

# 흡수 마코프 체인 시뮬레이션 기반 최적 함정 임무 할당 모형

김성우<sup>1</sup>, 최경환<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>해군본부, <sup>2</sup>국방대학교 국방관리학과

## A Model for the Optimal Mission Allocation of Naval Warship Based on Absorbing Markov Chain Simulation

Seong-Woo Kim<sup>1</sup>, Kyung-Hwan Choi<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Republic of Korea Navy Headquarters

<sup>2</sup>The Department of Defense Management, Korea National Defense University

**요약** 대한민국 해군은 북한과 주변국 등의 위협에 효과적으로 대응하기 위해 동/서/남해에 해군 함대를 배치하여 경비임무를 수행하고 있다. 그러나 함정의 도입연도, 임무일수, 무장능력, 교대시간이 서로 다르고, 함정고장률 등 불확실성이 매우 크기 때문에 적정 함정 임무 할당이 어렵다. 이런 이유로 현장에서는 근무 인원과 함정에 피로도가 높은 경비나 비상대기 임무의 비중을 높이고 있다. 본 연구에서는 사건 발생률이 시간에 따라 변화하는 복잡한 현상을 모형화하고 분석하는데 용이한 연속시간 흡수 마코프 체인을 활용하여 해군 함정의 임무를 최적으로 할당할 수 있는 시뮬레이션 모형을 제시했다. 수립한 모형의 수치분석을 통해 임무기간 동안 목표 운용률을 유지하기 위한 최적 임무기간 및 함정수량 결정을 할 수 있었고, 각 임무별로 최적 함정을 할당함으로써 불필요한 비상대기 함정을 감소시키고, 승조원의 피로도와 고장 발생을 감소시킬 수 있다. 이 모형은 임무 할당 뿐만 아니라 적정 소요량 산정, 재고분석 등 여러 범위에 확장하여 적용할 수 있다는데 의의가 크다.

**Abstract** The Republic of Korea Navy has deployed naval fleets in the East, West, and South seas to effectively respond to threats from North Korea and its neighbors. However, it is difficult to allocate proper missions due to high uncertainties, such as the year of introduction for the ship, the number of mission days completed, arms capabilities, crew shift times, and the failure rate of the ship. For this reason, there is an increasing proportion of expenses, or mission alerts with high fatigue in the number of workers and traps. In this paper, we present a simulation model that can optimize the assignment of naval vessels' missions by using a continuous time absorbing Markov chain that is easy to model and that can analyze complex phenomena with varying event rates over time. A numerical analysis model allows us to determine the optimal mission durations and warship quantities to maintain the target operating rates, and we find that allocating optimal warships for each mission reduces unnecessary alerts and reduces crew fatigue and failures. This model is significant in that it can be expanded to various fields, not only for assignment of duties but also for calculation of appropriate requirements and for inventory analysis.

**Keywords** : Mission Allocation, Naval Warship, Absorbing Markov Chain, Simulation, Stochastic Model

\*Corresponding Author : Kyung-Hwan Choi(Korea National Defense Univ.)

email: khchoi3100@gmail.com

Received February 16, 2021

Revised March 8, 2021

Accepted June 4, 2021

Published June 30, 2021

## 1. 서론

대한민국 해군은 북한과 주변국 등의 위협을 효과적으로 응대하기 위해 동/서/남해에 해군 함대를 배치하여 경비임무를 수행하고 있다. 그리고 각 함대별 주어진 임무를 수행하기 위해 적정 수준의 함정을 각 함대에 배치하여 운용하고 있다. 하지만 각 함대의 최적 수준의 임무 할당을 위한 함정 척수를 판단하는 문제는 함정들의 도입연도, 함대별 임무 일수, 무장능력, 지리적 특성에 따른 임무 교대시간 등이 서로 다를 뿐만 아니라 적의 위협에 따른 임무일 수, 함정 고장률 등 불확실성이 매우 크기 때문에 판단하기 어려운 과제이다. 하지만 이런 다양하고 상이한 조건을 가진 환경에서 한정된 함정으로 광활한 영해를 효과적으로 방어하기 위해서는 특정 조건하에서 함정의 효율적인 운영이 절실한 실정이다.

