

소부대 전투 모의를 위한 의사결정트리 기반 재보급 행위 모델링

안세일[†] · 한상우

Resupply Behavior Modeling in Small-unit Combat Simulation using Decision Trees

Seil An[†] · Sang Woo Han

ABSTRACT

The recent conflict between Russia and Ukraine underscores the significant of military logistics support in modern warfare. Military logistics support is intricate and specialized, and traditionally centered on the mission-level operational analysis and functional models. Nevertheless, there is currently increasing demand for military logistics support even at the engagement level, especially for resupply using unmanned transport assets. In response to the demand, this study proposes a task model of the military logistics support for engagement-level analysis that relies on the logic of ammunition resupply below the battalion level. The model employs a decisions tree to establish the priority of resupply based on variables such as the enemy's level of threat and the remaining ammunition of the supported unit. The model's feasibility is demonstrated through a combat simulation using OneSAF.

Key words : Logistics support, decision making, decision tree, combat simulation, effectiveness analysis

요약

최근 러시아-우크라이나 전쟁에서 볼 수 있듯이 군수지원은 현대전에서 빼놓을 수 없는 중요한 요소 중의 하나이다. 군수 지원은 모의 논리의 특수성과 복잡성으로 인해 대부대 분석 모델과 전문적인 기능 모델 중심으로 발전되어 왔지만, 교전급 분석 모델에서는 군수지원에 대한 요구가 상대적으로 높지 않았다. 그러나 대대급 이하 제대에서도 무인 수송자산을 이용한 재보급 필요성이 제기되면서, 이의 전투 효과를 분석하기 위한 모의 기법도 함께 요구되고 있다. 이에 본 연구에서는 대대급 이하 제대의 탄약 재보급 논리를 기반으로 교전급 분석 모델을 위한 재보급 과업 모델을 설계한다. 재보급 과업 모델은 다음과 같은 순서로 도출되는 의사결정트리를 기반으로 동작한다. 먼저, 사전 반복 모의실험을 통해 여러 가지 쌍방 교전 조건과 아군의 탄 잔여량에 따른 피아 손실교환비를 수집한다. 이어서, 쌍방 교전 조건, 탄 잔여량, 손실교환비로 표현되는 의사결정 트리를 만든다. 의사결정트리는 전투모의 실행 간에 적의 위협 강도, 피지원 부대의 탄 잔여량 등을 고려하여 재보급 우선순위를 결정하는 데 사용된다. 끝으로 제안된 모델의 실행 가능성을 OneSAF 기반 소부대 전투 모의실험을 통해 입증한다.

주요어 : 군수지원, 의사결정, 의사결정트리, 전투 시물레이션, 효과 분석

1. 서론

군수지원은 현대전에서 중요한 요소이지만, 교전급 분석 모델에서는 군수지원에 대한 요구가 상대적으로 높지 않았다. 그러나 대대급 이하 제대에서도 무인 수송자산을 이용한 재보급 필요성이 제기되면서, 이의 전투 효과를 분석하기 위한 모의 기법도 함께 요구되고 있다.

기존의 무기체계 소요 분석을 위해 사용되는 분석 모델들은 군수지원의 영향을 배제한 전투체계의 효과 분석

* 이 논문은 2023년 정부(방위사업청)의 재원으로 국방과학연구소에서 수행된 연구임(사업부호 912818401)

Received: 6 April 2023, Revised: 4 July 2023,
Accepted: 4 July 2023

[†] Corresponding Author: Seil An
E-mail: phone12@add.re.kr
Agency for Defense Development

에만 치중해 있어서 군수지원 능력을 반영한 유기적인 전투 효과 분석은 어렵다. 특히 제한되는 재보급 여건이 손실률 등의 교전 결과에 미치는 효과에 관해서는 연구가 적은 실정이다.

군수지원 분야의 전문적인 기능 모델 중심으로는 많은 연구가 수행된 바가 있다. 이는 군수지원 분야는 서로 특성이 다른 다양한 분야로 구성되어 있기 때문에 모의를 위해서는 보급과 같은 군수지원의 일부 분야에 대한 전문적인 모델을 구성하거나 각 분야의 모델을 개발하여 이를 종합하는 방식으로 구성된다.

군수지원의 몇 가지 분야에는 군사 분야가 아닌 영역에서도 흔히 연구되는 내용을 적용할 수 있다. 이 분야는 다음과 같다. 보급은 보급 소요에 따라 각 보급품을 보급 부대로 분배하는 것에 대한 것이며 여기에 보급품 소요량 예측, 적재 배분 등이 연구 분야로 포함될 수 있다. 수송에서는 적재 문제, 차량배차 문제, 경로계획 등이 연구 분야로 포함될 수 있다. 따라서 군수지원 자동화에 있어 특히 위 두 분야인 보급 및 수송에는 다양한 최신 기법들을 활용할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 다른 한편으로는 군사작전이라는 군수지원 분야의 특수성을 반영하기 어려워 전체 M&S 체계에서 동떨어진 형태의 모델이 되는 경우가 많다. 또한 각각의 알고리즘 기법이 요구하는 조건들이 경우에 따라 까다롭게 구성되어 도리어 군수지원 모델이 알고리즘에 종속된 형태가 되는 수도 있다. 본 논문에서는 이런 문제에서 벗어나기 위해 분석 모델의 설계에서부터 재보급을 중심으로한 군수지원 행위가 포함된 형태의 모의를 구성하고자 한다. 그에 따라 제안하는 것은 다음과 같이 요약된다.

- 교전급 분석 모델을 위한 재보급 과업 모델 설계: 교전 상황에서 재보급이 전투 효과에 미치는 영향을 확인하고 이를 전투 결과로 검증하기 위한 재보급 과업 모델을 설계한다. 분석 모델의 특성에 맞게 무인 수송자산을 이용한 재보급 의사결정 및 수송까지를 포함하는 모델을 개발한다.
- 소부대 교전 반복 모의를 통해 실험적 의사결정 자원 도출: 규모가 큰 전체 전투 모의에서 일부 조건에 맞는 모의를 분리하여 소규모로 반복 모의를 진행하는 방식을 활용한다. 이를 통해 재보급의 개별 요소를 분해하여 전투에 미치는 영향을 파악할 수 있으며, 작은 모델을 구성하므로 컴퓨팅 부담을 줄일 수 있다. 또한 반복 모의 결과는 향후 재보급 의사결정에 필요한 실험적 자원으로 활용할 수 있

며, 이를 통해 의사결정의 자동화 또한 가능하다.

- 의사결정 모델을 통해 재보급 전투 효과 시각화, 의사결정 지원: 의사결정트리를 기반으로 하는 의사결정 모델을 수립하고 이를 바탕으로 의사결정 지원 방식 또는 자동 의사결정을 수행한다. 의사결정트리를 활용하는 방식은 사용자의 직관적 이해를 높일 수 있으며, 매개변수를 구조화하여 의사결정을 단순화할 수 있는 장점이 있다.
- 전투 모의실험으로 재보급 모델 검증: 본 연구에서 제안하는 의사결정 방식으로 수행된 모델은 최종적으로 전투 모의실험을 수행하여 실행 가능성과 효과를 보여준다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 재보급 모의 또는 자동화와 관련된 선행연구 및 연구목표를 기술한다. 3장에서는 재보급 자동화 모의 논리를 설계한다. 4장에서는 전투모델 모의 결과를 보여준다. 또한 모의에 따른 전투 효과도를 분석하며, 5장에서 본 논문을 맺는다.

