

A System Dynamics Model of Rational ROKA Maintenance Personnel Level for Future Operation Support

Byeong-Jae Kim · Seung-Ryul Lee · Moon-Gul Lee[†] · Yong-Bok Lee

The Department of Operation Research, Korea National Defense University (KNDU)

미래 한국육군 작전지원을 위한 적정 정비병력 산정 시스템 다이내믹스 모형

김병재 · 이승률 · 이문걸[†] · 이용복

국방대학교 운영분석학과

As the number of enlistees decreases due to social changes like declining birth rates, it is necessary to conduct research on the appropriate recalculation of the force that considers the future defense sufficiency and sustainability of the Army. However, existing research has primarily focused on qualitative studies based on comprehensive evaluations and expert opinions, lacking consideration of sustained support activities. Due to these limitations, there is a high possibility of differing opinions depending on perspectives and changes over time. In this study, we propose a quantitative method to calculate the proper personnel by applying system dynamics. For this purpose, we consider a standing army that can ensure the sufficiency of defense between battles over time as an adequate force and use battle damage calculated by wargame simulation as input data. The output data is the number of troops required to support activities, taking into account maintenance time, complexity, and difficulty. This study is the first quantitative attempt to calculate the appropriate standing army to keep the defense sufficiency of the ROK Army in 2040, and it is expected to serve as a cornerstone for adding logical and rational diversity to the qualitative force calculation studies that have been conducted so far.

Keywords : Defense sufficiency, System dynamics, Support activities, Proper personnel

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

인구절벽이 현실화되며 병력자원이 감소하고 있어[12], 군 간부 미래 획득 환경 등을 고려하면 현재 수준의 병력 규모를 유지하는 것이 어려울 것으로 전망된다. 병역자원이 2020년대 1차 인구절벽에 이어 2035년 이후 2차 인구

절벽이 도래할 것으로 예상됨에 따라[7] 현 제도를 고려하여 상비병력을 단순 판단 시 2040년에 장병의 수는 30~35만 명으로 줄어들기 때문에 미래의 방위충분성 유지를 위한 대안이 필요하다.

적정 상비병력 산출을 위한 기존 연구는 다소 정성적인 연구로 인해 논리적 취약점이 내재한다. 군 병력 예측에 관한 정량적인 판단은 각 군의 위게임 모델인 JOAM-K, NORAM, STORM 등을 이용할 수밖에 없다. 그러나 각각 모든 제대까지 표현이 되지 않는 점, 시나리오 및 각각의 에이전트별 행동 설정값을 입력해야 하는 소요, 무수한 조건을 시나리오로 입력해야 한다는 것과 제한된 피해 현황

Received 22 July 2024; Finally Revised 13 August 2024;
Accepted 13 August 2024

[†] Corresponding Author : bombslee@naver.com

만 획득할 수 있다는 단점이 있다.

따라서 각 군의 위게임 모델에서 산출된 전투 피해를 입력데이터로 활용하여 정량적 방법을 사용하는 또 다른 상비병력 소요에 대한 연구가 필요하다. 이에 따라 본 연구에서는 군의 방위충분성 달성 여부에 가장 직접적인 영향을 미치는 요소 중 하나일 수 있는 지속지원 병력수 산정에 관한 연구를 진행한다. 장비, 물자 등의 보유량은 전투력과 직결되고, 정비 및 보급 과정을 통해 전투부대의 전투력을 회복시키는 특징이 있다. 이는 전시에 전투력을 유지해야 하는 군 본연의 임무에 대단히 중요한 요소임과 동시에 미래 입대자원이 감소할 것으로 예상되는 현 시점에서 전시 임무수행을 위한 최적의 지속지원병력 수를 산정하는 것이 필요하다고 생각된다. 일일 단위 피해·손실·보충·지원 등의 인과관계로 이루어지는 다양한 활동들이 병력 변화에 어떤 영향을 끼치는지 조사하고 방위력을 유지하기 위한 적절한 지속지원 병력 수 산정을 정량적인 방법으로 접근한다.

1.2 연구 내용

미래 각 군별 전투부대의 소요는 전투모의 모델로 판단할 수밖에 없으나, 군 본연의 임무를 고려할 때 미래 방위충분성 달성 여부를 그 목적으로 하여 적정 상비병력 소요를 판단해야만 한다.

방위충분성 달성의 기준값은 정책적으로 국방부 등에서 결정되어야 할 것이다. 다만 본 연구에서는 모형을 통해 산정하기 때문에 기존 위게임 모델 시뮬레이션 결과를 활용한다. 손실량 데이터를 통해 발생하는 소요량을 기준으로 지속지원을 하고, 전투가 종료되었을 때 방위충분성의 달성 여부와 그때의 지속 지원 병력 및 최적의 병력 수를 찾는 것이다. 다만 본 연구에서 사용한 데이터는 군사보안 목적상 임의의 값을 사용하였다.

2. 선행연구 고찰

국방 조직에 관한 연구로 Kim and Lee[8]의 연구에서는 군조직의 효과성 분석을 위해 작전사급 부대에 평가 요소에 대한 방향을 제시하며 평가 영역, 평가 과제, 평가 항목, 평가 지표를 도출하여 설문지 AHP 기법을 통해 조직적합의를 도출시킨다. Lee et al.[11]은 Powersim 프로그램을 사용하여 과거 인력 데이터를 기반으로 모형을 구축하여 인사제도 변화 상황 속에서 매년 초과 및 부족 인원을 최소화하기 위한 일정한 진급률을 산출해 낸다. Lee and Kim[9]은 육군의 미래 세대별 참모부 편성을 Powersim을 활용하여 검증하는 방법론을 제시한다.

다음은 지속지원에 관한 연구로, 이동준은 전시에 군수지원 부대의 운영계획 수립 시 소요 대비 최소 투입 자원 판단과 단위 시간별 상·하역 및 수송 일정을 제공하는 최적의 운영계획 모델에 관해 연구했다[10]. Kim et al.[6]은 Vensim 모델을 이용하여 정비부대 적정 인력 분석 방안을 연구하였다. 평시 편제 인력을 데이터로 하여 과업처리량을 기초로 임무 수행에 필요한 최적의 인원을 판단하였다. 다만 전시 과업을 기준으로 하는 적정 병력에 대한 분석은 이루어지지 않았다. 백병호 등은 전시 초기 방어작전 단계에서의 지속지원 능력을 정량적이고 과학적인 방법을 사용하여 검증하기 위하여 지속지원 분석모형을 사용하였다[4]. Yeom and Moon[14]은 란체스터 전투모형으로 전투 시뮬레이션을 구현하여 전시 지속지원의 네 가지 전략을 검증하여 전략별로 승률, 전선 상황, 잔여 전투력을 분석한다. 문성암 등은 전쟁 발발 시점으로부터 시작되는 충격에 유연하게 대처하여 목표 재고를 회복하기 위해 강함과 구별되는 리질리언트(Resilient)의 이상적인 형태를 제시한다[13].

기존의 국방 조직에 대한 연구는 평시 임무와 효과성 분석, 편성, 배치 등으로 국한되었다. 지속지원 연구는 스케줄링, 평시 과업을 통한 인력 분석, 능력 검증 등을 위한 연구가 이루어졌다.

