

해상 플랫폼 탑재장비 손실을 산정 방법 - 워게임모델 적용을 중심으로 -

양정관¹⁾, 김봉석¹⁾, 경지훈^{1)*}, 오현식²⁾

1) 한남대학교 산업경영공학과, 2) 국방과학연구소

Methodology for estimating the damage rate of equipment mounted on the warship

Jeong Kwan Yang¹⁾, Bong Seok Kim¹⁾, Ji Hoon Kyung^{1)*}, Hyun Shik Oh²⁾

1) Department of Industrial Engineering, Hannam University, 2) Agency for Defense Development

Abstract : Accurately predicting wartime resources requirements and preparing war supplies in peacetime is an important task that can determine the outcome of the war by guaranteeing the duration of the operation. The wartime warship damage rate is a measure of estimating the battle damage of our warships in the process of performing battles to achieve the war goal. In the previously studied wartime warship damage rate estimation method, when damage occurs, long-term repair is required due to the complexity and specificity of the ship structure. Only the case of a complete defeat at the level of sinking was defined as a damage, and even if it was impossible to perform a maritime operation mission, it was not estimated as a damage if the level of sinking was not reached. Therefore, in order to improve the reliability of the wartime warship damage rate, the equipment damage assessment level can be estimated based on the warhead weight of the threat weapon system, the vulnerability rate of the warship's equipment, and the warship's hull. In the future, it is expected that the estimation methodology proposed in this study will be used as a simulation logic when developing a model for analyzing the wartime resources requirements for the warship's equipment and hull.

Key Words : Battle Damage Assessment, Vulnerability, Joint Munition Effectiveness Manual.

Received : October 17, 2022 / **Revised** : December 7, 2022 / **Accepted** : December 13, 2022

* 교신저자: Ji Hoon Kyung / Hannam University / kjh@hnu.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

1. 서론

전시소요를 정확히 준비하는 것은 전쟁의 승패를 좌우할 수 있는 중요한 요소임이 증명되고 있다.[1] 그러나 전시소요를 예측하는 것은 전쟁의 불확실성으로 인해 합리적인 가정하에서 전시소요를 추정하더라도 예상하지 못한 많은 변수가 발생하여 추정치를 가늠하기 힘들기 때문에 최적의 방법론 개발이 요구된다.

현재 전시소요는 전쟁상황을 면밀히 분석하고 예측한 결과를 토대로 평시에 비축 또는 확보계획을 수립하여 전시에 지속능력을 보장할 수 있도록 하고 있다. 전시소요를 과다하게 책정하면 유지관리비용이 상승하여 예산 낭비를 초래하게 되며, 과소하면 군사적 목표 달성이 어렵게 될 수 있다.[2]

이러한 전시소요를 추정할 수 있는 가장 효과적인 방법이 M&S(Modeling and Simulation)를 통한 소요 예측이며 M&S 구현이 제한되는 부분은 수리적, 논리적 모델을 활용하고 있다.[3]

해군은 전시소요를 산정시 함정 손실률을 적용하며, 이를 분석하기 위해 초기에는 美 전구급 분석모델인 ITEM¹⁾을 활용하였으나 해군분석모델(NORAM²⁾)이 개발되면서 현재까지 주 분석도구로 활용하고 있다. 또한, 신속한 모델링과 결과분석을 수행하기 위해 상용모델인 ARENA³⁾ 시뮬레이션 도구를 이용한 전시 함정 손실률 산정방법론이 연구되었다. 전시 함정 손실률은 전쟁 목표를 달성하기 위해 전투를 수행하는 과정에서 아군 함정의 전투손실을 추정하는 척도이며 함정별/기간별 손실량을 산정하고 이를 백분율로 나타낸 것이다.[4]

그러나 지금까지 함정 피해평가는 함정 전체에 대한 피해율을 기초로 함정 손실을 산정하였고 함정 선체, 기동장비, 통신/전자장비, 화력장비에 대한 피해율을 기반으로 함정 임무수행 관점에서의 함정 손실을 고려하지 않았다. 함정 임무수행 관점에서 함

정 선체 및 탑재장비의 피해수준을 기반으로 함정 손실을 산정하기 위해서는 함정의 취약성 자료를 입력자료로 활용해야 산정 결과의 신뢰성을 높일 수 있다.