한편, 해군은 함정의 현재 상태에 따라 태세(Readiness)를 경비, 비상대기, 정박대기, 수리로 구분하고 있다. 경비는 해상에서 부여된 기간동안 임무를 수행하는 것이며, 비상대기는 경비를 수행하는 함정의 고장 발생 시 30분, 1시간 이내에 경비임무를 수행하기 위하여 승조원 1/3을 함정 승조 대기, 함정 장비를 즉시 가용상태로 준비하는 것이다. 또한 정박대기는 비상대기와는 다르게 4시간 이내에 비상대기 함정으로 전환할 수 있는 태세로 비상대기 함정에 비해 비교적 완화된 태세이다. 수리태세는 수리로 인해 작전 임무에 투입될 수 없는 함정의 태세이다. 하지만 이러한 경비, 비상대기와 정박 임무를 위한 함정의 요구비율이 없어 의사결정권자들은 만약의 경우를 대비하여 비상대기 임무에 편중되어 함정을 운영하기 때문에 비상대기 함정의 승조원의 피로도 및 장비의 부하가 증가하고 있는 실정이다.

이런 해군의 임무특성은 지휘관이 적시에 효과적인 최적 임무 할당을 판단하는데, 어려움을 가중시키고 있다. 따라서 본 연구에서는 대한민국 해군의 임무와 환경특성을 고려하여 한정된 함정으로 효율적인 임무를 할당할 수 있는 모형을 제시한다.

임무 할당에 관한 기존 연구를 살펴보면 김성훈(2020)[8]은 복수 무인기를 작동하는 환경에서 분산 임무 할당 알고리즘을 감시 임무와 정찰 임무로 구분하여 현실성을 반영하였고, 이동호 등(2020)[1]은 복잡한 다수 무인기 시스템을 효율적으로 운영하기 위해 이산 사건 모델 기반의 임무 할당 기법을 제안했다. Ning 등(2019)[7]은 마코프 모델 기반 다수 무인 항공기 임무 할당 계획을 연구했다. Ma와 Wang(2018)[5]은 다양한 임

무계획과 전투상황을 고려한 함정 임무 최적화 모형을 시나리오 기반으로 분석했다. 이외에도 다양한 분야에서 임무할당에 관한 연구가 있었으나 해군 임무의 네트워크 특성과 상이한 환경조건 그리고 불확실한 요소를 동시에 고려하는 데는 어려움이 있는 것이 사실이다. 연속시간 흡수마코프 체인은 사건 발생률이 시간에 따라 (Time-dependent) 변화하는 복잡한 현상을 모형화하고 분석하는데 용이하기 때문에 해군의 복잡한 상황을 정확히 분석하기에 적절한 방법론이고, 기존 연구에 비해 현실에 가까운 해석을 할 수 있었다. 기존 임무 할당에 대한 연구내용과 활용기법은 Table 1과 같다.

Table 1. Historical research

Researchers	Major contents and methods
Kim(2020)[8]	He divided multiple UAVs operations into surveillance and reconnaissance missions, reflecting reality based on extended CBBA, which is the most well-known decentralized task allocation algorithm.
Lee et al. (2020)[1]	They analyzed from mission start to end with multiple UAVs heterogeneous mission allocation methods based on discrete event models.
Ning et al. (2019)[7]	They investigated multi-UAVs collaborative mission planning using meta-heuristic search algorithms.
Ma and Wang(2018)[5]	They suggested the hybrid algorithm according to combat resource dynamic planning could satisfy the real-time operational needs.

본 연구에서는 연속시간 흡수 마코프 체인을 활용하여 대한민국 해군 함정의 임무를 최적으로 할당할 수 있는 시뮬레이션 모형을 제시한다. 그리고 모형 분석을 통해 의사결정자가 적시에 임무별로 목표 운영률을 고려하여 효율적으로 제한된 함정을 할당하는 근거를 마련하고자 한다.

본 연구의 나머지는 다음과 같이 구성했다. 2장에서는 연속시간 흡수 마코프 체인을 이론적으로 정리하고, 3장

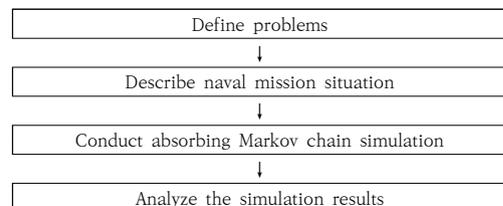


Fig. 1. Configuration of research model

에서는 해군 함정의 임무 할당 모형을 제시한다. 4장에서는 제시한 모형의 타당성을 검증하고자 수치실험하고 결과를 도출한다. 본 연구의 주요 절차 개념도는 Fig. 1과 같다.

