

대기문제를 이용한 효율적인 함정정비 건설거 규모 연구

옥경찬¹ · 조성진¹ · 전재효^{1*} · 양재영² · 조윤철²

¹합참 분석실험부 / ²해군 전력분석시험평가단

A Study on an Efficient Size Dry Docks for Warship Maintenance using Queueing Problem

Kyoung-Chan Ok¹ · Sung-Jin Cho¹ · Jae-Hyo Jeon¹ · Jae-Young Yang² · Youn-Chol Cho²

¹Analysis and Experimentation Directorate, JCS / ²Naval Force Analysis Test Evaluation Group

Dry docks are used to repair warships or Merchant ships based on their life cycles. There are the certain number of dry docks in the ROK Navy, However, the ROK Navy force structure has been changing a lot since the Korean War. The focus of this study is to analyze the queueing problem regarding present dry docks capacities and to forecast the appropriate number of dry docks based on future naval ship structure. The study proposes to obtain an efficient dry dock size using queueing problem and simulation.

Keywords: Dry Dock Maintenance, M/M/c Queueing Problem, ARENA Simulation

1. 서론

세계적으로 해군 함정의 수명은 최소 30년으로 운용하고 있다. 또한 해군 함정은 가동 중일 때만 전투력을 발휘하므로 보유하는 척수가 바로 전투력이 되지는 않는다. 그러므로 함정은 가동률을 최대화하기 위해 주기적으로 다양한 정비를 받게 된다. 정비 중에는 함정의 수면하 부분 정비를 위해 건설거(dry dock)에 들어가야 하는 경우도 있다. 이를 상가수리라고 하며 <Figure 1>은 미국 해군기지 내 건설거에서 미 함정이 상가수리를 하고 있는 모습이다.

우선, 건설거를 갖추기 위해서는 넓은 공간과 비싼 건설비용이 필요하며, 이를 운용하기 위한 부대시설과 많은 인력이 추가로 소요된다. 현대 해군은 다양하고 많은 함정들을 보유하고 있으며 한국 해군도 약 170여 척을 보유하고 있다(KMND, 2012). 함정은 최대 수명까지 운영을 위해 주기적으로 건설거에서 상가수리를 하고 있다. 하지만 건설거가 부족하게 되면 수리함정들의 건설거 대기기간이 길어지고, 이로 인해 함정별로 충분한 수리를 할 수 없기 때문에 부실한 함정수리로 이어

질 수 있다. 또한, 건설거 설비의 과부하 운용으로 인해 장비 손상 등이 예상된다. 이런 상기 요소들로 인해 함정들의 작전 가동률이 낮아지게 되는 이유가 된다.

본 연구에서는 효율적인 건설거 운용을 위한 연구방법을 제시하고자 한다. 가상의 정비지역에 대한 건설거 대기행렬 시스템을 만들고, 이와 관련한 이론적 수식계산 방법과 ARENA 모델에 이용한 시뮬레이션 방법을 제시하고자 한다. 첫 번째 이론적 수식계산 방법에서는 각각의 건설거 처리능력이 동일하다는 가정 하에 건설거 수의 변화에 따라 수리함정의 건설거 대기기간과 가동률을 분석하였다. 이는 건설거 시스템을 M/M/c 시스템으로 일반화시켜 수리함정의 건설거 대기기간과 가동률을 개략적으로 사전분석하는 방법을 보이고자 함이다. 두 번째 ARENA 시뮬레이션 분석 방법에서는 건설거 운용에 관련된 조건들을 구체적으로 반영하여 건설거 대기기간과 가동률을 상세히 분석하는 방법을 보이고자 한다. 두 가지 분석 방법의 비교분석을 통해 효율적인 상가수리 지원을 위한 건설거의 적정소요를 판단하고자 한다.

* 연락저자 : 전재효, 140-701 서울시 용산구 이태원로 22(용산동 3가), Tel : 02-748-2940, Fax : 02-796-0369, E-mail : jeonjaehyo@hanmail.net
2013년 6월 29일 접수; 2013년 10월 15일 1차 수정본 접수; 2013년 11월 28일 2차 수정본 접수; 2014년 4월 23일 게재 확정.