국방조직 효과분석, 지속지원 임무 수행은 전시 수행 가능 여부가 선취 되어야 하지만 기존 연구에서는 해당 부분에 대한 접근에 다소 아쉬움이 있었고, 본 연구에서 발전시켜 보았다. 더하여 시간의 흐름에 따른 소요나 변화 등을 연구하기 위해 시스템 다이내믹스를 활용한 기존 연구의 아이디어를 우리도 가져왔고, 전시 피해를 복구하여 방위충분성을 달성하기 위한 지원 활동을 통해 적정 병력 수를 산정하는 데 사용했다. 이를 통해 시간이 지나면서 동적으로 발생하는 피해 및 정비 과정을 분석할 수 있었다.

3. 문제정의 및 모형 구성

3.1 모형개요

본 문제는 출생률의 하락, 사회적 변화 등으로 인해 입대 자원이 감소함에 따라 2040년에 현재 대비 부족한 입대장병의 숫자를 고려하여 방위력 충분성 및 작전 지속 가능성을 충족하기 위한 적정 병력 수를 결정하는 것이다. 이를 위해 일일 단위 시뮬레이션 기간을 설정하고 시간의 흐름에 따른 방위충분성 달성 여부가 충족되는 동시에 전투부대와 지속지원 병력의 적정 인원수를 찾는다. 본 모형의 입력값 / 제약조건, 목적, 출력값은 아래의 <Table 1>과 같다.

<Table 1> Modeling Concept

Input / Constraints	<ul style="list-style-type: none"> • Defense sufficiency for 2040 • Losses during combat • Sustained support activities
Objective	<ul style="list-style-type: none"> • Minimization of sustained support personnel while achieving combat unit defense sufficiency
Output	<ul style="list-style-type: none"> • Number of sustained support personnel

시스템 다이내믹스 기법이 군사 분야에서는 많이 활용되지 않았다. 그 이유는 각 군에서 사용하는 교전 시뮬레이션에 의한 전투력 발휘 여부를 대부분의 평가요소로 활용하였기 때문이다. 그럼에도 향후 시스템 다이내믹스 기법이 군사 분야에 사용될 가능성은 비교전 성격이 지니는 많은 문제를 해결하기 위하여 적합한 분석 도구를 제공할 수 있다는 점에서 기인하기 때문인데[9], 본 연구에서는 비교전 성격을 지니는 지속지원 활동에 시스템 다이내믹스를 활용해 분석한다.

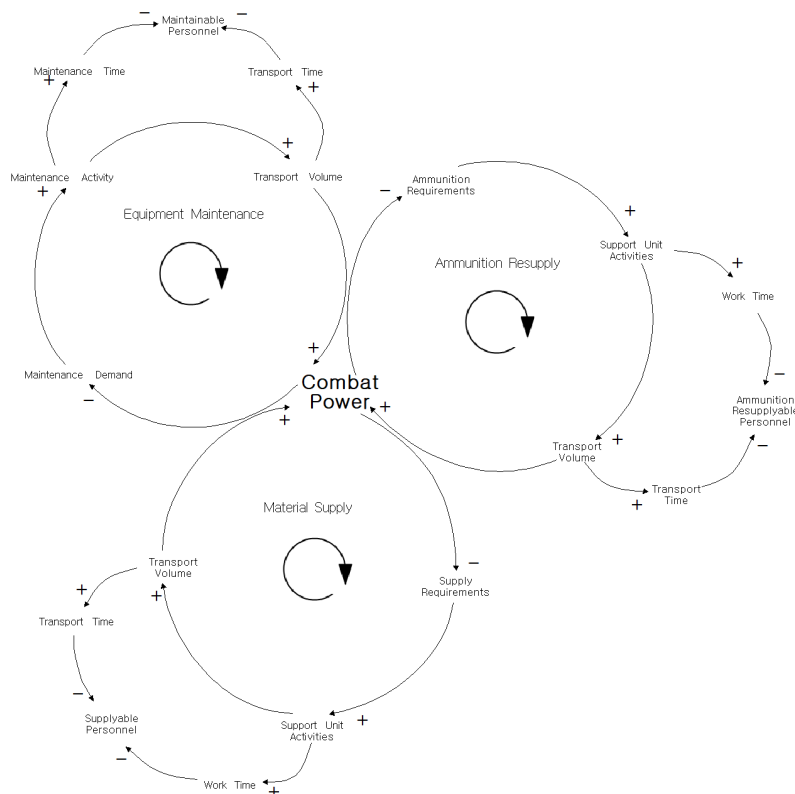
3.2 인과 지도

시스템 다이내믹스는 시간에 따른 시스템의 변화를 관찰하고, 그 시스템을 원하는 바대로 제어하는 방법을 연구

하는 것이다. 본 연구에서 시스템 다이내믹스를 활용하는 이유는 첫 번째로, 전투 간 시간이 경과함에 따라 피해가 발생하고 정비 등 일련의 활동을 동태적으로 구현할 수 있기 때문이다. 두 번째로, 이러한 과정을 정량적인 데이터를 활용하여 보다 과학적인 분석 방법으로 접근하고자 하였기 때문이다. 시스템 다이내믹스의 핵심 개념은 시스템이 주어진 규칙과 구성요소 간의 피드백 영향 관계를 통하여 변화한다는 것이다. 따라서 모형에서는 상호 영향을 미치거나 인과관계가 있는 변수들이 존재하게 된다. 이를 활용하여 인과지도로 작성할 수 있는데, 인과지도는 현실의 문제를 시뮬레이션에 반영하기 위한 가장 중요한 부분이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 육군 군수교리, 교범상에서 찾을 수 있는 일반적인 지원 절차에 따라 전투력과 지속지원 활동에 대한 인과지도로 작성하였다[1, 2, 3].

다양한 지속지원 활동 중 전투력 변화에 영향을 미칠 수 있는 주요한 3개의 활동인 장비 정비, 탄약 보충, 물자 보급을 핵심 변수라 할 수 있지만, 우리는 문제를 추상화하기 위하여 이번 연구에서는 그중 일부만을 다루었다.

아래의 <Figure 1>은 지속지원 활동이 전투력과 상호 미치는 영향을 인과지도로 나타낸 것이다. 전투력은 장비, 탄약, 물자가 원활하게 공급될 때 향상되고 각 정비 가능 인력, 보급 가능 인력, 보충 가능 인력은 지원활동과 수송량과 인과관계를 가진다.



<Figure 1> Causal Loop of Support Activities[1]

3.2.1 장비 정비

전투력이 감소하면 정비수요가 증가한다. 따라서 음의 상관관계(-)를 가진다. 정비 수요가 증가하면 정비 활동도 증가하며(+), 정비 활동이 증가하면 수송량과 정비시간이 증가한다(+). 수송량이 증가하면 수송 시간이 증가하는데, 정비시간과 수송 시간의 증가는 정비 가능 인력을 감소시키는 음의 관계(-)를 성립시킨다. 왜냐하면 정비시간이 증가한다는 것은 정비가 필요한 장비의 정비 복잡도가 높거나 정비 소요가 많을 때 발생하는데, 이는 정비 가능 인력의 작업부하나 피로를 증가시키기 때문이다. 또 수송시간이 증가한다는 것은 정비 완료한 장비나 정비를 필요로 하는 장비의 이동 거리가 신장된 것으로, 이는 작업 지연을 초래하여 작업 효율성을 감소하게 한다. 즉 정비시간과 수송시간의 증가는 정비 가능 인력 한 명이 단위시간 내에 처리할 수 있는 작업량이 감소하게 되어 더 많은 인력이 필요하게 되는 것이다.

