

수리부속 재고수준이 전시 해군 함정 운용 가동률에 미치는 영향 분석

하창수, 김경섭*
연세대학교 산업공학과

Analysis of the Effect of the Inventory Level of Repair Parts on the Operational Availability of Korea Naval Warship in Wartime

Chang Soo Ha, Kyung Sup Kim*
Department of Industrial Engineering, Yonsei University

요약 해군 함정은 수많은 장비와 무기체계를 탑재하고 있다. 해군 함정의 임무 수행을 위해서는 이러한 수많은 장비와 무기체계의 정격성능 유지가 필수적이며, 고장 발생 시 이를 즉시 정비하여 임무 수행에 공백이 발생하지 않도록 해야 한다. 이를 위해서는 적정 수준의 수리부속을 보유하는 것이 필수적이다. 특히 전시에는 높은 수준의 함정 가동률 유지가 요구되기 때문에 전시에 필요한 적정 수준의 수리부속을 판단하는 것이 중요하다. 하지만 전시 상황을 예측하여 수리부속 재고수준을 판단하는 것은 어려운 문제이기 때문에 전시 수리부속 재고수준에 대한 적절한 검토가 이루어지고 있지 않다. 본 연구는 이러한 문제점을 해결하기 위해 시뮬레이션을 통해 전시 수리부속 적정 재고수준 분석 모형을 제안하였다. 이를 위해 전시 함정 운용률 증가 및 교전 피해로 인한 고장 발생 증가를 모형에 적용하였으며, 재고수준에 따른 비용 분석을 통해 최적의 전시 수리부속 재고수준을 제안한다. 군 관계자가 이 모형을 활용한다면 전쟁 초기 함정 가동률 유지를 위한 각 함 형과 장비에 맞는 수리부속 확보 계획을 수립할 수 있으며, 효율적인 국방예산 사용에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

Abstract Naval warships are equipped with numerous equipment and combat systems. To perform the duties of a naval warship, it is essential to maintain the rated performance of these numerous equipment and combat systems. In the event of failure, they should be immediately maintained to prevent gaps in the mission performance. For this, it is essential to have an appropriate level of repair parts. In particular, it is crucial to determine the appropriate level of repair parts necessary for wartime because a high operational availability is required. On the other hand, an appropriate review of the inventory level attached to the repair is not being conducted because it is difficult to determine the level of inventory attached to the repair by predicting the wartime situation. In order to solve this problem, this study proposed a model for analyzing the appropriate inventory level of wartime repair parts through simulation. To this end, the increase in the naval ship operation rate during wartime and the increase in failure due to engagement damage were applied to the model. The optimal inventory level of the repair parts in wartime was proposed through cost analysis according to the inventory level. If military officials use this model, they can establish a plan to secure repair parts suitable for each naval ship type and equipment to maintain the ship operation rate in the early stages of war and contribute to the efficient use of the defense budget.

Keywords : Operational Availability, Repair Parts, Naval Warship, Wartime, Defense Budget, Simulation

*Corresponding Author : Kyung Sup Kim(Yonsei Univ.)

email: kyungkim@yonsei.ac.kr

Received August 24, 2022

Accepted November 4, 2022

Revised September 16, 2022

Published November 30, 2022

1. 서론

해군 함정은 수많은 장비와 무기체계를 탑재하고 각종 임무를 수행하고 있다. 해군 함정의 정상적인 임무 수행을 위해서는 이러한 수많은 장비와 무기체계의 정격성능 유지가 필수적이며, 고장 발생 시 장비를 즉시 정비하여 임무 수행에 공백이 발생하지 않도록 하는 것이 중요하다. 해군은 각종 제약조건 아래에서 임무 수행을 위한 함정 목표가동률을 설정하고 이를 유지하기 위해 노력하고 있다. 목표가동률을 유지하기 위해서는 장비 고장 발생 시 즉시 정비를 수행하기 위한 적정 수준의 수리부속을 보유하는 것이 필수적이다.

수리부속은 국방예산 중 전력운영비의 약 10% 정도를 차지하고 있는 중요한 자원이며, 많은 종류와 수량으로 인해 효율적인 관리와 적절한 소요판단이 필요하다. 특히 전시 함정 가동률에 직접적인 영향을 미치는 전시 수리부속 재고수준은 해군의 전쟁 수행 능력과 전쟁 초기 제해권 확보 여부를 판가름할 수 있는 중요한 요소 중 하나라고 볼 수 있다.

평시 해군 함정 수리부속의 적정 재고수준 판단은 오랜 기간을 거쳐 많은 연구가 이루어지고 있으나, 전시 수리부속 적정 재고수준 판단에 관한 연구는 이루어지고 있지 않다. 현재 해군 전시 수리부속의 적정 재고수준에 대한 소요 기준은 정립되어있지 않는 실정이며, 전시 재고수준은 단순히 평시 수리부속 인가량의 3배를 산정하여 적용되고 있다[1]. 이는 전시 함정 운용률 증가만을 고려한 사항으로, 교전에 의한 피해율은 고려되지 않았기 때문에 타당성이 결여되어있다.

