

## 해군 함정 정비체계 최적 정비인력 할당 모형 연구

김성우<sup>1</sup>, 윤봉규<sup>1\*</sup>  
<sup>1</sup>국방대학교 관리대학원

### A Study on the Optimal Allocation of Maintenance Personnel in the Naval Ship Maintenance System

Seong-Woo Kim<sup>1</sup>, Bong-Kyoo Yoon<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Defense Management, Korea National Defense University

**요약** 해군 정비체계는 전투함정을 수리하는 역할을 수행한다. 한국 해군은 전투함정의 정비태세를 최대화하기 위해 4개의 정비창을 운용하고 있다. 각 정비창은 함정 유형, 정비 종류, 정비 능력에 따라 다른 정비 서비스를 제공하는 특성으로 인해 정비인력을 각 정비창에 최적으로 할당하는 것은 어려운 문제가 되고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 정비창의 성능 척도에 중요한 영향을 미치는 정비인력의 할당 측면에서 정비창의 운용을 연구하였다. 대기행렬 네트워크 이론, 분해 및 최적화 기법을 이용하여 본 연구에서는 정비체계 내 대기 중인 고장 함정의 수를 최소화할 수 있는 정비인력 할당 모형을 제시한다.

**Abstract** Naval maintenance system carries out repairs of battle ships. Korean Navy has four maintenance stations to maximize the readiness of the battle ships. Since each station can provide different services according to characteristics(specific size of ships, type of maintenances) and the maintenance ability of stations is predetermined, it has been one of complex problems for the Korean Navy to find the optimal resource allocation. We investigate the operation of the stations from the perspective of the human resource allocation which plays crucial role in the performance of the maintenance stations. Using a queueing model and optimization technique, we present a way to derive the optimal personnel allocation which minimize the waiting number of battle ships at each station, leading to the improvement of the military readiness in the Korean Navy.

**Key Words** : Naval maintenance system, Optimal allocation of maintenance personnel, Queueing model

### 1. 서론

한국 해군은 적의 위협에 효과적으로 대응하기 위하여 동/서/남해에 4개의 함대를 배치하고 있으며 군 지휘관은 함정 운용률 향상을 통한 전비태세 유지를 위하여 수리함정 수를 최소화하기 위해 노력하고 있다. 이를 위해 해군은 고장이 발생한 함정을 신속히 정비하여 정상 상태로 전환하기 위하여 4개의 정비창을 각 함대에 분산하여 운용 중이다. 각 정비창은 소속 함대의 적 위협 정도(적의 거리, 무장 능력, 적의 세력 배치 등) 및 해군 정

비 예산 등을 고려하여 운용되기 때문에 각 정비창의 정비능력은 상이한 특성이 있다. 이에 따라 각 정비창은 해군 정비체계 내에서 한정된 자원(정비인력, 정비시설 등)을 공유하면서 운영된다. 예로, 소속 정비창에서 정비가 불가능한 함정 고장이 발생하면 해당 정비 능력을 보유한 정비창으로 고장 함정이 이동하여 정비를 받게 된다. 그리고 각 부대의 지리적 환경, 함정의 종류, 운용시간 등이 다르기 때문에 각 정비창에서 정비를 받아야 하는 함정의 정비 소요(함정 고장 발생률), 함정 유형별 정비 종류가 상이하며, 단계적으로 정비(현장검사 - 부대/

\*Corresponding Author : Bong-Kyoo Yoon(Korea National Defense Univ.)

Tel: 82-2-300-2114 email: [bkyoon1@gmail.com](mailto:bkyoon1@gmail.com)

Received September 29, 2014

Revised(1st February 10, 2015, 2nd March 10, 2015)

Accepted March 12, 2015

Published March 31, 2015

야전/장 정비 - 정비완료)가 진행되는 특성이 있다.

한편, 해군 함정은 다양한 임무 (대함전, 대잠전, 전자전 등)를 복합적으로 수행하기 때문에 탐지장비 (RADAR, Sonar 등), 무장장비 (함포, 미사일, 어뢰 등), 지휘통제장비 (위성, 통신 등)와 같은 여러 종류의 장비들이 탑재되고 각 장비들이 연동 (Linkage)되어 있다. 이런 특성으로 인해 해군 함정은 타군의 장비에 비해 고장이 빈번하게 발생하며 정비의 난이도 또한 높은 편이다. 이에 따라 정비인력의 해당 장비에 대한 전문성이 더욱 요구되고 있어 함정의 유형 (최신, 중/대형, 소형)에 따라 정비인력을 구분하여 운용하고 있다. 하지만, 군 지휘관이 해군 정비체계에 정비인력을 최적으로 할당할 수 있는 근거가 없어 상황에 따라 정비인력을 재배치하고, 재배치된 정비인력에 대하여 정비에 필요한 전문교육을 실시하는 등 불필요한 인력과 물자의 낭비가 발생할 여지가 있다.

이런 해군 정비체계의 특성 (정비장의 정비능력 상이, 정비소요의 불확실성, 단계적 정비)은 군 지휘관으로 하여금 수리함정 수를 최소화하고 정비인력의 전문성 강화를 위한 정비인력의 최적 배치 판단을 어렵게 한다. 이를 해결하기 위한 방안으로 본 연구에서는 한국 해군의 정비체계 특성을 고려하여 해군 정비체계 내에 정비인력을 최적으로 배치할 수 있는 모델을 제시한다.

우선, 해군 정비체계에 관련된 기존 연구를 살펴보면 Choi[1]는 단계형 도착 및 서비스를 갖는 함정 시스템의 부분 풀링 효과를 연구하였다. Go et al.[2]은 정비장을 D/PH/1으로 모형화하고 예약도착 대기행렬 (Scheduled arrival to queues)을 활용하여 함정의 최적 정비예약 간격을 결정할 수 있는 모형을 제시하였다. Ok et al.[3]은 함정 정비 시설인 건선거 (Dry Dock)를 M/M/c로 모형화하고 시뮬레이션을 이용하여 효율적인 건선거 규모를 연구하였다. Kim and Lee[4]는 시뮬레이션 및 휴리스틱 기법을 이용하여 최신장비의 수리시간을 최소화할 수 있는 정비 장비 및 작업 일수 등을 제시하였다. 해군 정비체계에 관련된 기존 연구를 통해 알 수 있듯이 여러 분야에서 연구가 진행되었지만, 해군 정비체계의 정비 인력 할당에 관한 연구는 미비함을 알 수 있다.

