

군사과학연구

Journal of Military Science and Technology Studies

ISSN 1975-3888
제15권 제2호 2022년 12월



연구논문

ABM을 이용한 미사일방어 사격방법에 관한 연구
- 패트리엇 체계를 중심으로 -

남기봉 · 이춘주

대기행렬 시뮬레이션을 활용한 외진버스 민간용역 사업 효과성 분석

박병호 · 변재현 · 조윤환 · 배경기 · 김연우 · 이문걸 · 조남석

근접전투 부대의 드론 전력화 분석

박희정 · 신 진

지상 무인체계의 협업 임무계획에 관한 시뮬레이션 연구
- 전차 사격훈련 준비활동을 중심으로 -

홍기원 · 이춘주



국방대학교
국가안전보장문제연구소



연구논문

- ABM을 이용한 미사일방어 사격방법에 관한 연구 ————— 남기룡 · 이춘주 1
- 패트리엇 체계를 중심으로 -
- 대기행렬 시뮬레이션을 활용한 외진버스 민간용역 사업 효과성 분석 ————— 박병호 · 변재현 · 조윤환 · 배경기 · 김연우 · 이문걸 · 조남석 15
- 근접전투 부대의 드론 전력화 분석 ————— 박익정 · 신진 29
- 지상 무인체계의 협업 임무계획에 관한 시뮬레이션 연구 ————— 홍기원 · 이춘주 43
- 전차 사격훈련 준비활동을 중심으로 -



Research Papers

- A Study on Defensive Shooting Methods for Missile using ABM - Focusing on the Patriot system -
/ **Gibong Nam · Choonjoo Lee** 1
- A Study on the Effectiveness of Outsourcing Bus Service for
Military Outpatient Transportation Using Queueing Simulation
/ **Byeongho Park · Jaehyeon Byeon · Yoonhwan Cho · Gyeonggi Bae · Yeonwoo Kim · Moongeol Lee · Namsuk Cho** 15
- A Research of Fielding Drones for Close-Combat Unit
/ **Heejeong Park · Jin Shin** 29
- A Simulation Study on the Cooperative Mission Planning of the Ground Unmanned Systems
- Focused on the Tank Gun-Firing Training Preparation Activities -
/ **Giwon Hong · Choonjoo Lee** 43



ABM을 이용한 미사일방어 사격방법에 관한 연구 - 패트리엇 체계를 중심으로 -

A Study on Defensive Shooting Methods for Missile using ABM - Focusing on the Patriot system -

남기봉¹⁾ · 이춘주²⁾
Gibong Nam · Choonjoo Lee

ABSTRACT

This study analyzed the accuracy of each method of consecutive firing and salvo & time on target shooting corresponding to short-range ballistic missiles(SRBMs), and suggested a firing method according to the separation distance of the air defense battery. As a result of the analysis using the AnyLogic program, it was possible to identify a shooting method that maximizes the accuracy according to the separation distance of the air defense battery, the intercept height, and the ballistic missile range. The results of this simulation indicate that effective defense training is possible by diversifying the shooting methods for missile defense training, such as consecutive firing and salvo & time on target shooting.

Key Words : Surface to Air Missile(SAM), Accuracy rate, Salvo & Time on target shooting, ABM Simulation

논문접수일 : 2022년 10월 19일, 심사일 : 2022년 11월 3일, 게재확정일 : 2022년 11월 17일

1) 국방대학교 무기체계전공 석사과정

2) 국방대학교 무기체계전공 교수 / 교신저자(Corresponding author)

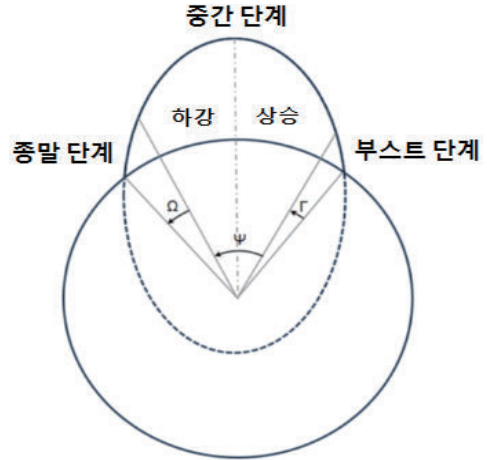
한다. 스커드-C는 탄두중량을 770kg으로 줄이고 사거리를 500km로 높여 남해안 지역까지 사정권으로 두고 있다. 스커드-B/C의 주요 제원은 <표 1>과 같다.[4]

<표 1> 스커드-B/C 제원

구 분	SCUD-B	SCUD-C
최대사거리(km)	340	500
고도(km)	95	145
최대속도(km/s)	1.5	2
탄두중량(kg)	1,000	770
비행시간(분)	5	7

스커드 미사일은 원형 공산 오차 (CEP : Circular Error Probability)가 큰 특성(공산오차 1km 내외)으로 인해 군사적 표적에 대한 공격보다는 핵, 생화학무기, 화학탄두 등의 대량살상무기 (WMD : Weapon of Mass Destruction)를 장착하여 산업시설 및 대도시 인구밀집지역에 대한 공격을 감행할 것으로 예상된다.[5]

탄도미사일의 비행특성은 <그림 3>과 같이 지구 중심을 하나의 초점으로 하는 타원궤적 형태로 비행한다는 점이다. 이러한 탄도미사일의 비행 순서는 미사일의 추진체가 연소되어 추진력을 얻는 부스트 단계, 외기권에서 대기의 저항 없이 자유비행하는 중간 단계, 미사일이 대기권으로 재진입하여 목표지점까지 비행하는 종말단계로 구분된다.



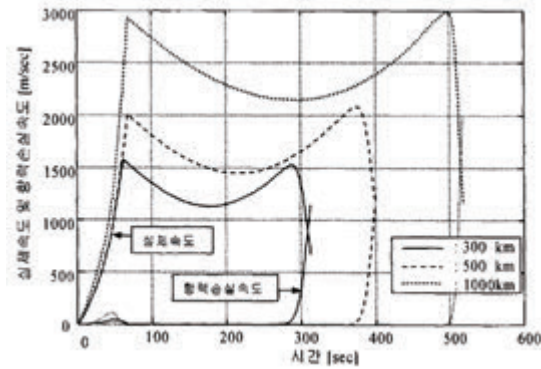
<그림 3> 탄도미사일 비행궤적

부스트 단계는 탄도미사일이 발사된 순간부터 추진체의 연소가 종료되는 시점까지의 비행단계로 발사된 미사일이 추력 및 내부 유도장치를 이용하여 페이로드를 원하는 위치로 옮기게 되며 추진체의 연소가 종료되면 부스터는 분리된다.[6]

중간 단계는 탄도미사일 추진체 연소가 종료된 후 대기권으로 재진입하기 전까지의 단계이다. 단거리탄도미사일(SRBM)의 경우 일반적으로 카르만선(Karman line)이라 불리는 고도 100km 이내에서 연소가 종료된다. 중간단계는 대기권과 외기권의 두 영역으로 구분할 수 있는데 대기권 내에서는 항력과 중력의 영향을 받고, 외기권에서는 중력의 영향만을 받아 자유비행하는 타원궤도 형태로 비행한다.[7]

종말 단계는 탄도미사일의 진입체가 높은 속도로 대기권에 재진입하여 가열 및 감속이 일어나는 단계로 비행시간이 짧으며, 정점 이후 증가하던 비행속도가 공기 저항에 의한 항력이 중력보다 커진 후부터 급격히 감소한다. 시뮬레이션에서 구현하고자 하는 탄도미사일의 요격 시점은 고도 약 100km에서 대기권으로 재돌입하여 계

획된 탄도를 그리며 목표에 도달하는 종말 단계이며, 탄도 거리에 따른 실제 속도 및 항력 손실 속도는 <그림 4>, <표 2>와 같다.[8]



<그림 4> 탄도탄 사거리에 따른 실제 속도 및 항력 손실 속도

<표 2> 사거리에 따른 종말단계 탄도미사일 속도

사거리	300km	500km	1,000km
속도	1,000 ~ 1,500m/s	1,500 ~ 2,000m/s	2,000 ~ 3,000m/s

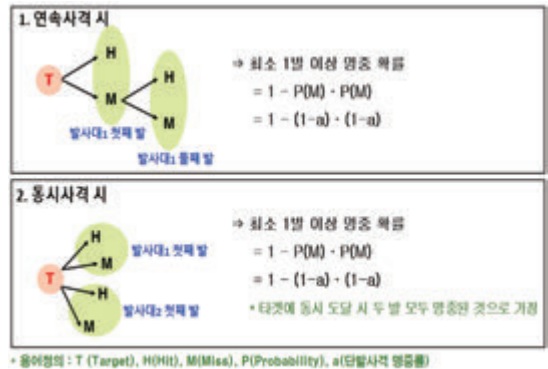
미사일방어의 중요성이 높아짐에 따라 우리 군은 공군의 방공유도탄사령부를 미사일방어사령부로 조직을 개편('22. 4. 1. 부) 하였다. 미사일방어사령부 직할 부대인 사격지원대는 적의 공중침투 상황을 가정하여 매년 항공기 사격대회³⁾를 실시하고 있으며, 2025년까지 탄도탄을 표적으로 하는 사격대회 실시를 목표로 사업을 추진 중이다. 미사일방어작전 시 효과적인 대응과 명중률을 높이기 위한 방안으로 방공포

대 배치원칙을 고려한 위치, 사격방법의 다양화 등이 필요할 것으로 판단된다. 본 연구는 대한민국에 직접적인 피해를 줄 것으로 평가되는 단거리탄도미사일(SRBM)에 대하여 연속·동시사격방법에 따른 명중률을 분석하고 이를 통해 미사일방어 교전 특성 및 방어목표와 방공포대 이격거리에 따른 사격방법의 특성을 찾고자 하였다.

2. 본론

2.1 미사일방어 명중률 관련 이론

미사일방어작전에서 명중률이란 탄도탄을 대상으로 지대공미사일을 발사하여 격추에 성공한 비율을 의미한다. 단발사격 명중률이 a일 때, 연속·동시사격 명중률의 개념은 <그림 5>이며, 수식은 (1)과 같다.[9]



<그림 5> 연속·동시사격 경우의 수에 따른 명중률 개념도

$$\text{연속/동시사격 명중률} = 1 - (1 - a) \cdot (1 - a) \quad (1)$$

3) 충남 보령시에서 매년 실시되는 방공유도탄 사격대회는 1966년 제1회 사격대회를 시작한 이래 2021년까지 48회째를 맞고 있으며 호크(Hawk), 신궁, 미스트랄, 발칸 외 2013년 패트리엇, 2017년 천궁 첫 사격을 실시하여 명중에 성공하였다.



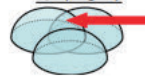

지금까지 미사일방어 관련 연구들은 대부분 최적 배치방안, 요격미사일 운용방안, 교전&무장할당 계획 수립 등이며 알고리즘, 수리모형의 방법론으로 행위자 기반의 ABM(Agent Based Modeling)을 활용한 시뮬레이션 모델은 찾아보기 어려웠다. 미사일방어에 대한 명중률, 교전환경을 정확하게 분석하기 위해서는 탄도탄의 특성에 따른 고려요소(항력, 발사각, 유도방식, 비행체적, RCS⁴⁾ 등)와 변수들이 다수인 복잡한 문제이므로 이를 고려하여 분석할 필요가 있다. 본 연구는 미사일방어 모델링 방법론 중 복잡계 모델링에 해당하는 ABM기법을 활용하였으며 시뮬레이션을 구성할 때 참고한 이론은 아래와 같다.

2.1.1 배치원칙

북한 탄도미사일 위협 고조에 따라 미사일방어 전력의 중요성은 점점 높아지고 있으며 제한된 자원으로 최대의 방어효과를 발휘하기 위한 노력이 지속적으로 요구되고 있다. 미사일방어 무기체계의 운용효과를 극대화하기 위한 여러 가지 방안들이 있지만 전장중심이 짧은 한반도에서는 특히 배치문제가 중요하다. 적은 아군의 방어목표 중요도에 따라 공격규모를 결정할 것이기 때문에 방공포대 배치 시 방어규모와 위치를 동시에 고려해야 한다.

미사일방어 전력의 배치원칙은 <표 3>에서 보는 바와 같으며, 공통적인 목적은 교전 및 격추 횟수를 최대화하여 방어효과를 극대화하는 것이다. 본 연구에서는 MEP⁵⁾ 방공포대 2개 발사대를 객체로 구성하여 방어목표에 대한 화력을 보강할 수 있도록 중첩사격을 적용하였다.[10]

<표 3> 미사일방어 전력 배치원칙

원칙	개념
 <p>중첩사격</p>	· 인접 미사일방어 무기끼리 중첩하여 서로 보강할 수 있도록 배치
 <p>균형방어</p>	· 한 지역의 다양한 위치에 균등한 화력을 제공 (방어목표가 분산되어 있을 시)
 <p>중점방어</p>	· 적의 공격 가능성이 높은 방향이나 방공우선순위가 높은 부대, 시설에 미사일방어 무기를 집중 배치
 <p>중심방어</p>	· 적 탄도탄이 방어목표에 근접할수록 사격량이 증가되도록 배치

2.1.2 사격방법

사격방법은 배치원칙과 함께 미사일방어의 효율성을 높이기 위한 전술로서 <표 4>에서 보는 바와 같이 총 3가지 방법이 존재한다.[11]

<표 4> 미사일방어 사격방법

구분	개념
단발사격 (Single Shot)	1개의 발사대에서 1발의 지대공 미사일을 발사하는 사격방법
연속사격 (Salvo)	1개의 발사대에서 ○초의 간격을 두고 2발의 지대공미사일을 연속으로 발사하는 사격방법
동시사격 (Time On Target)	2개의 발사대에서 각각 1발의 지대공미사일을 발사하여 표적에 동시에 도달하도록 하는 사격방법

4) RCS(레이다 반사 면적) : Radar Cross Section

5) MEP(Minimum Engagement Package) : 최소 교전 체대로 1기의 교전통제소와 1기의 레이더, 2기의 발사대로 구성된다.

항공기 방어작전 시 시간적(항공기 탐지·포착 후 방어목표 접근 소요시간), 공간적(적 예상 접근로) 여유가 있어 적 항공기 대수, 방어 우선순위, 지대공미사일 전력 등을 고려하여 사격방법을 다양하게 구사하는 것이 가능하였다. 하지만 현재 우리 군의 미사일방어작전은 하층 방어6)에 국한되어 있으며, 탄도미사일의 비행특성과 종말단계 교전 가능시간(30초 이내)을 고려하였을 때 한 번의 교전 기회가 매우 중요하다. 따라서 요격 가능성을 높이기 위해 미사일방어작전 교리에서는 탄도탄 1발에 대해 지대공미사일 2발의 대응(연속·동시사격)을 원칙으로 하고 있다.

2.2 ABM을 이용한 모델 구성

미사일방어 명중률을 분석하기 위해 애니로직(Anylogic) 프로그램을 활용하였다. 애니로직 소프트웨어는 <그림 6>과 같이 이산사건모델링(Discrete Event Modeling), 에이전트 기반 모델링 (Agent Based Modeling), 시스템동역학(System Dynamics) 3가지 시뮬레이션의 통합지원이 가능하다.[12] 애니로직 프로그램은 유연한 시스템 언어를 바탕으로 그래픽 인터페이스, 도구 및 라이브러리 객체 등 다양한 영역에서 사용자의 신속한 접근을 가능하게 해주는 특징을 가지고 있다.[13]

본 연구에서 조작변수는 사격방법과 탄도탄의 사거리(속도), 요격고도로 설정하였고 통제변수는 방어목표 3곳(A, B, C)의 위치와 발사대 2기의 배치로 설정하였으며, 종속변수는 명중률이 된다. ABM기반 모델링을 활용하여 연구목적에 부합하도록 변수가 되는 각 객체들에게 행동 양식과

모의논리를 지정해주고 시뮬레이션 진행에 따른 명중률 결과를 분석하였다.



<그림 6> 애니로직 시뮬레이션 모델링의 3가지 방법

2.2.1 가정사항 및 전제조건

연구 목적 달성을 위해 00전투비행단과 유사한 전투환경 특성을 반영하여 시뮬레이션 모델을 구성하였고, <표 5>, <표 6>과 같은 가정사항을 적용하였다. [14]

탄도탄의 공격규모는 시나리오가 원활하게 구동되는 횟수인 1,000발을 기준으로 하였고 탄종에 따른 사거리, 고도, 속도의 차이를 두었다. 연구목적 상 레이다는 객체로 구성하지 않았으며, PAC-3 레이다의 제한을 바탕으로 탐지범위만을 선정하였다.

지대공미사일의 속도는 마하 1.8 ~ 4 수준으로 PAC-3 탄도탄 요격용 미사일과 유사하게 설정하였다. 시나리오가 시작되면 북한의 탄도미사일은 사전에 설정된 방어목표 A, B, C에 대하여 집중공격을 감행할 것이다. 실제 전장에서 다수의 탄도탄 공격 시 최대 9발의 탄도탄과 동시교전이 가능하지만, 본 시뮬레이션에서는 1발씩 순차적으로 교전하는 것으로 가정하였다. 교전 시 지대공 유도무기 발사대에 탑재되어 있던 탄이 모두 소모되면 다음 교전을 수행하기 위한 유도탄 재적재 시간이 필요

6) 탄도탄 종말단계 교전은 고도 40km 이하의 하층방어와 고도 40~150km의 상층방어로 구분되며, 현재 운용 중인 탄도탄 방어 무기체계(PAC-3, 천궁 Block-II)는 하층방어만을 담당하고 있다.

하지만, 시뮬레이션 시나리오의 원활한 구현을 위하여 탄이 재적재되는 시간은 고려하지 않았다.

<표 5> 시뮬레이션 수행을 위한 가정 및 전제조건

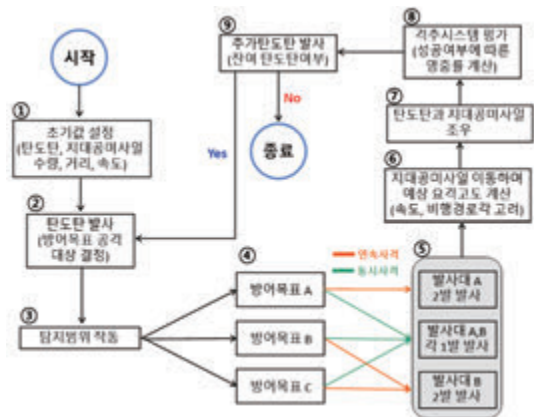
- 적 탄도탄 공격규모 : 각 시나리오 상황별 1,000발씩 수행
- 탄도탄 종류 : SCUD-B, C, ER / 사거리·정점 고도·속도 : <표 6> 참고
- 탄도미사일 대상 탐지범위 : 발사대1, 2 기준 거리 000km, 고도 00km
 - * 탐지범위 내 진입 시 100% 탐지
- 지대공미사일 속도 : 마하 1.8 ~ 4 수준, 시간 경과에 따라 평균속도 유지
- 지대공미사일 수량 : 시뮬레이션 소요 수량 확보
 - * 발사대 유도탄 재적재 시간 미고려
- 교전 고도 : 최소 4km ~ 최대 20km / 구간별 2km 간격 구분
- 아군 부대 규모 : 1개 방공포대(발사대1, 2 보유)
- 발사대 배치 : 3개 방어목표와 이격거리
 - * 발사대1 : A(↔0km), B(↔3km), C(↔6km)
 - 발사대2 : A(↔3km), B(↔1km), C(↔4km)
- 단발사격 명중률 : 80%
 - * 탄도탄과 지대공미사일이 정면 조우 시
- 연속·동시사격 명중률 : 수식 (1) 참고

<표 6> 북한의 공격 탄도탄 제원

구분	사거리	정점고도	속도
SCUD-B	300km	95km	마하 2.9 ~ 4.4
SCUD-C	500km	145km	마하 4.4 ~ 5.8
SCUD-ER	1,000km	280km	마하 5.8 ~ 8.8

2.2.2 시뮬레이션 시나리오

국방시스템의 모델은 보편적으로 공학급 - 교전급 - 임무급 - 전구급의 4단계 수준으로 모의된다. 공학급은 무기체계의 기능과 성능을 표현하고, 교전급은 무기체계의 1:1 혹은 1:다수의 교전 능력을 모의한다. 임무급은 주어진 교전 능력을 통해 임무수행 능력을 모의하고, 전구급은 합동/연합 작전 수준의 수행능력을 모의한다.[15] 위의 4가지 국방시스템 모델 중 본 연구에서 사용된 시뮬레이션은 확률을 기반으로 사격방법에 따른 명중률 분석 및 무기체계 1:1의 교전 모델을 표현하였으므로 교전급 모델의 수준으로 구성하였다. 본 연구의 시뮬레이션 흐름도는 <그림 7>과 같다.