3.2.2 탄약 보충 및 물자 보급

전투부대의 사용량이 늘어나면 즉, 같은 말로 전투력이 감소한다는 것인데 그 이유는 전투부대가 유류, 탄약 등 물자를 소모했다는 의미이기 때문이다. 장비의 이동으로 유류를 소모했거나, 교전으로 인해 탄약을 사용하는 등 전투환경의 어떠한 요인으로 인해 사용량이 증가했다는 것이다. 즉 전투부대가 물자를 사용할 환경에 노출된 것이며 이는 전투력이 감소했다는 의미이기 때문이다. 이는 지원부대의 탄약 보충 및 물자 보급소요를 증가시키는 음의 관계(-)를 맺는다. 이는 지원부대 활동과는 양의 관계(+)를 맺는데, 지원부대 활동이 늘어나면 수송량이 증가하고(+), 전투력을 증가(+)시키기 때문이다.

3.3 시스템 다이내믹스 모형

모형은 방위충분성을 유지하기 위한 지속지원부대 병력 수를 산정하기 위하여 연구되었는데, 이를 위해 전투간 발생하는 장비 피해를 보충하는 활동으로 한정하였다. 즉 연구 목적상 정비 분야만을 모형화하였고, 그중에서도 하나의 장비로만 연구하였다. 이를 모형에 구현하기 위한 구성 변수는 다음의 <Table 2>와 같다.

모형을 통해 시나리오별 시뮬레이션 결과를 최적화하여, 필요한 병력 수를 산정하기 위하여 시뮬레이션 기반 최적화 연구를 진행했다. 시간의 흐름에 따른 변화량을 중심으로 구현한 현재 모형에서 적정 병력을 산정할 때는 시스템 다이내믹스 특성을 고려해 종료 시점에 나타난 총량이 방위충분성을 충족하는지 판단하고, 미충족 시 최초 인원수를 증가하거나 감소하며 다시 시뮬레이션하여 찾아야 하는 수고로움이 존재한다. 따라서 보다 용이한 최적의

병력 산정을 위해 몇 가지 예상 가능한 시나리오를 구성(제약)하여 각각의 시나리오 결과로 최적화 기능(Analysis Variables)을 통해 테스트하고 최적의 값을 찾기 위해 연구를 했다.

<Table 2> The System Dynamics Model's Variables

Input	External variables	• Number of recruitable personnel
	Policy variables	• Defense sufficiency
	Data	• Equipment damage and personnel losses during combat • Maintenance activities (time, capability, redundancy, etc.) • Initial sustained support personnel
Output	Internal variables	• Achievement of defense sufficiency • Sustained support personnel by scenario
	Objective function	• Optimal personnel to maintain defense sufficiency

3.3.1 입력

(1) 외생변수

미래 입대 가능 인원수는 모형 외부에서 결정되어 연구자가 직접 통제할 수 없는 변수이다. 이는 연구 모형에는 영향을 미치지만, 모형 내에서 다른 변수들에 의해 영향을 받지는 않는다.

(2) 정책변수

정책 결정자가 통제 또는 조정할 수 있는 변수로, 연구 모형에서 의도적으로 변화시켜 그 결과를 관찰할 수 있다. 방위충분성 기준은 국방부나 합참 등에서 결정해야 하기에 이에 포함된다.

(3) 데이터

소요와 보충 활동, 병력 간의 논리적인 연결을 위해서는 정비의 각 활동들에 대한 데이터의 입력이 필요하다. 일일 단위 피해를 정비하기 위해 정비인원이 활동을 하며, 이들의 정비 능력은 각종 계수를 적용해 산정되고, 결국 일일 정비 가능량을 통해 장비가 보충되는 일련의 과정을 위한 데이터 입력이 필요하다. 지속지원 활동에 대한 논리를 전개한 입력변수는 다음과 같다.

- 1) 방위충분성 기준 = 초기 수량의 00%
- 2) 소·중·대·완파 소요 = 일일단위 피해량 × 각 수준별 비율
- 3) 최초 인원 수 = 편제 인원 고려 입력
- 4) 일일 정비가능량(대) = 일일정비능력(MD)

- / 대당 정비소요인시(00MD)
- 5) 일일 정비능력(MD) = 일일 정비가능인원수
 - × 전시 정비능력계수
 - × 신분별 능력계수
 - × 일일 정비가능시간
 - × 정비복잡도 / 수송시간
- 6) 일일 정비가능인원수 = 보충량 + 최초인원수
 - 손실량

2)번의 일일 단위 피해량은 기존 위게임 시뮬레이션의 결과를 활용했고, 각 수준별 비율은 전시 지상군 장비 보충 소요 기준의 손실 분포 비율을 적용했다. 4)번의 대당 정비 소요 인시는 00장비 대당 정비소요 시간에 따라 각각 00인시, 00인시로 적용했다[2]. 5)번의 전시 정비 능력 계수는, 전시에는 정비지원 소요 대비 지원 능력이 제한되는 특성에 따라 평시 기준의 00%로 적용했고[3], 신분별 능력 계수는 정비요원의 능력이 평시와 변동이 없기 때문에 평시와 동일하게, 간부 인원수 × 0.75 + 군무원 인원수 × 0.75 + 병 인원수 × 0.5를 적용해 기능별 인원 수에 따라 0.00로 입력했다[1]. 일일정비 가능시간은 통상적 수준을 고려해 8시간으로 적용했고 정비 복잡도는 장비별 정비반의 편제를 기준을 고려하여 적용했다. 다만 본 연구에서 사용한 데이터는 군사보안 목적상 임의의 값을 사용하였다.

3.3.2 출력

(1) 내생변수

모형 내에서 다른 변수들의 영향을 받아 변화하는 변수로 연구의 결과를 형성하는 데 중요한 역할을 한다. 전투 부대의 방위충분성 달성 여부는 지속지원 활동의 결과를 통해 결정되는 내생변수이다. 일일정비 완료량이 시간 지연 이후 보충량으로 처리되어 총량에 더해지면 이를 통해 방위충분성의 달성 여부가 결정된다. 이 시점에서의 인원수로 지속지원부대 인원이 결정되지만, 민감도 분석 간 시나리오별 지속지원부대 인원을 도출할 수도 있다. 즉 방위충분성을 만족하는 하나의 경우(값)로 존재하지 않고 범위를 가질 수도 있기에 시나리오를 통한 최적 인원 산출을 시도해 볼 수 있다. 적정 병력 산정을 위해서는 시나리오를 고려한 최적의 결과가 필요하고, 위 개념을 적용한 식은 다음과 같다.