## 2. 연속시간 흡수 마코프 체인

현재의 상태  $X(t_n)$ 와 과거의 역사  $\{X(t_0), X(t_1), \dots, X(t_{n-1})\}$ 를 알고 있을 때, 미래  $X(t_n=1)$ 은 과거의 역사와는 관계없이 오직 현재의 상태에만 의존하는 성질을 마코프 성질(Markovian property)이라고 하고, 상태공간  $S = \{0, 1, 2, \dots, n\}$ 에서 정의되는 연속시간 이상상태 확률과정  $\{X(t), t \geq 0\}$ 이 다음 식 (1)을 만족하면 연속시간 마코프 체인(Continuous Time Markov Chain)이라고 한다.

$$\Pr\{X(t_{n+1} = A \mid X(t_0) = B_0, X(t_1) = B_1, \dots, X(t_n) = B\} = \Pr\{X(t_{n+1} = A \mid X(t_n) = B\} \quad (1)$$

흡수상태는 한 번 진입하면 재귀 불가능한 상태이고, 흡수 연속시간 마코프 체인은 흡수상태까지 도달할 확률을 마코프 성질을 이용하여 구하는 방법으로 식 (2)와 같이 구성되는 전이율 행렬을 흡수 마코프 체인이라고 한다.

$$Q = \begin{bmatrix} T & T^0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

이때, 일시상태에서 출발해서 확률 1로 흡수되기 위해서는  $T^{-1}(T$ 의 역행렬)이 반드시 존재한다는 가정이 필요하다.

$[T]_{ij}$ 는  $i$ 행  $j$ 열 원소의 일시상태 (transient state) 들간의 전이율을 나타내고,  $[T^0]_{ij}$ 는 일시상태로부터 흡수상태로 전이율을 나타낸다. 그리고 아래 부분의  $0$  행렬은 흡수상태에서 일시상태로의 전이율이 0임을 나타내며, 다른  $0$  행렬은 단위행렬이다. 따라서 식 (2)를  $n$ 번 곱하면 식 (3)을 얻을 수 있다.

$$Q^n = \begin{pmatrix} T^n & T^{n-1}T^0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

식(3)에서 일시상태에서 시작해  $n$ 번 전이 후에 일시상태로 있을 확률은  $T^n$ 에서, 흡수상태로 있을 확률은  $T^{n-1}T^0$ 에서 구할 수 있다. 즉, 일시상태에서 시작하여

시점  $t$ 에 일시상태로 있을 확률은 일시상태들 간의 전이율만으로 구할 수 있다는 것을 의미한다. 흡수 마코프 체인에 관한 보다 자세한 내용은 Neuts(1981)[2], KAO (1997)[6], Latouche and Ramaswami(1999)[3], 이호우(2006)[4]를 참조하기 바란다.

## 3. 해군 함정 임무할당 모형

### 3.1 모형설명

해군 함정은 경비, 비상대기, 정박대기, 수리로 구분하여 임무중이며, 수리중인 함정은 운영이 불가능하다. 정박 중인 함정은 운용 가능 상태로 유지하고 승조원의 출/퇴근이 허용된다. 반면 비상대기는 경비 함정의 고장 발생을 대비하여 승조원의 1/3을 함정에 대기한 상태로 운영한다. 따라서 비상대기가 많을수록 고장이 자주 발생하고, 승조원의 피로도가 높아질 개연성이 높아진다. 해군 함정의 임무별 운영 개념도는 Fig. 2와 같다.