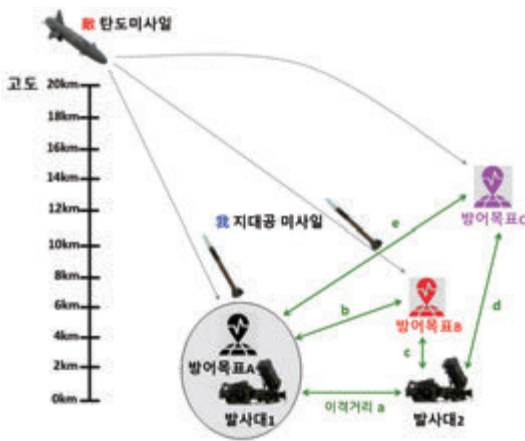


<그림 7> 시뮬레이션 흐름도

①초기값 설정에서 탄도미사일의 수량과 사거리, 공격목표를 결정하고 지대공미사일의 사격방법과 요격고도를 입력한 후 시뮬레이션을 가동한다. ②탄도미사일이 발사되고 방어목표 3개(A, B, C) 지점 중 1 곳을 향해 비행을 시작하며 공격 시작지점과 목표지점에 따른 속도가 계산된다. ③탄도미사일이 방호목표를 향해 접근 시 탐지범위(거리 000km, 고도 00km) 내 진입

부터 탐지/포착된다. ④탄도탄이 공격하려는 방어목표의 정보(A, B, C 중 1곳)가 발사대1, 2로 전달된다. ⑤방어목표와의 이격거리 및 기설정된 사격방법에 따라 발사대 1, 2에서 지대공미사일 2발이 발사된다. ⑥지대공미사일이 비행하며 자신의 위치정보와 탄도탄의 위치정보, 속도, 비행궤적, 조우각을 고려하여 요격고도를 계산한다. ⑦탄도탄과 지대공미사일 2발 조우 시 격추 시스템 평가 단계로 넘어간다. ⑧명중률은 탄도탄의 사거리(속도)와 요격고도, 사격방법에 따른 조우각의 영향을 받으며 지대공미사일 2발 중 1발이 격추에 성공하면 명중한 것으로 평가한다. 2발 모두 격추에 실패하면 요격실패로 계산된다.(첫 번째 미사일 격추시 두 번째 미사일 자체폭파) ⑨초기값에서 설정한 탄도미사일 수량 중 잔여탄이 있을 시 ②번 단계로 돌아가서 같은 절차를 반복하고, 잔여탄 모두 소진 시 시뮬레이션은 종료된다.

시뮬레이션 상황을 개념화하면 <그림 8>과 같으며 탄도미사일 사거리, 각 방어목표에 대한 사격방법, 요격가능 고도(2km 간격) 등을 고려하여 총 144가지 상황에 대한 시뮬레이션을 진행하였다.



<그림 8> 시뮬레이션 상황 개념도

2.2.3 객체별 모의논리

시뮬레이션 프로세스 흐름을 이해하기 위해 설계에 사용된 애니로직(Anylogic) 프로그램 기능에 대한 설명은 <표 7>과 같다. [16]

<표 7> 애니로직(Anylogic) 기능

구분	모양	명칭	기능
Agent		agent	상태차트 및 기타 에이전트와의 프로세스, 흐름도, 유형 등을 정의
Agent Component		parameter	매개 변수로 모델링된 객체의 일부 특성을 나타냄
		event	시간의 경과에 따른 독립 사건의 흐름을 작업하는 데 사용
Agent Component		variable	시뮬레이션의 결과를 저장하거나 일부 데이터 단위 또는 객체의 특성을 설명할 때 사용
		function	Java 함수의 알고리즘을 지원하며, 함수를 통해 지정된 결과 산출
		output	변수에 따른 결과값
Statechart		statechart entry point	특정 프로세스를 설명하기 위한 초기 상태를 나타내는데 사용
		state	조건 및 이벤트에 따른 특정 제어 위치를 나타내며, 단일 또는 다중 상태를 복합적으로 표현
		transition	시간경과, 비율, 조건, 메시지, 도착 총 5가지의 트리거가 존재하며 한 상태에서 다른 상태로의 전환으로 지정된 작업을 수행
	final state	제어가 최종 상태에 들어갔을 때 상태 차트가 종료되는 지점	

구분	모양	명칭	기능
기타		scale	그래픽 편집기에서 사용되는 거리 측정기
		stock	좌표값을 나타내는 블록
		dynamic variable	객체 간 거리차이를 연산할 때 사용

탄도미사일은 본 시뮬레이션의 첫 번째 구성을 맡은 객체로 Statechart entry point에서 State로 비행 행동을 하게 되면 시나리오가 시작되며 Agent actions 카테고리 내의 On startup에서 어떤 방어목표를 공격할지 결정한다. State를 통해 비행을 유지하면서 제어선으로 2개의 Transition과 연결이 된다. 조건을 표현하는 Transition에서는 공격발수와 사거리, 이동속도에 따른 작업을 수행하고 도착을 나타내는 Transition에서는 지대공미사일에 격추되지 않고 목표물에 도달 시 임무에 성공하는 것으로 계산한다. Parameter는 방어목표이며 임무에 성공시 타격횟수를 결과로 저장한다. 탄도미사일 객체의 Final state 조건은 탄도탄의 전량 소모이다.



<그림 9> 탄도미사일 상태 차트

발사대는 지대공미사일의 발사를 담당하는 객체이다. 발사대는 탄도탄의 속도와 방어목표 접근 동안 이격거리를 계산하기 위해 시나리오 시작 전 탄도미사일의 사거리에 따른 Node(300/500/1,000)값을 입력해야 한다. 시나리오 시작 후 탄도탄이 탐지범위 내 진입 시 100% 확률로 탐지/포착하며, 지대공미사일을 발사해야 하는 시점을 계산한다. 조건은 탄도탄의 속도 및 방어목표와의 거리이며, 사전에 설정된 고도에서 요격이 이루어질 수 있는 타이밍에 발사된다.

발사대는 2대이며 Event내의 Action 카테고리에서 탄도미사일의 공격목표에 따른 지대공미사일 사격 발사대를 결정한다. 방어목표 A는 발사대1에서 방어목표 B, C는 발사대2에서 연속발사 2발이 이루어지며, 동시사격은 발사대1, 2에서 각 1발씩의 미사일이 발사된다. 지대공미사일이 탄도탄과 조우 시 격추 여부를 판단하고 Parameter에서 명중률을 계산한다.

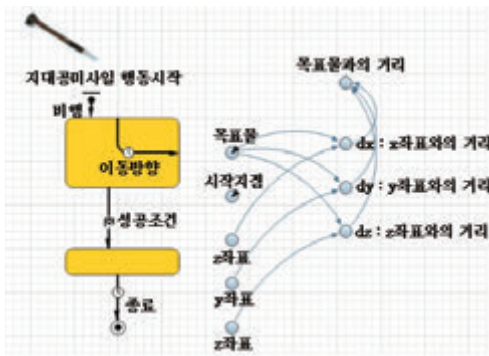


<그림 10> 발사대 상태 차트

지대공미사일은 발사대에서 떠남과 동시에 Statechart entry point로부터 행동이 시작된다. 지대공미사일은 Transition에서 시간경과에 따른 행동을 수행하는데, 현재 자신의 위치좌표와 목표물(탄도미사일)과의 거리 차이를 연산하며 이동방향을 결정한다.

지대공미사일은 2발이 비행하여 탄도탄과 조우 시 각각의 명중률이 적용되어 격

추여부가 결정된다. 이 때 명중률은 방어 목표와의 이격거리에 따른 발사대의 위치, 탄도탄의 속도에 영향을 받는다. 성공 조건은 2발 중 한 발이 명중에 성공해야 하며 첫 번째 미사일 격추 성공 시 두 번째 미사일은 자체 폭발한다. 지대공미사일은 각 객체가 독립적으로 행동하며, 1회용으로 작동하므로 탄도미사일과 조우한 뒤에는 임무 성공 여부와 관계없이 Final state로 종료된다.



<그림 11> 지대공미사일 상태 차트

2.3 시뮬레이션 결과

본 연구에서 활용한 애니로직(Anylogic) 프로그램 클라우드(Cloud)에서는 사용자가 구성한 시뮬레이션에 대한 Inputs 정보에 따른 Outputs 결과를 확인할 수 있다. 시뮬레이션 결과로부터 얻어진 명중률의 값은 시뮬레이션 횟수를 늘릴수록 정확해질 것이나 반복횟수를 무한히 할 수는 없기에 클라우드가 원활하게 구동되는 횟수인 탄도미사일 1,000발을 상황별로 적용하여 명중률 평균값을 도출하였으며 그 결과는 <표 8>과 같다.

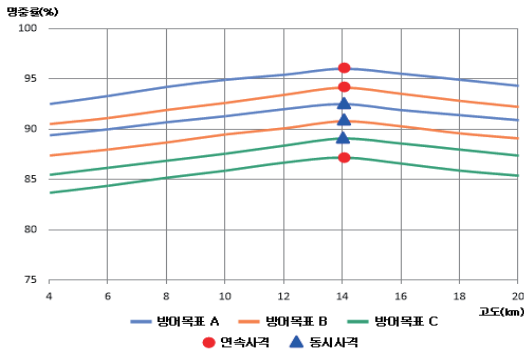
<표 8> 시나리오 상황별 탄도미사일 1,000발에 대한 명중률 평균값

탄도탄 사거리	방어목표 요격고도 (이상 ~ 미만)	A		B		C	
		연속 사격	동시 사격	연속 사격	동시 사격	연속 사격	동시 사격
300km	4km ~ 6km	93.3	90.0	91.1	88.0	84.4	86.2
	6km ~ 8km	94.2	90.7	91.9	88.7	85.2	86.9
	8km ~ 10km	94.9	91.3	92.6	89.5	85.9	87.6
	10km ~ 12km	95.4	92.0	93.4	90.1	86.7	88.4
	12km ~ 14km	95.8	92.5	94.1	90.8	87.2	89.1
	14km ~ 16km	95.5	91.9	93.5	90.3	86.6	88.6
	16km ~ 18km	94.9	91.4	92.8	89.6	85.9	88.0
500km	18km ~ 20km	94.3	90.9	92.2	89.1	85.4	87.4
	4km ~ 6km	91.7	88.3	89.8	86.2	82.9	84.8
	6km ~ 8km	92.5	89.1	90.5	87.0	83.7	85.6
	8km ~ 10km	93.2	89.8	91.3	87.8	84.4	86.4
	10km ~ 12km	94.0	90.5	92.0	88.5	85.2	87.0
	12km ~ 14km	94.7	91.1	92.6	89.4	85.9	87.7
	14km ~ 16km	94.1	90.5	92.2	88.7	85.5	87.1
1,000km	16km ~ 18km	93.6	90.0	91.8	88.1	84.9	86.6
	18km ~ 20km	93.1	89.5	91.2	87.4	84.2	86.1
	4km ~ 6km	86.1	83.5	84.1	81.1	77.3	79.2
	6km ~ 8km	88.7	85.1	86.7	83.5	79.7	81.8
	8km ~ 10km	90.8	87.2	88.8	85.5	81.8	83.9
	10km ~ 12km	92.3	88.7	90.3	87.0	83.3	85.3
	12km ~ 14km	93.2	89.8	91.3	88.0	84.4	86.4
14km ~ 16km	92.1	88.6	90.1	86.9	83.2	85.3	
16km ~ 18km	90.9	87.3	88.8	85.7	81.9	84.0	
18km ~ 20km	89.5	85.9	87.4	84.3	80.4	82.6	

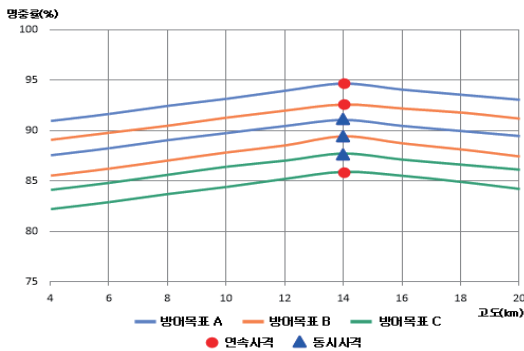
탄도미사일 사거리에 따른 명중률 종합 결과를 2차원 그래프로 정리하면 <그림 12>, <그림 13>, <그림 14>와 같다. x축은 요격고도, y축은 명중률을 의미한다. 명중률 평균은 ①방어목표 A 연속사격 ②방어목표 B 연속사격 ③방어목표 A 동시사격 ④방어목표 B 동시사격 ⑤방어목표 C 동시사격 ⑥방어목표 C 연속사격 순서로 높게 나타났으며 방공포대와 인접한 곳에 배치된 방어목표일수록 명중률이 높아지는 것을 확인할 수 있었다. 방공포대와 방어목표가 가까울수록 탄도탄과 지대공미사일은 정면으로 조우할 확률이 높아질 것이므로 명중률은 조우각에 영향을 받는 것으로 판단된다. 전 사거리(300/500/1,000km)에 대해서 방어목표 A와 B는 동시사격보다 연속사격의 명중률이 높게 나타났으나 방어목표 C는 연속사격보다 동시사격의 명중률이 높게 나타났다. 이를 토대로 방어목표와 방공포대 간 이격이 있을수록 연속사격보다 동시사격의 효율성이 높아지는 경

향을 확인할 수 있었다.

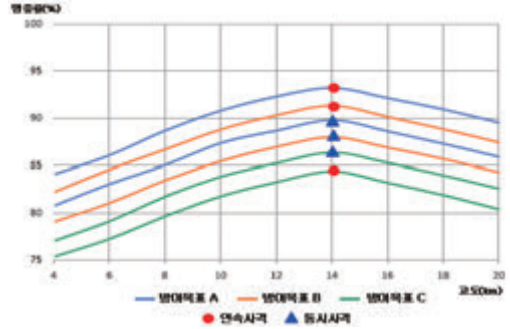
또한, 사거리에 따른 고도(2km 간격)별 명중률의 평균편차는 300km(0.56), 500km(0.62)에 비해 1,000km(1.95)에서 상대적으로 높게 나타났으며, 특히 사거리 1,000km 고도 8km 이하 구간의 명중률 평균편차는 2.34로 눈에 띄게 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 이는 탄도미사일 종말단계의 짧은 비행시간과 하강 상태 최고 속도가 영향을 미친 것으로 판단된다. 따라서 미사일방어 작전 시 500km 이상의 사거리를 가진 탄도미사일(스커드-ER 이상급)에 대해서는 선제적 대응을 통한 조기 교전이 필수적일 것이다.



<그림 12> 사거리 300km 탄도탄 명중률 결과



<그림 13> 사거리 500km 탄도탄 명중률 결과



<그림 14> 사거리 1,000km 탄도탄 명중률 결과

3. 결론

본 연구는 지속적으로 증가하는 북한의 탄도미사일 위협에 대응하여 미사일방어 명중률을 분석하고 그에 따른 탄도탄 교전 특성 및 방어목표와 방공포대 이격거리에 따른 사격방법의 특성을 찾고자 하였다. 미사일방어 관련 연구들을 살펴본 결과 최적 배치방안, 요격 미사일 운용방안, 교전 & 무장할당 계획 등의 주제로 연구들이 진행되었으며 대부분 알고리즘, 수리모형을 활용한 방법론이 사용되었다. 이에 기존 미사일방어 연구에서 시도하지 않았던 ABM기법의 시뮬레이션을 활용하여 객체로 적용 가능한 변수들을 설계하고 실험을 진행하였다. 시뮬레이션 결과 명중률과 관련하여 탄도미사일의 교전 특성과 방공포대 배치에 따른 적절한 사격방법의 운용을 확인할 수 있었다.

연구결과 미사일방어 시 명중률이 높게 나타나는 적정 요격구간을 파악할 수 있었으며, 방어목표와 방공포대 간 거리가 이격될수록 동시사격의 명중률이 높아지는 경향을 확인할 수 있었다. 또한, 사거리 500km 이상 탄도탄에 대해서는 요격고도가 명중률에 큰 영향을 미치므로 선제적

대응을 통한 조기교전이 필수적임을 확인하였다. 이를 미사일방어 운용교리 및 교범에 적용한다면 방공포대 배치에 따른 적절한 사격방법 확립 및 작전계획 수립에 기여할 수 있을 것이다. 한 번의 교전기회가 전장의 승패를 좌우할 수 있는 미사일방어 작전에서 한정된 수량의 지대공미사일 자산을 효율적으로 배분함은 물론 효과적인 사격방법 운용의 의사결정에 도움이 될 것이다. 또한, 2025년 시행 예정인 탄도탄 사격대회 계획수립 시 실전적 훈련이 진행될 수 있도록 표적과 방어목표 운영 및 사격방법의 운용 등에 대한 참고자료로 활용이 가능할 것이라 기대한다.

향후 본 연구에서 가정사항에 두었던 변수들을 추가하고 위계임, 정보분석 데이터, 연합연습 등으로 축적된 데이터를 활용한 시뮬레이션을 구성한다면 실제 전장에 더 가까운 결과를 도출할 수 있을 것이다. 특히 적 공격전력으로 스커드 미사일보다 어려운 비행특성을 갖는 순항미사일, KN-23 등의 객체를 모델에서 구현할 수 있다면 더욱 현실적이고 활용가치가 높은 연구가 될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 뉴스타운(2020. 3. 9.), “北 600mm 방사포는 대남용” <http://www.newstown.co.kr/news/articleView.html?idxno=448547> (검색일: '22. 9. 21.)
- [2] 김미연, “미래핵심 위협을 고려한 북한의 핵미사일능력분석 및 전망”, 국방대학교 석사학위논문, 2015.
- [3] 국방부, 『2020 국방백서』
- [4] 최규철, “한국형 탄도미사일 방어체계(KAMD) 발전방안 연구”, 국방대학교 합동참모대학 연구논문, 2017.
- [5] 오복진, “북한의 핵 및 미사일 위협에 대한 효과적인 대응방안”, 국방대학교 안보과정 정책연구보고서, 2016.
- [6] 김지원, 권용수, “비행경로각 조정에 의한 중거리 탄도미사일의 비행궤적 특성 해석”, 2015.
- [7] 권용수, “탄도미사일의 비행궤적 특성 해석”, 2006.
- [8] 이재영, 광기훈, “북합-휴리스틱 알고리즘을 이용한 지대공 유도무기 최적배치 방안 : 탄도미사일방어를 중심으로”, 2008.
- [9] 이춘주, 최상영, “무기체계 분석론 수업교재”, 국방대학교 관리대학원, 2021.
- [10] 공군교범 3-13, “유도탄 작전”, 2016.
- [11] 공군교범 3-6-1, “방공유도탄 전술”, 2018.
- [12] 이현호, “Anylogic 3일 만에 끝내기”, 북코리아, 2019.
- [13] 이재영 등 5명 “애니로직 시뮬레이션을 이용한 무인지상차량 운용성능과 전투효과의 연관성 분석”, 2015.
- [14] 권용수, “탄도미사일의 비행궤적 특성 해석”, 2006.
- [15] 김탁곤, “국방 모델링 시뮬레이션”, 2018.
- [16] Xavier Estadlla Valls. “Simulation study of different yard and crane side operations at a container termina”, Technical University of Denmark - management engineering master thesis, 2018.

저 자 소 개



남기봉(E-mail: ok210609@naver.com)

현재 국방대학교 무기체계전공 석사과정
관심분야 : 지대공유도무기(SAM), ABM



이춘주(E-mail: sarang90@korea.kr)

1991 육군사관학교 졸업(이학사)
1997 미국 UC Berkeley 핵공학 석사
2005 KDI 국제정책대학원 정책학 석사
2006 서울대학교 기술정책학 박사
현재 국방대학교 무기체계전공 교수
관심분야 : 기술정책, 국방로봇(무인전력),
방위산업정책, 생산성분석,
핵심인프라보호

대기행렬 시뮬레이션을 활용한 외진버스 민간용역 사업 효과성 분석

A Study on the Effectiveness of Outsourcing Bus Service for Military Outpatient Transportation Using Queueing Simulation

박병호¹⁾ · 변재현¹⁾ · 조윤환¹⁾ · 배경기²⁾ · 김연우²⁾ · 이문걸³⁾ · 조남석⁴⁾
Byeongho Park · Jaehyeon Byeon · Yoonhwan Cho · Gyeonggi Bae ·
Yeonwoo Kim · Moongeol Lee · Namsuk Cho

ABSTRACT

Along with the rapid population decline, military manpower is also decreasing. As one solution to this crisis, the ROK Army is reducing military driver requirements, and one of which is outpatient transportation. The reduced number of military drivers will be replaced by civilian driver, and the Army has been conducting this 'outsourcing pilot project' for several years. This project is producing satisfactory results, but there is no scientific certification that analyze its effectiveness. In this study, we conduct queueing simulation to derive the effectiveness of the project. In particular, the time taken for soldiers to move to the hospital and time spent waiting at the hospital was considered as an opportunity cost. The results confirmed that 'outpatient outsourcing service' has an opportunity cost reduction effect of about 2.3 billion won per year than current system. In addition, we observe that outsourcing service could contribute to the improvement of patient satisfaction by reducing waiting time before, during, and after treatment.

Key Words : military medical system, patient satisfaction, medical waiting time, opportunity cost, simulation

논문접수일 : 2022년 11월 17일, 심사일 : 2022년 11월 17일, 게재확정일 : 2022년 11월 28일

† 본고는 국방대학교에서 수행한 2022년 정책과제 “사단 의무대(대) 외진버스 민간용역 사업 효과성 분석”을 기초로 내용을 추가·발전시켜 새로 작성하였음

- 1) 국방대학교 군사운영분석 석사과정
- 2) 육군본부 의무실
- 3) 국방대학교 군사운영분석 교수
- 4) 국방대학교 군사운영분석 교수 / 교신저자(ncho64@gmail.com)

1. 서론

우리나라의 인구성장률은 2018년을 기점으로 계속 하락 추세를 보인다. 이와 동일하게 군의 병역자원 또한 계속 감축하고 있다. 2016년 816.9만명에서 2022년에는 737만명으로 감축되었으며, 군 상비병력 또한 병역자원 감축과 복무기간 단축으로 인해 2019년 57.9만명에서 2022년 53만명으로 감축되었다.[1] 상비병력 부족 문제는 군무원, 공무원근로자와 민간용역 등 민간인력의 군 유입을 통해 해결해나가고 있다. 민간인력의 규모는 2017년 3.2만명에서 2026년에는 6.2만명으로 확대될 예정이다.[2]

한편, 현재 군 복무 중인 대다수 인원인 미래세대는 기성세대와 다른 특성을 보인다. 기성세대와 다르게 성장 과정에서 의료·교육·문화 등의 분야의 풍부한 인프라를 바탕으로 필요한 요구를 빠르게 충족해 가며 성장하였다. 특히, 입대 전까지 의원, 병원, 종합병원 등 규모는 상이하나 의료시설이 거주지 주변에 다수 분포하여 필요할 때는 언제나 편리하게 진료를 받았다. 미래세대가 익숙한 디지털 환경은 항상 빠른 속도로 끊임없이 변화하며 그 속에서 소통하고 관계를 유지한다. 미래세대는 무엇을 할 때 가성비와 효율성을 고려하며 공평성, 정당성, 당위성 등 명분을 중요하게 생각한다. 현재 군에 입대한 미래세대 역시 이들이 부여받은 임무 중 정당한 명분이나 근거 없이 기존에 해왔던 관습대로 하거나 정당하다고 생각되지 않은 임무에 대해서는 기존세대처럼 당연시하게 받아들이고 따르기를 어려워한다.