해군 정비장은 해군 정비체계 내에서 한정된 자원 (정비인력, 정비시설 등)을 공유하면서 네트워크를 구성하고 있기 때문에 본 연구에서는 분석을 위해 대기행렬 네트워크 이론을 활용했다. 대기행렬 네트워크에 관한 기

존 연구는 유/무한 버퍼, 서비스의 형태 (지수, 고정, 일반 등)에 따라 다양하게 존재하지만[5-14], 네트워크를 구성하는 정비 시스템들이 모두 동일한 서비스 분포를 가정하여 분석하였기 때문에 각 정비장이 상이한 정비능력을 보유한 해군 정비체계에 직접 적용하는 것은 한계가 있다. 이런 한계를 보완한 연구로 군내 정비체계가 단계적 (현장검사 - 부대/야전/장 정비 - 정비완료 - 이탈)으로 진행되는 특성을 고려한 연구가 있다. You and Yoon[15]은 육군 정비시스템의 정비가 단계적으로 발생하는 현상을 단계형 분포 (Phase-type distribution)로 묘사하여 장비 예비품의 적정 재고수준을 분석하였다. Yoon and Lee[16]는 단계형 수리시간을 갖는 무기체계의 적정 예비품 수를 결정하는 연구를 진행하였다. Park et al.[17]는 재고 정책에 따른 다단계 수리체계의 성능평가 (대기시간, 시스템 내 고객 수 등)를 위한 모형을 제시하고 있다. 그리고 다단계 정비체계와 관련 분야는 다르지만 단계적 서비스 (불출 등)가 진행되는 특성을 고려하기 위해 다단계 재고 관리 모형 (METRIC Model)을 바탕으로한 기존 연구들이 존재한다[18-20]. 하지만 대부분 다단계 정비시스템의 재고 수준 결정에 초점을 맞추어 연구가 진행되었고, 해군 정비체계의 네트워크 특성과 각 정비시스템의 상이한 정비 특성 (정비 종류, 정비시간 분포 등)을 동시에 고려함에 어려움이 있다.

이런 맥락에서 본 연구에서는 대기행렬 네트워크 이론을 활용하여 해군 정비체계의 정비인력을 최적으로 배치할 수 있는 모형을 제시한다. 그리고 모형 분석을 통하여 군 의사결정권자에게 해군 정비인력 할당을 위한 근거를 제공한다.

본 연구는 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 해군 정비시스템의 특징 및 용어에 대하여 기술하고 3장에서는 해군 정비시스템 분석에 필요한 주요 이론을 정리한다. 4장에서는 정비시스템 내의 수리함정의 수를 최소화하기 위한 최적 정비인력 할당 모델을 제시한다. 그리고 5장에서는 수치 실험 및 분석결과를 제시했다.

## 2. 해군 정비시스템의 특징

해군 정비관리 규정에 따르면 정비는 사용 가능한 장비 및 보급품을 항상 사용 가능한 상태로 유지하는 행위와 사용 불가능한 장비 및 보급품을 원상태로 복구하는

일체의 행위 (손질, 검사, 수리, 재생, 보존, 시험, 개조, 수정)를 의미한다. 함정 정비는 함정의 선체와 장비의 성능 유지 및 수명연장을 위하여 손질, 검사, 수리, 재생, 개조, 개장, 교정하는 등의 일체 행위로 정의하고 있다[21]. 따라서 본 연구에서는 정비용어를 ‘함정 장비의 성능유지를 위하여 수행하는 정비 등을 포함하는 일체 행위’로 정의한다.

한편, 해군의 정비장은 총 4개의 지역으로 분산 배치되어 있으며 정비의 종류, 함형별로 정비시스템이 구분된다. 정비의 종류는 현장 검사 (Inspection), 부대정비 (Assistance Maintenance), 야전정비 (Field Maintenance), 창 정비 (Station Maintenance)로 구분되며 각 정비장의 능력은 상이하다. 각 정비장이 상이한 정비능력을 보유하고 있는 이유는 지리적 환경 (적 위협 등), 소속된 함정들의 유형 등을 고려하여 정비능력이 결정되기 때문이다. 해군 정비장별 능력은 Table 1과 같다. ‘O’는 해당 정비장이 수리능력을 보유하고 있는 것을 의미하고, ‘X’는 수리능력을 미보유하고 있음을 의미한다. 예로, 각 정비장별 현장 검사 (Inspection), 부대정비 (Assistance Maintenance) 능력은 모두 보유하고 있으며, 3 정비장은 최신의 함정 (New Ship), 중/대형 함정 (Medium/Large Ship)의 야전정비 (Field Maintenance) 능력을 보유하지 않음을 알 수 있다.

그리고 각 정비들은 함정의 만재톤수를 기준으로 500톤 이상은 중/대형 함정 (Medium/Large Ship)으로 500톤 미만은 소형 함정 (Small Ship)으로 분류되며, 중/대형 함정 중 KDX-I (광개토 급) 이후에 진수된 함정을 최신의 함정 (New Ship)으로 분류하고 있다. 각 정비를 함정 유형별로 분류하고 있는 이유는 유형별로 탑재된 장비 및 정비에 필요한 전문교육이 상이하기 때문이다. 따라서 해군 정비체계는 정비장 별, 정비 유형 별, 함정 유형별로 다수의 정비시스템으로 세분화됨을 알 수 있다 (현장검사 12개, 부대정비 12개, 야전정비 10개, 창 정비 6개).