수리부속 재고수준에 관한 연구는 METRIC 기반의 수리적 분석 모형과 시뮬레이션 모형으로 이루어져 왔다. Sherbrooke(1968)에 의해 고안된 METRIC 모형은 제한된 예산 범위에서 기지들의 평균 재고 부족량을 최소화하는 복구성 수리부속의 적정 재고수준을 판단하기 위해 고안된 모형이다[2]. 이후 Slay(1980)는 재고수준에 따른 장비 운용 가동률을 최대로 산출하는 Vari-METRIC 모형을 고안하였다[3]. 그러나 METRIC 기반의 모형은 많은 가정사항을 포함하고 있으므로 현실적인 상황을 반영하지 못한다는 한계점을 가지고 있다. 또한 METRIC 모형은 복구성 수리부속에 대한 재고관리만을 연구하고 있기 때문에 소모성 수리부속의 재고관리에 대한 부분은 고려되고 있지 않다.

이러한 METRIC 모형의 제한사항을 보다 현실적으로 반영하기 위해 현재는 시뮬레이션을 통한 재고관리 연구

가 많이 수행되고 있다. Stearns(1998)는 F-18전투기를 대상으로 최소 비용을 도출할 수 있는 수리부속 적정 재고수준을 시뮬레이션 모형을 통해 연구하였다[4]. Tao and Wen(2009)은 METRIC 모형의 현실적인 한계점인 정비시간, 재고 보충 기간 등의 군수 및 행정 지연시간에 대한 다양한 분포를 시뮬레이션 모형을 통해 연구하였고 이를 METRIC 모형과 비교하여 시뮬레이션이 더 효과적인임을 입증하였다[5].

우리 군에서도 시뮬레이션을 통한 수리부속 재고수준에 관한 연구가 많이 이루어지고 있다. 박병철(2005)은 시뮬레이션 모형을 통해 동시조달 수리부속의 재고량이 육군 전차 운용 가동률에 미치는 영향을 분석하였다[6]. 전홍주(2018)는 해병대에서 운용 중인 KAAV를 대상으로 시뮬레이션 모형을 통해 수리부속 및 정비대체장비 재고수준이 장비 운용 가동률에 미치는 영향을 분석하였다[7].

하지만 이러한 시뮬레이션을 통한 수리부속 재고모형에 관한 연구들도 평시 무기체계 가동률만을 고려하고 있으며, 전시 무기체계 운용률 증가와 교전 피해에 의한 손상을 고려한 전시 수리부속의 적정 재고수준에 관한 연구는 전무하기 때문에 앞으로 이 부분에 관한 폭넓은 연구가 필요하다.

따라서 본 연구는 해군 함정을 대상으로 시뮬레이션 모형을 통해 전시 함정 운용률 증가에 따른 고장 발생 증가와 교전 피해로 인한 함정 손상을 고려하여 전시 함정 목표가동률 달성을 위한 평시 수리부속 재고수준 대비 전시 수리부속의 적정 재고수준을 분석하는 데 그 목적이 있다.

2. 연구 범위

2.1 연구 대상

해군에서 운용 중인 전투함정을 대상으로 함정의 크기(전투력)를 바탕으로 대형함, 준대형함, 중형함, 소형함 4

Table 1. Naval Warship Categories and Number of Warship

| Category | Type | Number of Warship |
|-----------------|-----------|-------------------|
| Large Ship | Destroyer | 12 |
| Semi-Large Ship | Frigate | 14 |
| Middle Ship | Corvette | 7 |
| Small Ship | Patrol | 62 |

가지 함 형으로 구분하고 구분된 함정 종류별 수리부속 재고에 따른 함정 가동률을 분석하였다. 함 형 구분 및 그에 따른 운용함정 척수는 Table 1과 같다.

4가지로 구분된 함 형을 대상으로 군에서 운용 중인 군수 정보시스템인 국방군수통합정보체계를 이용하여 지난 5년간(16 ~ '21년) 발생한 고장정비 실적 중 함정 가동률에 영향을 미치는 임무 수행 불가 실적을 수집하였다. 해군 함정의 장비는 크게 추진체계, 전투체계, 항법체계 3가지 계통으로 구분할 수 있다. Table 2는 각 함 형에 따른 장비 계통별 임무 수행 불가 고장정비 실적을 수집한 결과이며, 누락 된 부분은 실제 고장이 발생한 실적이 없는 것을 의미한다. 장비 고장에 따른 정비범위와 정비지원부대의 정비 능력에 따라 야전정비와 창정비로 구분하게 된다.

Table 2. Status of equipment failure that cannot be performed on a mission

| Category | Failure Equipment | Number of Failure | |
|-----------------|-------------------|-------------------|-------|
| | | Field | Depot |
| Large Ship | Propulsion System | 4 | 10 |
| | Combat System | 5 | 12 |
| | Navigation System | 1 | 3 |
| Semi-Large Ship | Propulsion System | 25 | 10 |
| | Combat System | 11 | 4 |
| Middle Ship | Propulsion System | 12 | 3 |
| | Combat System | 8 | - |
| | Navigation System | 2 | - |
| Small Ship | Propulsion System | 142 | - |
| | Combat System | 44 | - |
| | Navigation System | 17 | 4 |

함정의 장비 고장이 발생하면 적게는 한두 개, 많게는 수십 개의 수리부속이 소요되기 때문에 특정 수리부속의 재고수준만을 대상으로 연구를 수행하지 않고 실제 장비 고장 발생 시 수리부속 재고 부족으로 인한 정비 지연이 발생했던 실적을 바탕으로 수리부속 재고 부족 확률을 산출하였다. 또한 본 연구는 평시 수리부속 재고수준 대비 전시 수리부속의 적정 재고수준을 분석하는 데 그 목적이 있으므로 특정 수리부속의 재고수준보다는 전체 수리부속의 재고수준을 확률로 분석하는 것이 타당하다. Table 3은 고장정비 실적을 바탕으로 각 함 형에 따른 장비 계통별 수리부속 보유확률을 나타낸다.