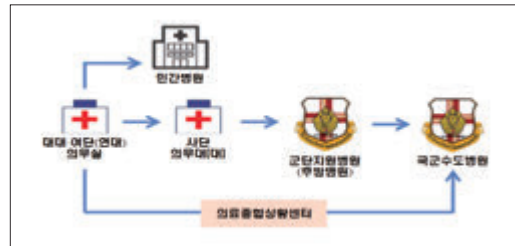
병역자원 감소에 따라, 비전투 분야의 민간인력 대체는 불가피하다. 육군에서도 이미 많은 직책이 군무원 등 민간인력으로 대체 중이다. 특히 의료분야는 간호사를 비롯한 의료종사자들이 군인에서 점차 군무원으로 대체 중이며, 군 병원의 셔틀버스는 이미 민간인 운전기사가

운행하고 있다. 육군은 장병의 복무 만족도를 향상하기 위해 다양한 노력을 하고 있으며, 의료분야에서 미래세대의 눈높이에 맞추기 위해 의료시스템을 다양하게 개선하고 있다.

1.1 現 군 의료시스템

『국방부 환자관리 훈령』에 따르면, 진료대상자에 대한 진료는 편제상의 상급부대 또는 지역진료 개념에 의거 지원 의료시설에서 진료하는 것을 원칙으로 한다고 규정하고 있다. 일반적으로, 외진을 받고자 하는 환자는 가장 가까운 지원 군 의료시설에서 1차 진료를 받은 후에 1차 진료결과에 따라 2차 또는 상급·전문 의료시설을 방문한다. 결론적으로 환자는 지역진료 개념에 의해 실시하는 것을 원칙으로 1차 진료결과에 따라 2차 또는 상급 진료시설에 진료가 필요한 경우에 후송하는 단계적 후송을 실시하고 있다.[3]

대대·여단(연대)급에서 발생한 환자는 1차적으로 대대·여단(연대) 의무실 진료 후 사단 의무(대)의 진료 또는 군 병원급 이상의 진료가 필요한 경우 상급의료시설을 방문하여 진료를 받는다. <그림 1>과 같이, 필요한 경우에는 군 보건의료기관이 아닌 민간병원을 이용 할 수 있으며 민간병원 이용 시 진료비 환급 등의 제도가 마련되어 있다.



<그림 1> 군 의료기관 후송체계

육군에서는 사단급 부대 단위에서 2012년부터 자체적으로 ‘사단 외진버스’를 운용하여 의

료서비스 접근성을 강화하고자 노력하고 있다. ‘사단 외진버스’는 사단 의무대(대)의 외래진료를 위해 사단 의무대(대)와 각 여단(연대)급에서 외진버스 1대를 운용하여 정기적으로 여단의 예하 부대 또는 통합 수송을 위한 지정된 장소를 경유하여 의무대를 방문하는 시스템으로 운영하고 있다. 2012년 첫 보급된 이후 2021년 기준으로 14개 사단에서 37대를 운영중에 있다. ‘사단 외진버스’의 도입은 군 의료시설에 대한 접근성을 높이는데 크게 기여했다. [4] 육군 분석평가단(2020)은 ‘사단 외진버스’가 환자 수 대비 차량이 부족하다는 의견을 제시하였으며, 김강환(2020)은 운전병의 낮은 숙련도 등의 사단 외진버스의 취약점을 제시하였다. [5] 또한 사단 외진버스의 고정된 시간과 노선에 따라 개별적으로 이동하는 소요가 지속 발생하고 있다.

의료 시스템과 변화하는 사회적 흐름에 따라 육군은 2021년부터 ‘외진버스 민간용역’ 시범사업을 하고 있다. 현재 5사단 등 7개 부대를 대상으로 시범사업 중이며, 2025년까지 14개 부대로 확대될 예정이다. [2] ‘외진버스 민간용역’ 사업이란 사단 지역 내의 버스업체를 통해 매일 각 대대 단위를 순환하여 사단 의무대까지 환자를 후송하는 사업을 의미한다. 용역버스는 버스업체를 통해 버스와 운전기사에 대한 매월 임대료를 지불하고, 차량의 정비, 보험, 사고처리 등은 버스업체에서 지불·관리하는 방안이다.

1.2 외진버스 민간용역 사업

외진버스 민간용역 시범사업은 2019년 군 의료시스템 개편 추진 로드맵(2019.2.14.) 군 병원 이용 편의성 향상 계획에 의거 ‘사단-군 병원’ 간 환자후송체계 보강과 함께 사단 작전지역 환자후송을 위한 버스 운행체계 보강이 필요하다는 소요에 의해 추진되었다. 민간용역은 사단 내 환자 전용 민간외진버스로 운행하여 피지원

부대의 임무 부담을 경감시켜주고 환자들이 원할 때 진료를 제공 받을 수 있는 여건을 보장하고 있다. 2022년 시범사업 대상은 7개 부대, 차량은 26대로 사단별 운행 중인 외진버스 민간용역의 세부 현황은 <표 1>와 같다.

<표 1> 2022년 외진버스 민간용역 현황 [6]

구분	운행축선	차량수	부대수	거리(km)	소요시간(분)
A	3개	3대	00개	5~11	10~15
B	3개	3대	00개	6~15	20~30
C	4개	4대	00개	14~24	30~50
D	4개	4대	00개	19~33	30~70
E	4개	4대	00개	24~30	45~60
F	4개	4대	00개	19~35	30~40
G	4개	4대	00개	34~54	40~70

대대급 주둔지부터 사단 의무대(대) 또는 군 병원을 이용하기 위해 제도화된 후송체계는 <그림 2>와 같다. ‘사단 외진버스’의 경우, A, B, C는 각 여단(연대)를 의미하며, 이때 차량은 ‘사단 외진버스’를 활용한다. ‘외진버스 민간용역’ 사업의 경우 A, B, C는 각 여단(연대)별 버스 노선을 의미하며, 차량은 계약된 민간용역 버스가 운용된다. 사단 의무대(대)의 진료는 외진버스를 활용하여 진료와 복귀가 이루어지며, 해당 차량이 제한되거나 불필요한 경우는 부대 자체적인 방법을 통해 의무대 진료를 실시한다.



<그림 2> 사단 내 후송 버스 운용 체계

‘사단 외진버스’와 ‘외진버스 민간용역 사업’의 효과성을 비교하기 위해 가장 좋은 방법은 기존의 방법과 외래환자 수를 비교하는 것이다. 그러나 본 사업의 기간에는 시범사업 부대 뿐만 아니라 육군 전 부대의 의무대(대) 및 군병원의 외래환자가 지속 감소 되어 환자 수를 기준으로 효과성을 분석하기란 제한되었다. 외래환자가 감소한 요인으로는 첫째, 시범사업이 코로나19 기간과 중복되어 전반적인 외래환자가 감소하였다. 군병원은 2019년 대비 2020년 12.5% 감소, 2020년 대비 2021년은 2% 감소하였다.[13] 둘째, 민간병원 진료비 지원사업 시행으로 민간병원 이용률이 점차 증가함에 따라 사단 의무대(대)를 방문하는 환자가 감소하였다. 셋째, 병역자원의 감소에 따라 사단 의무대(대)를 방문할 수 있는 모집단의 크기가 줄어들었다. 따라서 본 연구에서는 외래환자 수를 기준으로 효과성을 분석하는 방안이 아닌, 다른 개념을 적용하여 진행하고자 한다.

1.3 연구목적

본 연구의 목적은 사단급 ‘외진버스 민간용역’ 사업의 타당성을 파악하기 위해 시뮬레이션 방법론을 적용하여 타당성 평가 결과를 도출하고자 한다. 특히, ‘기회비용’의 개념을 통해 눈에 보이지 않는 비용을 산정하여 기존 ‘사단 외진버스’ 시스템과 ‘외진버스 민간용역’ 시스템의 효과성을 비교한다. 환자가 필요 이상 사단 의무대(대)에 체류하는 시간을 부대에서 경계근무·교육훈련·작전 등의 임무를 수행하지 못하는 기회비용으로 보고, 이러한 과정을 대기행렬이론(Queueing-Theory)을 통해 시뮬레이션 결과로 도출한다. 또한, 시뮬레이션 실험으로 시스템의 변화에 따라 도출되는 정보를 통해 의료 시스템 개선방향을 제시할 수 있는 기초 자료를 제공한다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 문

헌연구와 이론적 배경에 대해 설명하며, 3장에서는 시뮬레이션 환경 및 실험에 대해 설명한다. 4장에서는 시뮬레이션 결과를 해석하며 5장에서는 연구 결론을 통해 외진버스 민간용역 사업의 효과성을 도출한다.

2. 문헌연구

2.1 기회비용

기회비용의 사전적 정의는 여러 가능성 중 하나를 선택했을 때 그 선택으로 인해 포기해야 하는 가치를 비용으로 환산한 것이다. (한국은행, 2011) 자원의 희소성이 존재하는 한 어느 한쪽을 선택할 수 밖에 없으므로, 기회비용은 반드시 발생하게 되어 있고 이는 경제문제를 발생시키는 근본요인이 된다. 기업은 기업가가 투자를 선택할 경우 포기한 나머지 선택의 가치인 투자금액의 은행예금 이자 등이 기회비용이 된다. [7]

군에서 발생할 수 있는 기회비용은 위험관리(Risk Management)와 관련 있다. 위험관리란 위험에 대응하기 위한 행동이나 조치, 위험계획, 위험식별, 위험대응 방안수립, 모니터링 등으로 구성된다. [8] 즉, 군의 위험관리는 전투력을 떨어뜨릴 수 있는 위협의 영향을 확인, 통제, 제거, 최소화하는 전체 과정이라고 정의할 수 있다. 군에서 기회비용은 항상 위험을 초래한다. 지금까지 외래진료 간 발생하는 불필요한 대기시간은 경계, 교육, 훈련, 개인임무수행의 시간이 줄어드는 기회비용을 발생시켰다.

군에서 발생 가능한 위험 요인으로는 아군의 전투준비태세가 낮아지는 것을 꼽을 수 있다. 적절한 위험관리를 통해 전투력 수준을 유지하는 군인의 본연 임무를 수행하지 못하게 된다면, 전투력 수준은 낮아지고 결국 경계실패, 작

전실패 등의 커다란 비용을 치르게 될 것이다. 여기서 적절한 위험관리란, 전투력을 유지하고 진료권을 보장할 수 있는 적절한 균형 중심점을 찾는 것이다. 본 연구는 ‘사단 외진버스’와 ‘외진버스 민간용역’ 시스템을 비교하여 어떠한 방법이 기회비용을 최소화하여 위험관리가 가능한 방안인지 살펴본다.

‘사단 외진버스’와 ‘민간용역 버스’ 경제성 비교는 육군본부 의무실에서 작성한 자료를 발췌하였다. 외진버스 민간용역과 직접운용의 소요비용은 직접운용이 월 약 250만원 적다. 산출된 민간용역 비용은 2022년 외진버스 민간용역 계약상대자인 업체에서 제출받은 자료를 검증하여 산정한 것으로 일반관리비의 간접비용과 이윤이 포함되지 않았으며, 이윤은 2022년 계약 체결을 위한 국군재정관리단 원가 산정 시 예산금액의 약 11%로 산출되었다. 직접운용의 경우 식별할 수 있는 소요 비용을 모두 포함하였으나, 군 특성상 간접비(정비 및 근무지원 등)를 산정할 수 없어 포함하지 못하였으며, 특히 선탭자 운용과 차량정비 등으로 미운영되는 점을 고려하였을 경우 민간용역과 직접적인 비용 비교는 제한된다.

군의 기회비용을 산정하기 위한 기준을 설정해야 한다. 앞서 언급한 경계, 교육훈련, 작전을 비용으로 추정하는 것은 복잡하고 제한적이다. 예를 들어 현행작전인 경계 시스템의 취약점이 발견되거나 경계작전이 실패했을 때에는 매우 큰 비용이 들어갈 것이라는 건 당연한 일이나, 그 비용을 추정하기란 매우 복잡하다. 훈련도 마찬가지이다. 평소에 받지 않은 훈련을 전쟁에서 패배했을 때, 목숨을 잃었을 때의 비용으로 추정하기란 제한적이다. 군인의 임무에 있어 기회비용이라는 것은 일반적인 의미의 기회비용보다 그 가치가 상대적으로 높으며, 산정하기 어렵다는 특성이 있다. 따라서 본 연구에서는 경계, 교육훈련, 작전 등을 하지 못하는데 발생하는 기회비용을 추정하는 데 있어서 경계작전,

전쟁 등이 실패된 경우까지 염두 하지 않고 현실에서 쉽게 이해 가능한 군인의 노무공수(봉급)을 기준으로 기회비용을 평가한다. 봉급은 군인의 기회비용을 추정하는 데 있어 가능한 비용 중 하한값(Infimum)으로 볼 수 있다.

2.2 의료서비스 대기시간

‘30분 대기, 3분 진료’는 진료를 받기 위해 의료시설을 방문한 환자들이 짧은 시간에 급하게 진료를 받는 현상을 묘사하는 말이다. [7] 구성원의 대다수가 미래세대인 군 병원 환자들은 대기시간에 대한 체감 정도는 더 민감해지고 있으며, 속도는 점점 중요한 서비스 요소가 되었다.

의료시설에서 대기시간 관련 선행연구는 다음과 같다. 조정은(2007)은 대기시간이 진료 평가과정에서 부정감정과 수용성의 매개변수로서 역할을 하는 것을 확인하였으며, 박찬권(2009)은 대기시간 중 고객만족과 서비스가치에 미치는 요인을 분석하였다. 김일권(2010)은 대기시간의 단축이 고객들의 서비스 만족을 제고시키고, 이는 서비스의 가치를 증대시킴을 확인하였으며, 정태준(2020)은 대기시간 대기줄의 밀집 정도에 따라 병원 재방문 의도를 분석하였다.

의료시설에서의 대기는 보편적이지만 환자들에게 기다림은 지루하고 때로는 시간 낭비로 간주되며, 특히 환자는 본인의 건강에 대한 염려로 심리적으로 더 불안하고, 육체적으로 불편한 상태에서 대기는 체감되는 시간의 크기는 확장된다. [9] 실제 국가인권위 군 의료체계 실태조사 결과 군 병원 이용 시 병사들에게 가장 불만족스러운 사항으로 ‘지연된 대기시간’과 ‘예약 시스템 구축 미흡’ 등이 선정되었다. [10] 따라서 의료서비스의 고객중심의 사고는 어느 서비스보다 중요하며, 대기시간의 관리는 중요한 과제이다. 육군의 시범사업으로 도입된 ‘외진버스 민간용역’ 사업은 위 언급된 문제를 해결하

는데 좋은 대안을 제공한다.

앞장에서 확인할 수 있듯이 용역버스 1대당 운용비용은 군 직접 운용보다 월 평균 약 250만원 정도 추가 비용이 발생한다. 단순 계산으로만 살펴보면 민간용역이 편리하지만, 비용은 더 비싸다고 생각할 수 있다. 하지만 기회비용의 측면에 주목하면 그 결과는 달라진다. 본 연구는 의무대(대)에서의 대기시간이라는 눈에 보이지 않는 요소를 기회비용으로 산정하여 시범사업의 효과성을 분석한다. 분석결과, 외진버스 민간용역 사업의 도입이 기회비용 감소로 경제적으로 이익을 가져오며, 앞서 언급한 대기시간이 길어짐에 따라 수반되는 문제를 해결하여 환자만족도 향상에 기여할 수 있음을 확인하였다. [11]

2.3 대기행렬이론

대기행렬이론(Queueing-Theory)은 대기행렬의 수리적 측면을 연구하는 이론이며, 대기행렬(Queue)에 도착과 대기 그리고 서비스 프로세스에 대한 수리통계적 분석을 가능하게 하는 연구 분야이다. 시스템 내의 평균 대기시간과 행렬의 길이 추정 및 서비스 품질의 예측 등을 현실을 기반한 모형의 성능을 측정하는 유용한 도구로 많은 연구가 진행되었다.[12] 해당 이론은 경영 효율화, 운영분석, 네트워크의 분석 및 설계 등 다양한 도메인에서 활용 중이며, 본 보고서에서는 의료서비스 대기시간에 따른 기회비용의 비용 대 편익분석을 분석하기 위하여 대기행렬이론을 적용하였다.

대기시간의 학술적 정의는 “서비스를 희망하는 고객이 준비가 완료된 시간부터 서비스가 시작되기까지의 시간”을 말하며, 대기는 제공자와 고객 간의 역할에 있어 고객의 기다림이 발생하는 상황이다.[13] Leclerc 등은(1995) 소비자가 처음 서비스에 도착 후 이탈까지의 단계는 크게 세 단계로 구분되며, 각 단계별에서 모

두 대기가 발생한다고 정의하였다.[9] 대기행렬은 서비스가 소비자에게 제공되기 전 단계에서 제공자의 공급에 비해 소비자가의 대기가 더 많은 비대칭적인 구조에서 필연적으로 발생하는 기다리는 열(line)을 의미한다. 군 의료시설에서 병원에서 자신의 차례를 기다리는 단계(Pre-process Phase), 진료를 받는 단계(In-process Phase), 진료 후 약(처방전) 제조 및 부대복귀 출발까지의 단계(Post-process Phase) 세 단계로 구분할 수 있다. 고객은 이러한 모든 단계에서 대기를 경험하게 된다. 이를 표로 나타내면 아래의 <표 2>과 같다.

<표 2> 의료서비스 대기 유형

유형	사 레
진료 전	접수대기 / 진료대기 / 예약대기 등
진료 중	검사대기 / 입원대기 / 결과대기 등
진료 후	처방전 제조 대기 / 투약대기 / 부대복귀 등

2.4 본 연구의 기여점

선행연구는 주로 고객이 느끼는 대기시간과 해결방안을 중점적으로 다루었다. 또한, 군병원을 대상으로 한 연구는 국군간호사관학교를 중심으로 다루어져 왔으나, 조직진단, 경영최적화 등을 중점적으로 다루었으며, 군 병원의 의료서비스 대기시간 및 경제성 분석에 관한 연구는 전무 하였다. 따라서 본 연구에서는 외진버스 용역버스 사업에 따른 사단 의무대(대)의 대기행렬 시뮬레이션을 통해 여러 대안에 따른 외래환자 대기시간의 변화를 살펴보고 그에 따른 기회비용을 산정하였다. 이를 통해 어느 대안이별 기회비용과, 대기시간을 도출하여 좋은 대안을 선택할 수 있다.. 따라서 군 의료서비스 내 외래환자의 대기시간과 관련한 불만요인을 감소시키고 의료서비스 만족을 제고하고 동시에 경제성을 확보하는 하나의 역할모델이 될 수 있다.

3. 방법론

3.1 문제정의

시범사업 이전 각 사단별 자체 운행하던 외진버스는 운전병의 기량 미숙, 병력 부족 등의 이유로 일 평균 2회 미만의 운영을 실시하였다. [14] 이는 사단 의무대(대)를 방문한 외래환자들의 불필요한 병원 내 체류시간의 증가를 가져왔다. 또한 외래진료 병력이 특정한 시간에 집중되어 진료 전 대기시간의 증가는 환자의 진료 만족도를 감소시켰다. [10]

일반적으로, 09:00에 도착한 외진버스는 승차한 모든 병력이 진료가 마무리된 이후에 부대로 복귀할 수 있었으며, 그 과정에서 점심시간 등 휴진 시간과의 중복으로 불필요 대기시간은 증가하였다. 또한, 외래진료 방문 환자들은 17:00에 소속부대로 복귀하게 되었으며, 이런 이유로 해당 환자들은 하루 근무시간 중 대부분을 부대 밖에서 보내게 된다.

근본적인 문제의 원인은 복귀 수단인 외진버스 및 대형버스 운전병 수의 부족으로 외래진료가 종료된 병력들이 불필요하게 사단 의무대(대)에서 체류하는 시간이 증가하였기 때문이다. 이는 소속 부대에서 해당 병력을 활용하여 얻을 수 있었던 기회비용 발생으로 귀결되었다.

따라서 본 장에서는 시범사업 도입에 따른 진료 후 대기시간 단축이 병력운영의 기회비용의 감소 및 의료서비스의 효율성 증진에 미치는 영향을 살펴보고자 한다.

3.2 실험계획 및 자료 수집

본 장에서는 육군 사단급 부대의 의료서비스를 제공하는 사단 의무대(대)를 모사하고 시뮬레이션을 통해서 시범사업의 효과성을 검증한다.

타당한 시뮬레이션 모형구축에 집중하여, 입력값으로 사용할 데이터의 수집에 중요성을 간과하는 경우가 발생할 수 있다. "쓰레기가 들어

가면 쓰레기가 나온다"는 GIGO(Garbage In, Garbage Out)은 데이터 분석 및 시뮬레이션 학문 분야에 자주 인용되는 문구로 양질의 입력 데이터의 중요성을 강조하는 말이다. 잘못된 가정과 입력자료로 구축된 시뮬레이션을 통해 도출된 결과는 잘못된 결론을 도출할 수 있다.

본 장에서 다루는 시뮬레이션 모형에 사용한 입력 데이터는 사단 의무대(대)의 진료시스템을 모사하기 위해 외래환자 도착시간, 평균 진료시간, 시간대별 환자의 도착비율 등의 자료를 사용하였다. 군 통계 및 과거 관찰 값을 통해 확보가 가능한 자료 외 정보는 전문가 의견 및 각 야전부대의 운영실태 조사 등을 통해 판단한 값을 사용하였다. [15]

시뮬레이션 도구는 NetLogo(ver 6.2.2)를 사용하였고, 이를 통해 사단 의무대(대) 대기행렬 이론 모형을 구현하였다. NetLogo는 다중 에이전트 프로그래밍이 가능한 모델링 환경으로, 시간이 지남에 따라 발전하는 복잡한 시스템을 모델링하는 데 적합하다.