2. 관련 연구 및 연구목표

2.1 관련 연구

이 장에서는 군수지원과 관련된 시뮬레이션 기법 연구 사례에 대해 살펴본다. 군수지원이 포함된 대규모 워게임 관련 연구로는 이한식 외(2016)의 연구에서 제시된 바와 같이 육군에서는 작전지속지원분석모델을 개발하여 활용하고 있으며, 이 모델은 보급, 수송, 정비 외에 인사, 의무 등의 요소들도 아우르고 있다. 기본적으로는 입력된 데이터베이스를 바탕으로 작동되는 방식이고 분야별로 다른 분석 모델이 장착되어 있다. 대규모 전투를 염두에 둔 모델로서 상당한 준비 기간과 다수의 인원이 동원된다는 특징이 있다. 해당 연구가 본 논문에서 제시하는 모델과 가장 유사한 형태로 볼 수 있다. 다만 작전지속지원분석 모델에서는 주로 미리 입력된 자료를 활용하는 방식으로 되어있으며 이는 뒷장에서 제시할 분류에 따르면 선행적 자원이라고 할 수 있다. 반면 본 논문에서는 실험적 방식인 소부대 교전 반복 모의를 통해 모의에 필요한 자원을 확보하고자 하였다. 또한 수동, 반자동, 자동 방식의 다양한 의사결정 지원 도구를 제시했다는 특징이 있다.

위와 같은 모의 방식 외에 군수지원에 관련된 연구들은 주로 군수지원 요소 중 일부분을 다루게 된다. 본 연구에서 주목하고 있는 재보급 관련 연구로는 조상준 외(2020), 정민섭 외(2006), 문성암 외(2012), 이영신(2004)

의 연구가 있다. 조상준 외(2020)는 동적계획법을 활용하여 총기, 탄약 분배 우선순위에 관한 연구를 수행하였다. 정민섭 외(2006)는 상호작용 다목적 최적화 방법론을 이용하여 탄약 할당 모형을 구축하는 연구를 수행하였다. 문성암 외(2012)는 최적의 탄약공급 체인 설계에 관한 연구를 수행하였다. 이영신(2004)는 정수계획법을 활용하는 방식에 관해 연구하였다.

수송 및 보급로 구성에 관한 연구도 다양하게 연구가 되는 분야이다. 재보급 문제와 유사한 알고리즘을 적용할 수 있으며, 여기에 재보급까지 같이 고려하면 더 복잡한 형태의 문제가 된다. Hongtao Shi 외(2010)는 개미 군집 최적화를 이용하여 재보급 분배에 관한 연구를 수행하였다. 김기태 외(2010)는 유전자 알고리즘을 이용하여 최적 보급로 구성에 관한 연구를 수행하였다. 수송 자체에 관한 연구로는 민간에서는 차량배차 문제로 널리 알려져 있으며, 대표적인 예시로 한 가지만 제시하자면 Richard Freling 외(2001)의 경매 알고리즘으로 1개 차고의 차량 배차 문제를 해결한 연구가 있다.

군수지원 요소 중 일부를 모의한 형태는 위에 제시된 연구들 외에도 다양한 형태로 되어있으며 주로 전장 모의 환경으로부터 문제 설정, 수식화, 최적화 알고리즘 적용 순으로 진행된다. 이러한 방식들은 발전된 형태의 다양한 문제해결 방법론을 쉽고 빠르게 적용할 수 있다는 장점이 있으나, 알고리즘에 따라 요구되는 조건이 까다로운 경우 오히려 군수지원 모델이 알고리즘에 종속되는 형태가 되는 단점도 있다. 본 논문에서는 대표적인 최적화 알고리즘인 정수계획법을 사용하는 한편 의사결정트리를 이용하여 재보급 문제를 사전에 구조화시켜서 알고리즘 적용이 쉽게 하였다.

본 연구에서는 소규모 반복 교전 모의를 수행하고 이를 토대로 의사결정을 수행하는 내용도 다루고 있다. 이렇듯 전투 효과 측정에 관한 선행연구들은 다음과 같이 수행되었다. 엄홍섭(2020)은 란체스터 법칙을 활용하여 드론봇 전투체계의 전투 효과 측정에 관해 연구하였다. 마찬가지로 오정택 외(2021)는 란체스터 모형에 기반한 방어작전에서의 전투 효과를 분석하였다. 수식 모델 외의 방법으로 전투 효과도를 분석한 연구도 임종원 외(2021)에 의해 수행되었다. 선행적인 자료를 토대로 전투 결과를 예측한 연구도 있었다. 유병주(2020)는 전쟁사 자료를 이용하여 인원 손실률을 분석하는 방법에 관해 연구하였다. 전투 효과의 측정에 관한 연구들은 주로 모의 분석 도구에 의한 연구와 수식 기반의 연구로 나눌 수 있다. 본 연구의 토대는 소규모 교전 반복 모의를 통해 얻은 것

이므로 모의 분석 도구에 의한 것이며, 이후 취합 시점에서는 수식 기반으로 하므로 복합 모델을 적용했다고 할 수 있다. 다만 이후 전투 모의에서 재보급과 전투를 모두 하나의 분석 도구 틀 안에서 수행한다는 점에서 재보급 및 전투 모의가 별도로 진행되는 선행연구에 비해 장점이 있다고 할 수 있다.

2.2 연구 목표

본 논문의 연구 목표 달성을 위해서는 다음과 같은 요구사항이 고려되어야 한다.

첫째, 의사결정을 위한 실험적 자원 도출을 위해 소규모 전투모의의 시나리오를 구성하고 수행해야 한다. 대상이 되는 시나리오는 실제 예상되는 소규모 교전과 유사할수록 분석 모델의 충실도를 높일 수 있으나, 그 경우 분석에 큰 노력이 들어간다.

둘째, 의사결정 모델이 필요하다. 사전에 얻은 모의를 위한 각종 자원과 모의 도중 산출되는 관측 자원은 모두 정확한 의사결정과정을 돕기 위한 것이다. 이를 위해서 문제에 적합한 의사결정 모델이 설계되어야 한다. 본 연구에서는 의사결정트리를 활용하였으며, 이 방식은 자체적으로 가용한 결정을 구조화하는 특징이 있다. 소부대 교전 반복 모의와 같은 실험적 자원은 대규모의 자료를 확보하기 어려운 만큼 의사결정트리와 같은 방식이 적합하다.

셋째, 각 모의 단계마다 적절한 사후분석이 필요하다. 소규모 교전에서는 교전별로 사후분석이 수행되어야 하며 각 교전 결과는 데이터베이스화되어 자세히 분석되어야 한다. 각 교전의 조건 및 결과에서 피아 손실 값은 향후 의사결정을 위해 기초 값이 된다. 또한 반복 수행에 따른 통계수치를 통해서도 정보를 얻을 수 있다. 예를 들어 특정 교전 모의의 사후분석 결과에서 큰 분산이 관측된다면 해당 분산의 원인이 무엇인지 관찰하여 어떤 부분이 불규칙성을 만드는지 파악할 수 있다.

마지막으로 모의된 전장 환경에서 재보급을 모델링할 수 있는 전투 모의 환경이 필요하다. 본 연구에서는 OneSAF가 제공하는 전투모의 환경에서 개발되는 재보급 모델을 통합하여 이의 모의 가능성을 탐색한다.

3. 재보급 행위 모델링

이 절에서는 재보급 자동화를 모의하기 위한 개념모델을 제시한다. 먼저 전체적인 모의 과정을 요약하고 재보급 의사결정을 위해 제안하는 기법을 이어서 설명한다.