Table 3. Probability of Inventory with Repair Parts

| Category | Failure Equipment | Repair Parts Inventory | |
|-----------------|-------------------|------------------------|--------|
| | | Field | Depot |
| Large Ship | Propulsion System | 75% | 84.7% |
| | Combat System | 72.34% | 83.33% |
| | Navigation System | 95% | 66.67% |
| Semi-Large Ship | Propulsion System | 79.17% | 60% |
| | Combat System | 77.78% | 50% |
| | Navigation System | 90.2% | - |
| Middle Ship | Propulsion System | 77.78% | 66.67% |
| | Combat System | 71.43% | - |
| | Navigation System | 95.4% | - |
| Small Ship | Propulsion System | 86.86% | |
| | Combat System | 92.68% | |
| | Navigation System | 97.3% | 89% |

2.2 가정사항

전시 수리부속 재고수준 판단을 위한 시뮬레이션 모델은 다음과 같은 5가지 사항을 가정하였다. 첫째, 전시 작전상황은 해군의 모든 함정을 대상으로 손실률을 산정할 수 있는 전구급 작전상황을 가정하고, 기간은 교전이 가장 활발하게 발생하는 전시 초기 30일을 가정한다. 둘째, 함정 교전 피해에 따른 장비 고장은 소파, 중파, 대파, 완파로 구분하며, 소파는 부대정비, 중파는 야전정비, 대파는 창정비, 완파는 정비 불가(침몰)로 가정한다. 셋째, 전시 피해에 따른 장비 계통별 고장확률과 정비 소요 시간은 동일한 함 형 및 장비의 평시 고장확률과 고장정비 소요 시간을 따른다. 넷째, 함정 정비규정에서 제한한 것과 같이 동류전용은 허용하지 않는다. 실제 전시 상황에서는 신속히 복구할 수 없는 함정의 수리부속을 이용하여 동류전용을 실시할 가능성이 있으나, 시스템 전체적으로 함정 운용 가동률을 떨어뜨리는 원인이 될 수 있다. 다섯째, 수리부속 저장시설 및 수리부속 생산시설의 피해는 발생하지 않으며, 수리부속 재고 부족분의 조달기간은 평시와 동일하다.

3. 시뮬레이션 모형

본 연구는 Arena 16.0 버전을 이용하여 시뮬레이션 모형을 구성하였고, Arena의 내장된 최적화 프로그램인 OptQuest를 이용하여 전시 수리부속 적정 재고수준을 분석하였다.

ARENA 16.0은 오픈소스 기반의 최신 상용 시뮬레이션 소프트웨어로 고급 시뮬레이터에서 발견할 수 있는 사용의 용이성과 시뮬레이션 언어의 유연성을 모두 가지고 있다. 또한 알고리즘 모형과 수리적 모형의 구현이 쉬우며, 단순 시스템에서 복잡한 시스템 모형으로 확장이 간편하다. 그리고 플로차트 형태와 템플릿을 제공하고, 동적 애니메이션을 지원함으로써 연구자가 더욱 쉽게 모형을 구현할 수 있도록 사용자 인터페이스가 적절하게 구성되어 있다.

3.1 시뮬레이션 모델

해군의 정비는 정비 유형에 따라 계획정비와 비계획정비(고장정비)로 구분되고 정비범위와 기간에 따라 다시 부대정비, 야전정비, 창정비로 구분된다. 전시 상황에서는 장비 운용상 발생하는 고장과 교전 피해로 인한 손상만을 정비 소요로 판단하므로 계획정비는 고려하지 않는다.

시뮬레이션 모델의 정비 절차는 Fig. 1과 같다. 전장에서 함정이 운용상 고장 또는 교전 피해로 인해 정비 소요가 발생하게 되면 함정 운용 불가 여부를 판단하고 운용 불가 함정에 대해서는 고장 장비와 정비범위를 판단하여 부대정비, 야전정비, 창정비 중 하나의 정비 절차를

거치게 된다. 해당 장비의 수리부속 재고가 있으면 정비를 수행하고, 재고가 없으면 수리부속을 조달하는 동안 대기하는 과정을 거친다.

3.2 모델 입력 자료

3.2.1 전시 함정 운용 고장 발생

전시 함정 운용 고장은 전시 운용소요량 증가와 평시 함정 운용 고장 발생 확률분포를 기준으로 산출할 수 있다. 전시에는 평시 대비 함정 운용 소요가 증가하여 장비 운용률이 높아지기 때문에 평시 대비 같은 기간 동안 고장 발생확률이 증가할 것이다. 김혜령(2009)은 이에 따라 평시 운용 제원을 기초로 총시간 동안 고장 횟수를 산정한 후 전시 운용률 보정 인수를 곱하여 전시 고장 횟수와 총 고장정비 시간을 추정하였다[8].