1) 집합 및 인덱스

- $I = \{i_1, i_2, \dots, i_n\}$: 장비 종류 I
- $L = \{l_1, l_2, \dots, l_4\}$: 정비 수준 L , 부대정비 l_1 , 군지여단정비 l_2 , 창정비 l_3 , 수리불가 l_4 로 구분

- $L_1 = \{l_1, l_2, l_3\}$: 정비 수준 L_1 , 부대정비 l_1 , 군지여단정비 l_2 , 창정비 l_3 로 구분
- $T = \{t_1, t_2, \dots, t_T\}$: 일일단위 t 시점 데이터 T
- $ini_no_equip_i$: 장비 i 의 최초 수량
- $current_no_equip_i$: 현시점에서 장비 i 의 수량
- $damage^{s,i,t}$: 시나리오 s 에서 t 시점에서 장비 i 의 l 수준 파손 발생 수량
- $personnel_add_{i,l,t}^s$: 시나리오 s 에서 t 시점에서 장비 i 의, l 급 정비인원 보충
- $personnel_loss_{i,l,t}^s$: 시나리오 s 에서 t 시점에서 장비 i 의, l 급 정비인원 손실
- $combat_loss_{i,l,t}^s$: 시나리오 s 에서 t 시점에서 장비 i 의, l 급 정비인원 전투손실
- $non_combat_loss_{i,l,t}^s$: 시나리오 s 에서 t 시점에서 장비 i 의, l 급 정비인원 비전투손실
- $repair_cap_{i,l}$: 장비 i 의 l 수준의 장비정비에 필요한 인원수

2) 결정변수

- $Y_{i,l,t}$: t 시점에서 장비 i 의 l 급 정비 인원 수
- $X_{i,t}$: t 시점에서 장비 i 의 총인원 수
- $Z_{i,l}$: 장비 i 의 l 급 정비인원 수
- $E_{i,l,t}$: t 시점에서 장비 i 의 l 수준의 정비댓수
- $sub_E_{i,l,t}$: t 시점에서 정비 진행 중인 장비댓수

3) 목적식

$$\text{minimize } \sum_i \sum_l Z_{i,l} \quad (1)$$

4) 제약조건

$$ini_no_equip_i = N \quad \forall i \quad (2)$$

$$Y_{i,l,t} \leq damage_{i,l,t}^s \quad \forall i, l, t, s \quad (3)$$

$$X_{i,t} = \sum_{l \in L_1} Y_{i,l,t} + \sum_{l \in L_1} personnel_add_{i,l,t}^s - \sum_{l \in L_1} personnel_loss_{i,l,t}^s \quad \forall i, t, s \quad (4)$$

$$personnel_loss_{i,l,t}^s = combat_loss_{i,l,t}^s + non_combat_loss_{i,l,t}^s \quad \forall i, l, t, s \quad (5)$$

$$\left| \sum_l Y_{i,l,t} - current_no_personnel_{i,l,t}^s \right| \leq Z_{i,l} \quad \forall i, t, s \quad (6)$$

$$\sum_{l \in L_1} \frac{1}{repair_cap_{i,l}} \cdot Y_{i,l,t} = \sum_{l \in L_1} E_{i,l,t} \quad \forall i, t \quad (7)$$

$$E_{i,l_1,t} = sub_E_{i,l_1,t} \quad \forall i, t \tag{8}$$

$$E_{i,l_2,t} = sub_E_{i,l_2,t} \quad \forall i, t \tag{9}$$

$$E_{i,l_3,t} = sub_E_{i,l_3,t} + sub_E_{i,l_3,t-1} + sub_E_{i,l_3,t-2} + sub_E_{i,l_3,t-3} \quad \forall i, t \tag{10}$$

$$current_no_equip_{i,t} = ini_no_equip_i + \sum_{l \in L_i} \left(\frac{1}{repair_cap_{i,l}} \cdot Y_{i,l,t} - damage_{i,l,t}^s \right) \quad \forall i, t, s \tag{11}$$






$$X_{i,t} \geq 0, Y_{i,l,t} \geq 0, Z_{i,l} \geq 0, E_{i,l,t} \geq 0 \quad \forall i, l, t \tag{12}$$

식 (1)은 목적식으로, 장비에 대한 모든 수준의 정비 인원의 수를 최소화한다. 방위충분성을 달성하는 최소의 정비 인원을 구하는 것을 반영했고, 이번 연구에서는 하나의 장비에 대한 연구만 이루어지지만 차후 계수 등 조정을 통해 모든 장비로의 확장성을 부여하는 모형을 만들었다. 나머지는 제약조건이며, 식 (2)는 장비의 최초 수량을 N (특정 값)으로 세팅하는 조건이다. 식 (3)은 각 시점에서의 정비 인원수가 각 시점에서 발생한 파손 수량을 초과하지 않는 조건으로 실제 필요한 파손 장비의 수보다 정비 인원이 배치되지 않도록 보장한다. 식 (4)는 총인원수가 시간이 지남에 따라 추가되고 손실되는 정비 인원을 반영하는 제약조건이다. 식 (5)에서는 시나리오에 따라 정비 인원 손실이 전투손실과 비전투손실을 합산하여 결정된다. 식 (6)은 각 시점에서의 정비 인원수에서 현재 정비 인원수의 차이가 각 수준의 정비 인원수보다 작아야 하는 조건으로 정비 인원의 급격한 변화를 방지한다. 식 (7)은 정비댓수를 구하는 식으로 정비 인원 수와 소요 인원 수를 통해 산정된다. 식 (8)~식 (10)은 각 수준별 정비량의 리드타임을 적용해 누적되어 쌓이도록 하기 위해 사용하였다. 식 (11)은 t시점에서 장비i의 가용댓수를 나타낸 것이며, 최초 보유수량에서 정비수준별 파손된 장비의 정비를 통해 복구된 장비를 계산한 식이다. 식 (12)는 각 변수가 음수가 될 수 없는 비음 조건이다. 이를 기반으로 하여 모형을 만들었다.

3.4 스톡플로우 다이어그램 작성

연구에 활용한 소프트웨어는 Powersim Studio 10이다. 동적 시스템을 컴퓨터 프로그램으로 구현할 수 있게 하는 시스템 다이내믹스 소프트웨어로, 지속지원 활동에 관한 생각이나 개념을 컴퓨터 모형을 통해 만들 수 있는 직관적이고 시각화된 도구로 연구에 적합하였다. 본 프로그램상의 사용되는 기호의 의미는 다음의 <Table 3>과 같다.

<Table 3> Powersim Variable Symbol[5]

Icon	Name	Usage
	Stock	· Accumulation (Represents the state of the system)
	Flow	· Inflow and outflow of material in the stock
	Constant	· Initial values at the start of the system or input values at each stage of the simulation
	Auxiliary Variable	· Mainly used as intermediate variables, generates their own values during the simulation
	Link	· Used to create equations to connect variables and constants