취약성 분석 방법론은 항공기 취약성 방법론을 기반으로 함정까지 확대되어 지속적으로 연구되었으며[5],[6],[7], 위협 무기체계에 대한 표적 취약성 연구 자료를 과학적으로 수행하기 위해 한·미 자료교환협정을 통해 탄약효과를 분석할 수 있는 통합 소프트웨어를 도입하여 한국형 합동무기효과교범(ROK-JMEM⁴⁾)체계를 구축하였다.[8] 최근에는 해군 전구급 훈련모델의 함정 손상평가 모의논리를 개선하기 위해 함정 취약성 자료 형태를 기반으로 인원, 장비, 물자에 대한 피해율을 산정하고 그에 따른 함정의 전투력 수준을 산정하는 연구가 수행되었다.[9]

기존 전시 함정 손실률 산정방법론은 함정 임무수행을 고려하지 않은 침몰 수준인 완파를 기준으로 함정 손실을 판단하고 있어 함정의 특성을 반영하지 못하고 있다. 함정의 임무수행 관점에서 보면 함정 선체 및 탑재장비가 중과 이상 피해를 입으면 해상 작전 임무수행이 불가능하므로 함정 선체 및 탑재장비 피해율에 따른 임무수행 정도를 기준으로 함정 손실률을 산정할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 함정 교전 피해평가 수준 및 산정방법론(김봉석, 2021)을 적용하여 함정의 선체, 기동장비, 통신/전자장비, 화력장비의 피해수준에 따른 함정 임무수행 정도를 기준으로 함정 손실률을 산정하였다. 마지막으로 전시 함정 손실률 산정 방법론(옥경찬외, 2017)에서 활용된 입력자료를 활용하여 함정 선체 및 탑재장비 피해평가 수준에 따른 함정 손실률을 비교 평가하여 검증하였다.

1) Intergrated Theater Engagement Model
2) Naval Operation Resources Analysis Model
3) Rockwell 회사의 상용 시뮬레이션 소프트웨어

4) Republic of Korea - Joint Munitions Effectiveness Manual

2. 관련연구

2.1 기존 연구현황

한국국방연구원(KIDA) 주관으로 전시 함정 손실률 연구가 최초로 시작되어 해군의 함정 피해율을 완파, 대파, 중파, 소파로 구분하였으며 함정의 피해율이 75% 이상 피해가 발생하면 완파로 간주하여 함정을 손실된 것으로 판단하였다.[2] 美 전구급 분석모델인 ITEM을 활용한 손실률 연구는 먼저 교전 결과에 따른 함정 피해결과를 산출하고, 그 결과를 기초로 탑재장비의 피해율을 별도의 방법론을 적용하여 산정하였다.[10] 최근에는 ITEM을 대체하여 해군분석모델(NORAM)을 개발 및 활용하여 전시 함정 손실률을 산정하고 있다. 또한 신속한 모델링과 결과분석을 위해 상용모델인 ARENA를 이용한 전시 함정 손실률 산정방법론이 연구되었다.[4]

취약성 분석 방법론은 항공기 취약성 방법론을 기반으로 함정까지 확대되어 지속적으로 연구되었으며[5],[6],[7], 위협 무기체계에 대한 표적 취약성 연구 자료를 과학적으로 수행하기 위해 한·미 자료교환협정을 통해 탄약효과를 분석할 수 있는 통합 소프트웨어를 도입하여 한국형 합동무기효과과범(ROK-JMEM) 체계를 구축하였다.[8] 이러한 통합 소프트웨어를 활용하여 획득된 함정 취약성 자료 형태를 기반으로 인원, 장비, 물자에 대한 피해율을 산정하고 그에 따라 함정의 전투력 수준을 산정하는 연구가 수행되었다.[9]

2.2 기존 연구의 제한점

함정의 피해는 외부 공격에 의한 손상을 말하며 복구 가능한 피해와 복구 불가능한 피해로 구분된다. 손상의 정도에 따라 피해수준이 완파, 대파, 중파, 소파로 구분할 수 있으며 완파는 침몰에 임박한 복구 불가능한 상태로 간주하고 있다. 그러나 대파 또는 중파의 경우도 함정의 특성상 임무수행이 가능하도록 전투력을 복원하려면 함정구조의 복잡성과 특수성으로 장기간 수리가 요구되므로 복구 불가능

한 상태로 보아야 한다.

