

# 시물레이션을 통한 해군의 복구성 수리부속 재고관리 모형 개발에 관한 연구

김성필<sup>1</sup> · 박선주<sup>1†</sup> · 정예림<sup>1</sup>

## A Simulation Analysis of R.O.K Navy's Inventory Management Model for Repairable Parts

Sungpil Kim · Sunju Park · Yerim Chung

### ABSTRACT

Recent development in science and technology has modernized the weapon systems of ROKN (Republic Of Korea Navy). Although the cost of purchasing, operating, and maintaining the cutting-edge weapon systems has been increased significantly, the national defense expenditure is under a tight budget constraint. In order to maintain the availability of ships with low cost, we need an efficient and scientific method for managing repairable parts. In this study, we propose a simulation model that computes the availability of ship's repairable parts. Our model is based on the METRIC (Multi Echelon Technique Repairable Item Control) model and extends to five sub-models to reflect the realistic situations that arise in the navy, such as planned maintenance, condemnation, lateral transshipment, and cannibalization. We have performed simulations to compute the availability of repairable parts while setting the part-level consistent throughout the five models and carried out two sensitivity analyses. The simulation results show the differences in the part availability in different models. The experiments confirm our claim that ROKN needs an inventory management system that captures the operational characteristics of the navy.

**Key words** : METRIC, Inventory management model, Simulation, Planned Maintenance, Lateral Transshipment, Cannibalization

### 요 약

과학기술의 발전으로 대한민국 해군의 함정 등의 무기체계는 첨단화, 과학화 되면서, 무기체계를 도입 및 운영, 유지하는 비용도 크게 증가한 반면, 이를 위한 국방비는 한정되어 있다. 따라서, 최적화된 예산을 사용하면서 적절한 가용도를 유지하기 위해 함정 가동에 영향을 주는 수리부속에 대한 효율적이고 과학적인 관리가 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 복구성 수리부속의 재고수준에 따른 가용도를 산출하는 시물레이션 재고관리 모형을 제시하였다. 제시된 모델은 기존의 복구성 수리부속의 다단계 재고관리모형인 METRIC 모형을 바탕으로 계획정비, 재생용, 전환보급, 동류전용 등의 현실적인 개념을 순차적으로 반영한 5개의 모델로 구성되어 있다. 실험은 각 모델에 같은 재고수준량을 입력하여 가용도의 결과값을 산출하도록 진행하였으며, 추가적인 민감도 분석을 실시하였다. 실험결과 각 모델별 가용도의 차이가 있었으며, 따라서, 해군의 운영특성을 반영한 재고관리 모델의 개발이 필요함을 확인하였다.

**주요어** : METRIC, 다단계 재고모형, 시물레이션, 계획정비, 전환보급, 동류전용

## 1. 서 론

\*이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2011-330-B00076).

접수일(2012년 12월 7일), 심사일(2013년 2월 17일), 게재 확정일(2013년 3월 4일)

<sup>1)</sup> 연세대학교 경영대학

주 저 자: 김성필

교신저자: 박선주

E-mail; boxenju@yonsei.ac.kr

과학기술이 발전함에 따라 항공기, 전자기기 등 각종 장비의 기능이 향상되고 있으나, 설계의 복잡도와 정비의 난이도는 높아지고, 운영유지비는 증가하고 있어 여러 대의 현대화된 장비를 지속적으로 운영하는 항공사, 운송업체, 군대 등은 각종 제약조건 하에서 적정 수준의 장비가

동률을 유지하기 위하여 노력하고 있다(Blenchard, 1992).

장비의 가동률을 일정수준 유지하기 위해서는 그에 상응하는 수리부속을 보유하고 있어야 한다. 군대 역시 적정 장비가동률을 보장하기 위해 많은 종류의 수리부속을 확보/보유하려고 노력하고 있지만, 늘어나는 첨단 무기체계에 비해 이를 정비/유지하기 위한 예산은 그 소요를 충족시키지 못하고 있는 것이 현 실정이다(강승혁, 2010). 특히 해군은 불안정한 동북아 정세에 대비하기 위하여 이지스함, 대형상륙함, 잠수함 등 전력의 보강에 주력하고 있지만, 이의 유지/보수를 위한 예산 확보 등에는 많은 어려움을 겪고 있다.

Table 1과 같이 대한민국 해군은 최근 최신무기체계 도입을 통해 장비자산 증가가 이루어졌으나 장비유지를 위한 예산의 비율은 거의 변하지 않았다. 장비자산가 대비 적절한 운용유지비율이 4%정도이며, 선진국의 경우 6~8%로 제시되고 있다(장기덕, 이춘섭, 2010).

이를 감안할 때 현재뿐 아니라 앞으로 최신무기체계의 유지를 위한 예산부족의 문제는 점점 심각해질 것으로 예상된다. 따라서, 한정된 예산 제약조건 하에서 요구되는 가용도를 유지하기 위한 최적의 수리부속 수준을 산출할 수 있는 재고관리모형의 지속적인 연구가 필요하다. 특히 해군은 함정 운용에 필수적인 수리부속의 수준과 가동율 간의 관계를 산출할 수 있는 과학적인 재고모델이 없으며, 이와 관련된 연구가 거의 전무하기 때문에 앞으로 이 부분에 대한 집중적인 연구가 필요하다.