평시 함정 운용률은 지난 5년간 함 형별 연평균 함정 운용 일수를 바탕으로 산출하였으며, 전시 함정 운용률은 함 형별 유류 및 주/부식 재보급 시간을 고려한 최대 운용률을 적용하였다. 전시 운용률 보정 인수는 전시 함정 운용률을 평시 함정 운용률로 나눈 값이며, 산출 결과는 Table 4와 같다.

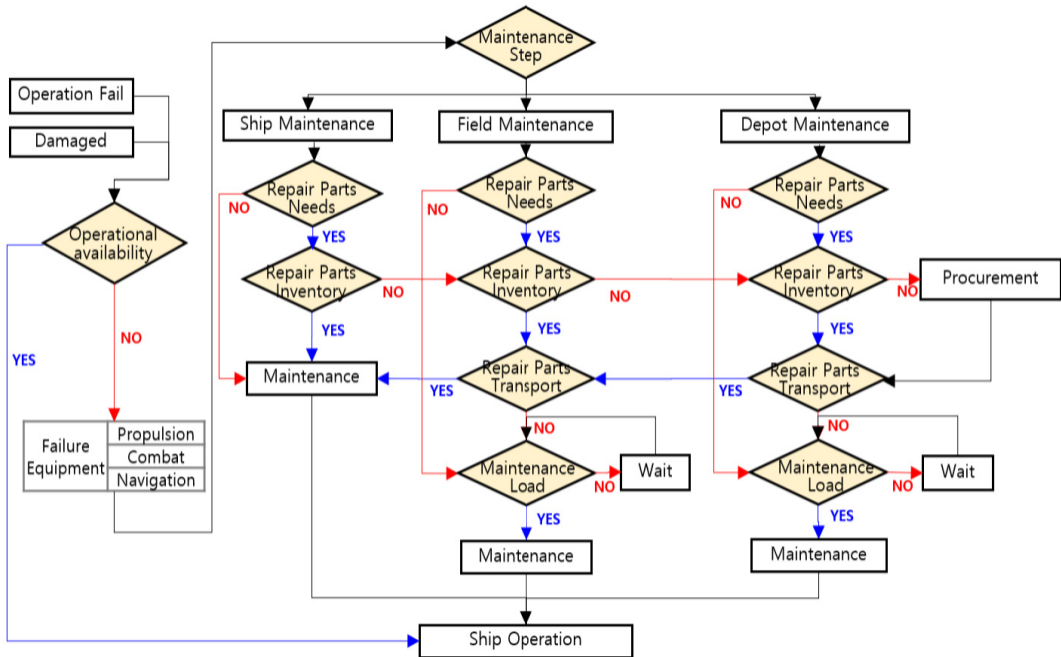


Fig. 1. Organization of simulation model

Table 4. Wartime Operating Rate Correction Factor

| Category | Peacetime Operating rate | Wartime Operating rate | Correction Factor |
|-----------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| Large Ship | 0.5869 | 0.9667 | 1.647 |
| Semi-Large Ship | 0.4612 | 0.9667 | 2.096 |
| Middle Ship | 0.4788 | 0.9000 | 1.880 |
| Small Ship | 0.2646 | 0.6667 | 2.520 |

5년간 발생한 평시 함정 운용 고장 발생 실적에 자료에 보정 인수를 곱하여 Arena의 입력분석기를 사용하여 추정된 전시 함정 운용 고장 발생 결과는 Table 5와 같다.

Table 5. Probability of Wartime Fault Maintenance

| Category | Field Maintenance | Depot Maintenance |
|-----------------|-------------------|-------------------|
| Large Ship | 23 + EXPO(77.3) | EXPO(42.9) |
| Semi-Large Ship | EXPO(22.4) | EXPO(35.5) |
| Middle Ship | EXPO(41.7) | 60 + EXPO(148) |
| Small Ship | EXPO(3.55) | EXPO(83.6) |

3.2.2 전시 교전 피해 발생

전시 교전 피해 발생은 “K-2012 함정/항공기 및 탐재장비 손실률 연구” 결과 및 옥경찬(2017)이 Arena를 이용하여 전시 함정 손실률 산정 방법을 연구한 결과를 인용하였다[9]. 전시 피해를 분석 자료를 참고하여 Arena의 입력분석기를 사용하여 추정된 전시 교전 피해 발생 확률은 Table 6과 같다. 다만, 장비 피해율 및 손실 비율은 비밀자료이기 때문에 원본 자료를 적용하지 않고 자료의 형태와 계산 방법만을 준용하여 변형 적용하였다.