Figure 1. Dry dock and USS Blue Ridge

2. 기존 연구 및 건설거 문제 모델링

건설거와 관련된 연구로 Kim(2009)은 N개의 건설거에서 선박 건조 조합에 대해 연구하였으며, Koh *et al.*(2011)은 블록단위로 건조되는 선박에 대해 조립장소인 건설거의 부하를 최소로 문제를 연구하였다. 정비주기와 관련하여 Lee *et al.*(2008)은 정비주기를 가지는 단일 기계에 대해 효율적인 운용계획을 구하는 연구하였고, Ko *et al.*(2012)는 불확실성이 있는 작업환경에 대해 효율적인 알고리즘을 연구하였다. Ko *et al.*(2013)는 함정 정비에 대해 대기행렬 이론을 응용하였으며, 건설거 정비를 포함한 대기문제 형태의 연구로 Lee(1999)는 복수 서버를 갖는 M/G/c 대기행렬 시스템에서 안정 상태의 대기고객수를 분석하였다. M/G/c 대기행렬 시스템에서는 안정상태의 고객수확률은 물론 대기시간조차 간단히 구할 수 없기 때문에 M/M/c 시스템에서 M/G/c 으로의 근사 모형을 만들어 적용하였다. 여기서 1단계로 고객수 확률분포가 c명 이하일 경우를 분석한 이후에 2단계에서 고객수 확률분포가 c명 이상일 경우를 분석하는 2단계 근사법을 사용하였다. Chae *et al.*(2006)은 시스템에 고객이 있음에도 불구하고 서버가 어떤 이유로 서비스를 제공하지 않는 기간이 존재하는 휴가형 대기행렬 시스템을 연구하였다. 휴가형 복수 서버 대기행렬 시스템을 M/M/c 시스템으로 상정하고 서버가 모두 바쁠 때 도착하는 고객의 대기시간과 서버가 바쁘고 나머지 휴가 중인 서버에 대해서도

착하는 고객의 대기시간도 구하였다.

본 연구에서는 함정이 상가수리를 위한 효율적인 건설거 운용을 대기행렬 모델로 연구하고자 한다. 문제 모델링을 위해 Alpha라는 가상의 건설거 정비지역에서 <Table 1>과 같이 3개의 건설거를 이용하여 함정들을 주기적으로 정비하는 것으로 설정하였다. 이후 미래 소요되는 수리함정 척수를 고려하여 추가로 필요한 건설거 소요를 판단하고자 한다.

3. 건설거 모델의 대기행렬식 및 계산

3개의 건설거 대기행렬 문제를 Kendall-Lee 기호로 표기시 M/M/c로 표현된다(Lee, 2006). 첫 번째 ‘M’은 고객의 도착형태로서 여기서는 수리함정이 지수분포 형태로 건설거에 도착한다. 두 번째 ‘M’은 건설거에서의 상가기간이다. 이때, 수리함정 간의 상가기간은 독립적으로 이루어지기 때문에 지수분포 형태로 주어진다. 세 번째 ‘c’는 서버의 수로써 건설거의 수를 나타낸다.

λ 는 arrival rate(단위시간당 수리함정 발생수)로, μ 는 service rate(단위시간당 상가수리 함정수)로, ρ 를 건설거 가동률이라 할 때 $\rho = \lambda/\mu$ 로 나타낼 수 있다. 먼저 건설거 내 수리함정이 없을 확률(probability of an empty system)은 식 (1)과 같다.

Table 1. Alpha district 3 dry docks capacities

Dry dock name	Dry dock size	Capacity(ton)	Batch Policy
#1 Dry Dock	Middle size	3,000	Option #1 : 2 small ships Option #2 : 1 middle ship
#2 Dry Dock	Middle size	4,000	Option #1 : 2 small ships Option #2 : 1 middle ship
#3 Dry Dock	Large size	15,000	Option #1 : 2 small & 1 Large ship Option #2 : 1 middle & 1 Large ship

$$P_o = \frac{1}{\sum_{n=0}^{c-1} \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^c}{c! \cdot (1 - \frac{\rho}{c})}} \quad (1)$$

Alpha 정비지역 건설거 내 평균 수리합정 척수(mean number in system)는 식 (2)와 같으며,

$$L = \frac{\rho^{c+1}}{(c-\rho)^2 \cdot (c-1)!} P_o + \rho \quad (2)$$

평균 건설거 대기합정 척수(mean number in queue)는 식 (3)과 같다.

$$L_q = L - \rho \quad (3)$$

건설거 내 평균 머무는 기간(mean time in system)은 식 (4)와 같고,

$$W = \frac{L}{\lambda} \quad (4)$$

각 건설거가 동일한 정비능력을 있다고 가정하면 평균 건설거 대기기간(waiting mean time in queue)은 식 (5)와 같다.