장비운용에 필수적인 복구성 수리부속의 최초 재고관리 모델은 Sherbrooke(1968)에 의해 제시된 METRIC 모형으로, 이 모델을 통해 재고수준에 따른 평균재고부족량을 산출할 수 있었다. 이 모델은 나중에 Slay(1970)에 의해 Vari-METRIC 모형으로 발전하였으며, 재고수준에 따

른 가용도 산출 모델을 제시하였다. 하지만, METRIC 모형은 수리적인 모델로 많은 가정들을 내포하고 있어, 현실적인 측면에서 문제가 있다. 또한 METRIC 모형과 관련된 연구가 대부분 항공기 또는 육군의 전차에만 적용되어 해군 군함에 대한 적용 연구가 희박하다.

본 연구의 목적은 다음과 같다. 첫째, 장비운용에 필수적인 복구성 수리부속과 가용도와의 관계를 산출할 수 있는 시뮬레이션 모델을 개발한다. 둘째, 시뮬레이션 모델에 폐기율, 계획정비, 동류전용, 전환보급 등 기존의 수리적 모델에 반영되지 않았던 개념을 반영하여 가용도에 미치는 영향을 분석한다.

## 2. 기존연구검토

최초의 복구성 수리부속 재고관리 모델인 METRIC (Multi-Echelon Technique for Recoverable Item Control) 모델은 Fig. 1과 같이 다수의 기지(base)에서 운용중인 장비의 수리부속 고장에 대해 기지에서 수리하는 경우와 창(depot)으로 후송되어 복구하는 경우의 2단계 정비/보급 체계에서 평균재고부족량(EBO : Expected BackOrder)을 최소화하는 수리부속의 적정재고수준을 결정하기 위해 고안되었다. 각 기지와 창은 함정에서 고장이 발생하였을 때 기존의 재고를 함정으로 보급하게 되며, 고장난 수리부속은 복구 과정을 거쳐 사용가능한

재고로 전환된다. 수리중인 부속과 창에서 기지로 부속이 수송되는 단계의 수리부속은 재보급상태가 되며, 고장이 발생하였을 때, 교체할 재고가 없는 경우에는 재고부족상태가 되어 재고가 보충될 때 까지 대기하게 된다.

Slay(1980)는 METRIC 모델과 달리 재보급과정 재고량을 음이항 분포로 가정하여 좀 더 현실적인 값을 산출

Table 1. '01 ~ '06년 해군 장비자산가 대비 장비유지비 현황 (단위 : 억원)

구분	장비자산가	장비유지비	비율
2001년	120,971	1,948	1.6%
2002년	130,435	2,223	1.7%
2003년	134,155	2,270	1.7%
2004년	146,420	2,189	1.5%
2005년	156,401	2,294	1.5%
2006년	156,762	2,461	1.6%

\*출처 : 국방예산과 연계한 장비가동률 성과지표에 관한 연구 (이상진), 국방부, 국회 제출자료, 2007. 7.

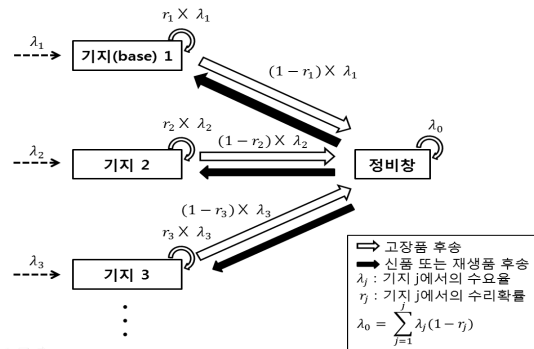


Fig. 1. METRIC 모델 개념도

하고, 재고수준에 따른 가용도를 산출할 수 있는 Vari-METRIC 모델을 제시하여, 현재 군의 재고모델에 많이 적용되어 사용하고 있다.

하지만, 위 모델들은 다음과 같은 단점이 있다. 첫째, 정비시설의 능력이 무한하다는 것, 둘째 수요율이 확정적이라는 것, 셋째, 기지간의 전환보급) 및 수리부속의 동류전용2)을 고려하지 않는다는 것, 넷째, 수리부속의 복구율을 100% 가정하였다는 것, 마지막으로, 계획정비가 반영이 되지 않았다는 것이다. 이러한 모델의 가정상의 문제점으로 인하여 가용도 계산시 실제 가용도와 다른 결과값을 산출할 가능성이 있다.

따라서, 이러한 단점을 보완하기 위하여 현실적인 개념들을 반영한 모델들이 많이 제시되었다. Lee(1987), Sherbrooke(1992), McGee et al.(2004), Cunha et al.(2005), 정일한, 윤원영(2008) 등은 기지간 전환보급이 적용되는 시물레이션 모형을 제시하였으며, Fisher, Brennan(1986) 등은 동류전용이 고려된 모형을 제시하였다.

미 공군의 Hillestad, Carrillo(1980)는 전시상황을 가정하여 수요의 불확실성, 동류전용, 기지간 전환보급, 유한정비서버 등을 고려한 Dyna-METRIC 시물레이션 모형을 제시하였으며, Pyke(1990)는 Dyna-METRIC 모형을 바탕으로 미 공군부대를 통한 적용사례를 연구를 하였다.

군함의 복구성 수리부속 관리에 대한 연구는 Rustenburg, Houtum, Zijm(1998)에 의해 이루어졌다. 연구는 기존 해군의 재고관리에 사용되었던, 아이템 접근방법과 Vari-METRIC 모형을 기초로 하는 시스템적 접근방법을 비교 분석 하였으며, 연구에서는 네덜란드 해군의 호위함(frigate) 5척, 1군대의 정비시설(NMC : Naval Maintenance Center)을 사례로 분석하였다.