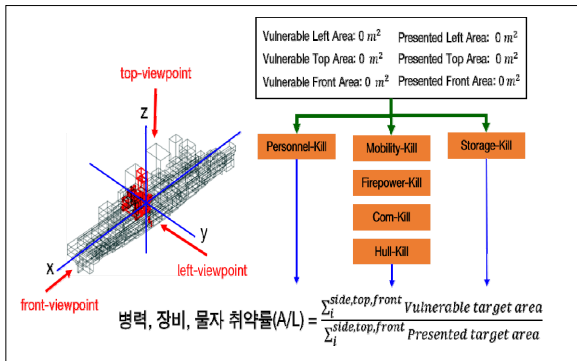
기존 전시 함정 손실률 산정방법론은 함정 임무수행 가능성 판단을 고려하지 않은 함정의 완파를 기준으로 함정 손실을 판단하고 있어 함정의 특성을 반영하지 못하고 있다. 함정의 임무수행 관점에서 보면 선체 또는 탑재장비들이 중파 이상 피해를 입으면 복원력 상실이 되거나 특정 장비의 피해로 인해 탑재장비, 무장사용이 불가능한 상태가 되므로 함정 선체와 탑재장비 피해율에 따른 임무수행 가능 정도를 기준으로 함정 손실률을 산정할 필요가 있다.

함정은 대함, 대공 및 대잠 상황 등 다양한 위협 하에서 작전을 수행할 수 있어야 하므로 임무수행 정도를 함정 손실 판단 근거로 삼아야 한다. 함정의 임무수행 정도는 선체와 탑재장비의 피해정도를 기초로 판단할 수 있다. 따라서 위협 무기체계의 탄두중량과 함정 탑재장비 및 선체의 취약률 자료를 기반으로 장비 피해평가 수준을 산정하고(김봉석, 2021) 이에 따른 임무수행 정도를 기준으로 함정 손실률을 산정할 필요가 있다.

3. 함정 탑재장비 손실률 산정방법

3.1 함정 교전 피해수준 및 산정방법

함정 교전 피해수준 및 산정방법에 대하여 김봉석(2021)은 위협 무기체계별 함정 취약성 평가 자료를 그림 1과 같이 함정의 병력, 장비(기동장비, 화력장비, 통신전자장비, 선체장비), 물자(저장구역)의 취약률을 위협 무기체계에 피격되었을 때 병력, 장비, 물자의 취약면적(Vulnerable Area) 대 노출면적(Presented Area)의 비(Ratio)로 표현하였다. 그리고 위협 무기체계의 탄약량(Wh)과 선체, 기동장비, 통신/전자장비, 화력장비의 취약률(L/A)의 곱을 기댓값으로 하는 포아송분포를 적용하여 수식 (1)과 같이 함정의 장비 피해율(Pk)을 산출하였으며 이때 탄약량 1Wh는 100파운드(pound)의 TNT 양과 동일하다고 가정하였다.



[Figure 1] The results of warship's vulnerability assessment[9]

$$P_{kj} = 1 - e^{-W_{hi} \cdot L_j / A_j} \quad (1)$$

- P_{kj} : 위협무기체계가 명중되었을 때 피해를
- W_{hi} : 교전시간 동안 함정에 전달된 탄약량
(i = 함포, 유도탄 등 위협무기체계)
- L_j : 함정의 취약면적(j = 장비유형)
- A_j : 함정의 노출면적(j = 장비유형)