Table 6. Probability of Wartime Damage

| Category | Frequency of Damage | Small Damage | Middle Damage | Big Damage | Destruction |
|-----------------|---------------------|--------------|---------------|------------|-------------|
| Large Ship | EXPO(x.x) | xx.xx% | xx.xx% | xx.xx% | xx.xx% |
| Semi-Large Ship | EXPO(x.x) | xx.xx% | xx.xx% | xx.xx% | xx.xx% |
| Middle Ship | EXPO(x.x) | xx.xx% | xx.xx% | xx.xx% | xx.xx% |
| Small Ship | EXPO(x.x) | xx.xx% | xx.xx% | xx.xx% | xx.xx% |

3.2.3 수리부속 재고수준 및 조달기간

전시 수리부속 재고수준은 Table 3의 평시 수리부속 재고율에 전시 재고율 보정 인수를 적용하여 산정한다. 전시 수리부속 재고율 보정 인수는 30일간 전시 고장함정 및 교전 피해 함정 발생 수를 평시 고장함정 발생 수로 나누어 준 값이다. 전시 고장함정 및 교전 피해 함정 증가로 인한 정비 소요 증가는 수리부속을 재고율을 낮추는 결과를 가져오기 때문에 보정 인수를 통해 예상 재고율을 보정 하는 과정이 필요하다. 평시 고장함정 발생 수는 5년간 고장실적 자료를 바탕으로 산출한 수치이며, 전시 고장함정 및 교전 피해 함정 발생 수는 Table 5와 Table 6의 자료를 바탕으로 산출한 수치이다. 전시 재고율 보정 인수 산출 결과는 Table 7과 같다.

Table 7. Wartime Probability of Inventory Correction Factor

| Category | Peacetime | | Wartime | | Correction Factor | |
|-----------------|-----------|-------|---------|-------|-------------------|-------|
| | Field | Depot | Field | Depot | Field | Depot |
| Large Ship | 1.000 | 1.494 | 5.588 | 3.672 | 5.588 | 2.458 |
| Semi-Large Ship | 1.622 | 1.366 | 3.39 | 4.328 | 2.090 | 3.168 |
| Middle Ship | 1.382 | 1.000 | 2.762 | 3.602 | 1.999 | 3.602 |
| Small Ship | 4.130 | 1.120 | 10.12 | 2.778 | 2.450 | 2.480 |

Table 8은 전시 수리부속 재고율과 미보유 수리부속 긴급조달 소요 기간을 나타낸다. 각 함 형에 따른 장비 계통별 수리부속 재고율의 실적 자료인 Table 3에 전시

Table 8. Wartime Probability of Inventory Repair Parts and Average procurement period for repair parts

| Category | Equipment | Repair Parts Inventory | | Average period |
|-----------------|-------------------|------------------------|--------|----------------------|
| | | Field | Depot | |
| Large Ship | Propulsion System | 20.04% | 66.49% | 2.5 + ERLA (1.02, 5) |
| | Combat System | 16.38% | 63.88% | |
| | Navigation System | 75.08% | 36.92% | |
| Semi-Large Ship | Propulsion System | 27.11% | 28.49% | |
| | Combat System | 24.56% | 18.2% | |
| | Navigation System | 56.19% | - | |
| Middle Ship | Propulsion System | 24.56% | 36.92% | |
| | Combat System | 15.26% | - | |
| | Navigation System | 76.86% | - | |
| Small Ship | Propulsion System | 45.51% | - | |
| | Combat System | 65.39% | - | |
| | Navigation System | 85.82% | 75.09% | |

재고율 보정 인수를 적용하여 전시 수리부속 재고율을 도출하였으며, 미보유 수리부속에 대한 조달기간은 수리부속 긴급조달 실적 자료를 참고하여 Arena 입력분석기를 통해 추정하였다.

3.2.4 전시 정비 소요 시간

전시 함 형에 따른 장비별 정비 소요 시간은 평시 정비 소요 시간 자료에 전시 정비시간 보정 인수를 곱하여 추정한다. 정비시간 보정 인수는 전시 정비지원부대 정비인력 증가에 따른다. 평시 정비인력 1인당 근무 공시는 8시간이며, 전시에는 정비인력이 12시간 2교대 근무를 시행하기 때문에 1인당 근무 공시는 12시간이 된다. 따라서, 평시 정비인력 근무 공시를 전시 정비인력 근무 공시로 나눈 정비시간 보정 인수는 0.67로 산출된다. 평시 함 형에 따른 장비별 정비 소요 시간에 정비시간 보정 인수를 곱한 전시 정비 소요 시간을 Arena 입력분석기를 통해 추정하였으며, 산출된 결과는 Table 9와 같다. 정비 소요 시간이 누락 된 항목은 지난 5년간 실제 장비고장이 한 건도 발생하지 않아서 정비실적이 없었던 항목이다.