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} \quad (5)$$

상기 M/M/c 시스템의 대기행렬식을 건설거 시스템에 적용 방법은 다음과 같다. 우선, 입력자료에 대한 분석이 필요하다. 건설거는 365일 전부 운용이 불가하다. 따라서 연간 상가가능 일은 식 (6)과 같이 주어진다.

$$D = 365 - (BW + HD) + ED \quad (6)$$

여기서, BW는 기상불량으로 인한 상가불가 일수, HD는 공휴일 일수, ED는 휴일에 실시한 비계획상가 일수로 정의한다. BW은 우리나라 연평균 강수량을 1,500mm이라 할 때, 30mm을 불가라 할 경우 50일 정도 중 평일을 40일, 공휴일은 평균 65일, 휴일에 실시한 긴급상가를 10일로 가정하여 연평균 250

일로 설정하였다.

개략적인 이론적 계산을 위해 Alpha 지역에서 보유한 3개의 건설거 수용능력은 동일한 것으로 가정하였다. 이때 동시상가(batch policy)는 실질적으로 건설거의 길이를 기준으로 합정크기에 따라 1~3척이 동시에 상가를 하며, 동시 상가시 상가기간은 상가기간이 가장 긴 합정을 기준으로 상가수리를 실시한다. 이유는 타 합정이 수리가 빨리 끝나도 잔여 수리합정이 있을 경우 건설거에 물을 채울 수 없기 때문에 건설거에 할당된 합정들이 전부 수리가 끝날 때까지 기다려야 한다. M/M/c 시스템에서는 이론적 계산을 위해 평균적으로 2척이 동시상가를 하는 것으로 설정한다.

상가대상 합정은 대형합정 30척, 중형합정 70척, 소형합정 100척, 지원합정 100척 등 총 300척으로 설정하였다. 상가주기는 <Table 2>와 같이 계획상가와 비계획상가로 구분하고 계획상가는 정기상가와 중간상가로 구분하였다. 합정의 정기상가는 6년 주기, 중간상가는 3년 주기로 설정하였다. 그리고 지원합정은 정기상가만 하는 것으로 설정하였다. 비계획상가는 합정 운용 중에 긴급하게 수리가 필요해서 건설거에서 수리하는 경우로 신형합정들은 27일마다 1척씩 비계획상가가 이루어지고, 구형합정들은 9일마다 1척씩 비계획상가가 이루어지는 것으로 하였다. 여기서 비계획상가는 건설거 운용에 일정한 비중을 차지하고 있기 때문에 중요한 변수로 고려된다.

앞의 수리합정 수리소요 주기를 근거로 연간 상가수리 소요 척수를 분석해 보면 약 170여척에 이른다. 그러므로 일일 수리합정 도착수 λ 는 170척/250일이므로 0.68척/일로 산출된다. 하지만 수리합정들은 평균 2척이 동시상가로 이루어지기 때문에 수리합정 도착수 λ 는 0.34척/일로 판단 할 수 있다. 다음으로 수리합정의 상가수리 합정수 μ 는 건설거에서 평균 14일 정도 수리를 실시하므로 μ 는 1척/14일이므로 0.07척/일을 적용한다.

<Table 3>과 같이 건설거를 연간 250일 운용하면서 300척의 합정들이 수리주기에 따라 상가수리시 M/M/c 시스템을 근거로 대기행렬을 분석해 보면, 건설거 3개 또는 4개 운용으로는 상가수리를 감당하지 못하는 상황이 발생하게 된다. 하지만 건설거 5개가 운용될 경우는 건설거 대기기간 W_q 는 92.9일로 산출되고, 건설거 가동률 ρ 는 97% 수준으로 산출되었다. 만일, 건설거 6개가 운용될 경우는 건설거 대기기간 W_q 는 6.7일로 줄어들고, 건설거 가동률 ρ 도 81% 수준으로 낮게 산출되었다.