3.3 대안 제시 및 MOP 선정

본 절에서 대안은 시범사업 도입 전 사단 외진버스를 시스템<1>, 시범사업 도입 후 외진버스 민간용역을 시스템<2-A>, <2-B>로 <표 3>과 같이 제시한다.

<표 3> 대안별 버스운영 방안

구 분	내 용
시스템 1	1일 1회 의무대(대) 도착
시스템2-A	1일 2회 의무대(대) 도착
시스템2-B	1일 3회 의무대(대) 도착

이때 시스템<2-A>, 시스템<2-B>에 적용한 환자도착의 비율은 실험 결과에 큰 영향을 주는 모수(Parameter) 값이므로 객관성을 확보하기 위하여 전문가 의견 및 7개 시범사업부대 현황조사 결과를 참고하여 반영하였다. [15] 시스템<2-A>는 1일 2회 운영하는 대안이며, 09:00 이전에 전체 환자의 70%가 도착하고, 오후 13:00에 전체 환자의 30%가 도착한다. 시스템<2-B>는 1일 3회 운영하는 대안으로, 전체 환자는 09:00 이전에 40%, 10:30에 30%, 13:00 나머지 30% 환자가 도착한다.

한편, 시뮬레이션의 성과를 측정하기 위한 기준으로 연구자는 MOP (Measure of Performance)를 제시하며, 주로 업무의 효과성을 측정하기 위한 척도로 사용된다. 일반적으로 대기행렬이론에서는 Queue 내 대기시간, 지연 시간, 대기줄의 소비자의 숫자, 특정 시점에서의 소비자의 숫자 등의 MOP를 모형의 척도로 사용한다.

본 연구에서 제시한 시뮬레이션 모형은 대안에 따른 기회비용 절감 및 의료서비스 효율성 증진 분석을 목적으로 진행되었으며, 이를 위해 ① 기회비용, ② 진료 전 대기시간의 평균, ③ 진료대기 줄 길이의 평균, ④ 진료 후 대기시간의 평균을 MOP로 선정하였다

3.3 가설 설정

군사 시뮬레이션의 구현을 통한 모의실험은 수리 및 사고적으로 설계되었기 때문에 현실과 완전하게 똑같은 모방의 한계점이 발생하므로 필연적으로 연구자의 가정이 반영된다. 본 장에서 시뮬레이션 모형의 가정은 다음과 같다.

첫째, 사단 의무대의 의료시스템은 환자 도착 시간의 간격은 포아송분포를 따르며, 의료서비스 제공시간은 지수분포를 따른다. 서비스 규칙은 진료 접수 선착순 'FIFO(First In First Out)'이며, 서버의 수는 단일서버를 가정한다. ($s=1$)

둘째, 일일 평균 외래환자 수는 3개년 사단 의무대(대) 외래환자 통계값에 따라 82명으로 가정한다. [15]

셋째, 지수분포를 따르는 서비스 제공 시간의 모수는 1회 진료당 21분을 가정하였으며 [15], 이는 군의관 진료 후 처방전 제조 등의 업무를 포함한다.

넷째, 사단 의무대에 도착하는 대부분 외래환자는 이동수단(외진 또는 용역버스)에 따라 움직이며, 개별차량 이동하는 병력과 비율은 시범사업부대 통계자료 및 전문가 의견을 반영하였다. [15] 예를 들어, 시스템<1> 기존 외진버스(운전병) 시스템상 전체 환자 중 오전에 방문하는 환자의 비율은 70%이며, 진료 시작시간 09:00 기준 오전 환자 중 60%의 환자가 도착하였고 나머지 40%의 환자는 09:00 ~ 12:00 사이에 개별적인 이동수단으로 사단 의무대(대)에 도착한다.

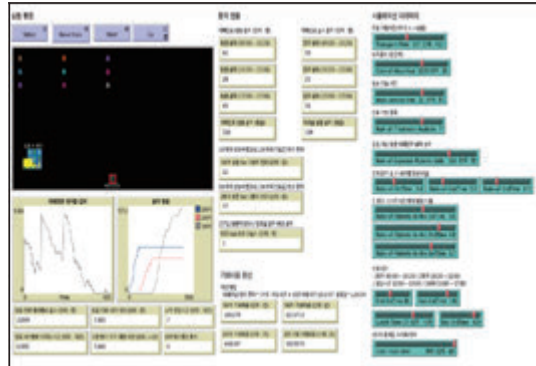
이때, 시뮬레이션의 가정사항 중 단일서버에 대한 타당성 여부에 대한 반대의견이 제시될 수 있다. 서버의 숫자를 사단 의무대(대)별 진료가능 분야에 따라 복수서버($s>1$)로 보는 것이 어찌면 더 타당할 수 있다. 하지만 군 의료기간 진료 분야별 방문 환자의 숫자 및 진료시간 등에 관한 통계적인 정보가 부재하며, 군 조직 의료서비스 이동수단은 (외진버스 또는 용역버스) 모든 환자의 서비스가 종료된 시점에 소속부대로 복귀하는 특성을 고려하여 단일서버를 가정하였다.

3.4 입력자료 수집

사단급 의무대 1일 평균 방문 외래환자 관련 데이터는 육본 의무실 현황자료를 참고하였으며, 세부 내용은 아래와 같다.

- 연도별 근무일 ('19년 247일, '20년 251일, '21년 252일)
= (3개년 근무일 수) 750일
- 일 평균 외래환자 = 82명
(432,436명 ÷ 7개 사단 ÷ 750일)

- 1시간 당 평균 진료 환자 수 = 1.67명
(82명 ÷ 7시간(근무시간) ÷ 7개 진료실)
- 환자 1명당 평균 진료 시간 = 36분
(60분 ÷ 1.67명) → ‘21분’으로 조정
- 환자 1명 당 평균진료 시간 산출결과는 9 ~ 12시, 13 ~ 17시 중 진료실에 휴진시간 없이 환자가 계속 있는 경우로 산정
- 전문가 의견을 반영하여 환자 평균 진료시간은 진료시간, 검사시간, 약 수령 시간과 군의관의 휴식시간을 고려하여 평균 21분으로 산정



<그림 3> 구축한 시뮬레이션 UI 화면

사단별 시범사업 용역버스 운용은 부대의 임무 및 지형 특성을 반영하여 운행 중이었으며, 요약 결과는 <표 4>와 같다. [15]

<표 4> 외진버스 민간용역 시범사업 버스 운용(안)

구분	도입 전	도입 후
A	-	주 5일, 2회
B	-	주 5일, 4회
C	주 3일 (월, 화, 목), 1회	주 4일, 4회
D	-	주 5일, 4회
E	주 5일, 3회	주 5일, 4회
F	-	주 5일, 4회
G	-	주 5일, 2회

3.5 시뮬레이션 실험

시뮬레이션 모형은 (M/M/1) : (FCFS/∞/∞)로 설계하였고 세 가지 대안 시스템<1>, 시스템<2-A>, 시스템<2-B>에 따라 <그림 3>과 같이 제작하였다.

시뮬레이션에서 시간의 흐름은 tick을 통하여 묘사되며, 본 모형에서는 1 tick은 현실 세계의 1분과 동일하다. 각 대안에 따른 세 가지 모형을 제작하였고, 대안별 사용한 모수값 들은 대부분 동일하나, 외래환자 도착시간 별 비율은 시범사업 실적조사에 따른 값을 반영하였다. [15] 통계적으로 유의미한 값을 추정(Estimate)하기

위하여 본 실험을 3년 근무일에 해당하는 750회 반복실험을 진행하였다.

그리고 NetLogo에서는 BehaviorSpace를 통한 통계적 반복 실험이 가능하다. Parameter - Sweepin을 통해 모델의 가능한 동작의 ‘공간’을 탐색하고 관심 동작을 유발하는 설정 조합을 확인할 수 있다. 모든 실행이 끝나면 스프레드시트 또는 시각화 응용 프로그램과 같은 다른 도구에서 열고 탐색할 수 있는 데이터 세트가 (.csv, .xlsx 등 파일형태) 생성된다.

4. 실험결과

4.1 기초통계량 분석

앞서 입력자료 수집단계에서 획득한 데이터를 기반으로 1일 8시간 단위 실험을 (근무시간 7시간 + 점심시간 1시간) 진행하여 <표 5>과 같은 결과를 도출하였다.

이때 기회비용 계산을 위한 병사 1인당 시간별 노무공수는 계급별 복무기간 및 봉급, 월 근로시간을 고려한 가중평균값인 2,844원을 적용하였다. 계급별 복무기간 및 봉급은 2022년 기준 이병(510,000원/2개월), 일병(552,100원/6개월), 상병(610,200원/6개월), 병장(676,100/4개월)을 적용하였다.

4.2 비용절감 측면

대안별 1일 기회비용의 비교를 위한 산출식은 다음과 같다.

$$\text{1일 기회비용} = \text{외진 환자 수} \times (\text{차량이동 시간}^* + \text{병원체류 시간}^{**}) \times \text{노무공수}$$

- * 차량이동 시간 : 모든 시스템 고정 (40분)
- ** 병원체류 시간 = 진료 대기시간 + 점심시간 (1시간) + 복귀 대기시간

<표 5>의 결과를 살펴보면 시범사업 도입 전 각 부대별 외진버스(운전병) 체계에서는(시스템<1>) 1일 평균 약 219.2만원의 기회비용이 발생하였음을 알 수 있다. 이는 A사단에서 1일 평균 82명의 환자들이 의무대 진료를 위해 이른 오전 부대에서 출발하여 늦은 오후에 복귀하는 과정에서 장기간의 부재가 발생 하였으며, 그 시간을 노무공수 2,844원을 적용한 비용이 219.2만원이다. 이 금액은 병력공백에 따른 작전 및 부대운용의 제한이 제외된 하한값의 환산액임을 감안하면 시범사업 도입 전 체계에서는 큰 기회비용이 발생하였음을 알 수 있다. 추가로 최근 병사월급은 꾸준히 증가하고 있으며, 2025년에는 '병사 봉급 + 자산형성 프로그램'을 통해 월 200만원에 도달할 것으로 예상

된다.[16] 그렇다면 본 논문의 노무공수 기준금액 2,844원의 약 3배가 되므로 제시한 기회비용의 절감효과는 더 커질 것이다.

한편, 시스템<1>에서는 진료 후 사단 의무대(대)에서 체류하는 시간이 약 4.49시간으로 계산되었는데, 이는 단체 출발, 복귀를 가정한 군 의료시스템의 특성이 반영된 결과이며, 앞 장에서 언급한 기존의 사단 외진버스(직접운용) 시스템은 자원의 한계에 따른 운행 횟수 제한의 결과로 해석할 수 있다.

반면, 민간용역 버스가 도입된 시스템<2-A>, 시스템<2-B>의 실험결과를 살펴보면 상당한 개선효과가 발생하였음을 확인할 수 있다. 현 시범사업을 진행중인 7개 부대는 각 부대의 지형 및 임무특성에 맞추어 <표 4>처럼 일 평균 3~4회 용역버스를 운영하고 있다. 일일 1회 더 많은 운행횟수를 반영한 시스템<2-B>가 시스템<2-A>보다 더 많은 기회비용의 절감을 가져오는 것으로 확인하였다. 하지만 그 차이가 시스템<1>과의 차이처럼 극단적으로 크지 않았음(일 평균 17.4~20.6만원)을 알 수 있다. 이는 추가적인 이동수단의 투입으로 인하여 진료가 완료된 환자들이 불필요하게 병원에서 체류하는 시간이 획기적으로 감소한 결과이며, 특히 외래진료 방문 환자의 숫자는 적지만 진료

<표 5> 실험결과 기초통계량 값

구 분	시스템<1>	시스템<2-A>	시스템<2-B>
총 기회비용 점 추정값 (단위 : KRW)	2,494,324	1,331,598	1,135,115
총 기회비용 95% CI (단위 : KRW)	[2,481,667, 2,506,981]	[1,330,606, 1,331,530]	[1,121,146, 1,149,084]
진료 전 대기시간 (단위 : 분)	12.343	7.89	4.89
대기줄의 길이 (단위 : 명)	2.48	1.59	0.89
진료 후 병원 체류시간 (단위 : 시간)	4.47	1.94	1.32

시간은 더 긴 오후에 진료 대기줄을 감소시킴으로써 효과를 발휘하였다. 개선된 시스템 <2-A>, 시스템<2-B>는 과거의 시스템<1>에 비하여 일 평균 각각 1,012,021원, 1,202,414원의 경제적 이익이 발생하였으며, 연 근무일 270일, 시범사업부대 7개를 적용하면 연간 약 22.3억~23.1억원의 기회비용 절감이 가능하다. 본 사업은 지속 사업으로서 2025년까지 육군 14개 부대로 확대 운영될 예정이며, 그에 따른 경제적 이익은 부대별 병력 수에 비례하여 선형적으로 증가할 것이다.

4.3 환자만족도 향상 측면

국가인권위 군 의료체계 실태조사에서 꼽은 장병들의 의료시스템 불만족 사항 1위는 ‘긴 대기시간’이었다.[10] 환자의 만족도는 다소 주관적인 감정이며 객관화 및 정량화하는 것은 측정의 척도를 구성하는 것에 의존하므로 별도의 사회과학 분야 연구주제가 될 수 있다. 본 연구는 시범사업의 경제적 효과성을 중심으로 다루었지만, 구축한 군사 시뮬레이션을 통하여 대기행렬에(Queue) 머무르는 시간이 수치로서 제시되기에 대안별 고객 만족도의 변화를 간접적으로 예상할 수 있었다.

<표 5>의 진료 전 대기시간, 대기줄의 길이, 진료 후 체류시간의 실험결과를 살펴보면 시스템<1>은 진료 전 평균 12.28분을 대기하였고, 진료 대기줄에 2.48명이 있으며, 진료가 종료된 후 부대로 복귀하는 외진버스에 탑승하기전까지 4.49시간을 대기하였다. 외진버스의 경우 오전에 사단 의무대에 병력들을 후송해준 이후 소속 부대에 복귀하여 다른 배차 임무를 수행하거나, 정비 및 기타 사유로 복귀시간을 명확히 단정하기 힘든 경우가 많은 야전부대의 현실을 고려하면 타당한 수치로 볼 수 있다. 반면 용역버스 도입 후 개선된 시스템<2-A>, 시스템<2-B>에서는 상당한 개선 효과를 확인할 수

있다. 진료 전 대기시간은 7분 이상, 진료 대기줄은 2명, 진료 후 체류시간은 2시간 이상 감소하였다. 이는 앞서 언급한 기회비용의 절감에 따른 경제성 측면뿐만 아니라 병사들 개개인의 군 의료시설에 대한 환자만족도의 상당한 향상을 예상해볼 수 있다. 비록 절감된 대기시간에 따른 정량화 된 환자만족도 상승의 수치를 제시할 수는 없지만, 직관적인 통계적 수치만을 통해서도 의미 있는 결과를 도출할 수 있었다.

5. 결론

본 연구는 시뮬레이션 방법론을 통해 사단 의무대(대) 외진버스 민간용역 사업 효과성을 분석하였다.

시뮬레이션 모델링은 총 3가지 유형으로 진행했으며, 유형별 차이점은 1일 사단 외진버스 운행횟수이다. 시뮬레이션 결과 진료 전 대기과 진료 후 부대로 복귀하는 총 대기시간이 시스템<1>에 비해 시스템<2-A>, 시스템<2-B> 모두 감소하였다. 기회비용은 시스템<1>에서 시스템<2-B>로 변경 시 연간 약 22.3억 ~ 23.1억원의 기회비용을 절감할 수 있다.

이번 연구는 정부의 예산을 지원받은 육군이 일부 부대를 대상으로 시행한 시범사업에 대한 효과성 분석이다. 만약, 이 시범사업이 확대되어 전 군에 적용된다면, 군 장병들은 민간사회와 같이 많은 편익을 누릴 수 있게 될 것이다. 그 대표적인 예가 BIS(Bus Information System)이다. [17]

BIS는 수신기와 무선통신 장치를 통해 버스의 실시간 운행상황을 파악하고, 버스위치, 운행상태, 배차간격, 도착예정시간 등의 정보를 운수회사가 시민들에게 제공하는 시스템이다. 도입 사례로는 2004년 서울시 시내버스 운행노선 개편이 있다.

서울시 시내버스와 같은 BIS가 군에 적용된다면, 미래세대의 일원인 군 장병들은 자율이 보장된 여건 속에서, 능동적이고 생산적인 군 복무를 할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 통계청, 2021 병무통계연보 2022
- [2] 국방부, '22~'26 국방부 중기계획, 2022
- [3] 국방부, 훈령 제1945호 국방 환자관리 훈령
- [4] 육군본부 분석평가단, 사단급 이하 기능 조정 사업분석 결과, 2020
- [5] 김광환, 사단 내 외진버스용 민간버스 용역 도입에 대한 효과분석, 2020
- [6] 육군본부 의무실, 사단 외진버스 민간 용역 사업설명 참고자료, 2021
- [7] 한국은행, 경제용어사전
- [8] 국방기술진흥연구소, 국방과학기술용어사전
- [9] 박찬권 등, 의료서비스에서 고객 만족도 제고를 위한 대기시간 관리에 관한 사례 연구, 병원경영학회지, 14, 3, pp. 132-153, 2009
- [10] 국가위원회, 장병 건강권 보장을 위한 군 의료체계 실태조사, 2020
- [11] 고성혁, 병역자원 감소에 따른 한국군 병력구조 개편 발전방향 연구, 한국군사, 8, pp.185-211, 2020
- [12] Ross, S., "Introduction to Probability Models, 11th edition", Elsevier Inc, pp.411-470, 2016
- [13] Taylor *et al.*, Waiting for Service : The Relationship Between Delay and Evaluation of Service, Marketing, Vol. 55, No. 2, pp.56-59, 1994
- [14] 육군본부 의무실, 사단 의무대 외진 용역 버스 사업 현황 및 실적조사, 2022
- [15] 육군본부 의무실, 사단 의무대 외진 용역버스 사업 현황 및 실적조사, 2022
- [16] 김나경, '내년 '병사월급 200만원' 시대 열리나.. 인수위·민주당 속도전, 파이낸셜 뉴스, 2022, <https://www.fnnews.com/news/202204191645364295>
- [17] 서울정책아카이브, 서울 지능형교통체계(ITS) 서울 TOPIS, 2016

저 자 소 개



박병호(E-mail: pbhbh0307@gmail.com)
2014 육군3사관학교 상담심리학과 학사
현재 국방대학교 군사운영분석전공 석사과정
관심분야 : 인공지능, 시뮬레이션



변재현(E-mail: uce03211@gmail.com)
2014 육군사관학교 지역연구학과 학사
현재 국방대학교 군사운영분석전공 석사과정
관심분야 : 강화학습, 객체인식 시뮬레이션



조윤환(E-mail: boxer4090@naver.com)
2014 육군사관학교 운영분석학과 학사
현재 국방대학교 군사운영분석전공 석사과정
관심분야 : 최적화, 시뮬레이션



배경기(E-mail: loda2001@daum.net)
2001 육군사관학교 무기공학과 학사
2011 서울대학교 보건대학원 석사
현재 국군의무사령부 정작과장
관심분야 : 보건정책



김연우(E-mail: kywboom@naver.com)
2013 육군3사관학교 화학환경과학과 학사
관심분야 : 군 의료, 보건통계



이문걸(E-mail: bombslee@naver.com)
1995 공군사관학교 산업공학과 학사
2004 미국 Naval Postgraduate School
Operation Research 석사
2009 서울대학교 산업공학과 박사
현재 국방대학교 군사운영분석전공 교수
관심분야 : 군사 OR 응용연구, 대형문제
최적화, 무기체계 효과분석,
국방분석평가



조남석(E-mail: ncho64@gmail.com)

2002 육군사관학교 전산학과 학사

2007 미국 공군대학원 운영분석 석사

2016 미국 위스콘신대학 산업공학 박사

현재 국방대학교 군사운영분석전공 부교수

관심분야 : 최적화, 시뮬레이션

근접전투 부대의 드론 전력화 분석

A Research of Fielding Drones for Close-Combat Unit

박희정¹⁾ · 신진²⁾

Heejeong Park · Jin Shin

ABSTRACT

A Method of reasonably weaponizing drone was studied for echelons below the level of the Korean Ground Forces battalion. To this end, the effectiveness and limitations of drones were identified by visiting field units, and the differences were analyzed by comparing the development trends of the U.S. and Israel, which are advanced countries in the drone field, with the 2021 drone weaponizations master plan established by the Republic of Korea Army. In addition, the current status of weaponizations in the United States and Israel was reviewed, and drone operation strategies for each recent war case were analyzed. Based on this, the purpose of drone operation and required capabilities were derived based on the mission of the battalion and enemy threats, and the requirement for drone weaponizations for each echelon was suggested.

Key Words: Close Combat Unit, Military Drone, Fixed Wing Drone, Rotary Wing Drone, Drone for Attack, Drone for Reconnaissance

논문접수일 : 2022년 11월 25일, 심사일 : 2022년 11월 26일, 게재확정일 : 2022년 12월 5일

1) 주저자, 충남대학교 대학원 군사학과 박사과정

2) 교신저자, 충남대학교 대학원 정치외교학과 교수, jinshin@cnu.ac.kr

1. 서론

1.1 연구목적

최근 아제르바이잔-아르메니아 전쟁과 우크라이나-러시아 전쟁을 통하여 드론의 위력이 크게 부각 되었다. 우리 육군도 2021년 3월에 「육군 드론 전력화 마스터플랜」³⁾을 수립하고 약 50종의 드론을 식별하여 제대별 전력화 방향을 대외적으로 발표하였다.