함정의 선체 및 탑재장비에 대한 피해수준은 수식 (1)에 따라 산출된 피해율을 기반으로 산정하며, 장비의 피해수준을 산정하기 위해서 시뮬레이션 이론인 채택기각 기법(Acceptance and Rejection Technique)을 적용한다.[14] 피해 수준 산정절차는 먼저 균일분포 난수를 추출한 후 장비의 피해율과 비교하여 피해율보다 작으면 피해가 나고, 크면 피격되었지만 피해는 입지 않는다. 함정이 위협 무기체계에 피격받으면 함정 특수성으로 인해 장비 피해 수준을 측정하는 것이 제한되므로 확률변수를 이용하여 피해수준을 산정하였다. 만약 장비가 피해를 입으면 표 1과 같이 피해정도의 구간(D1~D4)과 균일분포 난수를 추출하여 선체와 탑재장비의 피해수준을 소과, 중과, 대과, 완과로 구분하여 임무수행 가능여부를 판단할 수 있다. 피격에 따른 선체 피해수준과 탑재장비의 피해수준에 따라 장비간 치사트리(Kill Tree)를 통해 장비간 영향을 모의할 수 있다.

<Table 2> Criteria of levels of Equipment[9]

구 분	소과	중과	대과	완과
피해 정도	D ₁ 미만	D ₁ - D ₂	D ₂ - D ₃	D ₃ 초과
임무 수행	가 능	불 가	불 가	불 가

3.2 탑재장비 피해수준에 따른 함정 손실 산정

함정 장비는 기동장비, 통신전자장비, 화력장비, 선체장비로 구분될 수 있으며 이러한 장비들의 가동 여부에 따라 대함전, 방공전, 대잠전, 지휘통제, 대지작전, 탐색구조의 임무를 수행할 수 있다.[15]

선체장비의 피해수준이 소과이면 함정내 탑재장비들의 이중화 설계 등으로 제한적으로 임무가 수행 가능하다. 기동장비, 통신전자장비, 화력장비들이 각각 중과 이상의 피해수준을 입게 되면 함정의 임무수행에 영향을 주게 되고 함정 손실로 산정할 수 있으며 임무수행 정도에 따라 함정 손실 정도를 산정한다.

4. 타당성 검증

4.1 개요

전시 함정 손실을 산정방법론(옥경찬, 2017)에서 사례연구의 입력자료를 기반으로 함정의 탑재장비 및 선체의 피해수준을 산정하고 이에 따른 임무수행 정도를 기준으로 함정 손실률을 산정하였다.

4.1.1 입력자료

전력분석, 작전계획 분석, 모의 핵심변수 분석을 통한 입력자료는 투입전력, 전투강도, 탐지율/파괴율로 정리하였다. 함대급 모의를 위한 투입전력은 표 2와 같다.

<Table 2> Simulation input forces

Simulation Input forces	North Korea forces	South Korea forces
Surface warship	Small : 230	Large : 4 Middle : 10 Small : 32
Submarine	40	6
Aircraft	-	14
Total	270	66

적·아 작전계획을 바탕으로 분석된 전투강도에 따른 투입전력은 표 3과 같다.

<Table 3> Initial forces input for operation step

North Korea operation plan step	Battle severity	Enemy surface ship	Enemy submarine
Step 1 Surprise attack	5.1%	12	2
Step 2 Special Forces Ops	7.6%	17	3
Step 3 Submarine Ops	24.7%	57	10
Step 4 N.K. Landing Ops	45.4%	104	18
Step 5 Seashore Ops	17.1%	39	7

모의 핵심변수는 적·아 함정에 장착된 소나 탐지율, 레이더 탐지율, 유도탄 명중률, 어뢰 명중률이며 이를 정리하면 표 4와 같다.

<Table 4> Input data for key variables

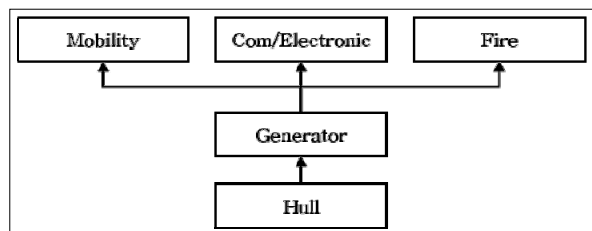
Key Variables		Input data
Sensor Capacities	Radar	Large ship : 1.00 Middle ship : 0.82 Small ship : 0.57
	Sonar	Aircraft : 0.03 Large ship : 0.012 Middle ship : 0.006
Weapon Capacities	Missile	0.75
	Torpedo	0.39

함정의 기동장비, 화력장비, 통신전자장비, 선체 장비로 구분하여 함정 취약성 자료는 옥경찬 (2017:143)에서 입력한 피해율의 수치를 취약률 데이터로 활용하여 각 장비에 동일하게 입력하였다.