Table 2. Dry dock maintenance type and cycle

Type	Long term maintenance	Mid term maintenance	Emergency maintenance
Cycle	6 years	3 years	Any time
Distribution for warships maintenance cycle (Unit = days)	○ $\text{Exp}(\frac{6 \times 365}{300})$ * 300 warships	○ $\text{Exp}(\frac{3 \times 365}{200})$ * 200 warships (Supporting ships are excluded)	○ $\text{Exp}(27)$ * New warships ○ $\text{Exp}(9)$ * Old warships

Table 3. The M/M/c equation results as changing the number of dry docks

Input	c (# of Dry docks)	3	4	5	6
	λ (arrival rate)	0.34			
	μ (service rate)	0.07			
Output	W_q (days)	∞	∞	92.9	6.7
	ρ (utilization)	1.00	1.00	0.97	0.81

일반적으로 해군함정 수리기간은 함정 크기 및 수리 종류에 따라 40~60일 정도 실시를 하는데 전체 수리기간 중 건조거 상가수리는 평균 2주를 차지한다. 이때 상가수리 이전에 함정들은 개별 부두에 계류하면서 수면 위의 함정수리를 2~3주 정도 실시한 후에 건조거 상가수리를 한다. 그러므로 함정들이 상가수리를 들어가기 전에 2~3주 정도의 대기기간을 가지고 있다. 또한 건조거 상가수리 이후에는 함정에 장비 탑재 및 시운전 테스트 등을 2~3주 정도 실시한다. 전체적인 함정 수리일정을 기준으로 상가수리 이전 수리기간은 대기기간으로 고려할 수 있다. 즉, 건조거 대기기간이 2~3주 정도 되는 것은 함정 입장에서는 수용이 가능한 대기기간이 되며 건조거 상가수리가 전체 수리기간 중간 시점에 위치할 수 있도록 일정을 계획하게 된다.

건조거 운용의 경험적 측면에서 볼 때, 건조거 가동률이 건조거의 설비와 장비유지, 인력운용의 융통성 등을 고려하여 80~85%로 유지하는 것이 필요하다. 이것은 설비의 안정적 운영과 효율적 인력운영에도 기여할 수 있고, 건조거 업무 과부하도 적절하게 조정이 가능하기 때문이다. 상기의 경험적 판단기준을 근거로 M/M/c 시스템에서 산출 결과를 분석하면 총 6개의 건조거가 필요하다는 결론을 도출할 수 있다. 하지만, 상기 분석기법은 이론적 대기행렬식을 근거로 3가지 사항을 가정하였다. 첫째 건조거의 능력을 동일한 것으로 가정하였다. 둘째 동시상가 (Batch Policy) 조건을 평균 2척으로 가정하였다. 셋째 상가수리 소요주기를 일반화 하여 반영하였다. 이러한 가정사항으로 인해, 산출된 결과의 오차범위가 다소 확대되게 된다. 따라서 함정 300척을 운용 기준으로 판단 시 오차범위 내에서 건조거는 5개에서 6개 운용이 가능 할 것으로 판단된다. 이를 세부적으로 판단하기 위해 다음 장에서는 시뮬레이션 기법을 이용하여 실제의 건조거 시스템과 유사하게 모델링하여 건조거의 대기행렬 문제를 분석하고자 한다.

4. ARENA 시뮬레이션 실험

4.1 시뮬레이션 모델링

시뮬레이션 입력자료는 연간 상가가능일, 건조거별 상가능력, 함정별 상가주기 및 상가기간 등으로 정리 할 수 있다. 이때,

연간 상가가능일은 식 (6)과 같이 표기할 수 있고, 평균 250일로 설정하였다. Alpha 지역에서 보유한 3개의 건조거 수용능력은 <Table 1>과 같이 제1 건조거는 3,000톤급 함정까지, 제2 건조거는 4,000톤급 함정까지, 제3 건조거는 15,000톤급 대형함정까지 상가가 가능한 것으로 설정하였으며, 동시상가(batch policy)시 건조거와 함정크기에 따라 1~3척이 동시상가 하도록 모의하였다. 상가기간은 건조거에 할당된 함정들 중에서 가장 상가기간이 긴 함정을 기준으로 설정하였다.