기타 연구로 Zamperini, Freimer(2005)는 미 해안경비대(U.S. Coast guard)의 적정재고 수준을 산정하기 위한 VARI-METRIC 절차를 시물레이션을 통해 제시하였다. Tao, Wen(2009)는 METRIC 모형을 바탕으로 2계단 정

비모형에서 창에서만 정비능력을 가지는 closed-loop 모형을 제시하여 METRIC 모형과의 비교분석을 하였다. 정일한 등(2009)은 12개 품목에 대하여 가용도 제약하에서 시물레이션과 메타 휴리스틱을 이용하여 수리부속의 재고수준 및 수리수준을 동시에 최적화하는 모형을 제시하였다. 윤혁(2010)은 77개 품목에 대하여 2단계 정비단계 시물레이션을 연구하였다. 이 모형은 기지 75개 정비서버와 창 155개 정비서버가 있는 유한정비서버 시스템에서 EBO 계산을 통한 적정재고수준을 선정할 수 있는 알고리즘을 포함하고 있다.

위에서 보듯이 지금까지 다단계 재고모형에 관해 많은 다양한 연구들이 진행되어 왔다. 하지만, 많은 연구에서 해군의 함정 다단계 모형에 대한 연구가 거의 없었으며, 여러 현실적인 측면들을 통합적으로 연구한 경우가 드물었다.

### 3. 연구모델

#### 3.1 해군 정비/보급 시스템

본 연구의 목적은 (1) 해군의 각 정비대대(base)와 창(depot)의 수리부속 재고수준에 따른 가용도를 산출할 수 있는 시물레이션 모형을 제시하는 것과, (2) 기존의 다단계 재고모형에 폐기율, 계획정비, 동류전용, 전환보급 등이 반영된 상황하에서 가용도의 차이를 분석하는 것이다. 따라서, 연구를 위해 Fig. 2와 같이 METRIC 모형을 기반으로 연구목적이 반영된 시물레이션 모형을 고안하였다.

모델은 해군의 정비/보급 시스템을 반영하여 구상하였다. 현재 해군세력은 작전사령부 예하에 1, 2, 3함대로 구성되어 있다. 정비/보급 시스템은 군수사령부 예하에 1개의 정비창(보급창)과, 각 함대별 1개씩 총 3개의 정비대대

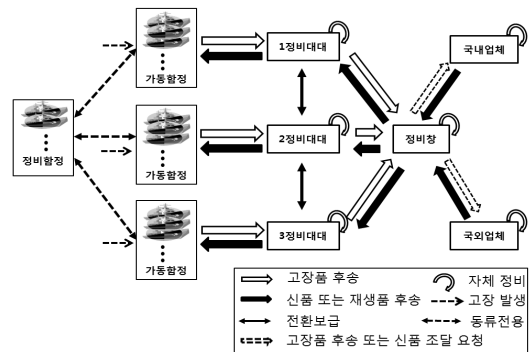


Fig. 2. 연구모델 개념도

- 1) 전환보급(lateral transshipment)은 같은 정비계단에 있는 인근 부대에 수리부속을 요청하여 수리부속을 공급 받는 것을 말한다. 이 제도를 통해 부족한 수리부속을 인근 부대에 요청하여 빠른 시간에 시스템을 복구시키는 것은 시스템의 가용도 향상에 도움이 된다.
- 2) 동류전용(cannibalization)은 장비의 가동률을 높이기 위하여 고장 또는 정비중인 장비로부터 사용가능한 부속품을 떼어내어 동일 종류의 고장난 장비에 장착하여 정상 작동시키는 것을 말한다. 동류전용은 수리부속 지원이 장기간 지연되는 경우 또는 긴급할 때 사용된다.

(보급대)로 구성되어 예하 함정을 위한 정비/보급 업무를 실시하고 있다. 해군에서 필요한 외주정비/보급 업무는 정비창(보급창)을 통해 외부업체와 실시한다. 함정은 각 함대별로 여러 종류의 함정이 배치되어 있다. 그 중 해군에서 오랜기간동안 운용하였던 호위함, 초계함은 함대별로 약 12여척씩 배치되어 있다.

따라서, 모델은 총 36척(각 정비대대별 12척)운용함정과 1개의 정비창, 3개의 정비대대, 외부정비/보급업체 등 총 4단계로 이루어진 정비/보급 시스템으로 구성하였다.

함정은 작전단계와 정비단계를 가지며, 작전단계에서 각종 출동, 훈련, 대기임무를 수행하고, 매 일정 기간마다 1.5~3개월의 정비기간을 가진다. 함정의 상태는 가동상태와 불가동상태로 나눌 수 있다. 함정은 운용에 필수적인 부품들이 고장나거나 정비기간에는 불가동 상태가 되며 상위부대인 정비대대에 수리를 의뢰한다.

정비대대는 재고가 있으면 바로 함정으로 보급하여 함정을 다시 가동상태로 만들고, 고장난 수리부속은 정비창으로 후송된다. 정비창에서는 고장난 수리부속의 상태를 진단하여 폐기여부를 판단한다. 복구결정이 내려지면 부속은 균직, 외주, 해외정비과정을 거쳐 재고로 추가되며, 폐기 결정이 내려지면 재보급 과정을 거치게 된다. 만약, 해당 정비대대와 정비창에 재고가 없으면, 인근 재고가 있는 정비대대에 전환보급을 받거나, 정비중인 함정의 부품을 동류전용한다.