<Table 5> Input data for damage rate

Damage rate		Vulnerable input data		
PK	MSL	Large ship	Mob-Kill	0.14
			Fire-Kill	0.14
			Com-kill	0.14
			Hull-kill	0.14
		Middle ship	Mob-Kill	0.31
			Fire-Kill	0.31
			Com-kill	0.31
			Hull-kill	0.31
	Small ship	Mob-Kill	0.90	
		Fire-Kill	0.90	
		Com-kill	0.90	
		Hull-kill	0.90	
	Tor	Large ship	Mob-Kill	0.38
			Fire-Kill	0.38
			Com-kill	0.38
			Hull-kill	0.38
Middle ship		Mob-Kill	0.71	
		Fire-Kill	0.71	
		Com-kill	0.71	
		Hull-kill	0.71	
Small ship		Mob-Kill	1.00	
		Fire-Kill	1.00	
		Com-kill	1.00	
		Hull-kill	1.00	
Submarine			1.00	

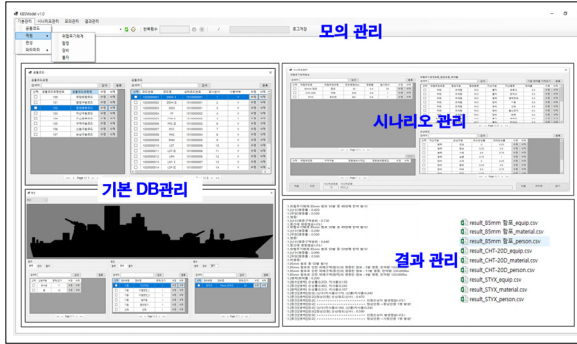
적·아 함정의 탑재장비는 제인연감(Jane's Fighting Ship 2006-2007)을 기준으로 구축하였고 선체 및 탑재장비 간 치사트리는 그림 2와 같으며 치사트리에 따라 함정의 임무수행 정도를 판단할 수 있다.



[Figure 2] Kill Tree Diagram[9]

4.1.2 모델링 및 시뮬레이션

모델링 및 시뮬레이션 단계에서는 MS-SQL DBMS를 이용하여 데이터를 구축하고 시뮬레이션을 실행하였으며 그림 3과 같다.



[Figure 3] Configuration of Model[9]

함정 간 교전을 위한 모의논리는 적·아 함정들이 교전을 위해 접근할 때 각 함정들에 장착된 탐지 장비의 탐지확률에 따라 표적 탐지 여부가 결정된다. 무장 발사 및 위협순위 평가는 먼저 탐지한 함정이 표적을 먼저 공격하고 공격 무장의 명중률에 의해 표적 명중 여부가 결정된다. 만약 적·아 함정들이 상호 탐지하고 있는 경우에는 적·아 함정들이 서로 무장을 발사하므로 상호독립된 사건으로 공격 무장 명중률에 따라 공격 성공과 실패가 결정된다.