상가대상 함정은 M/M/c 분석방법 예시와 같이 총 300척으로 설정하였다. 상가주기는 <Table 2>와 같이 계획상가와 비계획상가로 구분하고 계획상가는 정기상가와 중간상가로 다시 세분화 된다. 정기상가는 6년 주기, 중간상가는 3년 주기, 비계획상가는 수시로 설정한다.

건조거 상가기간은 <Table 4>와 같이 함정별로 구분하였으며 정기상가의 경우는 대형함정은 평균 21일, 중형함정과 지원함정은 평균 14일, 소형함정은 평균 10일로 설정하였다. 이때, 건조거 상가기간의 분포는 삼각분포를 사용하였으며, 이유는 최소값, 최대값, 최빈값에 대한 정보는 있으나 세부 분포도를 알 수 없는 경우이기 때문에 삼각분포를 적용하였다. 즉, 모델링 과정에서 변수의 구간을 알고 있지만 데이터가 충분하지 않을 때 매우 유용하게 사용할 수 있다. 여기서, 정기상가의 경우 대형함정의 상가기간은 최소 14일, 최대 28일, 최빈 21일 소요되고, 중형함정의 경우는 최소 7일, 최대 21일, 최빈 14일 소요되며, 소형함정의 경우는 최소 5일, 최대 15일, 최빈 10일 소요되는 것으로 설정하였고, 본 시뮬레이션에서는 <Table 4>와 같이 삼각분포를 기준으로 건조거에서 상가기간이 이루어지도록 모의하였다.

Table 4. Distributions for the maintenance days of dry dock

Large ships	Mid size/ Supporting Ships	Small ships
Triangular (14, 28, 21)	Triangular (7, 21, 14)	Triangular (5, 15, 10)

4.2 건조거 운용 시뮬레이션 과정

시뮬레이션 모의대안은 3가지로서 3개의 건조거 운용안과 1~2개의 대형 건조거를 추가(총 4~5개 건조거)하여 운용할 때 건조거 대기기간 및 건조거 가동률을 분석하고자 한다. <Table 5>는 건조거 시뮬레이션 과정을 나타낸 것으로서, 분석과정은 3단계로 나누었다. 1단계에서는 시뮬레이션에 입력될 요소에 대한 분석이다. 이때, 미래 일정시점에서 운용될 함정의 수량, 함정별 상가정비 유형, 계획상가 주기 및 일수, 비계획상가 주기 및 일수가 분석된다. 2단계에서는 건조거별 함정 수용능력을 분석하고 동시상가 계획을 결정한다. 이후 건조거의 수량을 변화시키며 시뮬레이션 결과를 산출한다. 3단계에서는 목표연도에 건조거별 가동률 및 건조거 대기기간을 분석하여 건조거의 최적 수량을 결정하고자 한다.

Table 5. The process of simulation analysis

Deciding the dry dock requirement	Deciding Capacity of dry docks	Analysis
① # of ships	⑤ Finding the current status of dock capacity	⑧ Analyzing the utilization of dry docks and their queuing
② Dry dock Maintenance Type	⑥ Batching policy	
③ Ship life cycle and repairing days for scheduled plan	⑦ Changing the # of Dry dock	
④ Ship life cycle and repairing days for Emergency		

<Figure 2>는 건설거 운용을 ARENA 시뮬레이션으로 구현한 화면이다. Modeling process는 4단계로 구성된다. 1단계에서는 상가소요가 발생하는 Creation module로 정기상가, 중간상가, 신형함정 비계획상가, 구형함정 비계획상가 등 4개 Module로 구성하였다. 2단계 Scheduling module은 수리소요가 발생한 함정들을 건설거에 할당한다. 이때, 함정의 크기에 따라 Batch module에서 함정들의 동시상가 유형을 결정한다. 동시상가(Batch Policy)는 대형함정과 소형함정간 동시상가도 될 수 있고 소형함정들만 그룹을 지어 동시상가도 가능하다. 기본적으로 건설거의 크기와 함정의 크기에 따라 동시상가 유형이 결정되는데 중형 건설거에는 소형 함정들만 2척씩 동시상가를 할 수 있고, 중형함정이 단독으로 건설거에 들어갈 수도 있다. 대형 건설거의 경우는 대형함정과 중·소형 함정들이 같이 2~3척 동시상가도 가능하다. 따라서 Batch module에서 함정 종류에 따라 동시상가 유형을 결정하여 일정계획을 하게 된다. 동시상가시 건설거별 함정 할당은 각 건설거들이 비슷한 가동률을 가질 수 있도록 하기 위해, 건설거에 상가함정을 할당을 휴리스틱 접근법을 이용하여 확률로 부여하였다. 3단계 Dry dock module은 건설거의 처리능력을 기준으로 상가수리를 모의하게 된다.