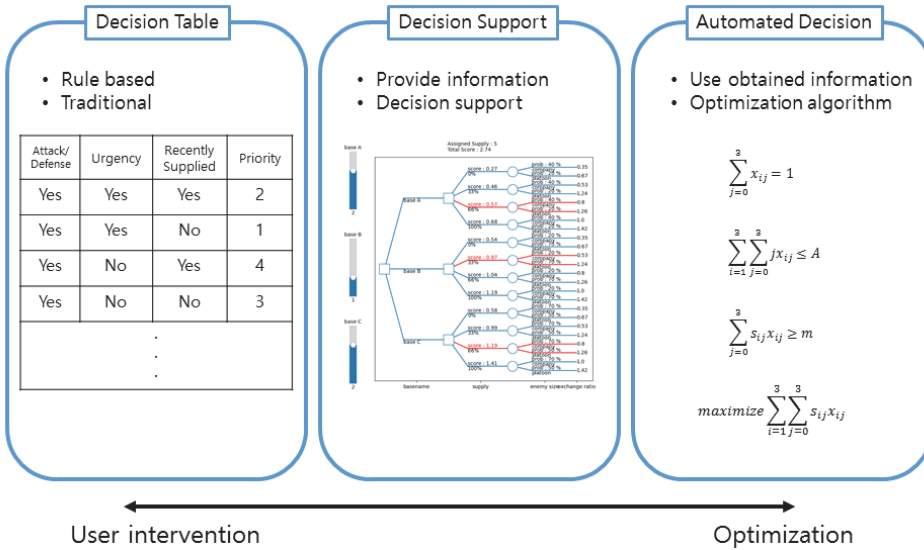


Fig. 1. Comparisons of decision making methods

3.1 모의 개념

본 논문에서 말하는 재보급은 대대급 전투 모의를 위한 재보급이다. 중대급 이하 전투부대가 각자의 책임구역에서 최초로 할당된 기본 탄약 휴대량을 가지고 임무를 수행한 뒤, 탄약 보유량이 일정한 수준 이하로 내려가면 본부에 재보급 요청을 한다.

본부는 각 부대의 재보급 우선순위와 보급량을 판단한다. 이때 (1) 의사결정 도표에 따른 재보급 행위 모델 또는 (2) 의사결정 사용자 지원에 의한 재보급 행위 모델, (3) 의사결정 자동화에 따른 재보급 행위 모델을 이용하여 모든 부대의 재보급 계획을 수립해야 한다. 재보급 계획을 수립하기 위해서는 재보급 우선순위를 판단해야 하는데 다음과 같은 변수를 고려할 수 있다. 예를 들어, 현재 보유하고 있는 탄약의 수량뿐만 아니라 적의 예상 공격 강도를 고려할 수 있다. 적 대규모 부대의 접근이 예상된다면 해당 책임 구역 내 이군 부대에 높은 재보급 가중치를 부여하여, 더 많은 재보급을 할 수 있다. 적 위협 대비 적정 보급수준을 판단하기 위해서는 사전에 교전 반복 모의를 통해 보급률에 따른 전투 효과도를 산출하고 이를 모델에 반영할 수 있다. 본부에서는 재보급 자동화 모델이 산출한 결과에 따라 수송자산을 할당하여 재보급을 한다. 수송자산은 화물 적재, 수송, 하화 등의 물자 수송 과업을 수행하여 피보급 부대에 탄약을 보급한다. 모의 실험이 끝나면 사후분석을 통해 효율적인 재보급에 따른 전투 효과를 확인한다.

3.2 재보급 의사결정 모델

본 논문에서 고려하는 재보급 의사결정 기법은 Fig. 1과 같다. 먼저 의사결정의 모형화에 있어서 전통적 방식은 도표를 이용하는 것이다. 흔히 규칙에 따른 의사결정으로 평가하며, 표에서 주어진 조건들에 해당하는 행을 찾고 그 행의 내용을 참조하여 재보급 과업을 수행하는 방식이다. 방식의 구성상 조건과 그에 따른 행위는 구조화되는 특징이 있다.

본 논문에서는 의사결정 지원 방식과 자동 의사결정 방식을 제안한다. 두 모델 모두 의사결정트리를 기반으로 하였다. 의사결정트리는 조건에 따라 지정된 의사결정을 하므로 근본적으로 의사결정 도표와 유사하다고 할 수 있다. 다만, 의사결정트리는 다음과 같은 장점이 있다.

첫째, 조건에 따른 단순 나열인 의사결정 도표보다 각 조건의 작용 순서, 조건의 종류(선택 또는 사건), 각 조건이 미치는 영향을 명시적으로 보여줄 수 있다. 둘째, 의사결정의 순서를 정의하므로 복잡한 의사결정도 비교적 쉽게 이해할 수 있다. 예를 들어 결정 A를 내린 이후, 그 결과 도출되는 사항에 대한 결정 B를 판단할 수 있는 방식이다. 다만 면밀하게 순서가 설정되지 않으면 이는 단점으로 작용할 수 있다. 셋째, 기댓값 계산을 통해 각 선택의 우열을 가릴 수 있으며, 이를 의사결정에 반영할 수 있다. 마지막으로 상 윗단의 가치에서 효용성이 낮을 것으로 판단되는 가치의 경우 미리 배제하는 일종의 ‘가지치기’가 가능하다. 이를 통해 의사결정 당사자도 복잡한

의사결정 구조에서 주요한 결정에 집중할 수 있어 유리하다.

Fig. 2의 의사결정 도표에서는 특정 부대에 대한 재보급의 수준을 4가지 단계로 구분하였다. 이는 의사결정의 가지 중 ‘선택’에 해당하며 그림에서 사각형으로 표현된다. 한편 이후의 가지에서는 적 규모에 따라 2가지 단계로 구분하였다. 이 가지는 ‘사건’에 해당하며 그림에서 원으로 표현된다.

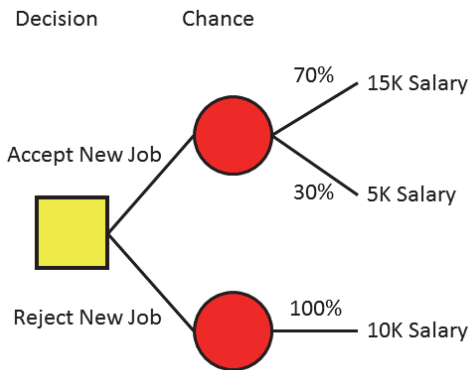


Fig. 2. An example of decision tree

의사결정 지원 방식과 자동 의사결정 모두 의사결정 트리로부터 도출되는 결과를 활용하였다. 지금까지 설명된 세 가지 방법을 비교하자면 의사결정 도표에서 사용자가 개입할 가능성이 가장 크다고 할 수 있다. 사용자는 주어진 의사결정 도표를 따르지 않고 언제나 자의적으로 선택을 하는 것이 가능하다. 한편 의사결정 지원 방식에서는 사용자가 개입할 가능성을 어느 정도 제한시켰다. 사용자의 개입은 의사결정트리 안에서 선택 가능한 가지들에 한정된다. 이러한 제한은 필요한 경우 더 엄격하게 정의될 수도 있다. 한편 자동 의사결정 방식에서는 사용자가 개입할 여지가 더욱 제한된다. 최적화 알고리즘에 따라 주어진 조건의 최적해를 산출해 주며, 수식의 제한 조건을 설정하여 간접적으로 결과에 영향을 미칠 수 있다.

3.2.1 의사결정 자원 수집

본 논문에서 의사결정에 요구되는 사전지식과 실험 결과와 같은 데이터를 의사결정 자원으로 부른다. 그리고 의사결정 자원을 선행적 자원, 실험적 자원, 관측 자원으로 구분하였다.