본 연구는 대대급 이하 근접전투 부대에서 드론을 효율적으로 사용하여 효과를 최대화 할 수 있는 방안을 연구 분석하고자 한다. 본 연구는 軍의 미래 전력에서 드론사용에 당면한 과제를 해결하고자 한다. 첫째, 드론의 효용성과 한계의 문제 둘째, 기존 재래식 무기와의 중복성 문제 셋째, 드론 분야 군사선진국의 개발 및 운용 동향과 비교하여 세계적인 추세와의 차이점 넷째, 드론 전력화에 대한 제대별 운용목적의 적합성 다섯째, 드론 사용에 대한 운영인력 증가와 제대별 운영유지 능력 등이다. 본 연구는 근접전투 부대에서 소형드론으로 드론이 가지고 있는 장점을 최대한 활용하여 전력을 극대화할 수 있는 방안을 분석한다.

1.2 연구범위 및 방법

본 연구범위는 여단급 이상 대부대를 제외하고 대대급 이하 소부대를 대상으로 전력화 방안을 제시할 것이다. 2장에서 드론의 효용성과 한계에 대하여 자료수집과 전투실험, 현장방문 결과를 기초로 제시하고, 3장에서는 제인연감 [1]을 기초로 美·이스라엘 등 군사선진국과 한국의 개발 및 운용 동향을 파악하여 '21년 마스터플랜과 비교하여 차이점을 확인할 것이다. 그리고 美·이스라엘의 현재 전력화 현황을 검

토하고 전쟁사례별 드론운용 전략을 분석할 것이다. 4장에서 대대의 임무와 적 위협에 기초하여 작전 요구사항을 분석하고 전투실험 결과를 기초로 대대급 이하 제대의 운용목적과 요구능력을 도출하여 드론 전력화 소요를 제시할 것이다. 5장에서 결론을 제시하여 마무리 할 것이다.

2. 군사작전용 드론의 종류와 효용성

드론의 종류와 형태, 그리고 효용성과 한계에 대하여 살펴본다.

2.1 드론의 종류

美 국방부는 군사용 드론의 명칭을 'Q'는 무인기, 'R'은 정찰용 (Reconnaissance), 그리고 'M'은 다목적용 (Multi-role)으로 구분하고 있으며[2], 우리 한국 국방부는 정찰용, 공격용, 지원용으로 분류하고 있다.[3]

정찰용 드론은 정찰을 목적으로 하며, 실시간 타격능력 향상을 위해 작전지역에 대한 감시·정찰, 표적획득, 피해평가 등에 사용된다. 드론에 장착한 EO (Electrical Optical) 및 IR (Infrared) 센서를 이용해 사진, 동영상 및 적외선 이미지를 실시간 지상 통제기로 전송해 주기도 한다.[4]

공격용 드론은 레이더, 탄도미사일, 전차 등 표적을 파괴하는 역할을 수행하며[5], 무장형은 회수하여 재무장할 수 있는 반면, 자폭형은 소모성 탄약과 같이 사용하여 재사용이 불가하다.

지원용 드론은 전자전, 기만용 외에도 비전투적인 임무장비 (화생방 탐지·제독, 지뢰탐지·제거, 물자수송, 제조, 기상관측, 조명·방송, 중요시설 경계)를 장착하여 운용하는 드론이다.[6]

3) 육군교육사령부는 '21년 3월 부대유형별 제대별 약 50종의 드론전력 소요를 식별하여 '21. 4월 육군 AI·드론봇 콘퍼런스에서 공개하였다.

2.2 드론의 형태

드론의 날개형태에 따라 고정익과 회전익으로 분류할 수 있다.[7] 고정익 드론은 추력 및 양력발생 장치가 분리되어 전진방향으로 가속을 얻으면 고정익에서 양력이 발생되어 비행한다. 기체구조가 단순하고 고속, 고효율 비행이 가능하며, 활주로, 발사대, 투척형, 캐니스터, air-drop 등 다양한 이륙방식이 있다.[8] 최근에는 틸트로터, 리프트&크루즈 형태의 수직이·착륙 방식도 개발되고 있다. 고정익 고속순항과 수직이·착륙 능력을 모두 갖추고 있는 반면 복잡한 구조로 인해 조종 및 운용이 어렵고 고가의 제작비와 에너지 효율 저하는 단점으로 판단된다.[9]

회전익 드론은 수직이·착륙과 호버링이 요구될 경우 유리하여 항공촬영, 소방방재, 감시정찰, 디지털 맵핑 등에 활용된다. 다만 비행효율, 속도, 항속거리 등은 고정익보다 불리하다.[10] 형상으로는 로터형, 멀티콥터형, 덕트형, 헬기형 등이 있다.

멀티콥터는 헬기형과 비교하여 구조가 간단하며, 모터에 프로펠러를 직접 연결하고 모터가 다수인 경우 1~2개 고장이 나서 멈춰도 잔여 모터를 이용하여 착륙할 수 있으므로 안전성이 뛰어나다. 조종 및 제어가 우수하며, 소음과 진동 또한 적은 편이다. 반면 속도가 제한되어 기동성이 떨어지며, 비행시간과 운용반경 또한 적고 배터리 사용으로 탑재중량이 적은 것이 단점이다.[11]

2.3 비행거리에 따른 분류

<표 1>과 같이 비행가능 거리에 따라 근·단·중거리 드론, 그리고 장거리 드론으로 분류할 수 있다. 본 논문에서는 한국육군의 제대별 작전지역을 준용하여 아래와 같이 3개 제대로 나누어 분석할 것이다.

<표 1> 비행거리별 분류와 작전반경 고려 제대분류[12]

비행거리별 분류		조정 (국방개혁2.0참고)	
비행거리	분류	작전반경	제대
20km이하	근거리	20km이하	대대이하
60~100km	단거리	20~80km	사·여단
100~200km	중거리	80~150km	군단/ 작전사
200~500km	장거리	150~350km	

<출처: Jane's All the World's Aircraft Unmanned, 2022>

2.4 군사적 관점에서 드론의 효용성

드론이 첨단 무기체계로서 각광을 받고 있는 것이 사실이며, 최근 전장에서 대단한 성과를 거둔 것 또한 사실이다. 그러나 드론이 만능이 될 수 없으며, 그 효용성을 확인하여 적재적소에 사용해야 할 것이다.

美 국방부에서는 고위험 지역에서 인명손실 예방과 관심지역에 대한 감시정찰, 전투원에 대한 작전지원 등의 이유로 무인체계에 대해 상당한 비전을 갖고 있다.[13] 2021년 국회 사무처 주관의 정책연구[14]에서는 인명손실 최소화, 전투의 효율성 증족, 레이더 탐지 확률 감소, 작고 가볍고 저렴하여 격추되더라도 부담이 적고 인명손실이 없기에 중심지역에 대한 과감한 정찰감시 비행을 할 수 있다고 본다. 또한 대형 항공기에 비해 좁은 지역에서도 운용이 가능하며, 조작이 용이하여 단기간 교육으로 임무수행이 가능하다. 무엇보다 원거리 정찰감시와 동시에 공격용 드론과 연계하여 실시간 타격함으로써 Sensor to Shooter가 가능하다고 분석하였다. 대부분 개발비용이 유인기에 비해 저렴하여 경제성이 우수하고, 적 방공망 교란과 기만으로 아군 유인기의 비행을 지원하고 무장·자폭형 드론으로 적 레이더를 제압하여 공중 우세권을 도모할 수 있다고 보고 있다.

2.5 군사용 드론의 한계

美軍이 무기체계를 무인화하면서 우려하는 부분은 첫째, 무인체계를 운영하는 인력운영비이다. 체계를 운영하는 총 비용에서 가장 큰 비중을 차지한다. 둘째, 무인체계를 운영하면서 인력소요가 더 필요하다는 딜레마를 깨달았다. 현재 무인기 조종사는 각자 한 대의 무인기를 조종하는데, 향후 소수 인원이 다수의 무인전투체계를 운용할 것을 예측하기 어렵다고 본다. 셋째, 조종사는 드론이 임무 중일 때 수 시간 동은 화면을 쳐다보고 있어야 한다.[15]

기상 측면에서 황사, 하계 폭우와 낙뢰, 폭설 등은 드론 운용에 제한을 주며, 정비소요 증대, 수명단축, 그리고 악기상은 표적식별에 정확도와 신뢰를 크게 저하시킬 것이다. 드론의 계획 대비 가동률이 대략 절반에도 미치지 못하는 실정이다.[16] 실제 야전부대 현장 방문시 드론 운용자와 인터뷰를 통해 확인한 결과 정풍 9m/s, 측풍 5m/s 이상의 풍속과 안개, 강우에서는 운용에 제한을 받고 있었다. 2014년~2018년 5년간 軍 무인기 추락현황 분석에서는 조종자 운용미숙이 40%, 장비결함 28%, 기상 16% 順으로 추락의 주요 원인을 꼽고 있다.[17] 따라서 전천후 작전수행이 제한되므로 이는 치명적인 결점이 될 것이다.

그리고 . 야전부대와 美軍의 관계자와 인터뷰 결과 정찰·감시를 통한 표적획득 시 표적좌표의 신뢰성이 높아야 화력요청 수단으로 사용할 수 있는데, 소형 정찰무인기의 경우 아직은 탑재 가능한 센서의 성능을 볼 때 신뢰성이 그리 높지 않은 실정이다. 표적좌표 획득 후 다양한 감시수단과 연계하여 보정활동이 동반되어야만 화력요청 수단으로 활용할 수 있다는 것이 드론 운용자의 변이다. 美軍조차도 여단급 제대에서 운용하는 중거리 무인정찰기 이상부터 화력요청 수단으로 인증하고 대대급 이하 제대 무인정찰기는 이동표적에 대한 추적관리와 상급부대 첩보제공 용도로 활용하고 있다.

3. 군사선진국 드론 개발·운용 동향분석

3.1 美·이스라엘과 한국의 드론 개발현황 비교

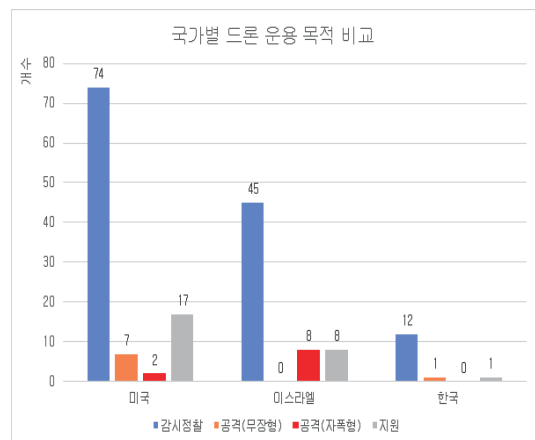
군사선진국의 드론 개발·운용 동향을 파악하기 위하여 드론 분야 최고 선진국인 미국과 이스라엘, 한국의 개발현황 데이터를 제인연감(출처: Jane's All the World's Aircraft Unmanned, 2022)에서 수집하여 비교 분석하였다.

3.1.1 운용목적과 공격형태 비교

‘22년 제인연감에 의하면 <표 2>와 같이 美·이스라엘, 한국 모두 정찰용 드론을 가장 많이 개발하고, 다음으로 지원용, 그리고 공격용 드론 順으로 개발 중이다.

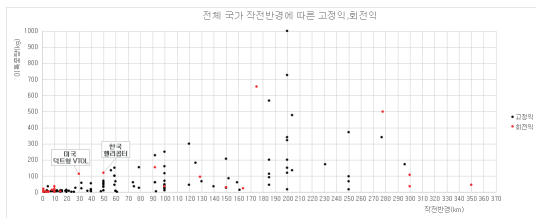
<표 3>과 같이 회전익은 대부분 근거리에서 운용하고, 고정익은 쏠 구간에서 운용하나 좁은 공간에서 이·착륙 또는 특정한 지점에서 호버링이 필요한 다목적 드론의 경우 장거리에서도 회전익을 운용하기도 한다.

<표 2>국가별 드론의 운용목적 현황



<출처: Jane's All the World's Aircraft Unmanned, 2022>

<표 3>작전반경과 드론형상 비교



<출처: Jane's All the World's Aircraft Unmanned, 2022>

<표 4>와 같이 美 육군은 80km 이하의 근·중거리에서 자폭형 공격드론을 개발하고, 80 km 이상의 장거리에서 무장형을 개발하고 있다. 이스라엘은 근거리부터 장거리 쏠 구간에서 자폭형 공격드론을 개발하여 개발하여 운용하고 있다. 즉 미국과 이스라엘 모두 근거리와 중거리에서 모두 자폭형 공격드론을 개발·운용하고 있음을 확인할 수 있다.

<표 4> 작전반경과 공격형태

구 분		근거리	중거리	장거리
미국	자폭형	1종	1종	0
	공격형	0	0	6종
이스라엘	자폭형	3종	1종	4종
	공격형	0	0	0

<출처: Jane's All the World's Aircraft Unmanned, 2022>

3.1.2 근·중·장거리 드론 운용 플랫폼 특성 분석

작전반경 20km 이하 근거리에서 운용목적은 <표 5>와 같이 정찰 78%, 공격 6%, 지원 16%를 운용하고 있다. 지원용은 맵핑 5종, 화생방탐지 2종, 인명구조 3종, 통신중계 1종이다.

<표 5> 근거리 드론 운용목적 현황

구 분	계	정찰용	공격용	지원용
계 (비율)	72종 (100%)	56종 (78%)	4종 (6%)	12종 (16%)
미국	50종	40종	1종	9종
이스라엘	16종	11종	3종	2종
한국	6종	5종	0종	1종

<출처: Jane's All the World's Aircraft Unmanned, 2022>

근거리에서의 드론 플랫폼은 고정익 70%, 회전익 30%를 운용하고 있다. 고정익은 투척형 이륙방식이 46%로 가장 많고, 이륙중량이 무거우면 발사대 이륙방식을 적용하고 있으나 점차 감소하는 추세이다. 캐니스터 발사방식은 모두 자폭형 공격드론에만 적용 중이다. 그리고 VTOL(수직이착륙)은 美 해군의 정찰용 또는 지원용(맵핑)으로 운용하고 있다. 멀티콥터는 미국과 이스라엘 모두 작전반경 10km 이하에서 운용하며 단, 트윈로터는 자폭형 공격드론으로 15km까지 운용할 수 있다. 헬기형은 미국에서 지원용(맵핑)으로서 수직이·착륙과 호버링이 필요한 경우 운용한다. 덱트형 3종은 美 해군과 해병대, 육군에서 정찰과 통신중계 목적으로 2005년에 개발되었다. 한국은 근거리에서 발사대 방식과 작전반경 10km 이하에서 멀티콥터와 투척형 이륙방식을 적용하고 있다.[18] 근거리 공격용 드론의 경우 미국과 이스라엘 모두 자폭형이며, 미국이 공압식 캐니스터 방식을 적용하고, 이스라엘은 캐니스터 1종, 멀티콥터 2종을 개발하여 운용 중이다. 보다 먼 거리에서 캐니스터형을, 보다 가까운 거리에서 멀티콥터형을 적용한다.

중거리(20~80km)에서 <표 6>과 같이 정찰 77%, 공격 6%, 지원 17%를 운용하고 있다. 지원용은 맵핑 3종, 화생방탐지 1종, 수송 1종, 인명구조 1종 등 6종이 있다.

<표 6> 중거리 드론 운용목적 현황

구 분	계	정찰용	공격용	지원용
계 (비율)	35종 (100%)	27종 (77%)	2종 (6%)	6종 (17%)
미국	16종	11종	1종	4종
이스라엘	13종	10종	2종	2종
한국	6종	6종	0종	0종

중거리 드론 플랫폼 형상은 고정익 94%, 회전익 6%로 고정익이 대부분이다. 작전반경 59km 이하 또는 이륙중량이 가벼운 경우 투척

형 이륙방식을 적용하고, 작전반경과 이륙중량이 증가할수록 발사대 또는 활주로 이륙방식을 적용한다. 캐니스터 방식은 자폭형 공격용으로만 운용되며, VTOL방식은 2015년부터 이스라엘과 미국 해군에서 정찰용으로 개발하였다. 덕트 형상은 1996년에 시험비행하였으나 도태되었고, air-drop은 운용반경 79km의 「과인더」로서 화생방탐지용으로 운용되고 있다.[18] 이스라엘은 2010년 이후 활주로보다 발사대 또는 캐니스터를 선호하는 추세이다. 중거리 공격드론은 모두 캐니스터형 고정익 자폭드론이다. 미국은 자폭형 2종이 도태되어 현재 1종만 운용하고 이스라엘도 캐니스터형 자폭드론을 운용하고 있다.

장거리에서는 <표7>과 같이 정찰 77%, 공격 18%, 지원 13%를 운용하고 있다. 공격용과 함께 전자전,기만용, 맵핑용, 전기선 점검과 인명구조 등 지원용 드론도 적극적으로 운용하고 있다.

<표 7> 중거리 드론 운용목적 현황

구 분	계	정찰용	공격용	지원용
계 (비율)	35종 (100%)	27종 (77%)	2종 (6%)	6종 (17%)
미국	16종	11종	1종	4종
이스라엘	13종	10종	2종	2종
한국	6종	6종	0종	0종

<출처: Jane's All the World's Aircraft Unmanned, 2022>

장거리 드론의 플랫폼 형상은 고정익 82%, 회전익 18%를 개발하여 운용하고 있다. 활주로·발사대 이륙방식의 고정익이 대부분이며, 기체형상이 크고 이륙중량이 무거울수록 활주로 방식을 선호한다. VTOL은 美 해군과 해병대에서 해상 감시정찰을 위해 함상에서 운용하고 있다. air-drop은 이스라엘이 유인기와 함께 기만작전용으로, 미국은 정찰용으로 운용하되 유·무인 복합으로 수행하고 있다. 헬기형은 美 육군과 해군, 해병대, 특수전 부대에서 표적확보

와 BDA, 정찰과 인명구조 및 맵핑, 전선·파이프라인 검사, 지뢰탐지 등 지원용과 공대지 로켓무장 등 다목적 용도로 운용하고 있다.[18] 공격용 드론은 이스라엘이 로켓추진과 캐니스터 방식의 고정익 자폭형드론을 운용하고 있는 반면 미국은 장거리에서 모두 무장형을 운용하며, 육군 특수전 부대와 해군에서 지뢰탐지와 해양감시, 파이프라인 검사를 병행하여 공대지 로켓을 무장한 다목적 헬기형 드론 3종을 운용하고 있다. 미국은 고성능 高價의 무장형 드론을 공군과 지상군 대부대에서 운용하고, 이스라엘은 상대적으로 작고 가벼우며 저가로 생산하여 제공권 장악을 위한 방공무기 제압을 위해 자폭형을 선호하고 있다.

3.1.3 '21년 드론 전력화 마스터플랜 분석

다음은 위에서 분석한 결과를 바탕으로 한국 육군의 드론 전력화 마스터플랜에서 드론의 플랫폼 형상을 비교분석한 결과이다.

근거리에서 군사선진국이 고정익 70%, 그 중 투척형이 47%인 반면, 韓 육군은 회전익이 92%, 그 중 멀티콥터가 88%이다.(출처: Jane's All the World's Aircraft Unmanned, 2022) 선진국은 작전반경 10km 전·후에서 에너지 효율이 뛰어난 고정익을 선호한다. 공격형태도 美·이스라엘이 근거리에서 작고 가벼운 자폭형인데 비교하여 韓 육군은 이륙중량이 30~40kg 이상의 무장형 드론을 소요로 식별하고 있다. 선진국은 작전반경 10km 이상에서 발사관 방식을, 5km 이내에서 멀티콥터형 자폭드론을 운용한다.

중거리에서 선진국이 고정익 발사대 이륙방식을 위주로 적용하나, 韓 육군은 사·여단에 VTOL 방식의 전력화를 추진할 예정이다. 공격형태도 美·이스라엘이 모두 발사관식 자폭드론을 운용하는 반면, 韓 육군은 사·여단급에 차량탑재형 다중 발사관 방식의 공격드론을 전력

화할 예정이다.

장거리에서 선진국은 발사대 또는 활주로 이륙방식의 고정익이 대부분이며, 韓 육군도 활주로 이륙방식을 전력화할 계획이다. 공격형태는 美 사단급에서 무장형 드론, 이스라엘은 모두 자폭형 드론이며, 韓 육군은 작전사에 무장형, 자폭형, 미사일 발사식 자탄드론 등 3종과 군단급에서 자폭형 중형 공격드론 등 다양한 플랫폼을 고려하고 있어 선진국과 상이한 측면이 있다.

3.2 美·이스라엘 전력화 현황

3.2.1 美 육군의 드론 전력화 현황

미국은 <표 8>과 같이 사단급에 다목적 무장형 고정익 드론을 운용하고 여단급 이하 계대에서 정찰용 드론 위주로 전력화되어 있다. 여단급 이상 계대는 발사대 또는 활주로 이륙방식의 고정익을 운용한다.

<표 8> 美 육군 드론 전력화 현황

구 분	운용 목적	드론 명칭	플랫폼 특성	
			형상	이·착륙
장거리	정찰 공격	GrayEagle (MQ-1C)	고정익	활주로
중거리	정찰	RQ-7/Shadow	고정익	발사대
	정찰	Puma	고정익	투척형
	공격	스위치블레이드 600	고정익	발사관
	공격	Phenix Ghost	고정익	발사관
근거리	정찰	Raven	고정익	투척형
	정찰	Skydio	회전익	멀티콥터
	정찰	Black Hornet	회전익	헬기형
	공격	스위치블레이드 300	고정익	발사관

<출처: 드론봇전투체계 운용개념서 3.0, 한국육군, 2022.>

대대급~중대는 운용반경 10km 이상으로서 투척형 고정익 정찰드론을 운용하고 소대급 이하는 회전익 정찰드론을 운용한다. 근·중거리 공격드론은 발사관형 자폭드론이며, 장거리는 무장형 공격드론을 운용한다. 특히 소형 공격무인기는 현재 특수전 부대를 대상으로 제한적으로 운용 중이다.

美 육군은 대대급 이하 계대가 근접지역에서 효과적인 작전을 수행함으로써 다영역작전에 기여하기 위하여 ‘소형무인기 전략’[18]을 수립하였다. 여기서 대대급 이하 계대 드론 전력화 방향을 작고 가벼우며 저렴한 소형무인기를 획득하되, 드론 운용부대는 자체적으로 부품교체, 시스템 수리 및 정비가 가능하도록 요구하고 있다.