건설거 상가기간은 동시상가된 함정 중 상가기간이 가장 긴 함정을 기준으로 일정을 계획하게 된다. 4단계 Dispose module은 함정의 수리가 완료되는 지점이다. 시뮬레이션 모의기간은 10년으로 설정하였으며 결과의 신뢰구간은 ±5%이다.

4.3 건설거 시뮬레이션 실험결과 분석

3가지 대안에 대한 시뮬레이션 결과, 10년간 건설거에서 수리를 완료한 함정 수 및 건설거 상가기간은 <Table 6>과 같이 산출된다. 우선, 수리가 완료된 함정의 수를 살펴보면, 3개의 건설거를 운용하였을 경우는 649척까지 수리를 하고 만 4년이 되는 시점에서 건설거 시스템의 과부하(Entity 150개 기준)로 인해 시스템이 다운되었다. 10년간 4개의 건설거 운용 시는 1,520척을 수리하였고, 5개의 건설거 운용 시는 1,646척을 수리하였다. 건설거 상가기간은 건설거 수량이 증가하면서 1일씩 증가하고 있는데 이것은 대형 건설거가 건설됨에 따라 수리기간이 긴 대형 함정들에게 수리 기회가 늘어나기 때문이다. 건설거 상가기간은 건설거 3개의 경우는 13.3일, 건설거 4개의 경우는 14.7일, 건설거 5개의 경우는 15.8일로 산출되었다.

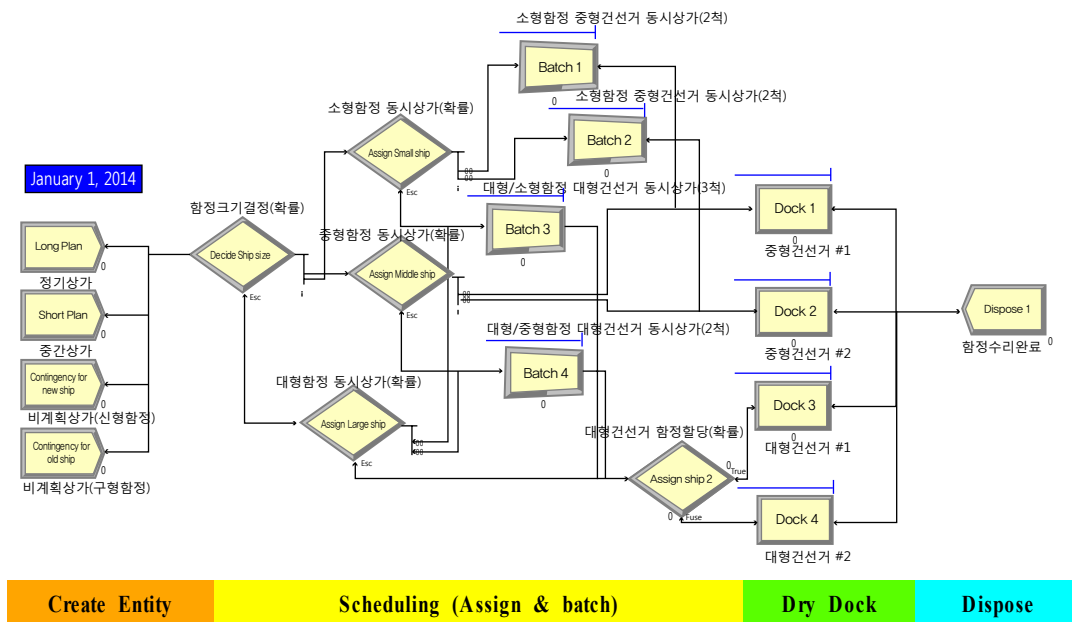


Figure 2. ARENA modeling and simulation regarding 4 dry docks operated

Table 6. The simulation results for # of repaired ships and maintenance days

Section	Option #1 (3 docks)	Option #2 (4 docks)	Option #3 (5 docks)
Total Entities(ships) for 10years	649 *System down in 4 years	1,520	1,646
Maintenance days of dry docks	13.3 days	14.7 days	15.8 days

