeth, B. (2024), Defence and Security Perspectives on the Operationalization, Measurement, and Training of Resilient Performance Under Stress, *Journal of Performance Enhancement & Health*, **12**(1), 1-8.
- Park, S. H. (2015), *An Analysis on the Artillery Tactics with Absolving Markov Chain*, Master's Thesis, Korea National Defense University.
- Railsback, S. F. and Grimm, V. (2011), *Agent-Based and Individual-Based Modeling: A Practical Introduction*, Princeton University Press.
- Ross, S. M. (2014), *Introduction to Probability Models*, 11th Edition, Academic Press.
- Son, Y. S., Kim, S. W., and Yoon, B. K. (2014), A Study on the Criteria to Decide the Number of Aircrafts Considering Operational Characteristics, *Korea Institute of Military Science and Technology*, **17**(1), 41-49.
- Swets, J. A., Tanner, W. P., and Birdsall, T. G. (1961), Decision Processes in Perception, *Psychological Review*, **68**(5), 301-340.
- Yoon, B. K. (2010), Markovian Arrival Process and its Application in Defense Area, *Research Institute for National Security Affairs*.

저자소개

박원범: 해군사관학교 전기전자공학과에서 2014년 학사, 국방대학교 국방과학학과에서 2023년 석사학위를 취득하고 국방대학교 운영분석/군수경영학과 박사과정에 재학 중이다. 연구분야는 Agent Based Modeling, 최적화, 확률모형이다.

정지연: 육군사관학교 토목공학과에서 2018년 학사, 국방대학교 국방과학학과에서 2025년 석사학위를 취득하였다. 연구분야는 Agent Based Modeling, 시뮬레이션, 데이터 분석이다.

윤봉규: 연세대학교 경영학과에서 1996년 학사, KAIST 산업공학과에서 1998년 석사, 2002년 박사학위를 취득하였다. 2006년부터 국방대학교 운영분석/군수경영학과 교수로 재직하고 있다. 연구분야는 Agent Based Modeling, 최적화, Stochastic Models in Military OR이다.