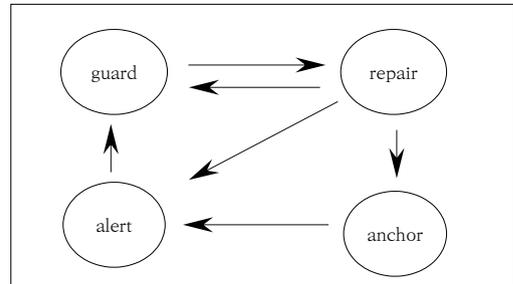


Fig. 2. An operation conceptual map of naval warship by mission

경비 임무 함정의 수는 안보상황에 따라 동/서/남해안이 상이하고, 경비 임무가 가능한 함정은 동일한 유형의 함정 즉, 신형함 임무, 중/대형함 임무, 소형함 임무로 구성한다. 경비 임무함정의 임무 기간은 함정 유형에 따라 다르지만 동일 유형 함정의 임무 기간은 동일하다. 경비 임무 함정이 고장이 발생할 경우에는 비상대기 함정이 대신 임무를 수행하는데 이때, 임무함정으로의 전환시간은 지리적인 특성으로 인해 함대별로 상이하다. 뿐만 아니라 비상대기 함정이 경비 함정으로 전환 시에는 임무에 필요한 필수 장비(레이더 등)의 고장 등으로 임무함정으로의 전환이 불가능한 상황이 발생하게 된다.

정박 중인 함정이 비상대기 함정으로 임무를 전환하는 경우 승조원 소집 시간 및 임무에 필요한 물자 적재량이

함정에 따라 다르고, 소형함, 중/대형함, 신형함 순으로 전환에 필요한 시간이 소요되거나 비상대기 함정에 비해 임무함정으로 전환 시까지 다소 많은 시간이 부여되므로 장비 고장으로 전환 불가 상태는 발생하지 않는다.

경비 임무 함정의 수(M)은 안보상황에 따라 변화하고 임무경비 함정의 수(M), 가용함정의 수(K)에 따라 목표 운용률을 달성하기 위해 다양한 임무(M), 비상대기(R), 정박 함정(P)의 조합으로 가능하다.

위의 내용을 토대로 본 연구의 모형에서 사용할 기호를 Table 2와 같이 정의했다.

Table 2. Notations

Symbol	Definition
k	No. of total warship
m	No. of guard warship
r	No. of alert warship
p	No. of anchor warship
$\lambda$	failure rate during mission
q	failure rate during transition
$\mu_1$	transition rate from alert to guard
$\mu_2$	transition rate from anchor to alert
p	success rate from alert to guard
S	success rate of mission

전이상태를 (M, R, P)로 정의하고, 4대의 함정(고객)이 (1, 2, 1)을 기준으로 운용했을 때, 전이율 다이어그램은 Fig. 3과 같다.

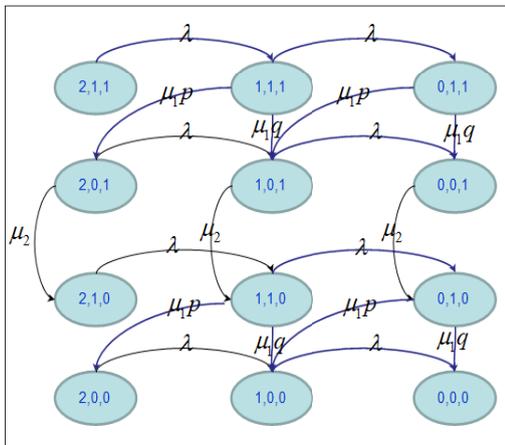


Fig. 3. Transition rate diagram

임무함정의 수(M)가 2이므로 비상대기 함정(R)과 정박 함정(P)는 임무 함정이 고장이 발생하면 비상대기 함정이 임무를 대신하고 정박 함정이 비상대기 함정으로 전

환하게 된다. 이러한 과정을 전이상태로 설명하면 (2, 1, 1)에서 (1, 1, 1)로의 전이는 경비임무 함정(M) 2척 중 1척이 고장( $\lambda$ )이 발생한 경우이고 경비임무 함정의 수가 2척이 되기 위하여 (1, 1, 1)에서 (2, 0, 1)로의 전이는 비상대기 함정(R)이 경비함정 임무를 성공적( $\mu_1 p$ )으로 수행한 경우이다. 그리고 (1, 1, 1)에서 (1, 0, 1)로의 전이는 비상대기 함정이 경비함정 임무를 실패( $\mu_1 q$ )한 경우로 설명할 수 있다. 마지막으로 (1, 0, 1)에서 (1, 1, 0)로의 전이는 정박 함정(P)이 비상대기 함정으로 전환( $\mu_2$ )이 된 것을 의미한다. 이때 임무 수행 성공률(S)은 (2, 1, 1), (2, 0, 1), (2, 1, 0), (2, 0, 0)의 일시상태에 머무를 전이율의 합이 된다.