3.4.1 가정사항

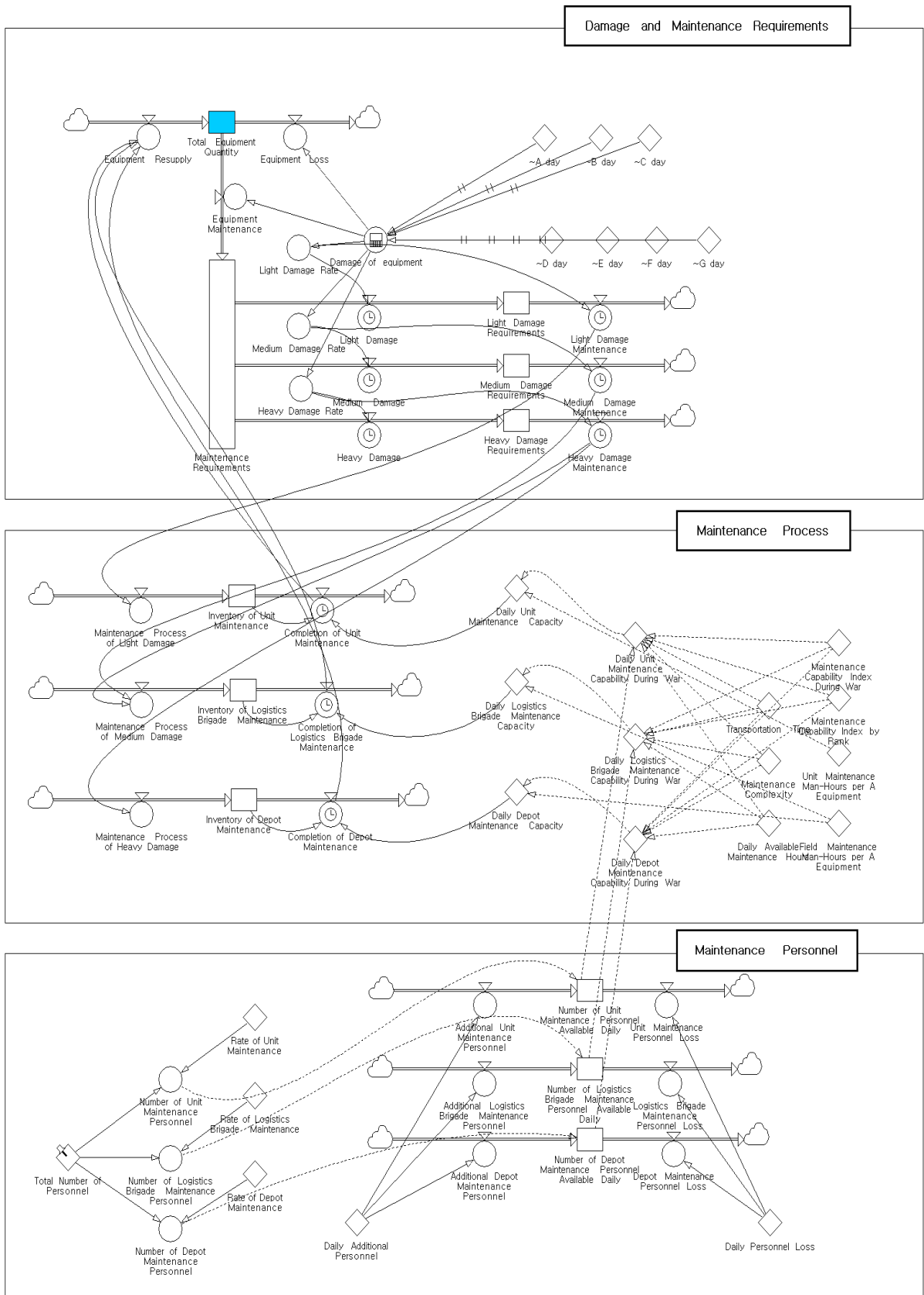
현실의 문제를 모형에 표현할 때, 정확하게 반영하는 것은 매우 중요하지만 그림에도 모든 요소를 반영하는 것은 불가능하므로 연구를 위해 필요한 요소를 선별하여야 한다. 이에 따라 이 연구에서도 몇 가지 가정을 설정했다.

- 1) 소요량으로 사용한 데이터는 2040 미래를 대표할 수 있는 값이라 가정한다.
- 2) 각각의 상이한 성격의 지원 활동을 모형에 입력하기 제한되므로 일일 정비 가능량을 산정하기 위해 능력 계수, 인원수, 시간·무게 환산, 근무시간 등을 상수 (Constant)로 활용한다.
- 3) 전투상황을 일일 단위 달력 독립형(Calendar independent) 환경으로 설정한다.
- 4) 방위충분성의 충족 여부는 마지막 일자, 즉 시뮬레이션이 종료되는 시점(End state)에서의 장비 수량으로 판단한다.
- 5) 재보충, 즉 수리가 불가능 요소(완파)가 있다.
- 6) 지원 활동 완료 이후와 보충이 되는 시점은 리드 타임을 적용하지 불확실한 전투 상황을 고려하지 않은 상숫값을 일괄 적용한다.

3.4.2 정비지원 병력산정 모형

<Figure 2>는 장비에 대한 피해 및 소요 과정, 정비 과정, 정비 인원을 하나의 스톡 플로우 다이어그램 모형으로 작성한 것이다. 지속지원 활동 중 장비 정비는 탄약 보충이나 물자 보급보다 복잡한 지원 계선을 가지며, 정비 단계별로 각각 구분되어 지원되는 등의 이유로 인해 설명을 위한 대표 모형으로 제시하기에 적합하였다.

전투 초기에 세팅된 장비량에 일일 단위 피해량을 발생 시킨다. 그중 일부는 완파되어 정비가 불가하여 사라진다 (플로우). 정비가 가능한 장비는 정비 소요로 쌓여(스톡), 피해 형태에 따라 각각의 소요로 다시 흐른다(플로우). 각각의 정비 소요는 정비 활동 과정으로 넘어오게 되고, 피해 정도별로 정비 계선에 따라 부대정비, 군지여단정비, 창정비로 쌓이게 된다(스톡).



<Figure 2> An Equipment Support Model

부대정비는 전투부대의 정비반에 의해 정비가 되는 활동이고, 군지여단정비는 군수지원여단(이하 군지여단)의 정비 활동이다. 군지여단은 군단 예·배속 부대를 포함한 군단 책임 지역 내 전 부대를 대상으로 지원하는 제대이다[10]. 창정비는 군지여단에서 정비가 불가한 장비가 이동한다. 이후 정비 과정에서 지속지원 활동이 여러 가지 복잡도를 고려한 각 계수를 통해 정비 일일량으로 처리된다(상수). 이러한 정비 과정으로 정비 완료된 장비는 준비 시간, 수송 시간 등을 고려하여 시간 지연(Time delay) 이후에 보충이 이루어지도록 모형에서 Pulse, Step, DelayPPL 기능을 사용했다. 아래에서 각 과정을 세부적으로 설명한다.

(1) 피해 및 정비소요 과정

피해량이 데이터로 입력되고, 이는 일일 단위로 최초 입력된 초기 총량을 감소시킴과 동시에 각각의 정비 수준 비율에 따라 소요로 이동한다. 일일 단위 발생한 피해는 정비 가능 유무에 따라 완파 장비는 소멸하고, 그 외에는 정비 소요로 이동하게 된다. 이는 각각 소파, 중파, 대파 정비에 따라 각 비율의 양만큼 정비 소요로 이동한다. 이 소요는 다음 활동인 정비 과정으로 이동한다. 기본적으로 소파는 부대정비로, 중파는 군지여단정비로, 대파는 창정비로 이동하지만, 현실을 고려하여 대파 중 일부는 군지여단으로 이동할 수 있게 구현하였다.

(2) 정비 과정

정비 과정으로 넘어온 소요는 각 정비부대의 재고로 쌓이게 되고, 일일 정비 가능량에 따라 처리된다. 일일 정비 가능량은 정비 능력을 대당 소요 인시로 나누어 산출한다. 정비 능력은 전시 정비 능력 계수, 신분별 정비 능력 계수, 대당 정비 소요 인시, 수송 시간, 정비 복잡도, 정비 가능 시간의 영향을 받아 산출된다. 각각의 값은 군 정비교범과 위게임 모델 등의 파라미터 해설서를 통해 상숫값으로 입력하였다. 정비가 완료된 장비는 각 정비부대의 재고와 일일 정비가능량을 비교하여 처리된 값이 피해 및 정비소요 과정의 보충량으로 이동하여 총량을 증가시킨다.