3.2.1 이스라엘 드론 전력화 현황

2022년 제인연감에 의하면, 이스라엘은 <표 9>와 같이 근·중·장거리에서 각각 정찰용과 공격용 드론을 병행하고 있으며, 중·장거리에서 발사관 또는 발사관 이륙방식의 고정익을 운용하고, 10km 이하 근거리에서 투척형 고정익과 멀티콥터형 회전익을 병용하고 있다. 또한 공격용 드론은 근·중·장거리에서 모두 자폭형 드론이며, 근거리에서 회전익을, 중·장거리에서 발사관 이륙방식의 고정익을 운용하고 있다.

<표 9> 이스라엘 드론 전력화 현황

구 분	운용 목적	드론 명칭	플랫폼 특성	
			형상	이·착륙
장거리	정찰	Searcher2 (공군)	고정익	발사대
	정찰	Skylark3 (여단급)	고정익	발사대
	공격	HERO-250	고정익	발사관
중거리	정찰	Skylark2 (여단급)	고정익	발사대
	공격	Green Dragon Me	고정익	발사관
	공격	HERO-120	고정익	발사관
근거리	정찰	Skylark1 (대대급)	고정익	투척형
	정찰	MAGNI (중대급)	회전익	멀티콥터
	공격	Rotem L (1명 운반)	회전익	멀티콥터

<출처: 드론봇전투체계 운용개념서 3.0, 한국육군, 2022.>

3.3 전쟁사례별 드론운용 전략

3.3.1 걸프전~돈바스戰 장거리 정찰

드론 운용, 근·중거리에서 정찰

드론으로 확대 운용

걸프전에서 美 해군·해병대에서 실시간 표적 탐지와 화력유도, BD확인을 위하여 정찰용으로 운용하여 해병대의 공중폭격과 해군의 함포 사격을 유도하였다. 아프간에서 美 공군은 글로벌호크를 정찰용으로, 프레데터를 공격용으로 운용하였다. 지상군은 정찰용드론을 근·중거리에서 운용하였으며, 투척형 또는 발사대 이륙방식의 고정익 정찰용 드론을 운용하였다.[19]

<표 10> 이라크전 드론운용 현황

구분	운용 목적	드론 명칭	플랫폼 특성	
			형상	이·착륙
공군	정찰	RQ-4글로벌호크	고정익	활주로
	공격	MQ-1B프레데터	고정익	활주로
	지원	파인더/MQ-1B	고정익	air-drop
장거리	정찰	RQ-5 헌터	고정익	활주로 (로켓추진)
중거리	정찰	RQ-7 새도우	고정익	발사대/ 활주로
근거리	정찰	RQ-12A와스프	고정익	투척형
	정찰	RQ-14드래곤아이	고정익	투척형

<출처: 드론봇전투체계 운용개념서 3.0, 한국육군, 2022.>

3.3.2 아제르바이잔-아르메니아戰

('20.9~11월) 정찰드론과 근거리

공격용 드론 운용

아르메니아가 정찰용 드론을 운용한 반면 아제르바이잔은 정찰용으로 표적획득과 BD(Battle Damage) 확인을, 공격용으로 기갑·기계화·포병 부대를 타격하였다. 공군의 공격용 드론에 추가하여 근거리에서도 발사대 이륙방식의 자폭형 고정익 드론을 운용하였다. 또한 AN-2기를 개조하여·기만으로 방공위치를 식별, 하륙으로

제압하였으며, SNS 심리전으로 전과를 확대하였다.

<표 11> 아제르바이잔 드론운용 현황

구분	운용 목적	드론 명칭	플랫폼 특성	
			형상	이·착륙
장거리	정찰	헤론	고정익	활주로
	정찰	헤르메스 450	고정익	활주로
	정찰	Aerostar	고정익	활주로
	공격	TB2 (터키)	고정익	활주로
	공격	하롭	고정익	발사대
	공격	Sky-Striker	고정익	발사대
근거리	공격	Orbiter-1K	고정익	발사대

<출처: 드론봇전투체계 운용개념서 3.0, 한국육군, 2022.>

3.3.3 우크라이나-러시아戰 ('20.9~11월)

정찰드론과 공격드론 병행

우크라이나는 <표 12>와 같이 제대별로 정찰용과 공격용을 모두 사용하였다. 서방국가에서 제공한 공격드론이 중거리 이하에서 모두 자폭형인 반면 우크라이나는 중거리에서 투척형 고정익 드론을 공격용으로, 근거리에서 무장형(투하) 멀티콥터 드론을 운용한 것이 특징이다. 그러나 전투효과에 대해서는 전문분석을 통해 추가적인 전과확인이 필요하다.

<표 12> 우크라이나 드론운용 현황

구분	운용 목적	드론 명칭	플랫폼 특성	
			형상	이·착륙
장거리	정찰	TU-143	고정익	로켓추진
	정찰	Fury	고정익	발사대
	정찰	Raybird	고정익	발사대/낙하
	정찰	PD-1	고정익	활주로
	공격	TB-2	고정익	활주로
중거리	정찰	Spectator	고정익	발사대/낙하
	정찰	FlyEye	고정익	투척형
	정찰	Leleka	고정익	투척형/동체
	정찰	ASU-1	고정익	투척형/동체
	정찰	Observer	고정익	투척형/동체
	공격	Punisher	고정익	투척형/동체
공격	Warmate	고정익	투척형/동체	

단거리	정찰	Sparrow	고정익	투척형/동체
	정찰	Matrice	회전익	멀티콥터
	정찰	Raven	고정익	투척형/동체
	정찰	Inspire	회전익	멀티콥터
	정찰	Phantom	회전익	멀티콥터
	공격	R-18	회전익	멀티콥터

<출처: 드론봇전투체계 운용개념서 3.0, 한국육군, 2022.>

4. 대대급 이하 제대 전력화 방안

대대급 이하 제대의 전력화 방안은 대대의 임무와 적 위협에 기초하여 드론의 작전소요를 분석하고, 이에 기초하여 요구능력을 도출함으로써 소부대의 전력화 방안을 제시할 것이다.

4.1 임무와 적 위협

미래 육군의 보병대대는 Army TIGER여단의 예하부대로서 차량화된 장갑차로 편성되어 근접전투 위주의 작전을 수행한다.[20]

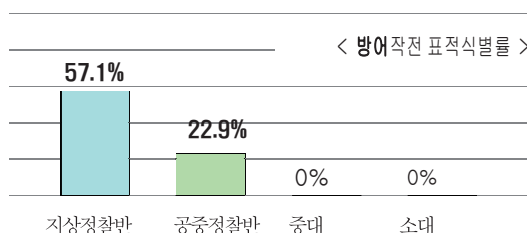
국방개혁 2.0에 근거하여 확대된 작전지역에서 대대는 적 1개 연대를 대상으로 공격 또는 방어작전을 수행할 것이다. 따라서 적 연대는 연대지휘소, 연포대, 탱크중대, 탱크사냥군소대가, 적 대대는 대대지휘소, 박격포중대, 기관총소대, RPG-7 등이 주요 핵심표적이 될 것이다.

4.2 제대별 드론 작전소요 분석

드론을 활용한 제대별 작전소요는 다음과 같다. 이는 교범을 기초로 교육사에서 실시한 위게임실험을 통해 도출했다.4) 대대는 확장된 작전지역(6km×8km)에 대하여 실시간 전장가시화를 위해 대대 공중정찰반과 지상정찰반에 주·야간 무인 공중정찰수단을 운용했다. <표 13.14>와 같이 대대 공중·지상정찰반에서 고가치표적의 78% 이상을 식별하였다.

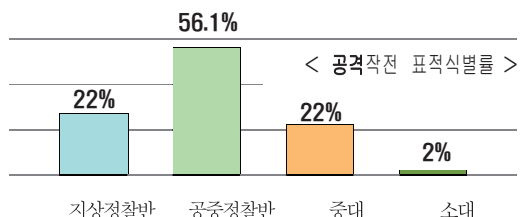
4) Army TIGER 4.0체계 보병대대 위게임실험 결과(2019, 교육사 전투발전부)

<표 13> 방어작전시 제대별 드론에 의한 표적식별률



<출처: 저자 위게임실험 결과, 2019>

<표 14> 공격작전시 제대별 드론에 의한 표적식별률

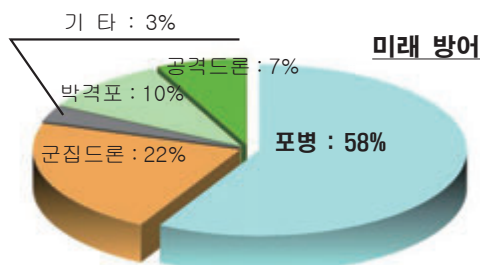


<출처: 저자 위게임실험 결과, 2019>

화력수단별 고가치표적에 대한 타격 기여도는 <표 16.17>과 같이 공격드론 보다 정찰드론과 연계한 포병·박격포가 압도적인 타격효과를 발휘하였다. 다만 공격드론은 연대지휘소, 연포대, 탱크중대, 밀집보병 등 핵심표적에 대하여 효과적인 타격을 할 수 있었다.

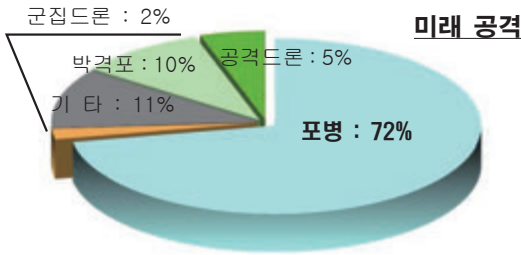
위게임실험 결과 <표 18>과 같이 아군에게 가장 위협적인 적 공격수단은 RPG-7이었다. 적 RPG-7에 의해 아군 장갑차 14대와 탑승인원 110명의 피해가 발생하였다.

<표 15> 방어작전시 화력수단별 타격 기여도



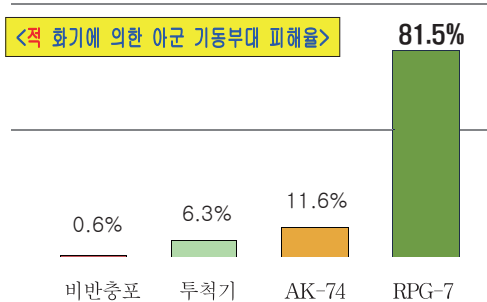
<출처: 저자 위게임실험 결과, 2019>

<표 16> 공격작전시 화력수단별 타격 기여도



<출처: 저자 위게임실험 결과, 2019>

<표 17> 적 화기에 의한 아군 기동부대 피해율



<출처: 저자 위게임실험 결과, 2019>

위의 전투실험 결과를 바탕으로 대대는 공중·지상 정찰반에 주·야간 무인 공중정찰 수단을 적극적으로 활용하여 적 지휘소, 연포대, 2세대 공격과 반돌격 기도를 파악함으로써 비가시지역 적 핵심표적에 대한 원거리 정밀타격을 실시할 것이다. 중대는 확장된 작전지역에 대한 감시·정찰 공중수단과 함께 비가시지역 적 대대지휘소와 박격포 등에 원거리 정밀타격을 통해 예하 분·소대의 적 위협을 제거하여야 한다. 분·소대 역시 확장된 작전지역에 대한 감시·정찰 공중수단이 요구되며 적 RPG-7에 대한 정밀 타격수단이 필요할 것이다.

4.3 요구능력

소형무인기의 운용고도를 고려할 때 대대는 주간 500~1,000m 이상, 야간은 500m 이상의 감시거리 능력을 갖추어야 하며, EO/IR, SAR

를 장착하여 비, 안개, 악기상에서도 탐지가 가능해야 전천후 작전이 가능할 것이다.

드론의 운용시간도 확장된 작전지역과 대대가 실시하는 전투시간, 그리고 감시/탐지-결심-타격-BDA-재타격 등의 절차와 운용시간을 고려할 때, 최소 2시간 이상이 보장되어야 한다. 특히 현재 배터리 기술을 볼 때 충전시간이 90분 이상 소요되는 점을 고려한다면[21] 작전기간 내 충전 후 재보급이 제한될 것이므로 예비배터리를 휴대하여야 한다.

드론의 운용고도와 기체크기, 이·착륙 준비, 소음, 비행속도 등을 고려하여 운용자의 노출이 최소화 되어야 생존성을 보장할 수 있다. 이를 위해 공격준비 시간은 최소한 10분 이내여야 하며, 좁은 공간에서도 이·착륙이 가능해야 할 것이다.

<표 18> 정찰용드론 플랫폼 제원 비교

구분		멀티콥터	VTOL	헬기	투척형 (RAVEN)
임무	감시능력	우수	A	A	A
	작전반경	5km	22km	8km	10km
	운용시간	30분	70분	60분	90분
생존성	운용고도	150m이상	500m이상	600m이상	150m이상
	최대속도	72km/h	100km/h	72km/h	96km/h
	준비시간	10분	30분	10분	10분
	기체크기	1.8m×1.4m	2.7m×1.4m	2.9m×2.4m	1.4m×0.9m
	기체무게	2kg	17kg	23kg	1.9kg
운영유지	휴대편의	우수	미흡	미흡	우수
	정비소요	미흡	미흡	미흡	우수
	운영인원	2명	3명	2명	2명
검토결과		중대	대대	대대	중·대대

<출처: 드론봇전투체계 운용개념서 3.0, 한국육군, 2022.>

무엇보다 한반도의 산악지형에서 GCS와 드론기체 간 RF통신 방식을 고려할 때 통신가시

선이 보장되어야 하므로 운용자가 고지로 올라가서 운용해야 할 것이다. 이를 위해서는 작고 가볍고 휴대하기 용이해야 한다. 또한 자체적으로 응급치와 정비가 가능해야 하므로, 단순하고 분해·조립과 조작이 쉬워서 누구나 쉽게 조작할 수 있도록 모듈화하여, 부품을 신속하게 교체할 수 있어야 한다. <표 18>은 국내·외 업체의 정찰용 드론 제품을 임무수행, 생존성, 운영유지 측면에서 제원을 기초로 상대비교한 사항이며, 투척형이 상대적으로 우수함을 알 수 있다.

공격용 드론은 아군에게 가장 위협적인 원거리 비가시선 지역에 위치한 적 RPG-7 사수를 Pinpoint 식으로 가장 신속하고 정밀하게 타격할 수 있어야 한다. <표 19>와 같이 현재 국업체에서 개발 중인 제품과 미군의 스워치블레이드300을 비교해볼 때, 캐니스터형 고정익이 가장 유리할 것으로 판단된다. 기체의 크기와 무게를 고려한 휴대성과 정비소요를 고려한다면 무장형 멀티콥터는 대대급 이하제대에서 운용하기 어려울 것으로 판단된다.

<표 19> 공격용드론 플랫폼 제원 비교

구 분	멀티콥터 (소총조준)	트윈로터 (동축반전)	고정익 (Litt&Cruise)	고정익 (캐니스터)	
임무	탄두중량	5.56mm	3kg	1kg	0.34kg
	공격속도	80km/H	50km/H	90km/H	161km/H
	작전반경	2km	3km	8km	8km
생존성	운용시간	20분	15분	30분	15분
	운용고도	150m이상	150m이상	150m이상	150m이상
	준비시간	10분	20분	30분	10분
	기체크기	1.8m×1.4m	0.5m	1.4m	0.6m
운영유지	기체무게	약 30kg	7kg	13.6kg	2.5kg
	휴대편의	보통	보통	미흡	우수
	정비소요	미흡	미흡	미흡	우수
운용인원	2명	2명	2명	2명	
검토결과	중대	대대	대대	중·대대	

<출처: 드론봇전투체계 운용개념서 3.0, 한국육군, 2022.>

4.4 대대급 이하 소부대 전력화 추진방안

현재의 병력감소 추세를 고려할 때 미래 보병대대의 편제가 증가 없이 현 수준에서 드론을 전력화 한다는 가정 하에 임무와 적 위협에 기초한 요구능력을 충족하는 대대급 이하 제대 드론 전력화 방안을 <표 20>과 같이 제시하였다.

대대급 이하 제대의 주 임무는 근접전투인데, 근접전투에서 필요한 무기체계는 가볍고, 휴대가 용이하고, 사용과 조작이 편리해야 하며, 신속하고 정확하게 타격할 수 있는 무기체계여야 한다. 또한 운용자가 최단 시간에 작전 상황에 반응하여 최소의 준비 시간이 소요되어야 하며, 무기체계의 사용효과를 신속하게 확인할 수 있어야 한다. 이에 대대급을 포함한 소부대가 공격용으로서 가장 효과적으로 사용할 수 있는 드론은 신속하고 정확하게 타격이 가능한 캐니스터 방식의 자폭형 고정익 드론이다. 이 드론은 정비소요가 최소화되어야 한다. 드론에 문제가 발생해도 현장에서 즉시 응급조치와 자체정비가 가능한 드론이어야 한다.

또한 소부대가 가장 효과적으로 사용할 수 있는 정찰용 드론도 크기가 작고 가벼워서 전투원이 휴대하는 것이 용이해야 한다. 특히 산악지대가 많은 한국 지형에서는 전투원이 산악 지형에서 운반하기 위해서도 작고 가벼워야 한다. 산악지형에서 통신가시선의 보장을 위해서는 고지로 올라가야 하며, 이를 위해서도 작고 가벼워야 함은 필수적이다.

중·대대는 다양한 정찰용 드론의 형상들을 비교한 결과 <표 18>과 같이 투척형 고정익 드론이 단순하여 정비소요가 적고 가벼워 휴대하기가 용이하다고 보았다. 공격용 드론은 가장 신속하고 정확하게 타격해야 하므로 <표 19>와 같이 캐니스터 방식의 자폭형 고정익 드론이 유리하다. 대대 화기중대와 중대 화기소대에서 운용 가능하다. 대대 지상정찰반은 2

~3km의 가까운 거리에서 목표 상공에서 체공하며 집중감시가 가능해야 하므로 멀티콥터형 소형정찰용 드론이 전력화되어야 한다고 판단하였다.

분·소대는 확장된 작전지역에서 정찰용 드론을 운용하는 것은 필수라고 여겨진다. 그러나 현재의 편제로는 전담인원조차 없으므로, 1종 이상의 드론을 운용하기는 어렵다고 보았다. 참고로, 美 육군의 미래 보병분대인 Squad-X에서도 분대 전담인원이 있음에도 정찰용 드론 1종을 운용하고 있음을 확인하였다.

<표 20> 대대급 이하 제대 드론 전력화 방안

구분	정찰용	공격용
대대	<ul style="list-style-type: none"> • 대대정찰용UAV * 투척형 고정익 • 소형정찰드론(멀티콥터) 	<ul style="list-style-type: none"> • 소형공격드론 * 대인용 고정익 자폭형
중대	<ul style="list-style-type: none"> • 투척형고정익정찰드론 	
소대	<ul style="list-style-type: none"> • 소형정찰드론(멀티콥터) 	
분대	<ul style="list-style-type: none"> • 소형정찰드론(멀티콥터) 	

<출처: 드론봇전투체계 운용개념서 3.0, 한국육군, 2022.>

5. 결론

선진국의 개발 및 운용 동향과 비교해볼 때 선진국이 근거리에서 대부분 고정익 드론을 운용하는 반면 한국 육군은 주로 회전익을 계획하고 있다. 그리고 美·이스라엘의 소부대 공격용 무인기가 캐니스터형 자폭무인기인데 반하여 한국은 무장형을 우선적으로 검토하는 부분은 재검토가 필요하다고 할 수 있다.

실제 美·이스라엘의 전력화 현황을 볼 때 대대급 이하 소부대는 정찰용 드론 위주로 전력화 되어 있으며, 공격용 드론은 특수한 부대가 특수한 목적을 위해 제한적으로 운용하고 있다. 전쟁사례에서 드론 운용사례를 볼 때에도 최근 우크라이나의 소부대는 정찰용 위주로 활

용하며, 서방국가에서 제공한 고정익 자폭형 공격용 드론을 운용하고 있다. 상용품을 적용하기도 하나 정확성을 보장할 수 없으며 추후 전과를 확인해야 할 것이다.

북한군의 위협을 고려할 때 적의 RPG-7을 제거하는 것을 최우선으로 하여 가장 빠르고 정밀하게 타결할 수 있는 수단은 캐니스터형 고정익 자폭형 드론이다. 대대와 중대는 화기 중대와 화기소대에서 공격드론을 운용할 수 있겠으나 분·소대는 드론 전담인원을 추가로 편제에 반영하지 않는 한 정찰용 드론을 운용하는 것도 벽찰 것이며, 향후 반드시 드론 운용을 위한 전담인원을 반영해야 할 것이다.

산악지대가 많은 한국의 작전지역에서는 대대급을 포함한 소부대의 이동과 민첩성이 필수적이다. 이들이 사용하는 드론의 무기체계는 작고, 가볍고, 사용과 조작과 정비가 용이하며, 현장에서 응급처치와 정비도 용이해야 한다. 근접전투 부대의 드론 운용자는 유사시 누구나 사용할 수 있어야 한다. 즉, 누구나 운용할 수 있도록 단순한 사용을 보장해야 한다.

전투부대의 공격용 드론으로서는 캐니스터 방식의 자폭형 고정익 드론이 적절하다. 또한 정찰용드론은 산악지대에서 사용이 용이하도록 작고, 가볍고, 단순해서 정비소요가 적고, 현장의 응급처치가 가능한 드론이어야 한다.

본 연구에서 요구능력과 전력화 추진방안에 대하여 플랫폼의 특성과 제원을 상대적으로 비교하여 우수한 플랫폼을 선정하였지만, 향후 보다 정확한 우열을 가리기 위해서는 요소별 가중치가 다를 것이므로 AHP 기법 등 보다 정확하고 객관적인 과학적 기법을 적용하여 분석해야 한다.