### 3.2 주요 가정사항

본 연구의 해군 함정에 대한 임무할당 모형은 제약조건이 다양할 때, 적정 가동율을 유지한 가운데 효율적이면서 동시에 효과적으로 임무를 할당하기 위한 모형으로써 가정사항은 다음과 같다.

첫째, 함정의 고장발생은 다른 함정과는 독립적으로 발생하므로 포아송 과정을 따른다.

둘째, 각각의 임무전환 및 전환 성공시간은 임무량과 지리적인 특성에 따라 결정되고, 각각의 행위가 독립적이면서 무기억 속성(memoryless property)을 만족하므로 지수분포를 따른다.

## 4. 수치실험 및 분석결과

### 4.1 실험조건

본 연구의 실험에 사용되는 수치는 함대별 그리고 함정별 특성을 고려하고 최대한 현실을 반영한 수치를 사용했으며, 시뮬레이션을 위한 함대별 및 함정별 임무전환시간 및 확률, 임무일수 등은 Table 3과 같다.

Table 3. Rate and time by region for simulation

Warship	East	West
failure rate (mission)	2/30	3/30
failure rate (transition)	1/10	1/10
mission days	19 days	19 days
transition time (alert→guard)	8 hours	12 hours
transition time (anchor → alert)	24 hours	24 hours

4.2 분석결과

위 모델과 주어진 조건을 바탕으로 시뮬레이션을 수행했다. 시뮬레이션은 Table 4와 같은 사양을 갖는 기기에서 Matlab을 기반으로 수행했다.

Table 4. Simulation Environments

Category	Specification
CPU	i5-1035G4 1.50GHz
RAM	8.0GB
OS	Window 10
Program	Matlab R2020a

함정별로 최적임무 배정을 위해 고정된 총 함정(K)은 경비 함정(m), 비상대기 함정(r), 정박 함정(p)을 다양한 조합을 식 (3)을 활용하여 동/서해역별 운용율을 분석하였다. Fig. 4는 동해의 함정 운용율을 M=1인 경우 전체 함정 수(K)에 따라 분석한 자료이다. Fig. 4를 통해 의사 결정자는 임무 기간 동안 목표 운용율을 유지하기 위한 최적의 임무 기간 및 최대 임무 기간 유지를 위한 최소 함정의 척수 결정이 가능하다. 예로 목표 운용율을 80%로 이상으로 설정하다면 전체함정의 수(K)가 3척일 경우에는 13일이 적당한 할 것이며, 최대 임무일 수인 19일 동안 목표 운용율을 달성할 수 있다는 최소의 함정의 수는 4척임을 분석결과를 통하여 알 수 있다.

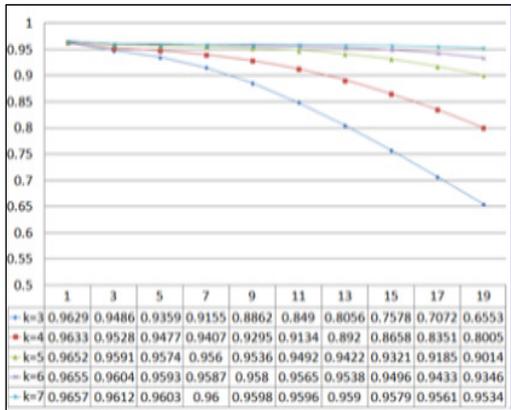


Fig. 4. Success rate of mission by K, (M=1)

Fig. 5는 동해의 함정 운용율을 M=2인 경우 전체함정 수(K)에 따라 분석한 자료이다. Fig. 4.를 통해 목표 운용율 80% 이상을 달성하기 위하여 전체함정의 수(K)가 3척일 경우에는 임무일수는 11일이 적합하며, 최대 임무

일 수 19일을 달성하기 위해서는 6척임을 알 수 있다.