### 3.2 연구모델 설계

위 개념을 바탕으로 기존의 METRIC 모형을 나타내는 연구모델-1을 설계하였으며, 이 후 새로운 현실적 측면들을 하나씩 확장시킨 모델들을 구상하여 총 5개의 연구모델을 설계하였다.

#### 3.2.1 연구모델-1: METRIC 모형

연구모델-1에서는 METRIC 개념을 반영한 시뮬레이션 모형을 제시한다. 연구모델-1은 기존의 METRIC 모형과 계획정비, 폐기율, 전환보급, 동류전용 등의 현실적인 측면들이 반영된 아래의 모형들을 상호 비교/분석을 하기 위함이다.

#### 3.2.2 연구모델2 : 계획정비 반영 모형

기존 METRIC 모델과는 달리, 해군에서는 Table 2와 같이 일정기간의 작전이 수행되고 나면 1.5 ~ 3개월 가량의 긴 정비기간을 가진다. 2007년도 해군 장비가동률 현황을 보면 해군전체의 가동률은 75%이지만, 정비중인 함

Table 2. 해군 전투함 정비 주기 및 기간

함정구분	창정비		야전정비	
	주기	기간	주기	기간
구축함	10년	90일	연 1회	6주
호위함, 초계함	6년	70일	연 2회	6주/회
			연 3회	4주/회

\* 출처 : 대한민국 해군 함정정비규정

정을 포함하면 89%에 이른다(이상진, 2010). 이는 함정 계획정비가 가동률에 약 15%정도 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 따라서, 가동율을 산출할 때 계획정비가 반영될 필요가 있다. 연구모델-2에서는 6개월에 45일, 6년에 70일간의 정비기간을 반영하였다.

#### 3.2.3 연구모델-3 : 폐기율 반영 모형

그 동안의 연구는 주로 수리부속의 수리를 100% 가능한 것으로 가정하여 추가적인 외부의 지원없이 시스템 안에서 수리부속이 계속적으로 순환하도록 가정하였다. 하지만 실제 현실에서 복구성 수리부속의 재생률은 약 60~70% 정도이다(Rustenburt, Houtum, Zijm, 2001). 재생이 불가한 수리부속은 폐기 후 재보급 절차를 거치게 되는데, 재보급 과정은 정비과정과 그 소요기간이 달라 가용도가 달리 산출할 수 있다. 따라서 연구모델-3에서는 재생율이 60%(폐기율 40%)이며, 폐기된 수리부속에 대한 재보급 절차를 반영하였다.

#### 3.2.4 연구모델-4 : 전환보급 반영 모형

기존 METRIC 모형에서는 장비고장이 발생한 후에 교체를 위한 수리부속의 여유재고가 없다면 부속이 보충될 때까지 재고부족상태(BackOrder)가 된다고 가정하였다. 하지만 이는 현실과 약간 다르다. 현실에서는 해당부대에 재고가 없더라도 인근 부대에 여유재고가 있다면 이를 전환하여 받은 후 함정을 수리할 수 있는 전환보급 개념이 있다. 전환보급의 문제는 현재 어느정도 연구가 이루어져 있고, 군에서의 적용에 대한 검토가 이루어져 있기 때문에 이 개념이 가용도에 어떠한 영향을 미치는지 분석할 필요가 있다. 따라서, 연구모델-4에서는 해당 정비대대에 재고가 없어도 인근 부대에 재고가 있다면, 전환에서 사용할 수 있는 제도를 반영하였다.

#### 3.2.5 연구모델-5 : 동류전용 반영 모형

동류전용은 (전환보급과 마찬가지로) 가동률을 향상시

킬 수 있지만, 장비의 수명과 가동률 차원에서 바람직한 방법은 아니기 때문에 특별한 경우를 제외하고는 이를 제한하고 있다. 하지만 현실적인 여건상 군수예산이 부족하거나 부속조달이 어려운 경우 실시하고 있다.

실제 2010년, 2011년 열린 국정감사에서 국방위원회가 공군본부, 해군본부로부터 제출 받은 자료에 따르면 공군 F-15K 전투기의 경우 동류전용이 2007년 203건, 2008년에 각각 350건, 2009년 481건이 발생하였으며, 해군의 경우 지난 3년간(2009~2011) 총 23회의 동류전용이 발생하였다고 한다. 동류전용은 전쟁시에 더욱더 빈번히 발생할 것으로 예상되기 때문에 현실적인 여건을 고려하여 동류전용 현상을 반영한 재고관리 모형을 개발할 필요가 있다(이혁수, 문홍구, 2012). 따라서 연구모델-5에서는 함정의 수리부속이 고장났을 때 재고를 구하기가 어렵다면 다른 장시간 정비중인 함정의 수리부속을 동류전용할 수 있도록 반영하였다.

### 4. 시물레이션 설계

본 연구에서는 물류 흐름을 잘 구현할 수 있는 아레나 13.0 버전을 이용해 해군 재고관리 시물레이션 모형을 제시한다.