선행적 자원은 경험 또는 사전 연구를 통해 알고 있는 정보이다. 예를 들어 정례적으로 수행되는 훈련을 통해 부

대의 재보급 요구량을 알고 있다면 이는 선행적 자원에 해당한다고 할 수 있다. 또는 적의 교전 우선순위 의사결정에 있어 과거 사례분석 등을 토대로 도표를 확립한다면 이 또한 선행적 자원을 활용하는 예시라고 할 수 있다.

실험적 자원은 전투실험 또는 전투효과분석모델을 통해 얻은 정보이다. 여기서 선행적 자원과의 차이점은 실험적 자원은 해당 정보를 얻기 위한 목적으로 전투실험 또는 모의를 수행했다는 점으로 구분하였다. 본 논문에서 이후 설명할 소부대 교전 반복 모의를 통해 얻은 탄 잔여량에 따른 피아 손실교환비의 경우 실험적 자원의 예시가 될 수 있다.

관측 자원은 모의 과정 중 전투효과분석모델에서 얻어지는 정보이다. 예를 들어 전투 모의 과정 중에서 정찰을 통해 관측된 적 규모에 대한 정보가 있다면 이는 관측 자원으로 분류될 수 있다.

서술한 바와 같이 의사결정에 활용될 수 있는 자원을 분류하였다. 이러한 분류를 수행한 이유는 기존에 선행적 자원에 주로 의존하였던 의사결정에서 더 나아가 실험적 자원과 관측 자원을 적극적으로 활용하는 방식의 의사결정을 제안하기 위한 것이다.

3.2.2 의사결정 자원 수집을 위한 교전 모의

효율적인 재보급 모형을 위해 본 연구에서는 모의를 여러 가지 층계로 나누는 방식을 활용했다. Fig. 3과 같이 가장 윗단의 모의를 전투와 재보급이 모두 포함된 모의라고 한다면 재보급에 해당하는 일부 모델을 따로 분리해내어 분석하는 방식이다. 또한 하부 모델에 해당하는 재보급의 자동화 및 분석을 위하여 그보다 더 작은 규모의 소부대 교전을 반복 모의하고 이를 활용하였다.

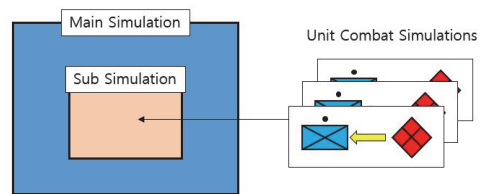


Fig. 3. The diagram of multi-layer simulation

이와 같이 분리하면 같은 매개변수에 대해서도 적은 계산 부담으로 효과를 분석할 수 있다. 특히 본 논문과 같이 반복 모의를 수행하고자 하는 경우 많은 데이터를 축적하는 데 유리하다. 본 논문의 경우에서 분대 수준의 아군이 적 소대·중대 규모에 대해 지역 방어하는 시나

리오를 30회 반복 모의하였다. 이때 별도의 엄폐, 장애물 등은 고려하지 않았으며, 탄약의 잔여량에 따른 전투 결과를 비교하였다. 탄 보유량은 각각 0%, 33%, 66%, 100%로 설정한다.

본 연구의 소부대 교전 반복 모의의 목적은 소부대의 보급 잔여량에 따른 전투 결과를 파악하고 이를 토대로 재보급 자동화 모형을 수행하는 것이다. 따라서 각 부대의 탄약 잔여량을 단계로 나누고 이에 따른 전투 결과를 모의하도록 하였다. 앞서 설명한 바와 같이 위 반복 모의에서 보유량을 4단계로 분류하고 있는데, 이는 일종의 구조화에 해당하며, 실제로는 연속적인 매개변수를 불연속화 하여 이후 의사결정 모형을 단순화하고자 하는 목적이 있다. 모의실험 결과는 적아 잔존전투력, 적아 손실률, 손실교환비로 수치화된다.

본 논문에서 의사결정에서 활용할 지표는 손실교환비다. 손실교환비는 각종 전투 모의에서 주로 사용되는 지표로 대표적으로 아군의 전투가 얼마나 효율적이었는지를 파악할 수 있는 값이 된다. 반복 교전모의를 통해 얻은 해당 수치는 Table 1과 같이 나타낼 수 있었다. 다만 해당 지표는 때에 따라 적 전투부대의 규모에 따른 분석을 어렵게 하는 측면이 있어 유의하여 활용해야 한다. 예를 들어 임무 할당 문제에서 손실교환비의 합계를 목표로 최적화 문제를 푸는 경우 이미 압도적인 교전에 대해 무의미하게 더 많은 자원을 투입하도록 하는 식의 결과가 도출될 수 있기 때문이다.

이러한 단점을 상쇄하기 위하여 본 논문에서는 교환비뿐만 아니라 적 손실 수 또는 적 손실률 등에 대한 자료도 함께 분석에 고려하였다. 이러한 데이터를 종합해야만 적의 규모에 따른 분석의 치우침을 배제하고 적절한 의사결정 분석을 할 수 있다.

Table 1. Loss exchange rate for each situation

		Resupply level			
		0	1	2	3
Enemy Size	Company	0.34	0.5	0.82	1.1
	Platoon	0.62	1.89	1.86	2.25

3.2.3 의사결정 사용자지원 모듈

의사결정을 모형화하기 위해서는 기본적으로 대상이 되는 시나리오의 구성이 필요하다. 의사결정은 항상 일어나는 것이 아니며, 상황에 따라 그 경중도 달라지는 것을 고려해야 한다. 예를 들어 교전이 드문 상태에서는 특별

한 재보급 의사결정 없이 요청에 대응하는 방식으로 모의할 수 있다. 한편 교전이 동시다발적으로 발생하는 상황에서는 재보급에 따른 전투 효율을 고려하여 의사결정을 한다.

제시하는 시나리오는 다음과 같다. 3개의 전투부대가 탄약이 소진된 상태로 탄약 재보급을 기다리고 있는 상황을 가정한다. 정찰자산은 정찰을 통해 각 부대가 만났던 규모의 교전 발생 가능성을 판단한다. 본부는 각 전투부대를 위한 재보급 계획을 수립한다.

본 논문에서는 위 의사결정 시나리오에 따라 의사결정 사용자지원 모듈 및 자동 의사결정 모듈 두 가지의 자동화를 구성하였다. 먼저 의사결정 사용자지원 모듈은 Fig. 4-5와 같다. 각 분기점에서의 기호는 선택 분기에 사각형, 사건 분기에 원을 사용하는데, 이는 의사결정트리를 그릴 때 흔히 사용되는 기호이다. Fig. 4에서 가장 왼쪽은 각 부대의 재보급 수준에 대한 분기이며, 이는 사용자가 선택 가능한 영역으로 선택 분기에 해당하므로 사각형으로 그려진다. 다음 단의 분기는 예상되는 적의 규모이다. 이에 대해서는 확률적으로만 파악을 할 수 있는 사건이기 때문에 사건 분기에 해당하며 원으로 표현된다.

각 트리의 최종 가지에서는 전투부대의 재보급 수준과 적의 규모가 확정된 상태이며 이때 예상되는 전투 결과를 각 가지의 끝에 표기하였다. 여기에 활용되는 수치는 손실교환비로 하였으며, 이는 이전 절의 소부대 교전 반복 모의를 통해 사전에 도출된 값이다. 적 규모에 해당하는 분기에는 규모별로 예상되는 교전 확률을 명시하였다. 이는 전투 모의에서 관측 자산을 통해 예측한 교전 확률이다. 재보급 선택 분기 위에는 재보급 수준과 적 규모에 따른 전투 결과를 고려한 종합 점수를 기재하였다. 여기에는 교전 확률에 대한 기댓값 개념이 적용되어 있어 향후 진행되는 의사결정에서 사용자의 선택을 지원하는데 유용하게 활용될 수 있다.