참 고 문 헌

- [1] Jane's Yearbooks (런던: 제인출판사, 2022)
- [2] 『드론, 그것이 궁금하다.』 ((주)비피기술거래 개정판, 2022) p. 20.
- [3] 『미래국방 2030 기술전략』 (국방기술진흥연구소, 2022. 3월) p. 38
- [4] 『드론, 그것이 궁금하다.』 ((주)비피기술거래 개정판, 2022) p. 22.
- [5] 『드론, 그것이 궁금하다.』 ((주)비피기술거래 개정판, 2022) p. 22.
- [6] 『미래국방 2030 기술전략』 (국방기술진흥연구소, 2022. 3월) p. 39.
- [7] 민진규, 박재희 공저 『드론학 개론』 (서울: 배움출판, 2018. 3. 12.) p. 49.
- [8] 드론을 이용한 물류서비스 추진방향 (정보통신정책연구원, 2015.6)
- [9] 『드론, 그것이 궁금하다.』 ((주)비피기술거래 개정판, 2021.12.23) p. 19.
- [10] 드론을 이용한 물류서비스 추진방향 (정보통신정책연구원, 2015.6)
- [11] 민진규, 박재희 공저 『드론학 개론』 (서울: 배움출판, 2018. 3. 12.) p. 38~39.
- [12] 서일수, 『드론 무인비행장치 필기하권으로 끝내기』 (2020. 1.) p. 35
- [13] 김형진, 무인 전투체계의 효용성과 한계에 관한 고찰 (美 정보센터 교환교관 보고서, 2019)
- [14] 드론봇전투체계 발전방안 연구 (한국드론혁신협회(KIDA) 정책연구보고서, 2021.2.16)
- [15] 드론봇전투체계 발전방안 연구 (한국드론혁신협회(KIDA) 정책연구보고서, 2021.2.16)
- [16] 세대별 UAV 가동률 현황 (육본 정작부, 2021년)
- [17] <https://donga.com/news> 2014~1018년 軍 무인기 추락현황
- [18] Jane's All the World's Aircraft Unmanned, 2022
- [19] 『Small Unmanned Aircraft System Strategy』 (美 육군미래사령부, 2020. 9)
- [20] 드론봇전투체계 운용개념서 3.0 (대한민국 육군, 2022.4.11.) p.부록#3-1
- [21] Army TIGER 4.0통합기획서 (육군본부, 2018년)
- [22] 멀티콥터형 드론 배터리 충전시간(군사용 드론 발표자료, 2022.9.2., (주)드론디비전), p.8

저 자 소 개



박희정 (E-mail: heejp_5@naver.com)

현재 충남대학교 대학원 군사학과 박사과정
 관심분야 : Drone & Robot for Military 군사용
 드론·로봇 전투발전 소요창출



진진 (E-mail: jinshin@cnu.ac.kr)

1992 서울대학교 대학원 국민윤리교육과 졸업
 (교육학박사)
 현재 충남대학교 정치외교학과 교수
 관심분야 : 국방, 안보, 국제관계, 남북한관계

지상 무인체계의 협업 임무계획에 관한
시뮬레이션 연구
- 전차 사격훈련 준비활동을 중심으로 -

A Simulation Study on the Cooperative Mission Planning
of the Ground Unmanned Systems
- Focused on the Tank Gun-Firing Training Preparation Activities -

홍기원¹⁾ · 이춘주²⁾
Giwon Hong · Choonjoo Lee

ABSTRACT

For military application of manned-unmanned teaming, it is necessary to combine and allocate optimal resources and missions to heterogeneous multiple-unmanned systems capable of performing cooperative missions. This paper tried to show the possibility for planning a cooperative mission to prepare a military training field using autonomous heterogeneous multiple unmanned systems. There is literature on resource allocation and mission planning for homogeneous unmanned systems, but studies for heterogeneous systems to perform cooperative missions are insufficient. As a result of the simulation study on the preparation for tank live-fire training, the possibility of resource allocation and mission planning was confirmed to enable multiple unmanned systems to be combined to perform cooperative tasks that cannot be performed by the homogeneous unmanned system. It is expected that the results of this study will contribute to efficient and safe live-fire preparation in the future education and training using the manned-unmanned teaming.

Key Words : Manned-unmanned Teaming, Cooperative Task, Resource Allocation,
Tank Live-Fire Training Preparation, Simulation

논문접수일 : 2022년 10월 19일, 심사일 : 2022년 11월 3일, 게재확정일 : 2022년 11월 17일

1) 국방대학교 무기체계전공 석사과정

2) 국방대학교 무기체계전공 교수 / 교신저자(Corresponding author)

1. 서론

지상 무인체계는 인간이 수행하기 어렵고 제한되는 여러 군사작전 분야(지뢰·IED³⁾ 탐색 또는 제거, 화생방 위험지역 정찰 또는 제독, 감시 및 정찰, 건물 내부 또는 협소 통로 수색 및 정찰, 집결지 방호, 위험지역 보급수송 등)에서 인간의 기능과 능력의 대체 및 보완수단으로 운용될 것이다.[1] 지상 무인체계의 적극적 활용을 통해 전시 위협 임무나 평시 안전사고위험에서 인명손실을 최소화하고 운용 인력을 절감할 수 있으며 나아가 전투현장에서 무인전투체계로 활용된다면 인명피해를 줄이면서도 최대 효과를 달성할 수 있는 장점이 있을 것으로 예상된다.[2]

우리 군에서 또한 지상 무인체계의 필요성은 점차 높아지고 있으며 특히 평시 부대 전투력 유지와 향상을 위해 필수적인 위험성 교육훈련 간 각종 안전사고의 발생 가능성이 상존함을 고려할 때, 비전투손실을 예방하기 위한 교육훈련 간 활용 가능한 무인체계가 요구되고 있다.

대한민국 육군 전차부대의 전투사격 훈련 전 필수적으로 시행되어야 하는 과업 중 전차포사격 표적지 설치 및 보수, 도비 또는 예광제 불완전 연소에 의한 화재 감시/소화대 편성 등 교육훈련 준비활동은 아무리 철저한 준비를 갖추더라도 사격훈련 중 우발적으로 빈번히 발생할 수밖에 없고 이는 교육훈련 집중도 저하와 함께 교육훈련 목표 달성을 어렵게 만든다. 특히 표적지 파손으로 인한 표적 보수 시에는 방호기능이 전무한 일반 차량을 이용하여 장병들이 직접 표적 방벽으로 이동, 수작업으로 보수함에 따라 짧게는 30분, 파손 정도에 따라 최장 2시간가량의 교육훈련 불용시간을 초래할 뿐 아니라 위치를 알 수 없는 매복 불발탄 지역을 도보로 이동함에 따른 인명피해 발생위험이 상

존한다. 또한, 고속의 전차 포탄이 암벽에 빗맞아 표적지 후방 능선으로 도비되는 위험한 사고도 발생할 수 있으나 현재 운용중인 야전부대의 자산으로는 탄착지점 확인이 불가하여 낙탄이나 화재에 의한 피해를 조기에 수습하는 것이 어려운 실정이다.

따라서 본 연구에서는 다수의 무인체계와 다수의 임무가 주어진 상황에서 다중 무인체계의 능력을 고려한 자원 할당과 무인체계 간 협업이 필요한 일부 임무 설정을 통해 육군 전차부대의 전투사격훈련 전과 훈련 중 발생할 수밖에 없는 교육훈련 준비활동의 소요시간을 최소화하는 방안을 제시하고자 하였으며, 이러한 연구범위와 방법에 따라 논문은 크게 4장으로 구성하였다. 2장에서 무인체계 간 협업활동과 자원 할당(Resource Allocation)에 관한 기존 연구를 살펴보고 본 연구와의 차이점을 제시하였으며, 3장에서는 분석한 육군 전차부대 전투사격 교육훈련 준비활동을 토대로 다중 무인체계의 자원 할당을 반영한 시뮬레이션을 구성하였다. 4장에서는 시뮬레이션 결과를 토대로 3장에서 구성한 다중 무인체계 자원 할당 모델의 적합성을 확인했으며, 마지막 5장에서는 연구결과를 정리하고 본 연구의 한계점과 추후 연구 방향에 대해 제시하였다.

2. 관련 연구

2.1 무인체계 간 협업활동 관련 연구

동종 또는 이종의 다중 무인체계 간 협업을 통한 효율적 임무달성에 관련한 다양한 연구들이 존재한다. Martina Mammarella 등(2021)의 연구에서는 농기계에 IT 기술을 접목하는 'Agriculture 4.0'의 관점에서 Peer-to-peer,

3) Improvised Explosive Device, 급조폭발물

Master-slave, 그리고 Team robots라는 세 가지 방식의 무인체계 간 협력 시나리오를 제시하고 동적 모델링을 구현했다.[8]

최재영 등(2013)의 연구에서는 다수의 UGV⁴⁾를 제어하는 수단으로서 UAV⁵⁾를 운용하여 UGV의 제한된 시야를 확장시킴과 동시에 서로의 위치정보를 결정하는 데 도움을 주어 각각 지대를 극복하고 빠른 경로를 추정할 수 있도록 하는 목표 추적알고리즘을 제안했다.[4]

또 이재근 등(2014)의 연구에서는 UAV와 함께 UGV가 유기적으로 운용되면서 원거리 영상정보를 UGV 사용자에게 제공하는 플랫폼을 제안하였다.[3] 해당 연구에서 UAV 단독으로 정찰 임무를 수행할 경우 사용시간이 짧으므로 지속적인 정찰이 어렵지만, 이동식 충전기를 탑재한 UGV와 함께 운용될 경우 이러한 단점을 극복할 수 있다는 점을 강조했다. 이외에도 UGV만으로 구성된 무인체계 팀의 임무수행 간 발생 가능한 문제점을 UAV와의 협력을 통해 해결하는 방안을 설명하고 제시한 정진수 등(2010), 유승은 등(2010)의 연구 또한 존재했다.

그러나 기존 연구들은 무인체계 단독으로는 수행할 수 없고 두 대 이상의 무인체계가 동시에 반드시 협업해야만 수행 가능한 임무가 충분히 정의되지 못했으며 이에 따라 같은 시간에 이루어지는 무인체계 간 협업활동을 설명하는 데 한계가 있다.

따라서 본 연구는 다수의 무인체계와 다수의 임무가 주어진 상황에서 다중 이종 무인체계의 능력을 고려한 자원 할당을 통해 교육훈련 준비활동 소요시간 최소화 방안을 제시하고자 하며, 이때 두 대 이상의 무인체계가 함께 투입되어야 수행이 가능한 임무 형태를 포함하여 무인체계 간의 협업활동을 유도하는 모델을 제시하고자 한다.

2.2 자원 할당 관련 연구

다중 무인체계의 자원 할당에 관한 연구는 최초 군사 분야에서 시작되었고, 최근에는 재난 구호, 상업용 항공 사진, 농작물 건강 모니터링 및 비상 대응 등 민간 응용 분야에서도 빠르게 증가하고 있다. 민간의 플랫폼 기술 개선과 계산, 통신 능력의 향상이 자원 할당에 관한 연구와 체계 개발을 더욱 고도화하고 있다.

자원 할당의 최적화를 통해 한정된 자원을 효율적으로 운용하고 작업 복잡성 해결, 그리고 성능과 신뢰성 향상 등을 목적으로 하는 다양한 연구들이 존재한다. 기존 연구들은 다양한 제약조건 내에서 효용 대비 비용(또는 완료하는 데 소요되는 시간)을 최소화하는 문제를 연구하였고, 순회 외판원 문제(TSP, Traveling Salesman Problems) 관련 연구, 차량 경로 문제(VRP, Vehicle Routing Problems) 관련 연구 등 아주 오래전부터 연구되고 개념이 확장되어 온 문제들이 많았다. 주요 연구를 살펴보면 Bilal Kaddouh(2016)와 Chase C. Murray 등(2010)의 연구에서는 시간의 흐름에 따라, 또는 상황과 환경의 변화에 따라 자원을 재할당하여 수익을 최대화하는 알고리즘을 제안했다.[9, 10] 또 Charles E. Pippin 등(2013)의 연구에서는 UAV Team 간 동료 모니터링에 대한 접근 방식으로 순찰경로 최적화 방법을 시뮬레이션 했으며, 이문걸 등(2014)의 연구에서는 해군의 소해작전 간 유전자 알고리즘 기반 휴리스틱 기법을 활용하여 최단시간 내 임무를 완수하기 위한 근사 최적 경로를 도출했다.[7, 11]

하지만 기존 연구 대부분이 환경의 변화를 고려한 가운데 단순화하여 정형화시킨 다수의 임무에 대해 보유한 자원(Resource)을 최적화하여 할당하는 동적 또는 정적 자원 할당에 초점이 맞추어졌다. 이에 따라 자원 각각의 고유

4) Unmanned Ground Vehicle, 무인 지상 차량

5) Unmanned Aerial Vehicle, 무인항공기

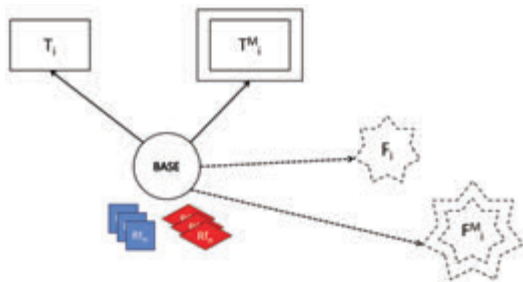
한 능력이 충분히 반영되지 못하고 개별 자원 각각의 일방향적인 임무 수행만을 고려한 한계가 존재한다.

따라서 본 연구는 사격훈련 간 발생 가능한 여러 상황 중, 특정 무인체계가 보유한 능력으로만 해결할 수 있는 임무가 있을 때 적합한 능력의 무인체계가 할당되어 임무달성의 효율을 극대화하는 모습을 구현할 수 있는 모델이 필요하다는 점에 착안하여 다중 무인체계의 능력을 고려한 자원 할당 방안을 제시하고자 한다.

3. 다중 무인체계 협업활동 모델 구성

3.1 문제 조건 및 가정사항

본 논문에서 제안하는 지상 무인체계를 활용한 교육훈련 준비활동 모델로 최종적으로 해결하고자 하는 문제를 단순화시킨 개념도는 아래의 <그림 3-1>에서 보는 바와 같다.



<그림 3-1> 문제 구성

모든 무인체계는 표적지역(T_i , T^M_i) 후사면 안전지대에 있는 Base에서 대기하고 있다. Base는 무인체계의 배터리를 충전하고 사격이 진행되는 동안 무인체계의 피해를 막을 수 있는 방호대책이 강구된 장소이다. 무인체계는 표적이 파손되었을 경우를 대비한 표적 보수 로봇 Rt_i , 그리고 예방제 도비에 의한 화재 발생

시를 대비한 화재진압 로봇 Rf_i 두 종류가 있다. T_i 는 Rt_i 1대가 수행할 수 있는 규모의 표적이며 T^M_i 는 Rt_i M대가 반드시 동시에 협업 활동을 해야 보수가 가능한 규모의 표적이다.

유사한 의미의 Node로 F_i 은 화재진압 로봇 1대가 투입되면 진압이 가능한 규모의 화재 발생 Event를 나타내며, F^M_i 는 Rf_i M대가 동시에 협업해야 진압할 수 있는 화재 상황을 뜻한다.

앞서 서술한 교육훈련 준비활동 문제 상황을 다중 무인체계를 활용하여 해결하기 위한 모델링 단계에서의 가정사항은 아래와 같다.

- (1) 같은 무인체계가 투입되어야 하는 Task는 동시에 발생하지 않는다. 이는 무인체계가 투입되어야 하는 Event가 하나라도 발생한다면 사격훈련은 즉시 중단되고 Event가 해소된 이후에 다시 시작되는 실제 사격훈련 상황을 반영한 가정사항이다.
- (2) 각 무인체계는 동시에 두 가지 이상의 임무를 수행할 수 없다. 본 고에서 제시하고자 하는 모델은 유지보수가 비교적 쉽고 저렴한 다중 무인체계 간의 협업을 유도하고자 하는 것이 목적이므로 각 무인체계는 한 가지 능력만 보유한 단순 무인체계로 가정한다.
- (3) 하나의 Task에는 하나의 무인체계가 할당되어야 한다. 무인체계가 투입되어야 하는 Event가 발생했을 때 해당 Event가 해소되지 않으면 사격훈련은 진행될 수 없다. 따라서 하나의 Task에는 적어도 하나의 무인체계가 할당되어야 한다는 현실을 반영하여 가정사항을 설정한다.
- (4) 하나의 Task 수행 후 무인체계는 반드시 Base 복귀가 필요하다. 사격 표적지 근처에 Base를 설치하여 무인체계가 각 Node로 이동하는 시간을 최소화하여 교육훈련 가용시간을 최대화하는 것이 목적이므로 사격훈련이 진행되는 동안 무인체계의 피해를 예방하기 위해 Task 수행 후 모든 무인체계는 반드시 Base로 복귀하는 것을 기본으로 설정한다.
- (5) 비교적 예측이 가능한 표적 보수 Task가 발생하는 Node 위치와 비교해 시·공간적 우발성이

높은 화재진압 Task Node 위치를 모두 고려하는 것은 현실적으로 제한이 크다. 따라서 무인체계가 Task 발생지역으로 이동하는 데 소요되는 시간은 고려하지 않는 것으로 가정한다.

(6) 모델의 단순화를 위해 배터리 용량 등 외부요인에 의한 무인체계 운용에 대한 제약은 없는 것으로 가정하며 본 연구의 후속연구를 통해 외부요인에 의한 제약사항도 추가한다.

3.2 용어 정의 및 수리모형

본 절에서는 앞서 정의한 문제 조건과 가정사항을 수리적인 모형으로 구현하는 데 필요한 용어들을 정의하고 구현된 모형을 구성하는 제약식들에 대해 설명한다.

3.2.1. 용어 정의

* Index

- i, j k : Set of Nodes $i = 1, 2, \dots, N$
(단, $i = 1$ 일 경우 Base)
- r : Set of Resources $r = 1, 2, \dots, R$
- s : Set of Sensors
- t : Time slices

* Table

- SE : Sensor Effectiveness
- PE : Platform Effectiveness
- Cost : Cost for Resource r to operate sensor s per distance
- TJ : Time limitation for task j
(1 if possible 0 otherwise)
- RJI : 1 if Resource can go from i to j 0 otherwise
- TRJ : 1 if Resource can perform the task j at time t
0 otherwise
- SR : Weight limitation for Resource r

(1 if able to carry sensor s 0 otherwise)

JI : Distance between node j and i

RJ : Duration of Resource r conducting task j

TRI : Initial position of Resource r at time $t(=1)$

* Decision Variable

$$x_{r,j,i}^{t,s} = \begin{cases} 1, & \text{if resource r assigned from i to task j} \\ & \text{with sensor s at time slice t} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

3.2.2. 수리모형

Maximize

(3.1)

$$\sum_{t \in Ts} \sum_{Sr \in Sr} \sum_{Rj \in Rj} \sum_{Ni \in Ni} x_{r,j,i}^{t,s} \times ((PE_{r,j} \times SE_{s,j} \times G_j) - (Cost_{r,s}))$$

목적함수식 (3.1)은 Platform Effectiveness와 Sensor Effectiveness를 고려하여 부여된 Task를 수행함으로써 얻는 Gain에서 무인체계 운용에 드는 Cost를 뺀 값을 최대화하는 함수이다. 식에서 산출되는 Gain의 값은 실제 전투사격 훈련에 투입 가능한 교육훈련 시간으로 이해할 수 있다.

subject to

(3.2)

$$\sum_{s \in Sr} \sum_{Ri \in Ri} x_{r,j,i}^{t,s} \leq TJ(t,j) \quad \forall t \in T, j \in N$$

식 (3.2)는 Task j가 t 시간에 수행될 수 없을 때 결정변수 값을 0으로 부여(할당되지 않음)하는 제약식이다. 이는 같은 능력을 갖춘 Resource가 필요한 사건(예를 들어 T1과 T2, 또는 F1과 F2)이 동시에 발생하지 않도록 제약하는 식이다.

(3.3)

$$\sum_{i \in Ts \in S} \sum x_{r,j,i}^{t,s} \leq RJ(r,j,i) \quad \forall r \in R, j \in N: j \notin BASE, i \in N$$

식 (3.3)은 Resource r 이 임의의 Node에서 다른 Node로 이동할 수 없을 때 결정변수에 0을 부여(할당되지 않음)하는 제약식이다. 예를 들어, Resource r 이 Node i 에서 j 로 Task 수행을 위해 이동하고자 하나 연결된 경로가 없으면 해당 Task는 수행될 수 없음을 의미한다.

(3.4)

$$\sum_{i \in Ns \in S} \sum x_{r,j,i}^{t,s} \leq TRJ(t,r,j) \quad \forall t \in T, r \in R, j \in N: j \notin BASE$$

식 (3.4)는 Time t 에서 Resource r 이 Base($i=1$)를 제외한 다른 Node로 이동할 수 없을 때 결정변수에 0을 부여(할당되지 않음)하는 식이다. 임의의 Time t 에서 임의의 Resource r 은 Base에 남아있거나, 임의의 Task j Node로 이동해야 한다. 이때 Task j 를 수행한 이후 j Node에 머무르거나 Base로 복귀하지 않은 채 Task k Node($j \neq k$)로 이동할 수 없음을 표현하는 제약식이다.

(3.5)

$$\sum_{i \in Ns \in S} \sum x_{r,j,i}^{t,s} \leq 1 \quad \forall t \in T, r \in R, j \in N: j \notin BASE$$

(3.6)

$$\sum_{s \in Sj \in Ni \in N} \sum x_{r,j,i}^{t,s} \leq 1 \quad \forall t \in T, r \in R$$

식 (3.5)와 (3.6)은 Base를 제외한 모든 Node에서는 각 Time slice에 1대의 Resource와 1개의 Task만 할당되어야 함을 의미하는 제약식이다. 즉, 앞서 언급한 가정사항(2), (3)을 반영한 식이다.