정비 종류별 특성에 따라 정비시스템의 정비시간의 확률분포 (Exponential, Deterministic, Normal 등)가 결정되기 때문에 정비 종류는 정비체계에서 중요한 역할을 한다. 정비종류를 살펴보면 다음과 같다. 먼저, 현장 검사 (Inspection)는 고장이 발생한 함정의 상태를 판단하여 정비 내용을 결정하는 정비를 말하고, 함정 고장 발생 시 모든 정비에 우선하여 실시되며 정비장의 인력에 의해

수행된다. 부대정비 (Assistance Maintenance)는 장비 및 보급품을 보유 및 운영하는 부대에서 부대장 책임 하에 있는 사용자 (운전자, 조작자 및 부대정비 요원)가 인원과 공구를 사용하여 주로 예방정비 목적으로 실시하는 정비를 말하며, 통상 사용자의 정비능력이 부족하면 정비장의 인력이 추가 정비를 지원한다. 야전정비 (Field Maintenance)는 부대정비 능력을 초과한 정비로서 검사, 조정, 결합체 수리 구성품 교환 등 일정한 수준의 정비능력을 요구하고, 특수 정비용 장비 및 공구가 필요하여 정비장의 정비인력에 의해 수행되며 정비장의 정비능력이 부족한 정비의 경우 외부 (국내/외 업체) 정비인력이 해당 장비에 대한 정비를 대행한다. 창 정비 (Station Maintenance)는 분해 수리나 재생이 요구되는 장비 및 보급품에 대해 특수 정비시설, 정비용 장비 및 공구를 이용하여 전반적으로 분해, 검사, 수리, 재생, 성능개량, 개조 등을 실시하는 정비로서 정비장 자체 정비 인력뿐만 아니라 외부, 국외 정비가 병행하여 실시된다. 그리고 외부 (국내/외 업체) 정비인력에 의해 정비가 진행되는 야전정비 및 창 정비는 정비기간이 해당업체와 계약을 통해 사전에 설정되는 특성이 있다. 이에 반하여 현장검사 및 부대정비지원의 경우는 자체 정비인력만으로 정비를 수행하는 것으로 명시된 기간이 아닌 정비요청 수, 정비량, 정비수준 등에 따라 정비시간이 결정되는 특성이 있다.

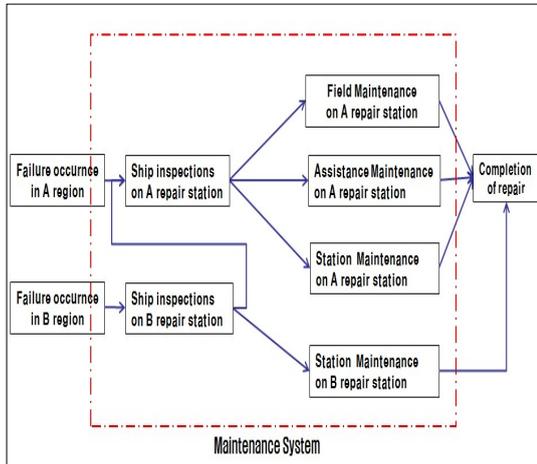
[Table 1] Capability of each repair stations

O : Serviceable, x : non-Serviceable

Stations	Inspection, Assistance Maintenance			Field Maintenance			Station Maintenance		
	New	M/Large	Small	New	M/Large	Small	New	M/Large	Small
1station	O	O	O	O	O	O	x	x	O
2station	O	O	O	O	O	O	x	x	O
3station	O	O	O	x	x	O	x	x	O
4station	O	O	O	O	O	O	O	O	O

한편, 해군 정비체계의 함정 정비는 단계적 절차로 진행된다. 함정의 고장이 발생하면 고장의 상태와 정비소요를 결정하기 위하여 우선 현장 검사를 실시하고 검사 결과에 따라 부대정비, 야전정비, 창 정비 중에 1가지 정비를 단계적으로 실시하고 수리가 완료되면 정비시스템을 이탈하게 된다. 그리고 Table 1과 같이 각 정비장은 함정별, 정비 유형별 정비 능력이 상이함에 따라 효율적

인 정비를 위하여 네트워크로 구성되어 정비능력을 공유하게 된다. 예로 4 정비장은 모든 유형별 함정의 정비능력을 보유하고 있으므로 1/2/3 정비장의 현장 검사결과 불가능한 정비소요로 판단되면 해당 정비가 가능한 4정비장에서 해당 정비를 실시하게 되는 것이다. 그리고 1/2/3 정비장간의 정비능력 공유는 지리적 제약 (동/서/남해)으로 인해 발생하지 않는 특성이 있다. Fig. 1은 해군 정비체계의 네트워크적 특성과 단단계 정비 과정을 쉽게 이해하기 위하여 간단하게 표현한 개념도이다. Fig. 1에서 B정비장은 현장 검사 (Inspection) 및 부대정비 (Assistance Maintenance)가 가능하고 A정비장은 모든 정비가 가능하다. 만약, B지역에서 고장 함정이 발생하면 B정비장 정비인력이 현장검사를 실시하고, 정비소요를 판단한다. 고장 함정의 정비소요가 야전/창 정비로 결정되면 해당 정비가 가능한 A지역 정비장으로 배치되어 A지역의 정비인력이 현장검사를 재실시하고 해당 정비를 실시한다. 그리고 정비 완료 후 정비체계를 이탈하는 개념으로 운용된다. 여기서 A지역은 4 정비장, B정비장은 1/2/3 정비장이라고 할 수 있다.



[Fig. 1] Conceptual procedure of repair

### 3. 주요 이론

2장에서 설명한 바와 같이 한국 해군 정비시스템은 4개의 정비장, 4개의 정비유형, 3개의 함정 유형구분에 따라 총 40개의 정비 시스템으로 구분된다. 그리고 각 시스템들은 fig. 1과 같이 정비능력을 공유하면서 상호 연결

되어 있다. 이러한 특성은 다수의 대기행렬 시스템들이 네트워크로 연결된 시스템인 대기행렬 네트워크와 유사하다. 따라서 해군 정비시스템 분석에 활용가능한 대기행렬 네트워크 이론을 살펴 보겠다 .