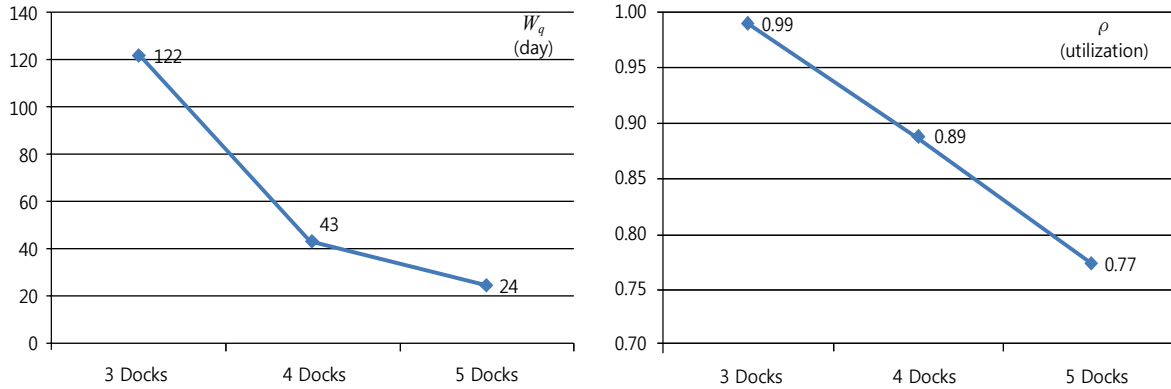


Figure 3. The simulation results for W_q (waiting mean time) and ρ (utilization rate)

건설거 대기기간은 <Figure 3>과 같이 산출되었다. 건설거를 3개 운영 할 때는 시스템이 다운되는 시점을 기준으로 대기기간이 122일로 나타나고 있다. 또한, 건설거 가동률 ρ 가 99%로 상당히 높은 수준을 보이고 있어 건설거 설비 및 인력운영에서 심각한 과부하가 발생하고 있다. 반면, 건설거가 1개 추가되면 함정별 건설거 대기기간은 43일로, 2개 추가되면 24일로 줄어들음을 보이고 있다. 건설거 4개를 운용시 3개 보다 건설거 대기기간이 79일 줄어들며, 5개를 운용하면 4개 보다 19일 더 줄어들음을 보이고 있다. 건설거 가동률 ρ 는 건설거 3개 운용시 99%, 4개 운용시 89%, 건설거 5개 운용시는 77%로 산출되었다.

일반적인 함정들의 수리일정을 고려시 건설거 대기기간이 2~3주 유지하는 것이 적정하고, 건설거 설비 및 장비, 인력운영의 융통성 등을 고려시 건설거 가동률이 80~85%를 유지하는 것이 필요하다. 이런 건설거 운용조건을 근거로 판단시 시뮬레이션 상 제시하는 적정 건설거 수량은 대형 건설거 2개를 추가 건설하여 5개로 운용하는 것이 향후 미래전력 기준으로 판단시 적정하다는 결론에 도달한다.

5. 결론

해군함정은 작전 가동률을 최대화하기 위해 다양한 정비를 받게 된다. 그 중에서 가장 중요한 정비 분야는 건설거에 들어가 수면하 부분 수리를 하는 상가수리이다. 이를 위해, 함정 운용 규모에 따른 적정 수의 건설거를 갖추는 것은 중요한 문제가 된다. 본 연구에서는 가상의 해군 Alpha 정비지역의 건설거 시스템에 대한 10년간의 건설거 운용문제를 연구하였다. 연구

방법으로 첫 번째는 이론적 대기행렬식을 이용하여 함정 상가수리 소요를 M/M/c 시스템으로 만들어 개략적으로 분석하고, 두 번째는 ARENA 시뮬레이션을 이용하여 건설거 크기, 함형별, 정비형태별로 구체화하여 적정 건설거 소요를 분석하였다.