#### 4.1 시물레이션 모델

연구하고자 하는 시물레이션 모델의 전체적인 정비시스템 절차는 Fig. 3과 같다. 연구모델-1은 기본적으로 함정운용 후 고장이 발생하면 정비대대 또는 정비창의 수리부속을 확인 후 보유할 경우 복구를 실시하고 고장이 났던 부속은 다시 100% 정비하여 다시 예비재고로 관리하게 된다. 연구모델-1의 기본적인 매커니즘에서 연구모델

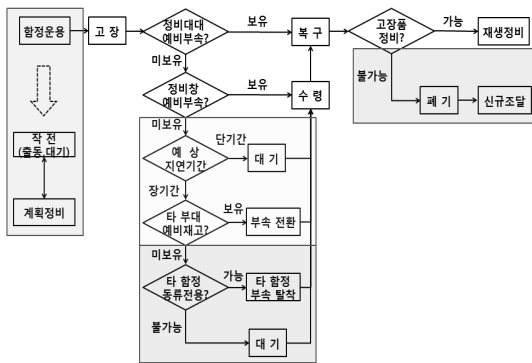


Fig. 3. 정비 시물레이션 절차

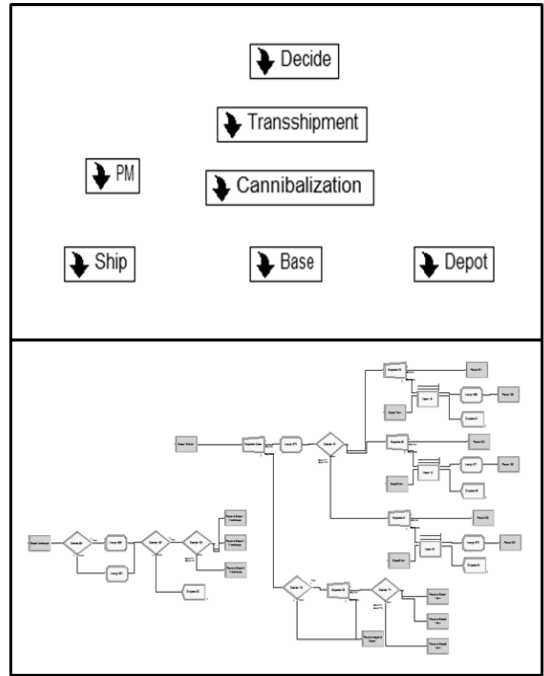


Fig. 4. ARENA 시물레이션 모델

-2는 함정운용에서 계획정비를 반영하였으며, 연구모델-3은 폐기율이 반영되도록 절차를 모델링하였다. 연구모델-4, 5는 여기서 예비부속이 없을 경우 타 부대와와의 전환보급, 타 함정과와의 동류전용이 반영되도록 설계하였다.

연구모델에 따른 시물레이션 모델은 Fig. 4의 상단과 같이 구성하였다. 연구모델-1의 기본적인 정비체계를 구현하기 위해 하부에 Ship, Base, Depot 부모모델을 바탕으로, 계획정비를 위한 PM 부모모델, 전환보급, 동류전용을 위한 Transshipment, Cannibalization 부모모델이 추가적으로 구성되어 있다. 고장난 수리부속의 폐기 및 재보급에 관한 모델은 Depot 부모모델 안에 구성되어 있다. Fig. 4의 하단 그림은 각각의 부모모델 중 Base 부모모델의 논리구조를 나타내고 있다.

#### 4.2 모델 입력자료

##### 4.2.1 수리부속 입력값

해군은 그 동안 복구성 수리부속과 소모성 수리부속을 구분하여 관리하지 못하였으며, 최근에는 비로소 복구성 수리부속품을 재생정비 대상품목으로 선정하여 관리하고 있다. 하지만, 재생정비 대상품목도 함정 운용에 필수적인

**Table 3.** 수리부속 정보

부품번호	고장분포	정비원	조달원
0001	EXPO(76)	국내	해외
0002	EXPO(202)	국내	해외
0003	EXPO(101)	국내	해외
0004	EXPO(114)	군직	국내
0005	EXPO(314)	군직	국내
0006	EXPO(314)	군직	국내
0007	EXPO(304)	군직	국내
0008	EXPO(345)	해외	해외

지에 대한 구분이 모호한 실정이다. 이로 인하여 실험에 필요한 자료수집에 큰 어려움이 있었다.

실험에 필요한 입력값은 해군의 2012년 재생정비 대상품 선정위원회에서 심의되었던 재생정비 대상품목 중 호위함, 초계함에서 운용중이며, 과거 3년간 계속 수요가 있었고, 재생정비 판정을 받은 수리부속 중 8개를 Table 3과 선정하였으며, 이 부속들이 함정 운용에 필수적이라는 가정하에 실험을 진행하였다.

#### 4.2.2 기타 입력사항

수리부속의 정비 및 보급기간은 군의 수리부속 운용자료 중 평균치를 활용하였다.(최수동, 2006) 이를 바탕으로 평균 정비 및 보급기간을 Table 4와 같이 입력하였다. 단, 활용가능한 자료는 평균치만 가지는 2차 데이터로써, 이에 대한 분포는 어떠한 작업에 착수하고 완료시까지의 분포를 선정하는데 적합한 감마분포를 따른다고 가정하였다. 또한 폐기율은 40%(재생율 60%)로, 재고부족상태에서 전환보급 또는 동류전용을 판단하는 예상재고부족

**Table 4.** 수리부속 정비 및 조달기간

입력변수	입력값	
군직 정비기간	Gamma	(0.5625, 37.33) /mean : 21, $\delta$ : 28
국내 정비기간	Gamma	(0.731, 274.751) /mean : 201, $\delta$ : 235
해외 정비기간	Gamma	(0.632, 440.764) /mean : 284, $\delta$ : 357
국내 조달기간	Gamma	(56.25, 3.047) /mean : 270, $\delta$ : 36
국외조달 기간	Gamma	(7.235, 58.738) Mean : 425, $\delta$ : 158

대기기간을 15일로 설정하였다. 동류전용을 결정할 후 대상함정을 선정할 때는 30일을 설정하여 그 이상의 기간이 남은 함정에서만 동류전용을 실시하도록 하였다. 수리부속 재고의 초기 입력값으로는 각 정비대대 및 정비창에서의 모든 수리부속의 재고를 1로 입력하였다.