#### 3.1 대기행렬 네트워크

대기행렬 네트워크는 네트워크로 들어온 고객이 네트워크 외부로 나갈 수 있는 지 여부에 따라 개방형 네트워크(Open Network), 폐쇄형 네트워크(Closed Network), 혼합형 네트워크(Mixed Network)로 구분할 수 있다[22]. 본 연구에서는 고객(함정)이 고장이 발생하여 대기행렬 네트워크(정비시스템)에 도착하여 서비스(수리) 후에 네트워크(정비시스템)를 떠나므로 개방형 네트워크라고 할 수 있다.

그리고 fig.1과 같이 해군 정비시스템의 단계적 정비 특성으로 인해 각 정비장의 현장검사 시스템과 부대/야전/창 정비시스템은 일렬네트워크(Tandem queue)와 유사한 형태로 구성된다. 일렬대기행렬 네트워크의 분석에 유용하게 사용될 수 있는 것이 <Burke의 이탈정리>이다. <Burke의 이탈정리>는 고객의 대기공간이 무한할 때, 고객들이 포아송과정으로 도착하는 안정상태 M/M/c 대기행렬 시스템으로부터의 이탈과정 역시 포아송 과정을 설명하고 있다[22]. 함정 고장이 포아송과정으로 발생하고 현장검사가 지수분포를 따른다고 가정하면 현장검사 시스템은 M/M/c의 형태가 되고 <Burke의 이탈정리>에 의해 부대/야전/창 정비 시스템의 도착률은 포아송과정이 된다. 이러한 특성으로 인해 각 시스템의 성능에 영향을 미치는 도착률만 결정된다면 전체 네트워크를 개별적인 시스템으로 분해 (Decomposition)하여 분석할 수 있다.

한편, 각 정비 시스템이 네트워크로 연결된 경우, 각 시스템의 도착률을 결정하기 위하여 타 시스템으로부터의 도착률 (외부도착)이 고려되어야 한다. 특히 해군 정비 절차에 따라 해군 정비시스템 중 4 정비장의 현장 검사 시스템의 도착률은 외부도착과 내부도착에 의해 결정된다. 4 정비장의 총 도착률은 1/2/3 정비장의 정비능력 부족하여 4 정비장에서 정비가 요구되어 발생하는 외부 도착률과 4 정비장 지역함정의 고장으로 발생하는 내부 도착률의 합이 된다.

4 정비장의 총 도착률 결정을 위하여 함정 고장 발생률이 포아송 과정을 따르고 현장검사 시스템의 서비스

과정이 지수분포로 발생한다고 가정한다. 그리고  $A_i$ 를  $i$  정비장의 총 도착률,  $\lambda_i$ 를  $i$  정비장 지역 함정의 고장 발생률,  $\gamma_i$ 를  $i$  정비장에서 정비 불가 소요가 발생할 확률 정의하면, 4 정비장의 총 도착률은 식 (1)에 의해 결정된다.

$$A_4 = \lambda_4 + \sum_{i=1}^3 \lambda_i \gamma_i \quad (1)$$

그리고 4 정비장 현장검사의 총 도착률 분포는 내부 도착과 외부도착이 모두 포아송 과정을 따르고, 상호 독립적(Independent)이므로 포아송 과정의 겹침과정(Superposed Process) 특성에 따라 포아송 과정이라고 할 수 있다. 그리고 해군 정비절차의 특성에 의해 환류(Feedback)가 발생하지 않으므로 4 정비장의 현장검사 시스템은 포아송 과정을 도착률로 갖고 정비가 지수분포를 따르는 M/M/c로 표현할 수 있다. 그리고 1/2/3 정비장 현장검사 시스템은 해당 지역의 함정의 고장으로 발생하므로 포아송 과정의 내부 도착률( $\lambda_i$ )만을 가지는 M/M/c로 표현할 수 있다. 현장검사를 제외한 정비 시스템들은 현장 검사에 의해 정비소요가 결정되어 분배됨에 따라 포아송 과정의 도착률만 가지게 되고 정비의 특성에 따라 서비스 과정이 결정되는 대기행렬 형태를 가지게 된다. 그리고 함정은 부대/야전/정비 중 1개의 정비를 실시 후 다른 시스템으로 재 진입하지 않고 정비체계를 이탈하므로 부대/야전/정비 시스템을 이탈하는 함정의 분포는 고려하지 않아도 된다.

### 3.2 대기행렬 네트워크 최적화 (Optimization) 및 분해 (Decomposition)

대기행렬 네트워크의 최적화 (Optimization)는 분석의 어려움으로 분해 (Decomposition) 기법을 활용한다. 분해 기법은 네트워크를 개별 시스템으로 분해하여 분석함으로써 상대적으로 분석이 용이한 특성이 있다. 해군 정비시스템 분석을 위하여 함정 고장이 포아송과정을 가지고 현장검사가 지수분포를 따른다고 가정하면, 각 정비 시스템들은 포아송 도착과정을 가지고 각각의 서비스 분포에 따라 M/M/c, M/D/c 형태가 된다. 각 대기행렬은 기존 연구에 의해 제시된 확률식을 이용하여 성능을 분석할 수 있다.

각 정비시스템 성능은 고장 발생률(도착률), 정비율(서비스율), 정비인력의 수(Server) 등에 의해 결정된다.

해군 정비시스템 특성상 고장 발생률, 정비율 값은 사전에 결정되어 변경이 불가능하므로 본 연구에서는 정비인력 (Server) 할당을 통하여 전체 시스템의 성능을 최적화할 수 있는 선형계획 모형을 수립하였다.