이론적 대기행렬식인 M/M/c 시스템에서는 건설거를 연간 250일 운용하면서 300여 척의 함정들이 수리주기에 따라 건설거 상가수리를 실시할 경우, 건설거 3개 또는 4개 운용으로는 건설거 상가수리 소요를 감당하지 못하는 상황이 발생하게 된다. 하지만 건설거 5개가 운용될 경우 건설거 대기기간이 92.9일로, 가동률은 97% 수준으로 산출되었고, 건설거 6개가 운용될 경우 건설거 대기기간은 6.7일로 줄어들고, 가동률은 81% 수준까지 낮아진다. 반면, 시뮬레이션의 건설거 시스템에서는 건설거 3개 운용시는 300척에 대한 건설거 상가수리 지원이 불가하나 건설거 4개 운용시는 건설거 대기기간이 43일, 가동률 89%로 산출되었다. 또한 건설거 5개 운용시는 건설거 대기기간이 24일까지 줄어들고, 건설거 가동률도 77%까지 낮아진다.

두 방법론의 장단점을 살펴보면, 이론적 대기행렬식은 건설거 대기문제에 대해 M/M/c 시스템을 만들고 주어진 입력데이터를 분석하여 개략적인 결과를 신속하게 산출할 수 있었다. 이는, 시뮬레이션을 통한 분석 이전에 개략적인 건설거 소요를 사전분석 할 수 있을 뿐만 아니라, 시뮬레이션을 위한 입력데이터들이 이론적 대기행렬식 분석 과정에서 산출되기 때문에 시뮬레이션 모델링 과정에서 소요되는 시간을 단축할 수 있는 장점이 있다. 하지만, 각각의 건설거 수용능력이 동일하다는 가정과 동시상가 모의를 일반화 하여 분석이 이루어지기 때문에 오차가 다소 예상된다. 다음으로, 시뮬레이션을 통한 건설거 대기문제 분석은 시스템을 모델링하고 모의하는데 다소 시간이 소요되지만, 실제상황과 유사하게 반영할 수 있다

는 장점이 있다. 따라서 두 방법론의 적절한 조화를 통해 소요 분석에 대한 신뢰를 향상시킬 수 있을 것이다.

본 연구의 목적은 적정 건설거 확보를 위한 분석방법을 제시하는데 있다. 한국해군의 역사적 측면에서 본다면, 1950년 초 수십척에 불과한 연안해군에서 60년이 지난 지금 170여척의 함정을 보유하고 있으며, 앞으로도 대형함정 확보 등 대양해군으로 발전해 가려고 한다. 또한 해양경찰의 함정규모도 계속 증대되고 있으므로 현재 보유 또는 보유하게 될 함정의 규모와 크기를 고려하여 작전 가동률을 최대화하기 위한 적정 수준의 건설거의 확보는 효율적 전투력 운용을 위해 필수요소이다. 이에 본 연구는 건설거 확보를 위한 분석방법으로서 기여할 수 있을 것이다.

참고문헌

- Chae, K.-C. and Kang, M.-H. (2006), A Simple Approach to the M/M/c Queue with Synchronous Multiple Exponential Vacations, *KIIE AUTUMN CONFERENCE*, 312-315.
- Kim, Y.-M. (2009), An Optimization of Ship Building Mix under N Different Docks, *IE Interfaces*, **22**(1), 38-43.
- Ko, J.-H. and Ok, C.-S. (2012), Advanced Distributed Arrival Time Control for Single Machine Problem in Dynamic Scheduling Environment, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **38**(1), 31-40.
- Ko, J.-W., Kim, G.-G., and Yun, B.-K. (2013), 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*, **38**(3), 13-22.
- Koh, S.-G., Jang, J.-H., Choi, D.-W. and Woo, S.-B. (2011), Spatial Scheduling for Mega-block Assembly Yard in Shipbuilding Company, *IE Interfaces*, **24**(1), 78-86.
- Korea Minister of National Defense (KMND)(2013), *2012 Defense White Paper*, KMND, Korea.
- Lee, H.-W. (2006), *Queueing Theory (3rd edition)*, Sigma Press, Seoul, Korea.
- Lee, H.-Y. and Hur, S. (1999), A Two-step Approximation for the System Size of M/G/c Queueing Systems, *KORMS · KIIE AUTUMN CONFERENCE*, 585-590.
- Lee, S.-H. and Lee, I.-G. (2008), Heuristic Algorithm for the Single-machine Scheduling with Periodic Maintenance, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **34**(1), 318-327.