#### 4.3 실험진행

앞서 설명하였던 5가지 연구개념들을 바탕으로 각자 상황에 맞게 시뮬레이션 변수를 조절하면서 실험을 진행하여, 연구모델에서 각 재고수준별로 가용도 및 기타 결과값이 어떻게 변하는지 분석하였다. 재고수준에 따른 결과값의 차이를 확인하기 위하여 Table 5와 같이 8개의 경우로 구분하여 각 연구모델에 똑같은 재고값을 입력하였다.

또한, 추가적으로 두 가지의 민감도 분석을 실시하였다. 첫째, 재고수준별에 따른 가용도의 변화값을 확인하기 위하여 모델 5를 대상으로 하여 정비창의 8개 부속의 재고를 하나씩 변화시켜, 그 변화값을 도출하였다. 둘째, 폐기율이 전체 가용도에 어떠한 영향을 미치는지 확인하기 위하여 모델 3과 5의 폐기율값을 조정하여 그 결과값을 도출하였다. 시뮬레이션은 총 2,000일을 가정하여 실험을 진행하였으며, 실험결과의 신뢰성을 위하여 각 실험모델별로 100회의 반복실행을 실시한 후 그 평균값을 구하였다.

### 5. 실험결과

#### 5.1 연구모델별 실험결과

모델별 실험결과는 Table 6과 같다. Table에 나타난 결과를 통해 함정 재고수준별 가용도를 산출할 수 있다는 것을 알 수 있다. 모델-1과 2의 경우 모든 경우에 있어서 16~20% 정도의 높은 차이를 보였다. 이는 주기적으로 오랜기간 계획정비를 실시하는 해군의 정비시스템이 가

**Table 5.** 정비부대별 부품 재고수준

구분	1정비대대	2정비대대	3정비대대	정비창
1	0	0	0	0
2	0	0	0	1
3	0	0	1	0
4	1	0	0	1
5	1	1	0	0
6	1	1	1	0
7	1	0	1	1
8	1	1	1	1

Table 6. 모델-재고수준별 가용도 (단위 : %)

구분	모델1	모델2	모델3	모델4	모델5
1	83.74	67.95	62.26	62.46	72.77
2	91.35	73.26	68.85	69.31	76.52
3	87.69	71.07	67.12	69.21	76.34
4	93.56	75.10	72.29	73.50	78.48
5	91.68	73.90	71.16	73.76	78.68
6	95.63	76.85	74.67	76.39	79.26
7	95.76	76.91	74.87	76.24	79.22
8	98.00	78.65	76.86	78.31	79.67

용도에 크게 영향을 미칠 수 있음을 확인시켜 주었다. 따라서, 해군의 재고관리 모형에는 계획정비가 반영시킬 필요가 있다.

모델-2와 3의 경우 재고수준이 낮을 때 약 5.7%의 가용도 차이를 보였으며, 재고수준이 높은 경우 약 1.8~2%정도의 차이를 보여주었다. 이는 고장난 부속을 완전히 수리할 수 있는 경우와 비교하여 현실적인 재생율을 고려하였을 경우에는 가용도의 차이가 존재한다는 것을 보여준다.

모델-3과 4의 경우 전반적으로 0.5~2.6%의 가용도 차이를 보여 전환보급의 효과는 예상만큼 크지 못했다. 이는 실험을 위해 진행된 부품이 8가지로 낮았으며, 부품의 수요율이 크지 않았기 때문에 가용도의 차이가 크지 않았던 것 같다. 하지만 전환보급은 인근 부대의 예비 부속을 활용하여 가용도를 높일 수 있는 장점을 가진 좋은 제도로서 향후 전환보급의 효율성에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

모델-4와 5의 경우를 비교하였을 때 재고수준이 낮았던 1, 2, 3의 경우 약 7~10%의 높은 가용도 차이를 보였으며, 재고수준이 높았던 4, 5, 6, 7, 8의 경우 그 차이는 줄어들어 약 1.3~4.9% 정도를 보여주었다. 이는 동류전용이 재고수준이 낮아 부대에 여유재고가 없는 경우 가용도를 높여줄 수 있는 효율적인 수단임을 확인시켜 주었다.

### 5.2 민감도 분석

민감도 분석은 두 가지 경우를 분석하였다. 첫째, 모델-5에서 정비대대의 모든 수리부속 재고를 0으로 설정한 후 정비창의 재고를 0에서부터 부품별 1개씩 늘려가며 가용도를 산출하였다. 둘째, 모델-3, 5에서 정비창에만 모든 부품의 재고를 1로 설정한 다음 폐기율을 100%부터 0%까지의 경우로 산정하여 이를 조정해가며 가용도를 산출