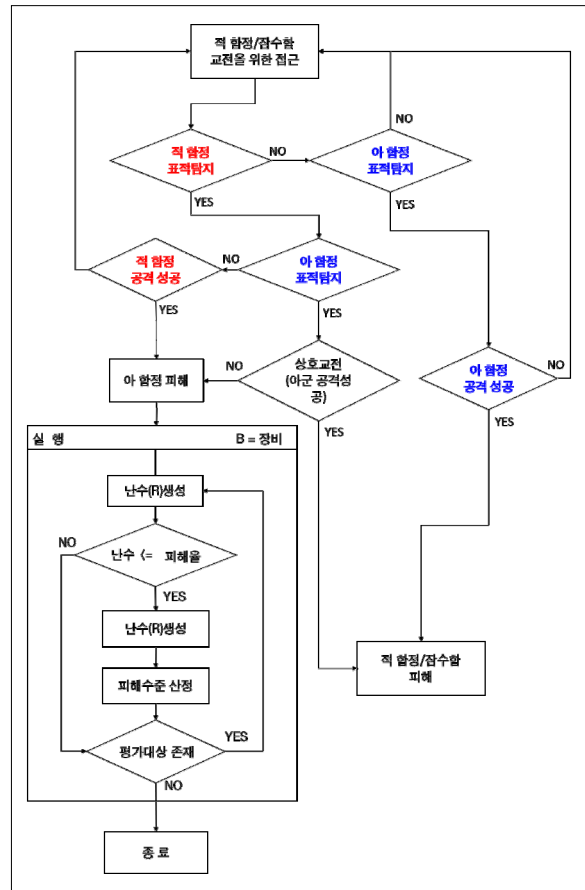
적·아 함정 간 서로 표적 탐지를 하지 못한 경우에는 교전을 위해서 재진입하게 되며 표적을 탐지하면 먼저 탐지한 함정이 표적을 향해 공격한다. 이러한 교전으로 인해 함정의 탑재된 장비가 피해를 입어 임무 수행이 불가능한 경우에는 손실된 함정이므로 교전대상에서 제외된다. 이러한 모의논리를 모델링한 결과가 그림 4와 같다.

4.1.3 세부 함정 손실률 산정

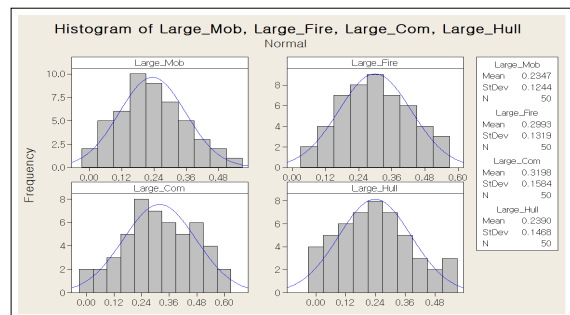
표 2와 표 3의 작전단계별 투입전력을 투입하여 복합전을 시뮬레이션을 50회 한 결과 대형함정 (Large ship)은 소형함정(Small ship)들에 비해 방어 무장이 많아 함정 장비의 피해율이 적어 함정 손

실률이 낮았으나 소형함정은 선체 손상이 심하여 대부분 완파 수준으로 함정 손실이 많이 발생하였다.

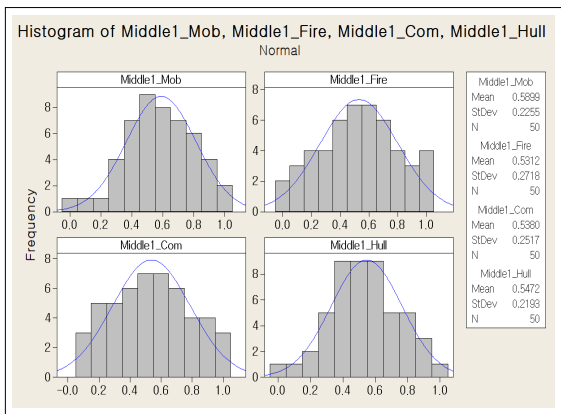
복합전 교전 결과를 함정의 장비별 피해율을 히스토그램 나타내면 그림 5, 그림 6, 그림 7, 그림 8과 같다.