### 3.3 성능척도

대기행렬 시스템의 성능척도는 평균대기 고객수  $L_q$ , 평균시스템고객수  $L$ , 평균대기시간  $W_q$ , 평균체제시간  $W$  등 다양하지만 본 연구에서는 고장이 발생한 함정이 수리를 받기위해서 대기하거나 수리를 받고 있는 총 척수가 함정의 운용률 측면에서 중요한 의사결정사항이 된다. 왜냐하면 군에서 설정한 목표 운용률은 적의 위협에 신속하고 완벽하게 대응하기 위한 필수 기준이며 기준보다 낮은 운용률은 적의 위협에 적절한 대응을 하지 못함을 의미하여 군 지휘관은 목표 운용률을 유지하기 위하여 노력하고 있기 때문이다. 이에 따라 본 연구에서는 평균시스템 고객수  $L$ 을 최소화하기 위한 모형을 수립하였다.

한편, 현장검사 시스템 및 부대정비 시스템은 정비의 난이도, 작업량에 따라 정비시간이 확률적으로 결정되므로 서비스 시간이 지수분포를 따르는 M/M/c의 형태가 된다. 그리고 야전/창 정비는 해군 정비규정에 의해 일정하게 정비 시간이 소요되므로 서비스 시간이 확정적 (Deterministic) 분포를 따르는 M/D/c의 형태가 된다. 따라서 해군 정비체계는 M/M/c 및 M/D/c 대기행렬이 복합적으로 구성된 형태를 가진다. 대기행렬 네트워크는 일반적으로 분석이 단일 대기행렬에 비해 어렵다. 그런데 본 연구에서는 앞서 설명한 바와 같이 해군 정비체계는 분해 속성이 적용 가능하므로 M/M/c 및 M/D/c로 분해해서 분석할 수 있다. 그리고 M/M/c 및 M/D/c 모형의 중요 성능척도인 평균 시스템 고객 수  $L$ 은 다음과 같다 (세부적 설명은 이호우의 '대기행렬 이론'을 참고하기 바람[22]).

M/M/c 모형의 평균 시스템 고객 수  $L$ 은 식 (2)와 같다.

$$L_{M/M/c} = L_q + \frac{\lambda}{\mu} = \frac{\rho}{(1-\rho)^2} P_c + \frac{\lambda}{\mu} \quad (2)$$

M/D/c 모형은 고객도착은 포아송과정으로 서비스 과정은 확정적으로 일어나는 모형으로써 M/D/c 모형의 평

균 시스템 고객 수  $L$ 은 식 (3)과 같다.

$$L_{M/D/c} = L_q + \frac{\lambda}{c\mu}$$

$$= \frac{1}{2c(1-\rho)} [(c\rho)^2 - c(c-1)] \quad (3)$$

$$+ \sum_{j=0}^{c-1} [c(c-1) - j(j-1)] P_j]$$

## 4. 해군 정비시스템 분석 모형

### 4.1 연구 모형의 가정

본 연구의 해군 정비시스템 분석 모형은 정비시스템 내 평균대기고객수를 최소화하기 위해 설계하였으며, 분석 모형의 가정은 다음과 같다.

첫째, 합정의 고장발생률은 각 합정의 고장 발생이 독립적으로 발생하므로 포아송과정으로 발생한다.

둘째, 현장검사, 부대정비 지원의 정비시간은 정비량, 정비 난이도에 따라 결정되고 각각의 행위가 독립적, 무기억 속성(Memoryless Property)으로 발생하므로 지수 분포를 따른다.

셋째, 야전정비 및 창 정비의 경우는 수리시간은 정비 창 및 외부업체간의 계약을 통해 명시된 기간으로 결정되기 때문에 확정적(Deterministic)으로 발생한다.

넷째, 정비 유형, 합정 유형이 동일한 정비시스템의 서비스율은 동일하다. 1정비창의 신형합 창 정비 시스템과 2정비창의 신형합 창 정비 시스템의 서비스율은 동일하다는 의미다.

다섯째, 각 정비창의 정비팀은 당직편성, 근무유지 등을 이유로 최소 2개 이상으로 운영된다.

여섯째, 정비인력은 근무원 신분 특성상 인원수의 임의 변경이 불가하여, 정비인력 운용에 필요한 예산은 고려하지 않는다.

위에서 기술한 가정에 따라 현장 검사 및 부대정비는 서비스가 지수분포를 따르는 대기행렬인 M/M/c모형으로 야전정비 및 창 정비는 수리시간이 확정적 분포를 따르는 시스템인 M/D/c 모형으로 가정하였다.

본 연구에서 사용될 용어는 아래와 같다.

### <Notations>

- $\lambda_{ijk}$  : 각 정비센터에 발생하는 합정 유형별 정비 소요발생률(1일 단위)
- $\mu_{ijk}$  : 각 정비시스템의 서비스율(1일 단위)
- $c_{ijk}$  : 각 정비시스템의 서버 수(팀 수)
- $\rho_{ijk}$  : 각 정비시스템의 부하율
- $t_{ijk}$  : 각 정비시스템의 인원 수(명)
- $L_{ijk}$  : 각 정비센터 내의 평균 고객 수(명)
- $L$  : 정비시스템 내 총 대기자 수(명)
- $T$  : 총 정비 인력(명)
- $i$  : 각 정비부대(1 : 1정비창, 2 : 2정비창, 3 : 3정비창, 4 : 4정비창)
- $j$  : 정비 합정 유형 (1 : 신형합정, 2 : 중-대형 합정, 3 : 소형 합정)
- $k$  : 정비 종류(1 : 현장검사, 2 : 부대정비지원, 3 : 야전정비, 4 : 창 정비)

### 4.2 해군 정비시스템 분석 모형

$$Min. \quad L = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^4 L_{ijk} \quad (4)$$

st.