(3) 정비 인원

정비 인원 부분에서는 일일 정비 가능 인원수의 산출이 이루어진다. 초기에 입력된 정비 인원 초깃값에서 동원, 후송복귀 인원 등을 더하고 전투 피해, 비전투 피해, 자연 손실을 빼서 구하게 된다. 이 인원수가 일일 정비 능력을 산출하기 위한 인원수로 활용된다. 모형을 시뮬레이션한 후 총량으로 방위충분성 충족 여부를 확인하여 초깃값의 적절성을 분석하고, 최적화를 통해 각 수준별 비율과 적정 병력을 산출한다.

3.5 VV&A

본 연구를 위하여 육군의 실제 정비 과정의 체계(피해 발생 → 정비소요 발생 → 수준별 정비로 이동 → 정비요원에 의한 정비 → 전투부대로 보충)를 모형화 하였다[3]. 정비 간 고려되어야 하는 필수 요소(일일 정비 가능량, 정비인시, 능력, 복잡도, 시간 등)를 산출하기 위하여 군 분석 모델의 데이터를 활용할 수 있었고, 필요한 파라미터의 값을 각종 교범에서 찾아서 입력하여 사용함으로써 본 모델의 설명력을 확보하였다.

또한 개발한 모형이 시뮬레이션을 통해 설계한 의도에 맞게 작동함을 확인하였으며, Powersim 자체 최적화 기능을 활용하여 최적화하였을 때 무수히 많은 시행에도 일관되게 구현되었다.

4. 병력 산정 모형의 분석

지금까지 시스템 다이내믹스를 활용한 모형을 통해 미래 육군 적정 정비병력수 산정을 위한 시뮬레이션 과정을 보았다. 초기 정비 인원 세팅 값은 보안의 이유로 임의값으로 입력하였으나, 최적화를 통해 인원을 산출하기 위한 모형의 연구 목적 달성에는 지장을 주지 않을 것이다.

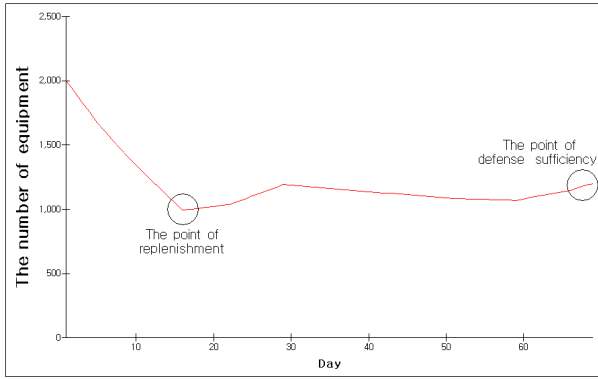
장비는 최초 2,000대로 시작하여, 종료 시 댓수에 따라 방위충분성의 수준을 정의하였다. 이는 최적화 간 총량의 목표가 되는 값이다. 즉 70%의 방위충분성을 만족한다는 것은 시뮬레이션이 종료되는 시점에 장비가 1,400대 이상 유지하는 것이 목표라는 의미이다. 다만 현재 모형에서는 방위충분성을 70% 이상으로 적용 할 수는 없다. 그 이유는 완파되는 장비는 더 이상 보충되지 않는 특성으로 총량이 약 1,350대 이상 증가하지 못하는 등 유의미한 변화를 갖지 않기 때문에 적절하지 않기 때문이다.

따라서 이번 분석에서 방위충분성은 65%(1,300대), 60%(1,200대), 55%(1,100대)를 유지하는 경우로 최적화하였으며, 그중 60%를 기준으로 민감도 분석을 진행하였다.

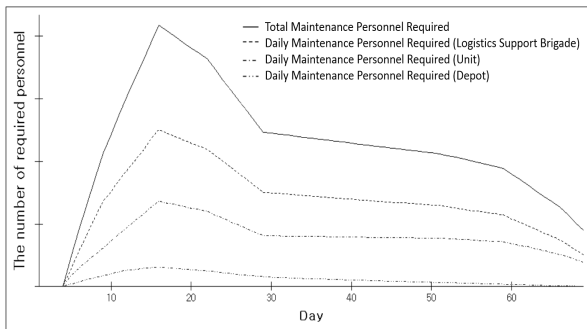
4.1 시뮬레이션 결과 및 해석

<Figure 3>은 시뮬레이션 기간의 장비 총량의 변화 그래프로 시뮬레이션이 종료되는 시점에서 총량이 방위충분성을 만족하는지 분석할 수 있다. 전투가 시작된 후 발생하는 피해로 총량은 감소하다가 정비 행위 및 과정의 시간 지연이 해결된 이후인 약 15일 후부터 정비 행위로 인한 보충이 이루어지면서 증가가 시작된다. 이후 피해 및 보충에 따라 일자별 증감이 지속적으로 이루어지는 형태를 보이고, 전투가 종료되는 시점에서 가용장비의 총량을 확인

할 수 있다. 이 시점에서 시뮬레이션의 결과로 제시된 총량이 방위충분성을 만족한다면 이때의 인원수가 적정 병력 수가 된다.



<Figure 3> The Number of Equipment for Each Day



<Figure 4> The Number of Required Daily Personnel

<Figure 4>는 일일 단위 소요에 따라 각 정비 수준별 필요 인원수의 변화를 나타내는 그래프이다. <Figure 3>의 보충 지점까지는 필요 인원수가 급격하게 증가하다가 보충이 되는 시점부터 감소하는 형태를 가진다. 이는 일자별 소요와 관련되었다고 할 수 있으며 우리는 이것을 아우르는 최적 병력을 찾는다.

4.2 방위 충분성 달성을 위한 최적화

과워십 프로그램은 달성하고자 하는 목적함수와 제약 조건, 이를 만족하는 결정변수를 구할 수 있는 최적화 기능이 있으며, 본 연구에서는 필요한 병력을 최소화하기 위하여(목적식), 총량 목표를 설정하고(가정), 정비 수준별 비율(결정변수)을 산출하여 그 결과를 도출한다.

4.2.1 최적화 결과

방위충분성의 목표를 총량 목표로 설정하여 모형에 입력한 후 정비 수준별 인원수 비율을 부대정비 0.2, 군지여

단정비 0.6, 창정비 0.2로 고정하여 최적화하였다. 그 결과 방위충분성 60%(총량목표 1,200대)를 만족하기 위한 최소 필요 인원은 1,666명이고, 세부 현황은 아래의 <Table 4>와 같다.

<Table 4> The Experimental Results when Fixed Personnel Ratio

Total Aim (Defense Sufficiency)	Required Personnel	Maintenance Personnel Ratio		
		Unit	Logistics Support Brigade	Depot
1,300	1,945	0.2	0.6	0.2
1,200	1,666			
1,100	1,404			

그러나 이처럼 정비 수준별 인원수의 비율을 고정한다면 시나리오를 고려하고, 현실을 고려한 최적의 정원 판단, 즉 방위충분성을 만족하는 최소 정비 인원을 산정할 수 없는 것이다.

따라서 최적화 간 부대정비, 군지여단정비, 창정비 인원수에 비율을 변동할 수 있도록 하는 조건을 시나리오로 설정하여 결과를 내보았다. 그 결과 방위충분성 60%(총량 목표 1,200대)를 만족하기 위한 최소 필요 인원은 1,516명으로 수준별 인원수 비율을 고정한 결과 대비 약 100명 이상 적은 인원수로 만족할 수 있는 결과가 나타난다. 세부 결과는 다음의 <Table 5>와 같다.