Table 9. Wartime Equipment Maintenance Period

| Category | Failure Equipment | Maintenance Period(Day) | |
|-----------------|-------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | | Field | Depot |
| Large Ship | Propulsion System | 2 + GAMM (1.22, 0.273) | 1 + EXPO(1.53) |
| | Combat System | 2 + 0.741 * BETA (0.0122, 0.0103) | 1 + GAMM (0.571, 2.43) |
| | Navigation System | 1.333 | 2 + WEIB (0.0443, 0.325) |
| Semi-Large Ship | Propulsion System | 1.13 + LOGN (1.2, 0.777) | 2 + WEIB (14.7, 0.437) |
| | Combat System | 1.13 + 2.41*BETA (0.543, 0.777) | 3.26 + 0.74*BETA (0.0266, 0.0555) |
| | Navigation System | 2 | - |
| Middle Ship | Propulsion System | 1.06 + LOGN (1.23, 0.718) | 3.26 + 0.74*BETA (0.459, 0.179) |
| | Combat System | NORM(2.5, 0.441) | - |
| | Navigation System | 1.26 + 0.74*BETA (0.373, 0.21) | - |
| Small Ship | Propulsion System | 1 + LOGN (1.26, 0.628) | - |
| | Combat System | 1.19 + 1.62*BETA (0.583, 2.19) | - |
| | Navigation System | 0.4 + GAMM (0.655, 1.78) | UNIF(2.53, 4) |

4. 시뮬레이션 결과

본 연구는 시뮬레이션 기간을 30일, 준비기간을 250일, 반복 횟수를 500회로 설정하고 시뮬레이션을 실행하였다. 전쟁 초기 제해권이 확보되지 않고 해상교전이 빈번하게 발생하여 함정의 교전 피해가 가장 많이 발생할 수 있는 30일간의 결과가 중요하기 때문에 기간을 30일로 설정하였다. Fig. 2는 준비기간에 따른 함정 가동률 변화를 나타낸다. ARENA의 내장된 프로그램인 Output Analyzer를 통해 안정화 기간을 분석하였고 약 250일 이후부터 가동률이 안정적인 상태(Steady State)를 나타내는 것을 확인할 수 있었기 때문에 준비기간은 250일로 설정하였다. 실험 결과의 신뢰성을 높이기 위해 반복 횟수는 500회로 설정하고 시뮬레이션을 실행하였다.

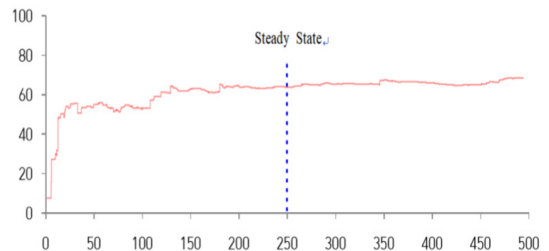


Fig. 2. Change in Operational Availability by Warm-up Period

4.1 함정 가동률

현재의 전시 수리부속 재고수준 산정방식대로 평시 재고수준 총량의 배수 개념을 적용하여 가동률을 분석하는 실험을 수행하였다. Fig. 3은 평시 재고수준 총량의 배수에 따른 함정 가동률을 나타낸 그래프이며, 구체적인 수치는 Table 10에서 확인할 수 있다.

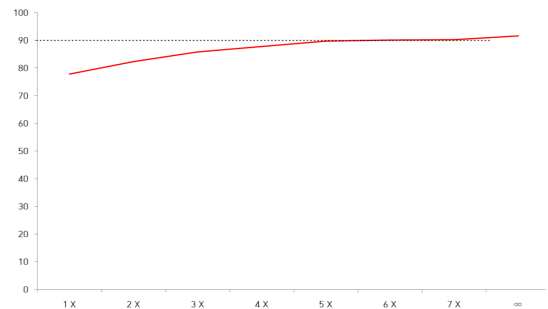


Fig. 3. Operational Availability According to Inventory Level of Repair Parts

평시 수리부속 재고수준을 기준으로 재고수준을 1배부터 7배까지 늘려가며 시뮬레이션을 수행하였다. 평시 재고수준을 기준으로 전시 상황을 시뮬레이션하였을 경우 해군 함정 가동률은 77.84%의 결과가 도출되었으며, 현재의 전시 재고수준인 평시 수리부속 인가량의 3배 수준으로 전시 상황을 시뮬레이션하였을 경우 해군 함정 가동률은 85.84%의 결과가 나타났다. 수리부속 재고수준이 평시의 6배가 되었을 경우 가동률이 90.12%로 전시 목표가동률 90%를 만족하는 결과를 얻을 수 있었다. 수리부속 재고수준의 제한이 없는 상황을 가정한 실험 결과는 가동률 91.63%의 결과가 나타났다. 이는 수리부속을 무한히 보유한다고 하더라도 전시 해군 함정의 최대 가동률은 91.63%를 넘을 수 없다는 것을 의미한다.

실험을 통해 현재의 전시 수리부속 재고수준으로는 전시 목표가동률을 충족시킬 수 없다는 것을 확인할 수 있으며, 전시 목표가동률을 충족하는 6배의 재고수준은 제한된 국방예산을 효율적으로 사용하지 못하는 결과를 가져올 수 있으므로 전시 수리부속의 적정 재고수준을 재 판단할 필요성이 있는 것으로 분석되었다.