$$\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^4 t_{ijk} \cdot c_{ijk} \leq T = 1500 \quad (5)$$

$$c_{ijk} \geq 2 \quad (6)$$

$$\begin{matrix} \text{결정} \\ \text{변수} \end{matrix} \quad t_{ijk} \quad (7)$$

본 연구의 목적식은 해군 정비시스템의 특성에 따라 해군 정비시스템을 개별 시스템으로 분리하여 볼 수 있다는 점에 착안하여 주어진 자원( $T$ )내에서 각 정비시스템의 성능최도인 평균 수리합정의 수를 최소화하는 선형 계획 모형인 식 (4)를 수립하였다. 각 시스템의 평균 수리합정의 수 ( $L_{ijk}$ )는 식 (2)-(3)에 의해 결정될 수 있다. 식 (5)는 총 정비창의 인원을 1500명으로 설정했음을 의미한다. 총 정비창의 실제 인력 현황은 군사자료로 관리되어 연구에서 실제 활용이 곤란하지만, 본 연구의 분석결과가 의미를 가질 수 있도록 다른 모수와 비교하여 상대적으로 실제 인원과 유사한 값을 설정하였다. 식 (13)은 당직 및 근무유지 등을 위하여 최소 2개 이상의 팀으로 운영된다는 점을 반영한 것이다. 그리고 결정변수는 각 정비시스템의 인원수 ( $t_{ijk}$ )이다.

### 5. 수치실험 및 분석 결과

#### 5.1 실험조건 및 수치

본 연구의 실험에서는 Matlab 2012b를 활용하여 분석하였으며 주요 수치는 매년 해군본부 주관으로 발간되는 해군 통계연감[23]의 군수분야 (각 정비창별, 함정 유형별 고장 발생 횟수, 수리기간 등)의 자료 및 식 (1)을 이용하여 기본 수치 (Parameters)를 도출하였다. 주요 수치인 각 정비시스템의 도착률은 아래의 Table 2와 같다. 예로 1 정비창 (i=1), 신형함정 (j=1), 현장검사 (k=1) 시스템의 도착률은 0.0301이므로 평균 32.3일 간격으로 정비소요가 발생함을 할 수 있다. 그리고 도착률 값이 NA는 해당 정비창에 정비시스템이 없는 것을 의미한다.

[Table 2] Arrival rate

<i>k</i>	<i>i / j</i>	1(New)	2(MLarge)	3(Small)
1 (Inspection)	1stations	0.0301	0.3233	0.3699
	2stations	0.0192	0.1562	0.3342
	3stations	0.0027	0.0247	0.1479
	4stations	0.2055	1.2301	0.2822
2 (Assistance Maintenance)	1stations	0.0274	0.2658	0.2356
	2stations	0.0137	0.0658	0.0658
	3stations	0.0027	0.0219	0.0548
	4stations	0.1671	0.9671	0.1918
3 (Field Maintenance)	1stations	0.0027	0.0575	0.1342
	2stations	0.0055	0.0658	0.2521
	3stations	NA	NA	0.0904
	4stations	0.0384	0.2356	0.0877
4 (Station Maintenance)	1stations	NA	NA	0.0027
	2stations	NA	NA	0.0164
	3stations	NA	NA	0.0027
	4stations	0.0055	0.0192	0.0027

각 정비팀별 정비 시간은 해군 정비 관리규정[20]을 참고하여 작성하였으며 Table 3과 같다. 예로 1 정비창 (i=1), 신형함정 (j=1), 야전정비 (k=3)은 42일을 의미한다. 그리고 정비시간 값이 NA인 정비센터는 해당 정비창에 정비능력이 없음을 의미한다.

[Table 3] Period of maintenance

<i>k</i>	<i>i / j</i>	1(New)	2(MLarge)	3(Small)
1 (Inspection)	1stations	4 days	3 days	2 days
	2stations	4 days	3 days	2 days
	3stations	4 days	3 days	2 days
	4stations	4 days	3 days	2 days

<i>k</i>	<i>i / j</i>	1(New)	2(MLarge)	3(Small)
2 (Assistance Maintenance)	1stations	7 days	6 days	5 days
	2stations	7 days	6 days	5 days
	3stations	7 days	6 days	5 days
	4stations	7 days	6 days	5 days
3 (Field Maintenance)	1stations	42 days	84 days	28 days
	2stations	42 days	84 days	28 days
	3stations	NA	NA	28 days
	4stations	42 days	84 days	28 days
4 (Station Maintenance)	1stations	NA	NA	90 days
	2stations	NA	NA	90 days
	3stations	NA	NA	90 days
	4stations	90 days	70 days	90 days

#### 5.2 분석결과

해군 정비시스템 모형을 활용하여 분석한 정비창 및 함정 유형별 인력배치 결과 및 현재 인력 운영 현황은 Table 4와 같다. 정비능력이 가장 큰 4 정비창에 52%, 2 정비창 23%, 1정비창 19%, 3정비창 6%순으로 배치하는 것이 최적임을 확인할 수 있다. 현재 해군 정비시스템이 4정비창 62%, 2정비창 18%, 1정비창 14%, 3정비창 6%의 비율로 인력을 운영 중인 사실을 고려한다면 4정비창에 과도하게 할당된 정비인력 (10%)이 1, 2정비창에 재배치되어야 함을 알 수 있다.

그리고 유형별 배치결과는 중/대형함정에 55%를 배치하고, 소형함정 23%, 신형함정 22%순으로 정비인력을 배치해야 최적임을 알 수 있다. 현재 해군 정비시스템은 중/대형함정 35%, 소형함정 40%, 신형함정 25%를 유형별로 구분하여 운영 중인 사실을 고려한다면 소형함정에 과도하게 배치된 인력 (18%)을 신형함정 및 중/대형함정에 재배치되어야 함을 알 수 있다.