<Table 5> The Experimental Results when Inconstant Personnel Ratio

Total Aim (Defense Sufficiency)	Required Personnel	Maintenance Personnel Ratio		
		Unit	Logistics Support Brigade	Depot
1,300	1,636	0.12	0.77	0.1
1,200	1,516	0.13	0.66	0.21
1,100	1,241	0.15	0.74	0.1

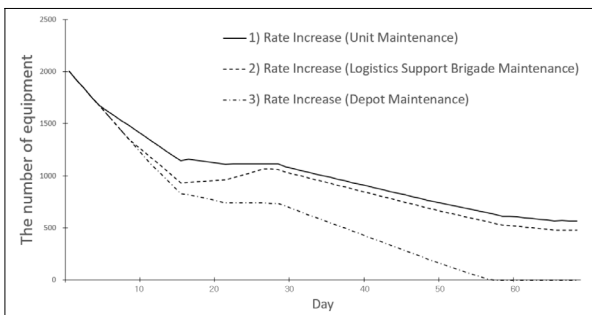
다만 조건으로, 비율의 변동을 허용하되 정비 수준별로 0.1부터 1까지의 Min값과 Max값을 설정하여 최적화하였다. 정비 수준별 비율의 Min값의 범위를 0부터 허용하지 않은 이유는 정비 효율이 떨어지는 수준의 인원수에 할당하지 않는 경우가 생길 수 있기 때문이다. 즉, Min값이 0이 되어버리면 가장 비효율적인 정비 수준 인원수를 0으로 최적화 해버리는 결과가 생길 수 있는 것이다. 현실에서는 각 정비 수준에서 반드시 필요한 최소 규모가 있지만, 모형에서는 필수적으로 필요한 인원이나 규모는 묘사하지 못했기 때문에 Min값을 0이 아닌 0.1부터 설정한다.

이를 통해 각 총량의 목표별 인원수 비율을 찾을 수 있고, 더 적은 수로 방위충분성을 달성하는 최적의 인원을 산출할 수 있다.

4.3 민감도 분석

4.3.1 수준별 인원 비율변화에 대한 민감도 분석

<Figure 5>는 병력을 정비수준별로 극단적으로 할당할 경우 가용장비 댓수(장비 총량)에 어떤 영향을 주는지 알고자 민감도를 분석한 그래프이다.



<Figure 5> The Number of Equipment as the Change of Maintenance Personnel Ratio

- 1) 부대정비 인원 극단적 증가의 경우: 장비의 피해량 중 소파가 가장 큰 비중을 차지하기 때문에, 부대정비 인원이 많아진다면 전투가 종료되는 시점까지 장비의 총량을 가장 많이 유지할 수 있다.
- 2) 군지여단정비 인원 극단적 증가의 경우: 약 15일 차부터는 리질리언트(Resilient)가 급격하여 회복이 빠르다고 볼 수 있으나 계속 증가하지는 못하고 약 30일 차부터는 감소하는 모습을 보인다.
- 3) 창정비 인원 극단적 증가의 경우: 다른 경우보다 회복의 속도가 느렸고, 양이 적으며, 시뮬레이션 기간 도중 소멸해 버리고 만다. 즉 인원 대비 효율이 가장 높지 않다고 할 수 있다.

그래프에서 볼 수 있는 것처럼 단순히 부대정비 인원 비율을 증가시키면 총량 목표를 가장 많이 유지할 수 있다. 최적화를 위하여서도 부대정비의 비율을 <Table 4>에서 최적화한 대로 0.2로 고정해 버리거나 혹은 그 이상으로 정해버린다면 총량의 목표를 보다 쉽고, 조기에 달성 및 증가시킬 수도 있을 것이다. 상식적으로 전투 상황을 생각해보았을 때에도 피해 소요가 많고, 이동시간도 적고, 간단한 부대정비에 대규모 인원을 투입하여 조속하게 정비한다면 동일한 결과를 낼 수 있을 것이다.

그러나 부대정비 인원은 전투부대에 속해있다는 특성에

따라 제한 없이 무작정 증가시키기에는 전투부대 운용 등의 측면에서 무리가 있고 현실의 문제를 적절히 모형에 반영하지 못할 수밖에 없기 때문에 비율의 변동이 필요했다.

4.3.2 입력데이터 변화에 대한 민감도 분석

<Table 6>은 방위충분성 60%를 유지하는 것으로 세팅된 현재의 조건에서 초기 입력데이터 4가지 항목(정비 능력 변화, 손실률 변화, 정비 복잡도 변화, 신분별 능력 계수)의 변화에 따른 총량의 변화율에 대한 민감도 분석 결과이다. 이 결과를 그래프로 나타내면 다음의 <Figure 6>와 같다. 실선은 5% 증가를, 점선은 10% 증가를, 파선-점선은 50% 증가를 나타낸다. 초기입력 데이터의 증가에 따른 총량의 변화 결과가 이와 같았다.

<Table 6> The Result of Sensitivity Analysis for the System Dynamics Model

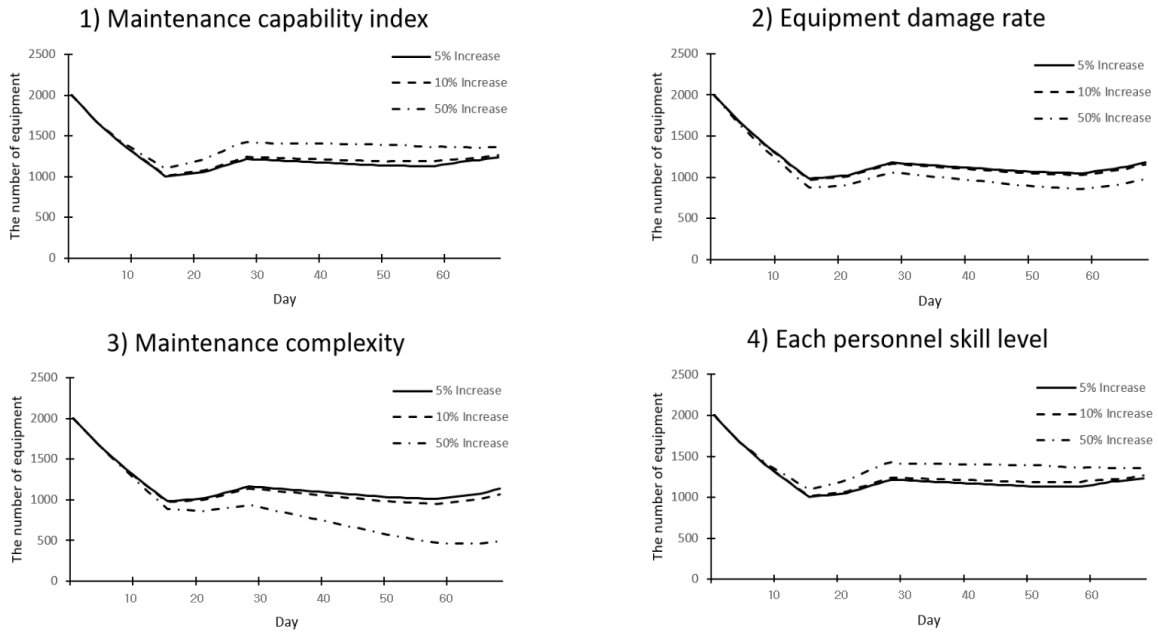
Category	Total Increase Rate by Data Change (%)		
	5% Increase	10% Increase	50% Increase
1) Maintenance capability index	2.67	5.25	13.17
2) Equipment damage rate	-1.83	-3.75	-18.58
3) Maintenance complexity	-5.42	-11.33	-59.17
4) Each personnel skill level	2.67	5.25	13.17

표와 그래프를 함께 보면, 예를 들어 1)번의 정비 능력 계수의 초깃값이 0.5라고 한다면 0.5의 5%를 증가한 0.525를 초기 입력 데이터로 변경하여 사용했다는 것이고, 종료 시점의 장비 총량은 1,200대에서 2.67% 증가한 1,232대가 되었다는 것이다. 10% 증가했을 경우는 총량이 5.25% 증가해서 1,263대가 되었고, 50% 증가했을 때는 13.17% 증가하여 1,358대가 되었다.