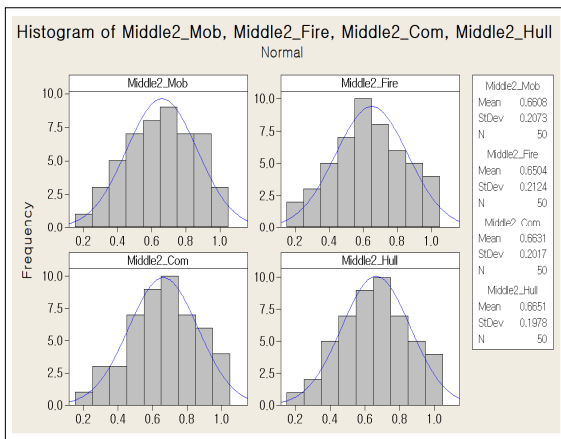
[Figure 4] Simulation Process



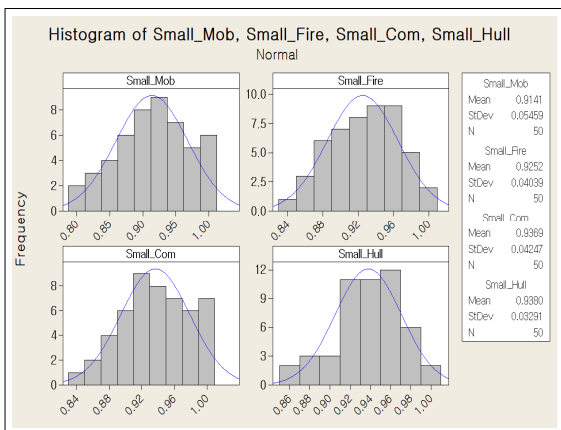
[Figure 5] Equipment Damage rate of Large ship



[Figure 6] Equipment Damage rate of Middle1 ship



[Figure 7] Equipment Damage rate of Middle2 ship



[Figure 8] Equipment Damage rate of Small ship

함정유형별로 산출된 함정 장비 피해율과 함정의 손실률을 정리하면 표 6과 같다.

<Table 6> Damaged Equipment rates

Ship type	Equip type	Mean of equip damage rate	Stdv of equip damage rate	Total damage rate
Large Ship	Mob-Kill	0.2347	0.1244	0.2732
	Fire-Kill	0.2993	0.1319	
	Com-kill	0.3198	0.1584	
Mid_1 Ship	Hull-kill	0.2390	0.1468	0.5516
	Mob-Kill	0.5899	0.2255	
	Fire-Kill	0.5312	0.2718	
Mid_2 Ship	Com-kill	0.5380	0.2517	0.6598
	Hull-kill	0.5472	0.2193	
	Mob-Kill	0.6608	0.2073	
Small Ship	Fire-Kill	0.6504	0.2124	0.9286
	Com-kill	0.6631	0.2017	
	Hull-kill	0.6651	0.1978	
	Mob-Kill	0.9141	0.0546	0.9286
	Fire-Kill	0.9252	0.0404	
	Com-kill	0.9369	0.0425	
	Hull-kill	0.9380	0.0329	

함정유형별로 산출된 함정 장비 피해율로 산정된 함정 손실률을 적용하여 아 함정별 손실척수를 계산하면 표 7과 같이 전체 작전에서의 함정별 손실률을 산정할 수 있다.

<Table 7> Damaged Warships and rates

Ship type	Initial input forces	Total damage rate	Damaged Ships
Large Ship	4	0.2732	1.0928
Mid_1 Ship	4	0.5516	2.206
Mid_2 Ship	6	0.6598	3.9589
Small Ship	32	0.9286	29.7139

4.2 검증

전시 함정 손실률 산정방법론(옥경찬, 2017)에서 산정한 손실척수와 본 연구에서 수행한 탑재장비

및 선체의 피해율을 기반으로 함정 손실률을 산정한 전시 함정 손실척수를 검증한다. 기존 연구에서 전 체 작전기간 동안 누적된 함정별 손실척수는 표 8과 같다.

<Table 8> Damaged Warships and rates

Ship type	Initial input forces	Mean of damaged ships	Stdv of damaged ships	Total damage rate
Large Ship	4	1.028	0.101	0.257
Mid_1 Ship	4	2.333	0.203	0.583
Mid_2 Ship	6	4.009	0.239	0.668
Small Ship	32	29.522	0.903	0.923

귀무가설(H_0) : $\mu_1 = \mu_2$

대립가설(H_1) : $\mu_1 \neq \mu_2$

탐재장비 및 선체의 피해율을 기반으로 산정한 전시 함정 손실척수(μ_1)가 전시 함정 손실률 산정 방법론(옥경찬, 2017)의 함정 손실척수(μ_2)와 차이유무를 양측검증(유의수준 = 0.05) 하에서 정규 분포를 활용하여 검증한다. 가설검정 결과는 표 9와 같다.