[Table 4] Personnel allocation result

By stations			
station	Present Number of personnel(%)	Optimal Number of personnel(%)	Disparity(%)
1	000 (15%)	282.91 (19%)	+4%
2	000 (19%)	347.22 (23%)	+6%
3	000 (6%)	97.49 (6%)	0
4	000 (62%)	794.31(52%)	-10%
By type of ship			
type of ship	Present Number of personnel(%)	Optimal Number of personnel(%)	Disparity(%)
New	000 (25%)	336 (22%)	-3%
MLarge	000 (35%)	853.4 (55%)	+20%
Small	000 (40%)	356.37 (23%)	-17%

각 정비장에 할당된 최적 정비인력을 기준으로 유형별로 정비인력을 할당한 분석결과는 Table 5와 같다. 1, 2, 4정비장의 경우에는 중/대형함정에 많은 비중을 두고 3정비장의 경우에는 소형함정 정비에 많은 비중의 정비인력을 배분해야 됨을 알 수 있다.

[Table 5] Personnel allocation result by stations

Station	type of ship		
	New	M/Large	Small
1	30 %	44 %	26 %
2	26 %	41 %	33 %
3	25 %	14 %	61 %
4	18 %	67 %	15 %

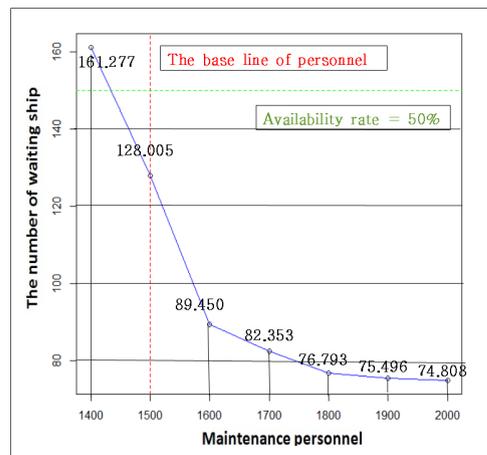
그리고 전체 정비체계 내 수리함정의 수의 분석결과는 128.00492이 도출되었으며 정비인력의 최적 할당에 따른 함정의 가용률 ((함정 총 수 - 고장 함정 수)/함정 총 수)을 추정할 수 있다. 각 정비유형별 각 수리함정의 수는 Table 6과 같다. 예로 야전정비의 경우 중/대형 4정비장(i=4, j=1/2, k=3)의 수리함정 수는 27.7대임을 알 수 있다. 그리고 정비체계 내 수리함정의 수는 야전정비(k=3)가 87.9(76%)척으로 가장 많은 비중을 차지함을 알 수 있다.

[Table 6] The number of waiting ship

k	i / j	1(New)	2(M/Large)	3(Small)
1 (Inspection)	1stations	0.121	1.557	0.9438
	2stations	0.076	0.509	0.809
	3stations	0.018	0.074	0.304
	4stations	1.126	3.713	0.641
2 (Assistance Maintenance)	1stations	0.194	2.529	5.482
	2stations	0.097	0.417	0.341
	3stations	0.019	0.132	0.28
	4stations	2.489	13.529	1.519
3 (Field Maintenance)	1stations	0.1136	10.6	7.26
	2stations	0.233	15.09	13.28
	3stations	NA	NA	7.01
	4stations	4.18	27.7	2.456
4 (Station Maintenance)	1stations	NA	NA	0.246
	2stations	NA	NA	2.756
	3stations	NA	NA	0.246
	4stations	0.516	2.075	0.246

한편, 지금까지의 분석은 해군 정비체계의 정비인력을 특정 값 (T=1500명)을 기준으로 수리함정의 수와 적정

정비인력의 할당에 관하여 분석하였지만, 군 지휘관은 정비인력의 수에 따라 수리함정의 수의 변동에 관한 자료가 필요할 수 있다. 이는 적정 정비인력 수준을 결정하는 문제일 수 있기 때문이다. Fig. 2는 정비인력의 수준에 따른 수리함정의 수를 분석한 것이다. 기존 정비인력 수준을 1500으로 설정했을 때, 정비인력의 수준을 1600으로 증가한다면 수리함정의 수는 약 128척에서 약 89척으로 39척이 감소함을 알 수 있다. 이것은 전체함정의 수를 300척으로 가정했을 때, 함정 운용률 (가용함정 수/전체함정 수)이 57.3%에서 70.3%으로 13% 증가함을 알 수 있다. 그리고 정비인력의 수준을 1700으로 증가할 시 수리함정의 수는 약 82척으로 감소하고 함정 운용률은 72.5%로 증가함을 알 수 있다. 하지만, 정비인력의 수준이 증가할수록 함정 운용률은 증가하지만 특정 정비인력 수준 (2000명)에 도달할수록 운용률 증가폭은 감소하여 많이 개선되지 않음을 알 수 있다. 이런 자료를 바탕으로 군 지휘관은 정비인력의 증가에 따라 발생하는 인력 운용 예산과 함정 운용률 증가에 따른 전비태세 향상과의 비교간의 비교가 가능할 것이다. 따라서 이번 분석은 군 지휘관이 해군 정비체계의 적정 정비인력 수준을 결정하는 데 중요 자료가 될 것이다. 그리고 증가된 정비인력의 활용은 본 연구에서 제시된 모형을 통하여 새롭게 도출되는 정비인력을 바탕으로 결정될 수 있고 이를 통해 신규 정비인력의 전문 정비교육 수요가 결정될 수 있다. 예를 들어 3정비장 대형함 현장감사에 증가된 정비인력이 할당된다면, 증가된 정비인력은 대형함 전문 정비교육 수요가 되는 것이다.



[Fig. 2] The # of waiting ship by maintenance personnel

## 5. 결론

본 연구는 해군 정비요원의 최적인력 배치 판단을 위한 모형을 개발하였다. 특히, 본 연구에서는 각각의 특성이 상이한 40개의 정비시스템을 대기행렬 네트워크 이론, 분해 및 최적화 기법을 동시에 활용하여 각 시스템의 고장함정의 수를 최소화할 수 있는 방법론을 제시하였다는 점에 의의가 있다. 그리고 최적 정비인력 할당을 통해 고장이 발생한 함정을 조기에 정비할 수 있어 전비태세 향상 및 효율적인 국방예산 집행에 기여할 것이다. 또한 해군 정비인력의 증가 및 감소에 따른 인력 배치 근거 자료로 활용이 가능하여 신규 채용 정비인력의 전문 교육 분야 소요 산출을 위한 근거 자료로 활용이 가능할 것으로 기대된다.