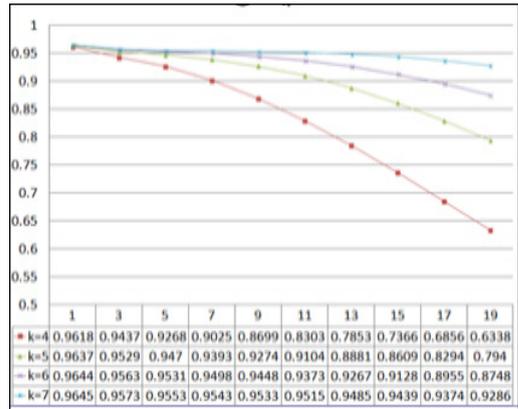


Fig. 5. Success rate of mission by K, (M=2)

Fig. 6은 M=1, K=4인 상황에서 조합 가능한 비상대기 함정 수 1, 정박 함정 수 2와 비상대기 함정 수 2, 정박 함정 수 1인 경우를 분석한 자료이다. Fig. 5.에서 알 수 있듯이 최대 임무일 수 19일의 경우 (1, 1, 2)가 운용율 약 81%로 (1, 2, 1)에 비해 높은 운용율을 나타냄을 알 수 있다. 위와 같은 조건일 경우의 조합은 (1, 1, 2)가 최적임을 판단할 수 있다.

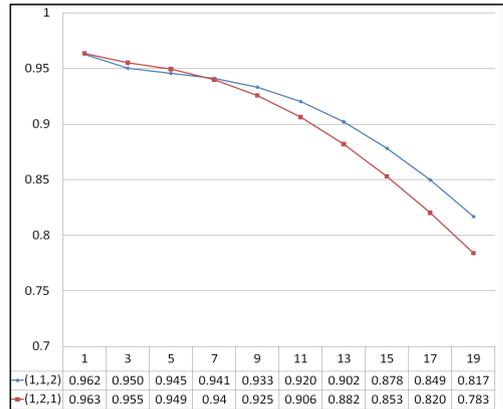


Fig. 6. Success rate of mission by combination, (M=1, K=4)

Fig. 7은 M=2, K=6인 상황에서 조합 가능한 3가지의 경우에 대하여 분석한 결과이다. (2, 2, 2)과 (2, 3, 1)이 거의 유사한 운용율을 나타냄을 알 수 있다. 이 경우에는 의사결정자가 비상대기 함정 승조원의 피로도 증가, 장비 부하 등을 고려하여 (2, 2, 2)로 운용하는 것이 최적이라고 판단된다.

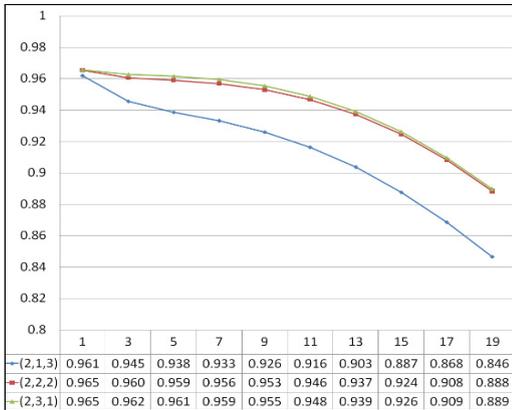


Fig. 7. Success rate of mission by combination, (M=2, K=6)

Fig. 8은 서해의 함정 운용률을 M=1인 경우 전체함정 수(K)에 따라 분석한 자료이다. Fig. 7.를 통해 목표 운용률 80% 이상을 달성하기 위하여 전체함정의 수(K)가 3척일 경우에는 임무 일수는 13일이 적당하며, 최대 임무 일 수 19일을 달성하기 위해서는 5척임을 알 수 있다.

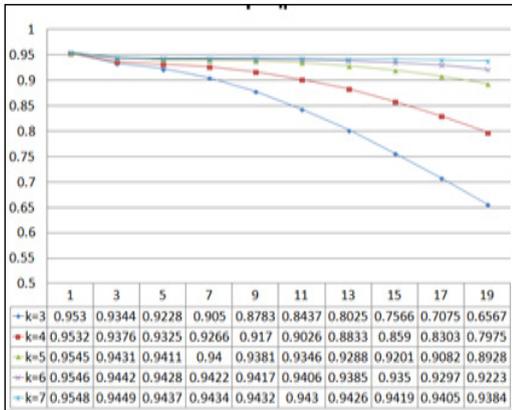


Fig. 8. Success rate of mission by K, (M=1)

Fig. 9는 M=1, K=4인 상황에서 조합 가능한 (1, 1, 3), (1, 2, 2), (1, 3, 1) 경우를 분석한 자료이다. Fig. 8.에서 알 수 있듯이 최대 임무일 수 19일의 경우 (1, 1, 3)의 경우에도 목표 운용률을 달성할 수 있음을 알 수 있다. 이는 불필요하게 비상대기 함정 척수를 1척 이상을 운용할 필요가 없음을 의미한다.