Table 10. The Result of Simulation

| Category | Operational Availability(%) | | | | | | | |
|-----------------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1x | 2x | 3x | 4x | 5x | 6x | 7x | ∞ |
| Large Ship | 74.44 | 79.80 | 82.22 | 84.52 | 85.87 | 86.41 | 86.89 | 89.81 |
| Semi-Large Ship | 73.68 | 78.18 | 81.10 | 82.89 | 85.18 | 85.89 | 86.40 | 88.08 |
| Middle Ship | 41.40 | 53.31 | 61.91 | 67.28 | 72.34 | 73.54 | 72.11 | 78.14 |
| Small Ship | 87.45 | 90.76 | 93.17 | 94.21 | 95.19 | 95.29 | 95.40 | 95.50 |
| Total | 77.84 | 82.35 | 85.84 | 87.80 | 89.74 | 90.12 | 90.26 | 91.63 |

4.2 적정 재고수준 결정

적정 재고수준을 결정하기 위해 ARENA의 내장된 프로그래밍인 OptQuest를 이용하였다. OptQuest는 타부 탐색법(Tabu Search) 및 산발 탐색법(Scatter Search)이라는 발견적 기법들을 사용하여, 입력통제 공간에서 지능적으로 탐색을 해 가며, 최적해에

신속하고 신뢰성 있게 수렴하려고 시도한다[10]. 타부 탐색법은 수학적 최적화에 사용되는 로컬 검색 방법을 사용하는 메타 휴리스틱 탐색 방법이며, 산발 탐색법은

탐색 과정에서 누적된 기록을 고려하여 체계적으로 해를 구하는 탐색법이다.

Table 11은 2020년 해군 인가저장품목 재고비용으로, 각 함 형에 따른 장비 계통별 수리부속 재고비용을 나타낸다. 이를 바탕으로 전시 목표가동률 90% 이상을 만족하는 제약조건을 설정하고, 수리부속 재고비용을 최소화하는 목적함수를 설정한다.

Table 11. Repair Parts Inventory Cost (KRW 100 million)

| Category | Equipment | Repair Parts Inventory Cost |
|-----------------|-------------------|-----------------------------|
| Large Ship | Propulsion System | 889.039 |
| | Combat System | 226.087 |
| | Navigation System | 83.677 |
| Semi-Large Ship | Propulsion System | 472.237 |
| | Combat System | 120.092 |
| | Navigation System | 44.448 |
| Middle Ship | Propulsion System | 94.810 |
| | Combat System | 24.111 |
| | Navigation System | 8.924 |
| Small Ship | Propulsion System | 227.145 |
| | Combat System | 57.764 |
| | Navigation System | 21.379 |
| Total | | 2,269.713 |

Table 12는 OptQuest 이용한 시뮬레이션 수행결과를 나타낸다. 시뮬레이션은 1,000회를 수행하였다. 803번째 시뮬레이션에서 최소 비용이 도출되었고, 가동률은 90.84%로 전시 목표가동률 90%를 만족하였다.

전시 목표가동률 충족을 위한 수리부속의 재고수준은 현재의 평시 수리부속 인가량의 3배 수준과는 다르게 함 형에 따른 장비 계통별로 1배 ~ 6.3배의 결과가 나타났다. 모든 수리부속에 대해 일률적으로 3배가 적용된 현재의 전시 수리부속 재고수준에 비해 약 1,115억원 증가한 재고비용이 산출되었으나, 목표가동률 90%를 충족하는 6배 재고수준 대비 5,694억원 감소된 재고비용이 도출되어 효율적인 국방예산 활용이 가능함을 확인할 수 있었다.

Table 12. The Result of OptQuest Simulation

| Category | Equipment | Optimum Repair Parts Inventory Ratio | | War Time Repair Parts Inventory Cost(KRW 100 million) | | | Operational Availability(%) | | |
|-----------------|-------------------|--------------------------------------|-------|---|------------|-----------|-----------------------------|-------|---------|
| | | Field | Depot | 3× | 6× | Optimum | 3× | 6× | Optimum |
| Large Ship | Propulsion System | 6.296 | 2.576 | 2667.117 | 5,334.234 | 3,943.856 | 80.16 | 86.41 | 94.83 |
| | Combat System | 2.518 | 1.910 | 678.261 | 1,356.522 | 500.591 | | | |
| | Navigation System | 2.923 | 2.214 | 251.031 | 502.062 | 214.890 | | | |
| Semi-Large Ship | Propulsion System | 4.121 | 3.182 | 1416.711 | 2,833.422 | 1,724.373 | 83.08 | 85.89 | 79.18 |
| | Combat System | 2.748 | 4.399 | 360.276 | 720.552 | 429.123 | | | |
| | Navigation System | 1.670 | 1 | 133.344 | 266.688 | 74.229 | | | |
| Middle Ship | Propulsion System | 2.618 | 2.609 | 284.43 | 568.86 | 247.801 | 48.71 | 73.54 | 78.69 |
| | Combat System | 1.947 | 1 | 72.333 | 144.666 | 46.950 | | | |
| | Navigation System | 2.668 | 1 | 26.772 | 53.544 | 23.812 | | | |
| Small Ship | Propulsion System | 3.083 | 1 | 681.435 | 1,362.87 | 602.818 | 89.06 | 95.29 | 96.87 |
| | Combat System | 2.820 | 1 | 173.292 | 346.584 | 70.587 | | | |
| | Navigation System | 2.547 | 1.661 | 64.137 | 128.274 | 44.979 | | | |
| Total | | - | | 6,809.139 | 13,618.278 | 7,924.009 | 82.01 | 90.12 | 90.84 |

5. 결론

본 연구는 전시 수리부속 재고수준이 함정 운용 가동률에 미치는 영향을 분석하고, 적정 재고수준을 판단하는 데 그 목적이 있다. 이를 위해 기존 연구에서는 다루지 않았던 전시 함정 운용률 증가 및 교전 피해로 인한 고장 발생 증가를 고려하고, 이를 ARENA OptQuest 최적화 프로그램을 이용하여 전시 수리부속 적정 재고수준을 제시하였다.