## References

- [1] K. I. Choi, "An Analysis on the partial pooling ship-maintenance system with phase-type arrival/service", KNDU, 2011.
- [2] J. W. Go, G. G. Kim and B. K. Yoon, "A Study on the Optimal Appointment Scheduling for the Ship Maintenance with Queueing System with Scheduled Arrivals", Journal of The Korean Operations Research and Management Science Society, Vol. 38, pp.13-22, 2013.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7737/JKORMS.2013.38.3.013>
- [3] K. C. Ok, S. J. Cho, J. H. Jeon, J. Y. Yang and Y. C. Cho, "A Study on an Efficient Size Docks for Warship Maintenance using Queueing Problem", Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers", Vol. 40, pp.428-434, 2014.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7232/JKIIE.2014.40.4.428>
- [4] K. R. Kim and J. M. Rhee, "Simulation Analysis to optimize the management of Military Maintenance Facility", Journal of the Korean Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 15, pp.2724-2731, 2014.
- [5] G. R. Bitran and D. Tirupati, "Tradeoff Curves, Targeting and Balancing in Manufacturing Queueing Networks", Operations Research, Vol. 4, pp.547-564, 1989.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1287/opre.37.4.547>
- [6] Y. Dallery and K. E. Stecke, "On the Optimal Allocation of Servers and Workloads in Closed Queueing Networks", Operations Research, Vol. 38, pp.694-703, 1990.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1287/opre.38.4.694>
- [7] G. Shantikumar and D. Yao, "Optimal Server Allocation in a System of Multi-server Stations", Management Science, Vol. 33, pp.1173-1180, 1987.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.33.9.1173>
- [8] L. M. Wein, "Capacity Allocation in Generalized Jackson", Operations Research, Vol. 8, pp.143-146, 1989.
- [9] G. Shantikumar and D. Yao, "Optimal Server Allocation in a System of Multi-server Stations", Management Science, Vol. 33, pp.1173-1180, 1987.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.33.9.1173>
- [10] F. S. Hillier and K. C. So, "On the Simultaneous Optimization of Server and Work Allocations in Production Line Systems with Variable Processing Times", Operations Research, Vol. 44, pp.435-443, 1996.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1287/opre.44.3.435>
- [11] R. Righter, "Optimal Policies for Scheduling Repairs and Allocating Heterogeneous Servers", Journal of Applied Probability, Vol. 33, pp.536-547, 1996.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.2307/3215077>
- [12] J. G. Kim, "Server Allocation for Queueing Networks with Priority, Korean Corporation Management Association", Vol. 3, pp.61-70, 2006.
- [13] D. G. Jo, A Study on the Improvement and Efficient Operation of Military Welfare Facility, National defense University, Korea, 2005.
- [14] S. M. Kim, H. Y. Suh, J. H. Lee, Y. G. Kwon, S. M. Kim, I. C. Park, S. H. Kim, Y. H. Lee, "An Application of a Jackson Network for Waiting Time Reduction at the Emergency Care Center", The Korean Operations Research and Management Science Society, Vol. 27, pp.17-31, 2010.
- [15] I. You and B. K. Yoon, "The Spare Level Decision Model of the Multi-Stage Maintenance System", Korea Logistics Society, Vol. 19, pp.5-21, 2011.
- [16] H. Yoon and S. J. Lee, "The Optimal Spare Level of a Weapon System Having Phase-type Repair Time", The Korean Operations Research and Management Science Society, Vol. 26, pp.145-156, 2009.
- [17] C. W. Park, C. G. Kim and H. S. Lee, "A Closed Queueing Network Model for the Performance Evaluation of the Multi-Echelon Repair System", The Korean Operations Research and Management Science Society, Vol. 25, pp.27-44, 2000.
- [18] Y. W. Ryu and M. S. Park, "An Application to Multi-echelon Inventory Model : Using the Features of CSP", Military Operation Research Society, Vol. 32, pp.113-132, 2006.

- [19] S. P. Kim, S. J. Park and Y. L. Jung, "A Simulation Analysis of R.O.K Navy's Inventory Management Model for Repairable Parts", The Korea Society for Simulation, Vol. 22, pp.31-40, 2013.
- [20] J. H. Kim, S. J. Lee and S. T. Jung, "The Impact of Aircraft Spare Engine and Module Inventory Level on Wartime Operational Availability", The Korean Operations Research and Management Science Society, Vol. 31, pp.33-48, 2014.
- [21] Republic of Korea Navy, Maintenance management regulations of Navy, 2012.
- [22] H. W. Lee, Queueing Theory, Sigma Express, 1996.
- [23] Republic of Korea Navy. 2012 Statistical yearbook , 2012.

---

**김 성 우(Seong-Woo Kim)**

[정회원]



- 2001년 3월 : 해군사관학교 군사학과(군사학학사)
- 2010년 6월 : 연세대학교 경영대학원 경영정보학과(경영학석사)
- 2012년 2월 ~ 현재 : 국방대학교 관리대학원 운영분석학과 박사과정

<관심분야>

Stochastic Models & Queueing Analysis, Combat System, Optimization, Military O. R.

---

**윤 봉 규(Bong-Kyoo Yoon)**

[정회원]



- 1996년 3월 : 연세대학교 경영학과(경영학사)
- 1998년 2월 : 한국과학기술원 산업공학과(산업공학석사)
- 2002년 2월 : 한국과학기술원 산업공학과(산업공학박사)
- 2006년 10월 ~ 현재 : 국방대학교 관리대학원 운영분석학과 교수

<관심분야>

Biz. Performance Optimization, Stochastic Models & Queueing Analysis, Military O. R.