Fig. 4와 같은 전투부대별 의사결정트리를 모두 조합하면 Fig. 5와 같은 의사결정 사용자지원 모듈을 구성할 수 있다. 사용자지원 모듈은 전투부대별 의사결정트리를 모아놓은 형태이다. 이 경우 첫 번째 노드는 각 부대에 어느 수준의 재보급을 할당하는지에 대한 의사결정 노드이며, 두 번째와 세 번째는 Fig. 4의 경우와 같다. 사용자는 그림의 좌측과 같이 구성된 슬라이드 바를 조정하여 전투부대별로 재보급 할당을 하게 되며, 그에 따른 점수는 적색으로 표시된다. 모듈의 상단에는 현시점에서 할당된 재보급 수준과 전투부대별 의사결정에 따른 종합 점수를 표기하여 사용자의 판단을 지원할 수 있도록 하였

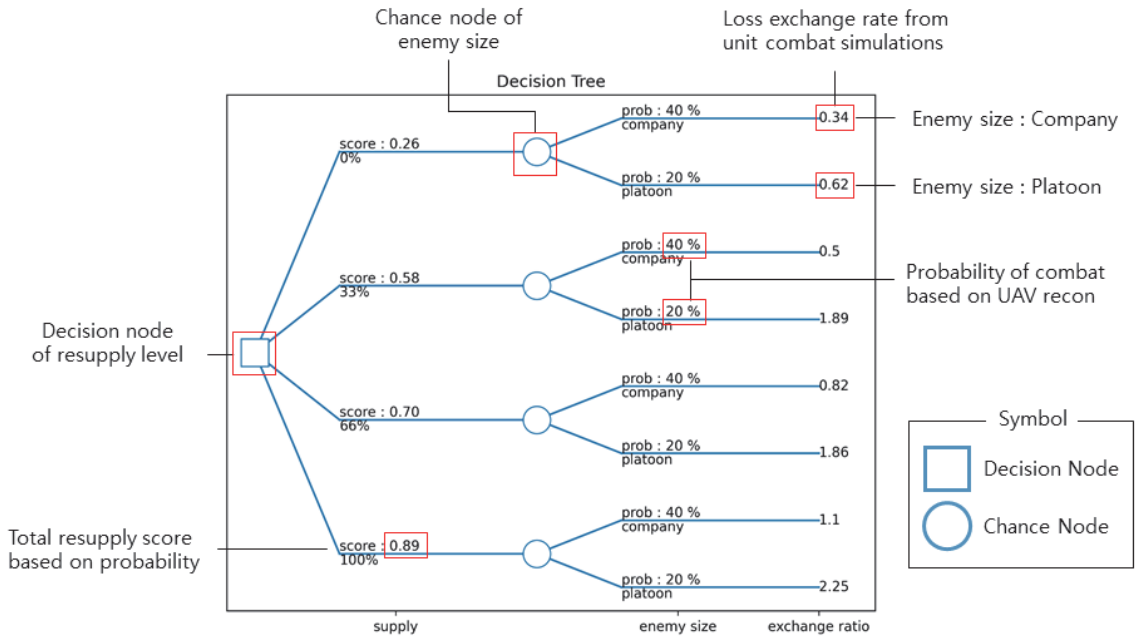


Fig. 4. A decision tree for resupply

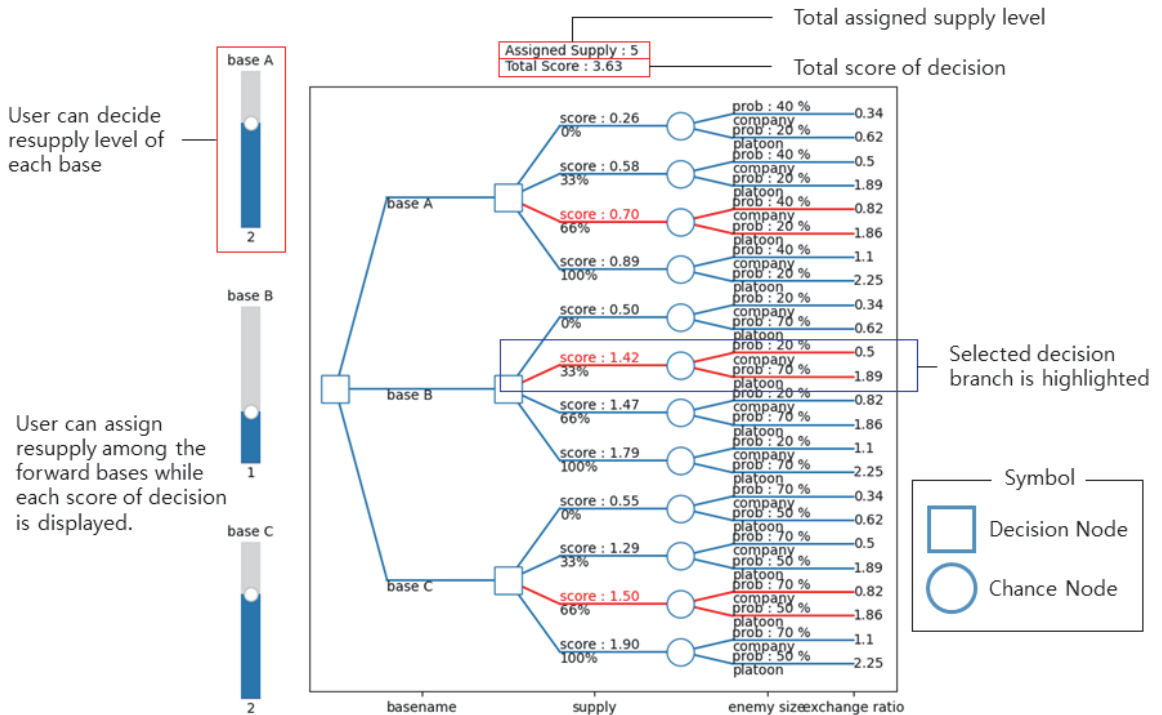


Fig. 5. A decision support module based on the decision tree

다. 위와 같은 의사결정 사용자지원 방식을 사용하면 후술할 자동화 방식의 의사결정에 비해 사용자의 개입 여지를 줄 수 있고, 변화하는 환경에 잘 대응할 수 있다는 장점이 있다. 또한 각 의사결정에 따른 효과를 한눈에 파악할 수 있다는 장점이 있다.

3.2.4 의사결정 자동화 모듈

의사결정 자동화 모듈은 전투부대별 재보급 할당 문제를 수식화한 후 정수계획법을 이용하여 풀어내는 방식이다. 정수계획법이 선형계획법의 특수화된 형태라는 점을 고려하면 문제의 풀이에서 반드시 정수만 요구되는 것은 아니지만, 본 논문에서는 사전에 의사결정트리를 통해 결정의 범위를 제한하였으므로 해의 범위도 정수가 된다. 정수계획법의 적용은 풀이의 순서대로 볼 때 크게 변수 설정, 제한조건 부여, 목적함수 설정, 계산으로 구성된다. 위의 문제에서 주된 변수는 부대별 탄약 재보급 수준이며, 전투부대의 수와 같이 설정된다. 이에 덧붙여 목적함수의 설정 방식에 따라 추가적인 더미 변수가 생성될 수 있다. 변수는 다음 식과 같다. x_{ij} 는 부대 i 에 j 단위의 재보급을 할 때 1, 그렇지 않은 경우는 0을 할당한다. 여기서 $i \in \{1,2,3\}$, $j \in \{0,1,2,3\}$ 이다. 기본적으로 설정되는 제한조건은 다음과 같다.