반면, 2)번과 3)번에서처럼 완파율이나 정비 복잡도가 증가하면 총량이 1,200대보다 낮아지므로 방위충분성을 유지할 수 없게 되는 결과를 확인 할 수 있었다. 특히 정비 복잡도의 변화는 장비 총량에 많은 영향을 끼치는 것을 확인 할 수 있었다.

4)번의 신분별 정비 능력 계수는 1)번과 실제 입력되는 값은 달랐지만, 변화에 대해서는 동일한 증가율을 보였고, 그래프 또한 동일했다.

시스템 다이내믹스 특성상 여러 가지 파라미터들이 연결되었기 때문에 모든 초기데이터의 변화가 선형적인 증가를 장담할 순 없지만 분석 결과에서 확인할 수 있듯이 변화의 정도를 알 수 있었으며 보다 명확한 데이터가 제공된다면 양질의 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.



<Figure 6> The Results of Sensitivity Analysis by Change Rate of Maintenance Capability, Equipment Damage, Complexity and Each Personnel Skill Level

5. 결 론

이 연구는 시스템 다이내믹스를 활용해 방위충분성을 유지하기 위한 지속지원 최적 정비 병력 수를 정량적으로 산정해 본 데 의의가 있다.

먼저, 소·중·대·완과의 피해에 따라 각각의 정비 단계의 활동에서 이루어지는 다양한 요소를 고려하여 일일 단위 정비량을 산출하는 모형을 개발하였다. 이를 통해 방위충분성의 달성 여부와 필요한 최적 병력수를 산출하였다. 이는 적정 병력 예측 관련된 업무에 쉽게 접근할 수 있게 한다. 예를 들어, 시뮬레이션 결과를 통해 방위충분성이 달성되지 못하는 일자를 식별하여 보완할 수 있다. 그뿐만 아니라 능력 계수 등을 미래 무기체계, 전투 요원 능력, 제도적인 효과로 증가한 입대율 등의 다양한 요건을 미래 변화하는 군구조나 상황을 고려하여 입력함으로써 유용적인 결과를 살펴볼 수 있다.

두 번째로, 민감도 분석을 통해 이 모형에서 총량의 변화(방위충분성)에 영향을 미치는 요소들을 식별할 수 있었다. 이를 활용하여 방위충분성을 조기에 달성하거나, 필요 인원을 산정하는 등 정책적, 제도적 발전에 기여할 수 있다. 즉 정비 능력의 향상을 위해서 숙달된 정비 요원을 모집하는 방안이나 정비관 또는 경력 인원인 기존 보직자의 정년 연장 등을 통해 효과의 근거로 제시할 수도 있을 것이다. 또 장비 총량의 감소에 많은 영향을 끼쳤던 정비 복잡도 단순화를 위해 국내 방산업체의 부품 단일화, 간소화

정책 등을 고려할 수도 있을 것이다.

본 연구에서는 목표하는 총량을 달성하기 위한 최적의 병력을 산출할 때 대상을 하나의 장비로 한정하였지만, 추후 연구로 보다 많은 데이터가 확보된다면 수리모형에서처럼 전체 장비를 대상으로 하여 연구 범위를 확장할 수 있을 것이다.

끝으로 본 연구는 군 병력산정 시 정성적으로 이루어지던 데서 벗어나 각종 신뢰할 수 있는 데이터를 활용한 정량적인 방법론을 제시했으며, 이를 통해 향후 병력산정 시 논리적이고 합리적인 연구의 다양성을 부여하는 초석이 되길 기대한다.

References

- [1] Army Education Command, Operational Continuity Assistance Analysis Model Operator's Guide, Korea Military printing Institution, 2015.
- [2] Army, Field Instructor(42-1), Maintenance Service, Korea Military printing Institution, 2011.
- [3] Army, Field Instructors(management-6-13), Maintenance Support, Korea Military printing Institution, 2017.
- [4] Beak, B.H., Kim, Y.H., and Lee, C.W., Appropriate Wartime Unit Structure of Sustainment Brigade and Optimal Operation Scheme Using Simulation Model, *The Quarterly Journal of Defense Policy Studies*, 2020,

- Vol. 36, No. 3, pp. 101-125.
- [5] Kim, C.H., System Dynamics, pybook, 2021.
- [6] Kim, D.H., Jung, B.R., and Han, H.J., A Case Study for Deciding Appropriate Man Power of an Army Maintenance Unit using Vensim, *Journal of the Military Operations Research Society of Korea (MORS-K)*, 2013, Vol. 39, No. 1, pp. 13-24.
- [7] Kim, D.S., A Study on the Future Force Structure of the Korean Military, *Journal of Patriots and Veterans Affairs in the Republic Korea*, 2022, Vol. 21, No. 4, pp. 9-40.
- [8] Kim, J.B. and Lee, C.W., The Development of Evaluation Model of Competing Value Framework for Korean Defence Organization Effectiveness: Evaluation Factors for the Headquarters of Operations, *Korean Review of Organizational Studies*, 2013, Vol. 10, No. 3, pp. 1-30.
- [9] Lee, C.S. and Kim C.H., Relevance Verification of Staff Organizations using System Dynamics, *Journal of the Korea Society for Simulation*, 2018, Vol. 27, No. 3, pp. 53-63.
- [10] Lee, D.J., A study of optimal operation planning model for military logistics units in wartime [master's thesis], [Daejeon, Korea]: University of science and technology, 2018.
- [11] Lee, J.H., Lee, S.R., Lee, M.G., and Kim, C.H., Military Officer Manpower Management Model Considering Retirement Extension, *Korean System Dynamics Review*, 2023, Vol. 24, No. 4, pp. 67-88.
- [12] Lee, J.Y. and Moon, B.S., A Study on The Perception Change of Military Executives for The National Defense Reform, *Journal of National Defense Studies*, 2019, Vol. 62, No. 4, pp. 103-132.
- [13] Moon, S.A., Lee, J.H., Choi, K.H., and Choi, J.W., Smart Logistics, Hankyungsa, 2022.
- [14] Yeom, S.G. and Moon, S.A., Dynamic Simulation of Sustainment Strategy in Wartime, *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 2023, Vol. 24, No. 2, pp. 364-372.

ORCID

Byeong Jae Kim | <https://orcid.org/0009-0006-0509-0748>

Seung Ryul Lee | <https://orcid.org/0000-0001-6934-1549>

Moon Gul Lee | <https://orcid.org/0000-0002-2302-4705>

Yong Bok Lee | <https://orcid.org/0000-0002-0338-9977>