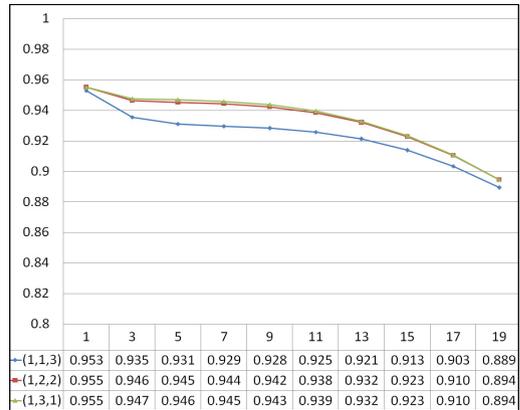


Fig. 9. Success rate of mission by K, (M=2)

Fig. 10은 서해의 함정 운용률을 M=2인 경우 전체함정 수(K)에 따라 분석한 자료이다. Fig. 9.를 통해 목표 운용률 80% 이상을 달성하기 위하여 전체함정의 수(K)가 4척일 경우에는 임무 일수는 11일이 적당하며, 최대 임무일 수 19일을 달성하기 위해서는 6척임을 알 수 있다.

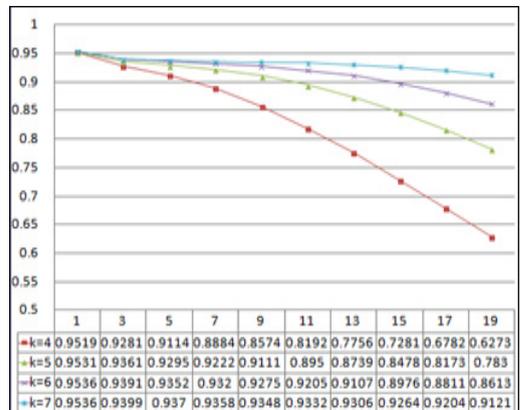


Fig. 10. Success rate of mission by K, (M=2)

Fig. 11.은 M=2, K=6인 상황에서 조합 가능한 (2, 1, 3), (2, 2, 2), (2, 3, 1) 경우를 분석한 자료이다. Fig. 8.에서 알 수 있듯이 최대 임무일 수 19일의 경우 (2, 1, 3)의 경우에도 목표 운용률을 달성할 수 있음을 알 수 있다. 이는 동해와 마찬가지로 불필요하게 비상대기 함정 척수를 1척 이상을 운용할 필요가 없음을 의미한다.

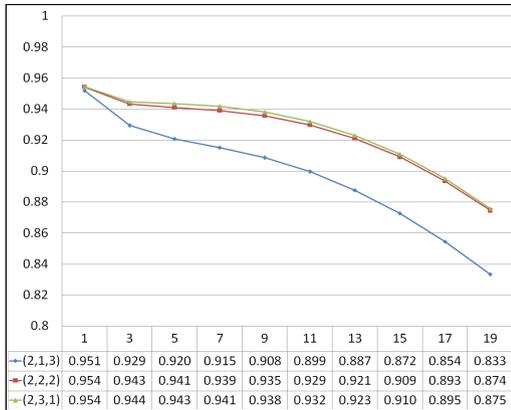


Fig. 11. Success rate of mission by K, (M=2)

위 연구 결과는 대표적인 사례를 분석한 자료로 제시된 모형으로 남해 및 함정유형(소형/중형/대형함 등)을 포함한 다양한 상황과 조건에 확대 적용하여 시뮬레이션을 통한 분석이 가능하다.