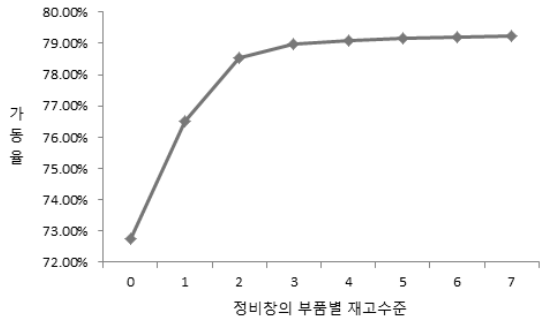


Fig. 5. 정비창의 부품별 재고수준에 따른 가용률

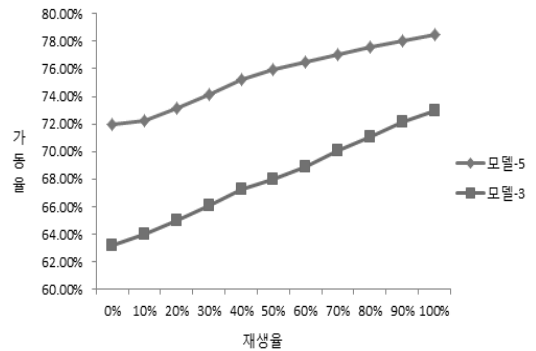


Fig. 6. 연구모델-3,5의 민감도(폐기율) 분석 결과

한 경우를 분석하였다.

첫 번째 민감도 분석의 결과는 Fig. 5와 같다. 재고가 하나도 없는 경우는 72.77%의 가용도를 기록하였으며, 모든 부품의 재고를 1씩 늘려갈 경우 처음에는 가용도가 급격히 증가하다가, 점차 완만하게 증가하고, 일정 수준의 재고부터는 가용도의 변화가 거의 일어나지 않는 것을 확인할 수 있다.

두 번째 민감도 분석 결과는 Fig. 6과 같다. 두 가지 모델에서 모두 폐기율이 낮아질수록 가용도는 점차 증가하였다.

## 7. 의 의

해군의 함정 복구성 수리부속의 시물레이션 모델에 대한 실험결과는 다음과 같은 시사점을 준다. 첫째, 함정 운용에 필수적인 복구성 수리부속의 시물레이션 재고관리 모델을 통해서 입력된 재고수준에 따른 가용도를 얻을 수 있다는 교훈을 얻었다. 그 동안 해군은 수리부속 재고수준에 따른 가용도를 산출할 수 있는 재고관리 모델이 없

이 과거의 실적자료 또는 유사장비의 과거 실적자료를 통한 수요예측에만 의존하여 재고수준을 선정하였다. 하지만, 본 실험결과를 통해 복구성 수리부속의 경우 좀 더 체계적이고 과학적인 재고수준 분석이 가능하다는 것을 확인할 수 있었다.

둘째, 본 논문에서 제시한 5가지 형태의 연구모델을 통해 동류전용, 전환보급 등의 각 종 개념들이 가용도의 변화에 어떻게 영향을 미쳤는지 확인할 수 있다는데 의의가 있다. 이는 METRIC 모형과 같은 수리적인 재고관리 모형만으로는 실제 현실을 완벽히 반영하기가 힘들다는 점을 감안할 때, 좀 더 현실적인 가용도를 산출하는데 도움이 될 수 있다. 특히 동류전용이 반영된 모델 같은 경우에는 전쟁발발 같은 급박한 상황하에서의 가용도 산출에도 활용될 수 있을 것이다.

재고관리 모델의 5가지 경우에 대한 실험이외에 실시한 재고수준, 재생율에 대한 민감도 분석 또한 의의를 가진다. 우선, 재고수준별 가용도 산출결과를 바탕으로 재고수준과 가용도가 선형관계가 아니라는 것을 각인시켜 주었다. Fig. 3과 같이 재고수준을 높인다고 해서 가용도가 같은 비율로 증가하는 것이 아니라, 증가폭이 점차 감소하다가 어느 수준부터는 가용도의 변화가 거의 나타나지 않았다. 따라서, 이러한 결과들은 향후 목표가용도를 달성하기 위해 재고수준을 어떻게 가져가야 하는지 판단할 수 있는 기준이 될 수 있다.

둘째, 폐기율과 가용도간의 모델 산출결과를 통해 앞으로 군의 경제적인 재고관리를 위해서 재생율의 향상이 필요하다는 교훈을 얻을 수 있다. 해군은 현재 린6시그마 운동의 일환으로 해외정비품목의 국내정비능력 계발을 지속적으로 추진 중이다. 해외정비의 경우 높은 정비단가로 인하여 정비 후 활용가치가 낮아 폐기될 확률이 높을 수 있다. 하지만, 해당 정비능력을 국내업체 또는 군 자체적으로 정비할 수 있는 능력을 확보한다면 정비단가를 낮추어 상대적으로 정비 후 활용가치를 높여 폐기될 확률을 낮출 수 있다.

민감도 분석 결과는 현재 추진중인 국내정비능력 계발에 더 큰 당위성을 부여할 수 있으며, 이에 더하여 해외정비품의 국내정비능력 계발에 대한 효과를 분석하는데도 유용하게 쓰일 수 있을 것이다.

## 8. 결론 및 한계, 향후 연구방향

이번 연구를 통해 해군의 복구성 수리부속의 재고관리 모형개발에 대한 가능성을 발견하였다. 본 연구에서 제시

한 복구성 수리부속의 시뮬레이션 재고관리 모형은 기존의 METRIC 모형을 바탕으로 여기에 폐기 및 재보급 과정, 계획정비, 동류전용, 전환보급 등의 현실적인 상황들을 반영하여 재고수준별 가용도를 산출할 수 있게 하였다. 이러한 재고관리 모형을 좀 더 연구 및 발전시킨다면, 향후 재고수준 결정시 적정 가용도를 유지할 수 있는 최적 재고수준을 결정하는데 큰 역할을 할 것으로 기대된다.