<Table 9> Damaged Warships and rates

Ship type	Large Ship	Mid_1 Ship	Mid_2 Ship	Small Ship
P value	0.917	0.136	0.599	0.063

정규분포를 활용하여 전시 함정 손실률 산정방법론(옥경찬, 2017)과 본 연구에서 수행한 탐재장비 및 선체의 피해율을 기반으로 함정 손실률을 산정하고 전시 함정 손실척수를 검증한 결과 유의수준보다 함정유형별 손실척수의 P value값이 크므로 귀무가설(H_0)를 기각할 수 없다. 따라서 두 모델링을 통한 함정 손실척수는 유사하다고 할 수 있을 것이다.

5. 결론

전시소요를 예측하기 위해서 가장 경제적이고 현실적인 방법은 M&S를 활용하는 방법이며 이를 신뢰성있게 운용하기 위해서는 개념모델 개발과 시뮬레이션을 위한 입력값에 대한 검증이 필요하다.

본 연구에서는 신뢰성있는 피해수준 산정을 위해 한국형 합동무기효과교범(ROK-JMEM) 체계에서 획득할 수 있는 함정 취약성 자료를 바탕으로 함정 탐재장비 및 선체의 피해수준을 측정하여 그에 따른 함정 손실률을 산정하였다. 이러한 탐재장비 및 선체의 피해수준에 따라 부품 및 구성품의 피해정도 그리고 정비소요시간의 추정이 가능하여 향후 전시소요를 예측하기 위한 기초적인 데이터를 제공해줄 수 있을 것이다. 본 연구의 제한점은 무기체계 효과도, 표적 취약성 자료, 함정 탐재장비 치사트리(Kill Tree) 등은 군사기밀에 속하여 가상의 데이터 또는 일반화된 자료를 통하여 제한된 자료를 바탕으로 방법론을 검증하였다. 향후 전시소요 분석을 위한 모델을 개발 시 본 연구에서 제시한 함정의 탐재장비 및 선체에 대한 손실률이 적용된 산정방법론이 최적의 모의논리로 활용될 것으로 기대한다.

사 사

이 논문은 한남대학교와 국방과학연구소 학연 연구의 일부 지원을 받아 연구되었습니다.

References

1. 박주경, “우크라이나 전쟁: 군수지원 차원에서 본 시사점과 정책 제언”, 전략연구, 29(2), pp. 155-191, 2022.
2. 서정해, “전시소요 산정방법 개선방향”, 국방정책 연구, 52, pp. 37-60, 2001.
3. 조홍용, 정병희, “K-9 포탄 전시 소요량 산정을 위한 하이브리드 국방 시뮬레이션 모형에 관한 연

- 구”, 한국국방경영분석학회지, 35(1), 2009.
4. 옥경찬, 임동순, 최봉완, “전시 함정 손실률 산정 방법론: 사례연구를 중심으로”, 한국군사과학기술학회지, 20(1), pp. 137-147, 2017.
 5. Ball, R. E, “The Fundamentals of Aircraft Combat Survivability Analysis and Design”, AIAA education series, Virginia, pp. 445-776, 2003.
 6. 최봉완, 이찬선 “함정(공기부양정) 취약성 분석방법 연구”, 한국군사과학기술학회지, 13(6), pp. 1106-1112, 2010.
 7. 이장현, 김광식, “COVART 모델 기반의 함정 취약성 설계 및 평가 방법론 개발에 관한 연구”, 한국CDE학회 학술발표회 논문집, pp. 705-716, 2011.
 8. 이정만, 노상현, 한현진, “국내개발 무기체계의 탄약효과 산출 방법론”, 한국국방경영분석학회지, 44(2), pp. 21-31, 2018.
 9. 김봉석, 김종수, 최봉완, “해상전 위게임모델의 교전 피해평가 수준 및 산정방법론: 함정 피해평가를 중심으로”, 시스템엔지니어링학술지, 17(1), pp. 53-64, 2021.
 10. 김혜령, 백순흠, 최상영, “무기체계 운용가용도 산정 모델에 관한 연구”, 한국국방경영분석학회지, 35(3), pp. 17-30, 2009.
 11. J. Banks, J. S. Carson, B. L. Nelson, D. M. Nicol, “Discrete Event System Simulation (4th)”, Pearson, pp. 254-263, 2004.
 12. 진재일, 박준호, “전투력수준 평가의 주요 쟁점 및 발전방향”, 한국국방연구원 국방논단, 1581 (15-34), 2015.