연구결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 본 연구를 통하여 임무 기간 동안에 목표 운용률을 유지하기 위한 최적의 임무 기간 및 최대 임무 기간 유지를 위한 최소 함정의 척수 결정이 가능하다. 예를 들어 1대 및 2대의 경비 함정을 80% 이상의 운용률로 운영하고자 할 경우, 19일 운영을 위해 총 4대 및 6대가 필요하다는 것을 알 수 있다. 이와 같은 자료를 바탕으로 의사결정권자는 상위 제대의 목표 운영률과 주어진 환경과 조건에 따라 최적의 함정 척수를 결정할 수 있을 것이다.

둘째, 위의 결과로 결정된 함정의 수에 따라 최적의 조합을 찾을 수 있다. 결정된 목표 운용률 달성을 위한 최대 임무 기간 유지를 위한 최소 함정의 척수를 바탕으로 각각의 조합별 운용률을 분석하여 최적의 조합을 판단할 수 있다. 의사결정권자는 분석결과에서 알 수 있듯이 불필요하게 비상대기 함정을 증가하여 승조원 피로도 증가, 장비 고장 발생률 증가 등은 과도한 조치임을 인지하게 될 것이다.

### 5. 결론

본 연구에서는 대한민국 해군의 임무와 환경특성을 고려하여 목표 운용률 달성을 위한 함정의 척수를 판단하였고, 결정된 함정의 척수를 이용하여 다양한 조합들에 대한 분석을 통하여 효율적인 임무를 할당할 수 있는 모형을 제시하였다는 점에 의의가 있다.

그리고 본 연구에서 제시된 모형을 확장하면 임무 달성을 위한 전체 해군 함정의 척수와 동/서/남해 해군 기지에 배치해야 할 적정 함정의 할당문제로도 확장할 수 있을 것으로 판단된다. 이 모형은 임무 할당 뿐만 아니라 적정 소요량 산정, 재고분석 등 다양한 분야에 확대 적용할 수 있다.

### References

- [1] D. H. Lee, H. C. Jang, S. H. Kim and W. H. Chang, "Multi-UAV Mission Allocation and Optimization Technique Based on Discrete-Event Modelling and Simulation", *Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Science*, Vol. 48, NO. 2, pp. 159-166, 2020.  
DOI: <https://doi.org/10.5139/JKSAS.2020.48.2.159>
- [2] F. M. Neuts, "Matrix-Geometric Solutions in Stochastic Models", The Johns Hopkins University Press, Baltimore and London, 1981.
- [3] G. Latouche and V. Ramaswami, "Introduction to Matrix Analytic Methods in Stochastic Modeling", ASA-SIAM Series on Statistics and Applied Probability, 1999.
- [4] H. W. Lee, "Queueing Theory", Sigma Press, Seoul, Korea, 2006.
- [5] L. Ma, J. G. Wang, "Optimization of Warship Formation Air Defense Combat Model Based in Dynamic Scheduling of Combat Resources", *Advances in Mechanical Engineering*, 1687814018785294, 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.1177/1687814018785294>
- [6] P. C. Kao, "An Introduction to Stochastic Processes", Duxbury Press, Belmont, California, 1977.
- [7] Q. Ning, G. Tao, B. Chen, Y. Lei and C. Zhao, "Multi-UAVs Trajectory and Mission Cooperative Planning Based on the Markov Model", *Physical Communication*, 35, 100717, 2019.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phycom.2019.100717>
- [8] S. H. Kim, "Application for en-Route Mission to Decentralized Task Allocation", *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 21, No. 7, pp. 156-161, 2020.  
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.7.156>

김 성 우(Seong-Woo Kim)

[정회원]



- 2001년 3월 : 해군사관학교 군사학과 (군사학 학사)
- 2010년 6월 : 연세대학교 경영대학원 경영정보학과 (경영학 석사)
- 2014년 6월 : 국방대학교 군사운영분석학과 (군사학 박사)
- 2020년 12월 ~ 현재 : 해군본부

<관심분야>

재고관리, 시뮬레이션, 대기행렬, 군수

---

최 경 환(Kyung-Hwan Choi)

[정회원]



- 2000년 3월 : 공군사관학교 국제관계학과 (문학사)
- 2008년 1월 : 국방대학교 국방관리학과 (국방관리학 석사)
- 2014년 1월 : 국방대학교 군사운영분석학과 (군사학 박사)
- 2020년 9월 ~ 현재 : 국방대학교 국방관리학과 교수

<관심분야>

대기행렬, 확률모형, 국방조달, 방위사업