(3.7)

$$\sum_{s \in Sr \in R} \sum x_{r,j,i}^{t,s} = TRJ(t,r,i) \quad \forall t \in T: t=1, i \in N: i \neq BASE$$

식 (3.7)은 첫 번째 Time slice에는 최초 위치가 Base($i=1$)가 아닌 지점에 있는 Resource에는 Task가 할당될 수 없다는 의미의 제약식이다. 이는 모든 무인체계의 최초 대기지점이 Base임을 의미한다.

(3.8)

$$\sum_{s \in Sr \in Ri \in N} \sum x_{r,j,i}^{t,s} \leq card(r) \quad \forall t \in T, j \in BASE$$

식 (3.8)은 각 Time slice에서 Task를 할당 받은 Resource의 수는 최초 정의한 Resource의 총 개수보다 많을 수 없음을 의미한다. 이는 Gain 최대화를 위해 존재하지 않는 Resource를 투입하게 되는 Network Error를 피하는 제약식이다.

(3.9)

$$\sum_{s \in Sj \in Ni \in N} \sum x_{r,j,i}^{t,s} \leq card(j) \quad \forall t \in T, r \in R$$

식 (3.9) 또한 식 (3.8)과 유사한 의미로, 각 Time slice에서 할당된 Task의 수는 최초 정의한 Task의 총 개수보다 많을 수 없음을 제약한다. 마찬가지로 Gain 최대화를 위해 존재하지 않는 Task를 생성하게 되는 Network Error를 피하는 제약식이다.

(3.10)

$$x_{r,j,i}^{t,s} = x_{r,k,j}^{t+1,s} \quad \forall t < max(T), i,j,k \in N: j \notin BASE, i \neq j, j \neq k, s \in S, r \in R$$

식 (3.10)은 Time t 와 그다음 시간인 $t+1$ 시점에서 모든 Resource가 동일 Node에 머무르는 것을 막기 위한 제약식이다. Resource가 Task 수행 후 Cost 발생을 회피하기 위해 Base로 복귀하지 않고 Task Node에 계속 위치하는 것을 막는 것으로, 모든 Resource는 Task 수행 후 반드시 Base로 복귀해야 한다는 가정사항 (4)를 반영한 제약식이다.

(3.11)

$$\sum_{s \in S} \sum_{r \in R} x_{r,j,i}^{t,s} \geq 1 \quad \forall t \in T: t=1, j \in N, i \in \text{BASE}, i \neq j$$

식 (3.11)은 첫 번째 Time slice에서 최소 하나의 Resource는 Task 수행을 위해 Base를 떠나서 Task Node로 이동시키기 위한 제약식이다. 하나의 Task 수행을 위해서는 한 대의 Resource 할당이 필요하다는 가정사항 (3)을 반영하고, Task가 발생했음에도 불구하고 Cost 발생을 회피하기 위해 모든 Resource가 Base에 대기하는 Network Error를 회피하기 위한 제약식이다.

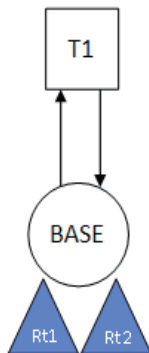
(3.12)

$$x_{r,j,i}^{t,s} \in \{0,1\} \quad \forall t,s,r,j,i$$

식 (3.12)는 결정변수의 조건으로 임의의 Resource r이 Time t에서 임의의 센서 s를 장착하고 Node i에서 Node j로 이동하면 '1'의 값을 가지고, 이동하지 않으면 '0'의 값을 가진다.

3.3 시뮬레이션 시나리오

3.3.1. 기본 시나리오

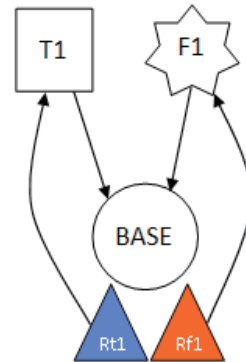


<그림 3-2> 기본 시나리오 설명도

기본 시나리오는 T₁ 표적이 파손된 경우로 Rt₁ 또는 Rt₂ 중 1대의 무인체계가 이동하여 표적을 보수하는 형태의 시나리오이다.

앞서 가정사항에서 기술한 바와 같이 하나의 Task에는 하나의 무인체계만 할당되어야 한다. 따라서 T₁ 과업수행을 위해서는 Base에 대기중인 무인체계 중 임의의 1대만 이동하여야 하며, 투입되지 않는 나머지 1대는 Base에서 대기한다.

3.3.2. 이중 임무 부여 시나리오

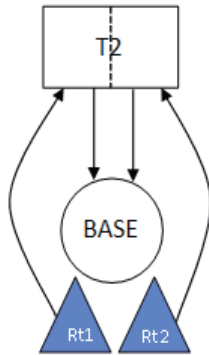


<그림 3-3> 이중 임무 시나리오 설명도

이중 임무 시나리오는 표적 보수(T₁)와 화재 발생(F₁) Task가 각각 발생하였을 경우, 각 Task 수행에 적합한 능력을 보유한 무인체계, 즉 표적 보수에는 Rt₁이, 화재 소화에는 Rf₁이 투입되어 임무를 수행하는 시나리오이다.

이때 Task의 수행에 적합하지 않은 능력의 무인체계가 할당되는 것을 막기 위해 Platform Effectiveness Table이 활용된다.

3.3.3. 협업 임무 부여 시나리오



<그림 3-4> 협업 임무 시나리오 설명도

협업 임무 시나리오는 표적 보수 임무 중 1대의 무인체계만으로는 수행할 수 없는 T₂ 임무가 발생한 상황을 나타낸다. 이 경우 최대의 Gain을 얻기 위해 Base에 대기중인 Rt₁과 Rt₂ 2대의 무인체계가 동시에 T₂ 지역으로 이동하여 Task를 수행하는 모습을 보여준다.

동일한 Node를 두 대의 무인체계가 방문하는 모습을 구현하기 위해 T₂ 임무를 두 개의 소과업 t₁과 t₂로 나누어진 것으로 설정한다. 즉, T₂ Node는 t₁ node와 t₂ node가 같은 위치에 있는 것으로 가정한다.

4. 시뮬레이션 결과

4.1 시나리오별 시뮬레이션 결과

GAMS(General Algebraic Modeling System)는 수학적 최적화를 위한 모델링 프로그램이며 선형, 비선형 및 혼합 정수 최적화 문제를 모델링하고 해결할 수 있도록 설계되었다. 비교적 간단한 대수 설명을 사용하여 간결한 논리적 구조를 가진 모델을 설계할 수 있다는 장점이 있다. 1976년 최초 개발 및 1987년 상용화 이후 사업 확장과 커뮤니티 활성화를 통해 지속적으로 발전되고 강화된 기능을 보유한 버전이 출

시되고 있다. 본 고에서 해결하고자 하는 문제인 지상 무인체계 간의 협업 임무계획을 위해 무인체계의 능력이 고려된 자원 할당이 필요함을 고려했을 때 제한된 자원을 다양한 임무에 적절히 할당하기 위한 최적해 산출이 가능하다는 면에서 GAMS는 타당한 Tool로써 활용된다.

아래는 3장에서 설명한 수리모형을 이용하여 시뮬레이션 시나리오를 기본, 이중 임무 부여, 협업 임무 부여로 구분하고 주어진 조건을 고려한 시나리오별 시뮬레이션의 결과를 보여준다. <표4-1~3>은 GAMS 프로그램을 이용한 시뮬레이션 결과 중 해당하는 부분을 요약하여 정리한 것이다. 분석결과에 대한 해석은 다음 절에서 자세히 설명한다.

4.1.1. 기본 시나리오

<표 4-1> 기본 시나리오 시뮬레이션 결과

No.	Index(r,j,i)	Allocation	Gain
1	(1,1,1)	0	-1.0
2	(1,1,2)	0	-1.0
3	(1,2,1)	1	98.0
4	(1,2,2)	0	-1.0
5	(2,1,1)	1	-1.0
6	(2,1,2)	0	-1.0
7	(2,2,1)	0	98.0
8	(2,2,2)	0	-1.0

Max z : 97

4.1.2. 이중 임무 부여 시나리오

<표 4-2> 이중 임무 시나리오 시뮬레이션 결과

No.	Index(s,r,j,i)	Allocation	Gain
1	(1,1,1,1)	0	1.0
2	(1,1,1,2)	0	-1.0
3	(1,1,1,3)	0	-1.0
4	(1,1,2,1)	1	98.0
:	:	:	:
33	(2,2,2,3)	0	-20.0
34	(2,2,3,1)	1	98.0
35	(2,2,3,2)	0	-20.0
36	(2,2,3,3)	0	1.0

Max z : 196

4.1.3. 협업 임무 부여 시나리오

<표 4-3> 협업 임무 시나리오 시뮬레이션 결과

No.	Index(t,s,r,j,i)	Allocation	Gain
1	(1,1,1,1,1)	0	1.0
2	(1,1,1,1,2)	0	18.0
3	(1,1,1,1,3)	0	18.0
4	(1,1,1,2,1)	1	98.0
:	:	:	:
34	(1.2.2.3.1)	1	98.0
:	:	:	:
38	(2,1,1,1,2)	1	18.0
:	:	:	:
66	(2,2,2,1,3)	1	18.0
:	:	:	:
71	(2,2,2,3,2)	0	-10.0
72	(2,2,2,3,3)	0	1.0

Max z : 232

4.2 분석결과 해석

분석 프로그램인 GAMS를 활용하여 기본 시나리오를 포함한 3종의 시나리오에 대해 각각의 제약식을 설정하고 결정변수의 index를 단계별로 확장하여 모델을 설계했다.

먼저 기본 시나리오의 결정변수 x index는 Resource r, 출발 Node i, 그리고 도착지 Node j 등 총 3개로 구성되어 있다. 기본 시나리오에서 T₁ 임무를 해결했을 때 100의 Gain을 얻게 되고, 2대의 Resource 중 가정사항에 의해 반드시 1대만 임무에 투입되어야 하므로 기본 시나리오의 해는 Rt₁ 또는 Rt₂ 중 1대가 T₁으로 이동하는 결과를 예상할 수 있다. 즉, 2×2×2 = 8개의 결정변수 $x_{r,j,i}$ 중 ($x_{1,2,1}$, $x_{2,1,1}$) 또는 ($x_{1,1,1}$, $x_{2,2,1}$)의 조합만 1의 값을 가지고, Total Gain은 97을 얻게 됨을 쉽게 예상할 수 있으며, 시뮬레이션 결과와 그 값이 일치한다.

둘째로, 이중 임무 시나리오의 결정변수 x index는 기본 시나리오에 더해 임무에 적합한 Sensor를 갖춘 Resource가 할당되는지를 확인하기 위해 센서 s index가 추가되어 총 4개로 구성된다. T₁ 임무가 부여되었을 때에는 Rt₁

Resource가, F₁ 임무가 부여되었을 때에는 Rf₁ Resource가 할당되어야 하고 두 임무를 수행함으로써 얻는 Gain의 값은 100으로 같다. 마찬가지로 2×2×3×3 = 36개의 결정변수 $x_{j,i}^{s,r}$ 중 $x_{2,1}^{1,1}$ 과 $x_{3,1}^{2,2}$ 만 할당되고 두 임무를 모두 완수함으로써 196의 Total Gain을 얻게 됨을 알 수 있으며 이는 앞 절에서의 결과와 일치함을 볼 수 있다.

마지막 협업 임무 부여 시나리오에서는 1대의 Resource 단독으로는 해결할 수 없으나 2대의 Resource가 동시에 투입되면 해결할 수 있는 임무가 부여된다. 따라서 각 Resource가 동일한 시간에 동일 위치에 있도록 통제하기 위한 Time slice = t index가 추가된다. 결정변수 $x_{r,j,i}^{t,s}$ 는 총 2×2×2×3×3 = 72개의 조합이 있고, 이 중 $x_{1,2,1}^{1,1}$, $x_{2,3,1}^{1,1}$, $x_{1,1,2}^{2,1}$, $x_{2,1,3}^{2,1}$ 총 4개의 결정변수만 1의 값을 가지고 T2 임무를 수행함으로써 얻는 Total Gain은 232가 산출된다. 이 또한 앞 절에서의 시뮬레이션 결과와 일치함을 확인할 수 있다.

각 시나리오의 수준에 맞추어 index를 점진적으로 추가해가며 모델을 확장했고, 3가지 시나리오에서 모두 다수의 제약식을 만족하면서 동시에 프로그램에서 산출된 결과보다 더 최적의 해 Set이 존재하지 않음을 확인함에 따라 설계한 모델의 타당성이 검증되었다.

한가지 특징적인 사항으로 기본 시나리오에서 Rt₁과 Rt₂가 동일한 임무 가중치를 갖고 있음에 따라 둘 중 어떠한 Resource라도 Task를 수행할 수 있고, ($x_{1,2,1}$, $x_{2,1,1}$) 또는 ($x_{1,1,1}$, $x_{2,2,1}$) 두 가지 조합 모두가 최적해로 산출될 것으로 예상했으나 앞 절에서의 결과와 비교해 볼 때 GAMS 프로그램은($x_{1,2,1}$, $x_{2,1,1}$) = 1이라는 하나의 결과만을 산출했다. 이는 같은 가중치를 가지는 다수의 해가 있을 때 먼저 산

출되는 값을 결과로 제시하기 때문으로 판단된다.

앞서 설계한 모델을 야전 전차부대에 적용한다면 현재 전적으로 장병들의 인력에 의존해 수행되고 있는 전차 사격 교육훈련 준비활동을 다중 지상 무인체계를 이용하여 대체함으로써 물리적인 교육훈련 시간 확보와 교육훈련 집중도 향상, 그리고 피탄지를 도보로 이동함에 따른 인명피해 위험 역시 크게 줄일 수 있으며 사격훈련에 의해 발생하는 화재나 불의의 낙탄 사고에 신속히 대응하여 초기 진압 및 초동 조치가 가능함에 따라 환경보호와 사격장 인근 거주 주민들의 안전 또한 보장될 것이다.

5. 결론

본 연구에서는 대한민국 육군 전차부대의 전투사격훈련 전과 훈련 중에 반드시 실시되어야 하는 교육훈련 준비활동을 다중 무인체계의 능력을 고려하여 과업을 할당하고 1대의 무인체계 단독으로는 달성이 불가능한 임무는 무인체계 간 협업을 유도하여, 교육훈련 성과달성과 인명피해 위험을 최소화하는 방안을 도출하는 모델을 제시했다.

시뮬레이션 결과 임무의 특성에 적합하지 않은 무인체계를 할당할 경우 임무달성이 불가하거나(-) 상대적으로 적은 이득을 얻게 되었으며, 한 대의 무인체계가 수행할 수 없는 임무가 할당되었을 때 다수의 무인체계가 동시에 투입되어 하나의 임무를 수행하는 결과도 확인할 수 있었다. 향후 유무인 복합체계를 도입하여 육군 전차부대의 사격훈련을 계획한다면 이러한 연구결과를 교육훈련 준비활동에 적용하여 교육훈련의 시간을 확보하고 교육훈련 집중도를 향상시키는데 기여함으로써 더 짧은 시간에 인명피해 위험 없이 교육훈련 성과달성이 가능할 것으로 기대된다.

한편 현실적인 사격훈련의 모든 요소와 변수를 반영한 시뮬레이션을 구축한다는 것은 사실상 불가능함에 따라 문제 해결을 위한 시뮬레이션은 앞선 연구의 모델들을 참고하여 유사하게 구성하였다. 하지만 모델 구성 과정에서 문제 해결을 위해 문제 조건을 단순화시켜야 했으며 제3장 2절과 같은 다양한 가정사항이 반영되어 실제 사격훈련 간 발생하는 사건들의 복잡성과 우발성을 현실적으로 반영하지 못한 한계가 존재한다.

또 실제로 무인체계가 최초로 임무를 수령할 때의 획득한 정보와 임무수행 현장에서 확인한 정보가 상이할 경우 무인체계가 스스로 협업의 필요성을 판단하는 논리에 관한 추가 연구 역시 필요하다.

따라서 향후 연구에서는 실제 사격훈련 간 발생할 수 있는 우발적이고 다양한 사건들을 적용하기 위해 실제로 발생하는 교육훈련 준비활동에 관한 데이터를 활용하고, 무인체계 스스로 획득한 정보를 토대로 상황판단 이후 협업 활동을 결정하는 알고리즘에 관한 연구가 활성화된다면 교육훈련 준비활동 체계 SET의 수준을 더욱 높일 수 있을 것으로 기대된다. 또 본 고에서 설계한 모델에서 Resource의 성과달성 지표는 0(미달성)과 1(완수)의 이진변수로 제시되었다. 이는 모델의 단순화를 위해 설정한 가정사항의 일부였으나, 특히 협업 과업을 수행시 더 많은 무인체계가 동시에 투입될수록 임무완수 시간이 더 짧아질 수 있다는 가능성을 고려했을 때 성과달성 지표에 임무달성 시간 요소를 추가하여 시뮬레이션을 구성한다면 더욱 현실과 부합하는 결과가 도출될 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] 문승빈, 『국방 무인로봇 시험평가 적용방안 최종 연구보고서』, 한국방위사업연구원, 2017.
- [2] 김경수, 신지혁 "미래전 양상에 따른 지상 무인 전투체계 운용 개념", 국방과 기술(479), 2019.
- [3] 이재근, 정하민, 김동현, "광범위 시야 정보를 위한 UAV와 UGV의 협업 연구". 한국지능시스템학회 논문지, 24(3), 2014.
- [4] 최재영, 김성관, "UAV-UGV의 협업제어를 위한 향상된 Target Tracking에 관한 연구", 제어로봇시스템학회 논문지, 19(5), 2013.
- [5] 유승은, 김대은, "Air-Ground Cooperating Robots: Applications and Challenges", 제어로봇시스템학회 논문지, 16(2), 2010.
- [6] 정진수 등, "이중 로봇팀의 협업을 통한 맵 빌딩과 위치추정", 제어로봇시스템학회 논문지, 17(2), 2011.
- [7] 이문걸, 이태진, 김수환, "최적화 기법을 이용한 기뢰소해 경로결정 계획 연구", 한국국방경영분석학회지, 40(2), 2014.
- [8] Martina Mammarella, Lorenzo Comba, Alessandro Biglia, Fabrizio Dabbene and Paolo Gay, "Cooperation of unmanned systems for agricultural applications: A theoretical framework", Biosystems Engineering, 2021.
- [9] Bilal Kaddouh, "A Resource Allocation System for Heterogeneous Autonomous Vehicles", Doctorate, The University of Manchester School of Mechanical, 2016.
- [10] Chase C. Murray, Mark H. Karwan, "An Extensible Modeling Framework for Dynamic Reassignment and Rerouting in Cooperative Airborne Operations", Naval Research Logistics, Vol 57, Issue 7, 2010.
- [11] Charles E. Pippin, Henrik Christensen, Lora Weiss, "Dynamic, cooperative multi-robot patrolling with a team of UAVs", Proc. SPIE 8741, Unmanned Systems Technology XV, 874103, 2013.

저 자 소 개



홍기원(E-mail: hexacloride@naver.com)

현재 국방대학교 무기체계전공 석사과정
관심분야 : 무인체계, 자율화



이춘주(E-mail: sarang90@korea.kr)

1991 육군사관학교 졸업(이학사)
1997 미국 UC Berkeley 핵공학 석사
2005 KDI 국제정책대학원 정책학 석사
2006 서울대학교 기술정책학 박사
현재 국방대학교 무기체계전공 교수
관심분야 : 기술정책, 국방로봇(무인전력),
방위산업정책, 생산성분석,
핵심인프라방호

한 글 제 목(굴림 16)

(12)

이센터¹⁾ · 김센터²⁾(굴림 11)

Cen-Ter Lee · Cen-Ter Kim (11)

ABSTRACT(견명조 10)

abstract abstract abstract abstract abstract abstract(10)

Keywords : Keywords, Keywords, Keywords, Keywords, Keywords, Keywords,
Keywords,

1) 00대학교 0000전공 석사과정(바탕 9)
2) 00대학교 0000전공 교수

5.3 00000

(HY 13)

~~~~~ 3)~~~~~

~~~~~ .

6.

~~~~~

~~~~~ .

~~~~~

~~~~~ .



참 고 문 헌(휴먼고딕 16)

- [1] , 『2007 () 4 』 , , 2012
- [2] , “ ” ; 47 , 2007
- [3] , 『 』 , , 2005
- [4] , “Knowledge Map ” , 2006
- [5] , “ ” ; STEPI, 2003

000(E - mail: 0000000@naver.com)

2000 0000000 졸업(문학사)
현재 00대학교 0000전공 석사과정
관심분야 : 데이터마이닝, OR/SA,



000(E - mail: 0000000000@000000)

1991 00000학교 졸업(이학사)
1997 미국 UC. Berkeley 졸업(0000 석사)
2005 KDI 00대학원 졸업(000000 석사)
2006 00 (0000)
관심분야 :

| 발행인 |

김홍석(국방대학교 총장)

| 편집인 |

박영준(국가안보문제연구소장)

군사과학연구

제15권 제2호

2022년 12월 31일 인쇄

2022년 12월 31일 발행

발행처 : 국방대학교 국가안전보장문제연구소

TEL. (041) 831-6414

E-mail. rinsakj@kndu.ac.kr / kndu212@kndu.ac.kr

인 쇄 : 청 맥 기 획 (042) 487-2589

ISSN 1975-3888



Research Papers

A Study on Defensive Shooting Methods for Missile using ABM - Focusing on the Patriot system -
/ **Gibong Nam · Choonjoo Lee**

A Study on the Effectiveness of Outsourcing Bus Service for Military Outpatient Transportation Using Queueing Simulation
/ **Byeongho Park · Jaehyeon Byeon · Yoonhwan Cho · Gyeonggi Bae · Yeonwoo Kim · Moongeol Lee · Namsuk Cho**

A Research of Fielding Drones for Close-Combat Unit
/ **Heejeong Park · Jin Shin**

A Simulation Study on the Cooperative Mission Planning of the Ground Unmanned Systems
- Focused on the Tank Gun-Firing Training Preparation Activities -
/ **Giwon Hong · Choonjoo Lee**