$$\sum_{j=0}^3 x_{ij} = 1 \tag{1}$$

$$\sum_{i=1}^3 \sum_{j=0}^3 jx_{ij} \leq A \tag{2}$$

$$\sum_{j=0}^3 s_{ij}x_{ij} \geq m \tag{3}$$

식 (1)에서는 각 부대에 하나의 재보급 결정만을 허용하는 것을 규정한다. 식 (2)는 총 가능한 재보급량의 상한을 A 로 제한한다. 식 (3)은 각 전투부대의 예상 재보급점수가 특정 값 이상이 되도록 제한한다. s_{ij} 은 부대 i 가 j 단위의 재보급 수준 시의 예상 재보급점수이며 Fig. 4와 같은 의사결정트리 기댓값 분석을 통해 얻을 수 있다.

$$\max \sum_{j=0}^3 s_{ij}x_{ij} \tag{4}$$

계산은 Python 및 PULP 모듈의 CBC MLP Solver를 활용하였다. 본 논문에서 제시한 계산은 비교적 간단한 수준으로 짧은 계산시간 내에 처리할 수 있다. Table 2에

서 그 결과를 나타내었다. 각 행에서 재보급을 요청한 부대가 표시되며, 각 부대에 지원된 재보급 수준을 보여준다. 예를 들어 부대 A에는 2 수준의 재보급을 지원하도록 의사결정 된 것이다.

Table 2. The optimized resupply levels for each unit

x_{ij}		Resupply level			
		0	1	2	3
Unit	A	0	0	1	0
	B	0	1	0	0
	C	0	1	0	0

정수계획법을 계산을 통하면 이전 절의 의사결정트리에서 나온 재보급 점수를 최대화하는 최적의 재보급 의사결정을 얻을 수 있다. 이 과정에서 식 (3)과 같이 각 전투부대의 최소 요구 점수를 지정하여 특정 부대가 너무 낮은 점수로 할당되는 것을 방지할 수 있다. 이 식에서는 제시하지 않았지만 반대로 특정 부대에 너무 많은 재보급이 되지 않도록 제한하는 방식도 가능하다.

정리하자면, 본 논문의 의사결정 자동화 모듈은 정수계획법을 사용하여 의사결정을 수행하며, 이 과정에서 최적의 해를 얻는다는 장점이 있다. 또한 다양한 제한조건 설정을 통해 제한적이지만 사용자의 의사를 포함할 여지가 있다. 한편 의사결정 사용자지원 모듈과 비교해서 의사결정에 따른 결과를 눈으로 확인하며 동적으로 판단하지는 못한다는 단점이 있다.

4. 구현 및 실험 결과

이 장에서는 재보급 모델을 전투 모의 모델에 통합한 결과와 모의실험 및 분석 결과를 설명한다. 본 모의실험에서 사용한 시나리오는 기능 검증 차원에서 작성된 임의의 시나리오이며, 군사 교리와의 일관성은 고려하지 않는다. 이어서 의사결정 자동화 모델을 적용했을 때와 그렇지 않았을 때의 재보급 결과와 그로 인한 전투 효과를 비교 분석하여 제안된 방법의 효과를 입증한다.

4.1 재보급 과업 모델 구현 결과

제안된 기법의 실행 가능성을 확인하기 위해 OneSAF (One Semi-Automated Forces) 국제판 7.0 위에 재보급 자동화 과업 모델을 구현하였다. 이 과업은 보급소에서 피 보급부대로 탄약 등 전투긴요 물자를 수송하는 과업

이며, 보급부대에 부여된다. 보급부대는 보급소, 무인 차량, 수송 드론으로 구성된다. 이 과업에는 피 보급부대 목록, 피 보급부대에 물자를 수송하는 수송부대, 피 보급부대의 재보급 수준이 입력된다. 사용자의 판단에 따라, 특정한 피 보급부대의 재보급 수준을 높여야 한다면 ‘상’, 보통이라면 ‘중’, 낮춰야 한다면 ‘하’를 입력한다. 재보급 자동화 과업 모델은 주어진 입력 변수의 값에 따라 Fig. 6.(a)처럼 물자를 동등하게 배분할 수도 있고, Fig. 6.(b)처럼 계획된 보급수준에 따라 차등 배분할 수도 있다. 이 기능을 이용한다면, 균등하게 배분했을 때와 차등 배분을 했을 때 전체적인 전투 효율이 어떻게 달라지는지 분석할 수 있으며, 이의 분석 사례는 4.3절에서 설명한다.

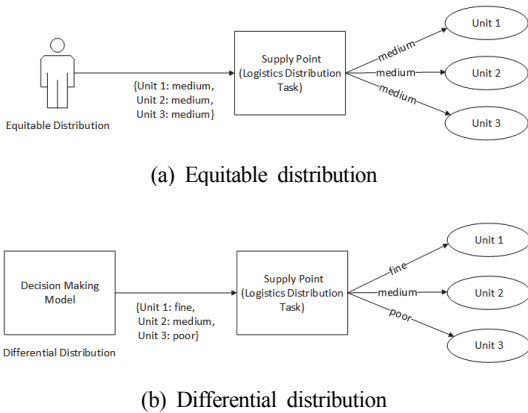


Fig. 6. Examples of logical distribution task execution

Fig. 7에 보이는 바와 같이 재보급 자동화 과업 모델의 필수 입력(required inputs)란에 피 보급부대, 보급소, 수송부대를 입력한다. 보급소와 수송부대의 수는 피 보급부대의 수와 같아야 한다. 선택적 입력(optional inputs)란에는 피 보급부대별 재보급 수준을 입력한다. 이때 3.3.4 절에서 설명한 의사결정 자동화 모듈이 산출한 보급수준을 참조하여 재보급 자동화 과업의 피 보급부대별 재보급 수준을 입력한다.

이 과업은 사용자가 중단 지시를 내릴 때까지 계속 수행된다. 구체적으로 설명하면, 피 보급부대는 탄약 보유량이 인가량 대비 50% 이하로 떨어지면 Fig. 8과 같이 보급소에 재보급 요청 메시지(call for support)를 전송한다. 이 메시지에는 송신 부대, 수신 부대, 소요 탄의 종류, 탄약 보유량, 탄약 인가량이 포함된다. 보급소는 이 메시지를 수신하는 즉시, 피 보급부대의 탄약 보유 현황을 최신화한다. 보급소는 3분마다 피 보급부대의 재보급 소요



Fig. 7. The logistics distribution task

Timestamp	Message Type	Sender Name
	All ▾	All ▾
May 18, 2021 07:33:07 GMT	AmmunitionInventory	K2C1/BLUE-FT-1/BLUE-SQD
May 18, 2021 07:33:07 GMT	AmmunitionInventory	K2C1/BLUE-FT-1/BLUE-SQD_1
May 18, 2021 07:33:07 GMT	AmmunitionInventory	K2C1/BLUE-FT-1/BLUE-SQD_2
May 18, 2021 07:33:07 GMT	CallForSupport	K3/BLUE-FT-1/BLUE-SQD_1
May 18, 2021 07:33:07 GMT	CallForSupport	K3/BLUE-FT-2/BLUE-SQD_2
May 18, 2021 07:33:07 GMT	CallForSupport	K3/BLUE-FT-1/BLUE-SQD
May 18, 2021 07:33:07 GMT	CallForSupport	K3-1/BLUE-FT-2/BLUE-SQD
May 18, 2021 07:33:07 GMT	CallForSupport	K3/BLUE-FT-1/BLUE-SQD_2
May 18, 2021 07:33:07 GMT	CallForSupport	K3-1/BLUE-FT-2/BLUE-SQD_1

Fig. 8. A list of ‘call for logistics support’ messages delivered from units to a supply point

를 판단하여, 무인 차량과 수송 드론에 물자 수송 과업을 부여한다.