이를 통해 향후 군이 전시를 대비하여 수리부속 재고수준을 정립하기 위한 기준이 되는 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다. 특히, 함 형에 따른 장비 분야별로 세분화 된 수리부속 재고수준을 제시하여 각각의 함 형과 장비에 맞는 수리부속 확보 계획을 수립하는데 기여할 수 있다. 또한, 수리부속 재고수준에 따른 비용 분석을 통해 최적의 재고수준을 판단하여 효율적인 국방예산 사용에 이바지할 수 있다는 데 의의가 있다.

하지만 본 연구에는 두 가지 한계점이 존재한다. 첫째, 함정 손상 외 전시 상황에 발생할 수 있는 기반 시설의 피해 요소를 고려하지 않았다. 함정 정비지원부대의 피해로 인한 정비 소요 시간 증가 및 수리부속을 생산하는 방위사업체의 피해로 인한 수리부속 조달기간 증가를 고려하지 않았다. 현실적으로 전시 군 시설물 등 기반 시설

의 피해가 필연적으로 발생할 것으로 예상되기 때문에 이러한 사항을 고려한 추가적인 연구가 필요하다. 둘째, 함정 손상 정도에 따른 정비 우선순위를 고려하지 않았다. 전시에는 함정의 신속한 정비와 전장 복귀를 위해서 함정 손상 정도와 예상 정비기간에 따른 정비 우선순위를 정하고 긴급 정비가 가능한 함정에 대한 우선적인 정비가 필요하나 본 연구에서는 구체적인 정비범위와 기간을 예상하는 것이 제한되었다. 차후 연구에서 이러한 사항을 보완하면 보다 현실적인 모형을 만들 수 있을 것이다.

References

- [1] J. W. Lee, S. J. Kim, J. S. Hwang, B. C. Yoo, Y. C. Cho. "Measures for estimating the replenishment requirements for repair parts in naval warfare." *Korean Institute Of Industrial Engineers Annual Spring Conference*, Korean Institute Of Industrial Engineers, Yeosu, Korea, pp436-445, April 2017.
- [2] Sherbrooke, Craig C. "METRIC: A multi-echelon technique for recoverable item control", *Operations research*, 16.1 (1968): 122-141. DOI: <https://doi.org/10.1287/opre.16.1.122>
- [3] Slay, F. Michael. "vari-metric: An approach to modelling multi-echelon resupply when the demand process is poisson with a gamma prior", *Report AF301-3, Logistic Management Institute*, Washington,

DC 232 (1984).

- [4] Stearns III, Dick E. "Logistics Simulations Metamodel for F404-GE-300 Engine Maintenance", *Naval Postgraduate School*, Monterey California, 1998.
- [5] N. Tao and S. Wen, "Simulation of a Closed Loop Multi-Echelon Repairable Inventory System", *International Conference on Management Science and Engineering*, pp. 663-668, 2009.
DOI: <https://doi.org/10.1109/ICMSE.2009.5318240>
- [6] B. C. Park, S. J. Jeong, K. S. Kim, "Study on the Determination of the Proper Inventory Level of Concurrent Spare Parts using Simulation Methodology", *Journal of the KMES*, Vol. 13, No. 1, pp. 221~231, 2008.
- [7] H. J. Jeon, J. M. Ma, "Impact of KAAV's Essential Assemblies and Maintenance Float Inventory Levels on Operational Availability", *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol. 21, No. 4, pp. 520-528, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.9766/KIMST.2018.21.4.520>
- [8] H. L. Kim, S. H. Baek, S. Y. Choi, "A Study on an Operational Availability Computation Model for Weapon Systems", *Military Operations Research Society of Korea*, 35.3, pp17-30, 2009.
- [9] K. C. Ok, D. S. Yim, B. W. Choi, "A Case Study on Implementation of Methodology for Wartime Warships Damage Rate Estimation", *Journal of the KIMST*, Vol. 20, No. 1, pp. 137-147, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.9766/KIMST.2017.20.1.137>
- [10] W. D. Kelton, P. P. Sadowski, N. B. Zupick, *Simulation with Arena 6th Edition*, p672, McGrawHill, 2014. pp.336.

김 경 섭(Kyung Sup Kim)

[정회원]



- 1982년 2월 : 연세대학교 기계공학과 (공학사)
- 1986년 8월 : 네브래스카대학교 대학원 산업공학과 (공학석사)
- 1993년 8월 : 노스캐롤라이나주립대학교 대학원 산업공학과 (공학박사)
- 1995년 3월 ~ 현재 : 연세대학교 산업공학과 교수

<관심분야>

시뮬레이션 모델링, 최적화

하 창 수(Chang Soo Ha)

[정회원]



- 2011년 2월 : 해군사관학교 기계조선공학과 (공학사)
- 2021년 3월 ~ 현재 : 연세대학교 대학원 산업공학과 석사과정

<관심분야>

국방과학, 국방관리