재보급량을 판단할 때는 앞에서 설명한 피 보급부대별 재보급 수준을 고려해야 한다. 이는 지휘관의 판단에 따라 결정되는 것인데, 적과의 접촉 가능성이 큰 전방 보급 기지일수록 재보급 수준을 높인다. 현 단계에서는 사용자가 직접 입력한 값을 재보급 수준으로 사용하도록 하였지만, 감시정찰을 통해 획득된 적 정보를 바탕으로 피 보

급부대별 재보급 수준을 동적으로 판단할 수 있도록 할 수 있다. 무인 차량과 수송 드론이 피 보급부대에 물자를 하화하면, 이 물자는 피 보급부대에 소속된 모든 전투 개체에 자동 보급된다.

Table 3. Task organization

Side	Unit	Weapon	Qty of Weapon	Initial Qty of Ammo	Auth. Qty of Ammo
Friendly Force	1 st Infantry Platoon	Rifle	8	0	40
		Machine gun	1	0	160
	2 nd Infantry Platoon	Rifle	8	0	40
		Machine gun	1	0	160
	3 rd Infantry Platoon	Rifle	8	0	40
		Machine gun	1	0	160
Transport Section	Vehicle	0	0	0	
	Drone	0	0	0	
Opposing Force	1 st Infantry Platoon	Rifle	24	549	549
		Machine gun	3	288	288
	2 nd Infantry Platoon	Rifle	24	549	549
		Machine gun	3	288	288
	3 rd Infantry Platoon	Rifle	24	549	549
		Machine gun	3	288	288

4.2 전투 모의실험 계획

구현된 재보급 과업 모델을 이용하여 전투 모의실험을 수행한다. 실험을 위해서는 지형, 적군과 아군의 전투편성, 적군과 아군의 임무가 입력되어야 한다. 지형은 평탄한 개활지로 선택하였으며, 이는 지형의 고저 차이가 전투 효과에 미치는 요인을 제거하기 위함이다. 전투편성을 Table 3과 같다. 적군은 3개 보병소대를 편성한다. 아군도 3개 보병소대를 편성하고 이들을 피 보급부대로 한다. 그리고 후방에 보급소와 수송반을 둔다. Table 3에는 각 부대가 보유하는 화기(Weapon)와 수량(Qty), 탄약의 수량(Qty of Ammo)을 함께 제시하였다.

적군은 아군이 점령하고 있는 진지를 공격하도록 하고, 아군은 주어진 진지를 방어하도록 임무를 부여한다. 주 보급기지의 수송부대에는 재보급 과업을 부여한다. 이때 아군의 모든 소대는 적군의 모든 소대와 항상 근접 전투를 벌이는 것이 아니라, Table 4에 표시된 조건에 따라 쌍방 교전한다고 가정한다. 모든 부대가 언제나 쌍방 교전을 하게 되면 당연히 동등 배분을 하는 것이 적절한 선택이다. 그러나 적과의 접촉 가능성이 서로 다를 때에는

Table 4. Design of iterative combat simulation experiments

No.	1 st Infantry Platoon	2 nd Infantry Platoon	3 rd Infantry Platoon
1	Engagement	Engagement	Engagement
2	-	Engagement	-
3	-	Engagement	-
4	Engagement	-	-
5	Engagement	-	-
6	Engagement	Engagement	-
7	Engagement	Engagement	-
8	Engagement	-	-
9	-	-	Engagement
10	Engagement	-	-

그에 따라 보급량을 차등화하여 전투 효과를 높이는 것이 3.2.4절에 제시된 의사결정 자동화 모듈의 역할이므로, 이를 반영하기 위해서는 아 부대와 적 부대 간 접촉을 서로 달리할 수 있도록 실험 계획을 수립해야 한다. Table 4과 같이 아군 1소대가 적과 가장 많이 교전을 벌이면서 아군 3소대는 가장 적은 교전을 벌이는 경우, Fig. 6(b)과 같이 아군 1소대의 재보급 수준을 ‘상’으로, 아군 3소대의 재보급 수준을 ‘하’로 설정한다.

위에서 설명한 실험 계획에 따라 OneSAF에 전투 시나리오를 입력한다. Fig. 9.은 Table 4의 실험 번호 1번에 대한 전투 시나리오를 입력한 사례이다. 우측에는 아군의 3개 보병소대와 수송부대가 배치되어 있고, 좌측에는 적 3개 보병소대가 배치하고 있다. 쌍방 간에 조우전을 수행하는 시나리오이며, 아군의 탄약이 인가량의 50% 이하로 떨어지면 수송부대가 무인 차량과 드론을 이용하여 탄약을 보급한다.

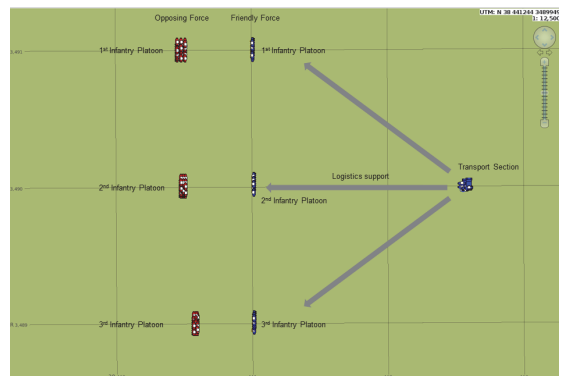


Fig. 9. A combat simulation scenario

4.3 모의실험 결과

모의실험을 통해 분석하고자 하는 것은 재보급률과 손실률 교환비와의 관계이다. 실험에 앞서, 우리는 적과의 조우 가능성이 더 큰 부대에 재보급을 더 잘해줄수록 아군 전체의 손실률 교환비가 개선된다는 가설을 세우고, 모의실험을 통해 이를 입증하고자 한다.

이 모의실험에서 사용하는 효과 척도는 재보급률과 손실률 교환비이다. 재보급률 $r_{resupply}$ (%)는 다음과 같이 정의된다.

$$r_{resupply} = \frac{1}{a_{auth}} \sum_{i=0}^n a_{resupply}^{(i)} \quad (5)$$

여기서 a_{auth} 는 탄약의 인가량을 나타내고, $a_{resupply}^{(i)}$ 는 i 번째 탄약을 재보급을 받을 때 재보급량을 나타낸다. 그리고 n 은 재보급받은 총횟수를 뜻한다. 다시 말하면, 수식 (5)에 의해 계산되는 재보급률 $r_{resupply}$ 은 모의실험 시작 시각부터 종료 시각까지의 기간에 탄약 인가량 대비 재보급받은 비율이다.

다음으로 손실률 교환비 $r_{exchange}$ 는 다음과 같이 정의된다. 손실률 교환비가 전투의 승패를 좌우한다고 볼 수는 없으나, 제한된 전투력으로 얼마나 효율적으로 임무를 수행했는지를 판단하는 지표라고 할 수 있다. 손실률 교환비 $r_{exchange}$ 는 적의 피해를 r_{opfor} (%)을 청군의 피해를 r_{blufor} (%)로 나눈 수치로서 수식 (6)으로 정의된다.

$$r_{exchange} = \frac{r_{opfor}}{r_{blufor}} \quad (6)$$

적과 청군의 피해율은 피해 개체 수를 최초 개체 수를 단순히 나눈 비율을 사용한다. 손실률 교환비가 높을수록 청군의 손실은 낮고 적의 피해는 크다는 것을 의미한다. 피해율을 계산할 때 개체의 피해 수량만 고려하였으며, 개체의 전투력 차이를 피해율에 반영하지는 않는다.

4.2절에서 설명한 실험 계획에 따라 총 10회 모의실험을 수행한다. 모의실험 로그데이터는 개발된 사후분석기에 입력되어 부대별 재보급률, 부대별 재보급률 추이, 재보급 현황이 분석된다. 사후분석기를 통해 계산된 피 보급부대별 재보급률과 피아간 손실률 교환비는 Table 5와 같다. 이때 손실률 교환비는 피아 부대 전체에 대한 것이다. ALT-I로 표기된 대안 1은 탄약을 동등하게 배분한 것이며, ALT-II로 표기된 대안 2는 의사결정 자동화 모

듈이 결정한 바에 따라 탄약을 차등 배분한 것이다.

Table 5의 결과를 보면 평균적으로 동등 재보급한 대안 1의 전투 결과보다 재보급 자동화 모듈을 활용한 대안 2의 결과가 우수하다는 것을 알 수 있다. 대안 2는 3장에서 제시하는 재보급 자동화 모의 논리에 따라 교전 확률이 높게 평가된 아군 1소대에 더 많은 재보급 자원을, 3소대에는 적은 재보급 자원을 할당하였다. 이러한 의사결정은 저자가 제시하는 의사결정 사용자지원 모듈 또는 자동화 모듈의 두 가지 방식으로 모두 도출할 수 있다.

Table 5. Simulation results

No.	$r_{resupply}$						$r_{exchange}$	
	1 st Infantry Platoon		2 nd Infantry Platoon		3 rd Infantry Platoon		ALT-I	ALT-II
	ALT-I	ALT-II	ALT-I	ALT-II	ALT-I	ALT-II		
1	66%	100%	66%	66%	66%	33%	1.88	1.77
2	66%	100%	66%	66%	66%	33%	2.88	3.06
3	66%	100%	66%	66%	66%	33%	2.66	2.46
4	66%	100%	66%	66%	66%	33%	2.25	4.38
5	66%	100%	66%	66%	66%	33%	1.85	3.41
6	66%	100%	66%	66%	66%	33%	2.25	3.57
7	66%	100%	66%	66%	66%	33%	2.22	2.46
8	66%	100%	66%	66%	66%	33%	2.10	3.68
9	66%	100%	66%	66%	66%	33%	1.23	0.67
10	66%	100%	66%	66%	66%	33%	1.98	3.06
Avg	66%	100%	66%	66%	66%	33%	2.13	2.852

사전에 수행한 소부대 교전 반복 모의로 얻은 전투 결과와 의사결정 모듈을 통해 동등 재보급보다 더 나은 의사결정을 도출할 수 있었으며, 모의실험을 통해 그 우수성을 확인하였다.

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 재보급 자동화 모의 논리를 제안하였다. 재보급의 자동화는 의사결정을 기반으로 이루어지는데, 이에 활용되는 의사결정 자원을 크게 세 가지로 구분하였다. 이 중 실험적 자원의 획득을 위해 소부대 교전 반복 모의를 수행하였으며, 이를 통해 얻은 결과를 후행하는 의사결정에 반영하였다. 이러한 방식은 활용할 수 있는 다른 의사결정 자원이 없는 경우에도 모의도구만을

이용해 최대한 과학적인 의사결정을 수행한다는 의미를 가진다.

의사결정 모듈은 크게 사용자 지원과 자동화 두 가지 형태로 구현되었으며, 각 방식의 특징을 기술하였다. 특히 사용자 지원 의사결정 모듈에서 사용자의 선택을 가시화하여 더 나은 의사결정을 수행할 수 있다는 것을 보였다. 이와 같이 개발한 모델들은 4장에서 의사결정 모듈을 적용했을 때 동등하게 재보급한 경우보다 손실교환비 측면에서 더 효과적임을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

본 연구는 재보급 과업에 초점을 두고 의사결정 기법을 적용한 교전 모의를 수행한 것으로, 특히 활용성이 높을 것으로 예상되는 OneSAF 모의분석도구에 새롭게 고안한 알고리즘을 도입하는 시도를 기존 연구들에 비해 새롭게 기여한 부분으로 평가할 수 있다. 이는 향후 표적 처리, 통신 지원 등 다양한 전술적 과업을 자동 모의하는데 적용할 수 있을 것이다. 또한 의사결정 기법을 단계적으로 고도화하여 강화학습을 이용한 CGF 행위 모델링 기법으로 발전시킨다면 미래 위게임 모델에서 적 행동을 자동적으로 모의하고 분석하는데 활용될 수 있을 것이다.

References

- Lee, H., Kwon, S., Kang, H., Ha, T. and Park, M., "Alternative Analysis of Sustainment Planning for Division-Level and Below Units Utilizing the [Operational Sustainment Analysis Model] ([작전지속지원분석모델] 을 활용한 군단급 이하 제대의 작전지속지원 계획 대안분석 방안)", *Defense & Technology*, Vol. 488, pp.108-119, 2016.
- Cho, S. and Ma, J., "Priority Selection of Firearms and Ammunition for the Local Reserve Forces using Dynamic Programming", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 21, No. 8, pp. 67-74, 2020.
- Jeong, M. and Park, M., "Ammunition Allocation Model using an Interactive Multi-objective Optimization (MOO) Method", *Journal of the Korean Operations Research and Management Science Society*, pp. 513-524, 2006.
- Moon, S., Lee, Y., Choi, M. and Park, Y., "A Study on Designs of the Army Ammunition Supply Chain in Wartime : An Approach to Emergency Transshipment Channel and Decoupling Point", *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, Vol. 12, No. 1, pp. 25-35, 2012.
- Lee, Y., "A Study on Ammunition Resupply Allocation Model", *Military Operations Research Society of Korea*, Vol. 30, No. 2, pp. 133-140, 2004.
- Shi, H., Dong, Y., Yi, L., Zheng, D., Ju, H., Ma, E. and Li, W., "Study on the Route Optimization of Military Logistics Distribution in Wartime Based on the Ant Colony Algorithm", *Computer and Information Science*, Vol. 3, No. 1, pp. 139-143, 2010.
- Kim, K. and Cho, S., "A Study on the Composition of Optimal Supply Route for Follow-on Logistics Support which Considers the Degree of Combat Intensity", *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol. 13, No. 6, pp. 1091-1098, 2010.
- Freling, R., Wagelmans, A. P. and Paixão, J. M. P., "Models and Algorithms for Single-Depot Vehicle Scheduling", *Transportation Science*, Vol. 35, No. 2, pp. 165-180, 2001.
- Eom, H., "A Study on the Combat Effectiveness of Dronebot Combat System using Lanchester's Law", *STRATEGIC STUDIES*, No. 83, pp. 165-190, 2021.
- Oh, J. and Ma, J., "Analysis of the Effectiveness of Reserve Force in Defensive Operations Based on Lanchester Square Attrition Model", *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol. 47, No. 5, pp. 414-420, 2021.
- Lim, J., Choi, B. and Yim, D., "A Study on the Methodology for Combat Experimental Testing of Future Infantry Units using Simulation", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 22, No. 3, pp. 429-438, 2021.
- Yoo, B., "Methodology for Analysis of Casualty Rate using Historical Combat Data", *Journal of the Military Operations Research Society of Korea*, Vol. 46, No. 1, pp. 31-42, 2020.



안 세 일 (ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-3961-5910> / phone12@add.re.kr)

2012 서울대학교 물리천문학부 이학사
2012 서울대학교 기계항공공학부 공학사
2014 서울대학교 기계항공공학부(항공전공) 공학석사
2014~ 현재 국방과학연구소 지상기술연구원 선임연구원

관심분야 : 국방 M&S, 최적화



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

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

관심분야 : 지상무인체계, 체계효과분석, 국방 M&S