본 연구에서는 다음과 같은 한계점을 가진다. 첫째, 가용도에 영향을 미치는 복구성 수리부속 등과 관련된 데이터가 명확하게 존재하지 않아 가정을 할 수 밖에 없었다. 아직, 해군에서는 복구성 수리부속의 재고수준과 가용도에 관한 체계적인 연구가 부족한 실정으로, 따라서 이에 관련된 데이터를 수집하는데 많은 어려움을 겪었다. 향후 해군에서는 재고관리를 위한 체계적이고 실증적인 데이터를 축적할 필요가 있다.

둘째, 본 연구모델에서는 가용도와 재고수준의 추이를 분석하였으나, 가용도 산출을 바탕으로 한 적정재고수준 산정 알고리즘을 제시하지 못하였다. 현재 가용도를 바탕으로 적정 재고수준을 반영할 수 있는 알고리즘을 개발하는 연구를 진행중이다.

## 참 고 문 헌

1. 해군규정 4-2-3, 규01, *해군합정정비규정*, 해군본부, 대전.
2. 강승혁(2010), *해군 신·구 합정별 정비주기 개선발전 방안*, 국방대학교 안보과정 연구논문.
3. 윤혁(2010), *수요율의 불확실성과 유한정비서버를 고려한 적정재고수준 선정모형 연구*, 박사학위논문, 국방대학교.
4. 이상진(2010), *국방예산과 연계한 장비자동률 성과지표에 관한 연구*, 국방대학교 국가안전보장문제연구소, 서울.
5. 이혁수, 문홍구(2012), “장비 중심의 수리부속 재고관리 모형의 필요성과 개발 방향”, *주간국방논단*, 제1403호, pp. 1-8.
6. 정일한, 윤원영, 김호균(2009), “가용도 제약하에 시뮬레이션과 메타 휴리스틱을 이용한 MIME 시스템의 수리수준 및 수리부속 할당 동시 최적화.” *경영과학*, 제26권, 제1호, pp. 209-223.
7. 정일한, 윤원영(2008), “가용도 제약하에 MIME 시스템에서 유전알고리즘과 시뮬레이션을 이용한 수리부속 최적화.”, *품질경영학회지*, 제26권, 제2호, pp.9-19.
8. 최수동, 우제웅, 선미선(2008), *사용자 중심의 군수지원 성과분석 및 평가-2006년 중심으로*, 한국국방연구원, 서울.
9. 최창근(2011), *국방과학기술용어사전*, 국방기술품질원, 서울.
10. Blanchard, S.B. (1992), *Logistics Engineering and Management*, 4th Edition, Pearson Education Inc, New



- jersey.
11. Cunha, M.E., Barbosa Povoá, A.P. and Lopes, A.A. (2005), *A multi-echelon system's simulation model for repairable and consumable items management : A case study*, Sixteenth annual Conference of POMS, Chicago.
  12. Fisher, W.W., Brennan, J.J. (1986), "The Performance of Cannibalization Policies in a Maintenance System with Spares, Repair, and Resource Constraints", *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol. 33, pp. 1-15.
  13. Hillestad, R.J. and Carrillo, M.J. (1980), *Models and techniques for recoverable item, stockage when demand and the Repair Process are nonstationary - part I: performance measurement*, Rand Corporation Report No. N-1482-AF, The Rand Corporation, Santa Monica.
  14. Lee, H.L. (1987), "A multi-echelon inventory model for a repairable item with emergency lateral transshipments", *Management Science*, Vol. 31, pp. 1247-1256.
  15. McGee, J.B., Rossetti, M.D., and Mason, S.J. (2004), *Simulating transportation practices in multi-indenture multi-echelon(MIME) systems*, Proceedings of the 2004 Winter Simulation, Washington, D.C., Vol.1, pp.974-981.
  16. Pyke, D. F.(1990), "Priority repair and dispatch policies for repairable-item logistics systems", *Naval Research Logistics*, Vol. 37, pp. 1-30.
  17. Rustenburg, W.D., van Houtum, G.J., Zijm, W.H.M. (1998), *Spare parts management at the Royal Netherlands Navy: Vari-metric and beyond*, BETA Working Paper WP-39, University of Twente.
  18. Rustenburg, W.D., van Houtum, G.J., Zijm, W.H.M. (2001), "Spare parts management at complex technology-based organizations: An agenda for research", *International Journal of Production Economics*, Vol. 71, pp. 177-193.
  19. Sherbrooke, C.C. (1968), "METRIC : A Multi-Echelon Technique for Recoverable Item Control.", *Operations Research*, Vol. 16, pp. 122-141.
  20. Sherbrooke C.C. (1992), "Multi-echelon inventory systems with lateral supply", *Naval Reserch Logistics*, Vol. 39, pp. 29-40.
  21. Slay, M.F. (1980), *Vari-METRIC: An approach to modeling multi-echelon resupply when the demand process is poisson with a gamma prior.*, Technical Report AF301-3, Washington, D. C.: Logistics Management Institute.
  22. Tao, N., Wen, S. (2009), *Simulation of a closed loop multi-echelon repairable inventory system*, International Conference on Management Science & Engineering (16th), pp.663-668.
  23. Zamperini, M.B., Freimer M. (2005), *A simulation analysis of the Vari-METRIC repairable inventory optimization procedure for the U.S. coast guard*, Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference, Orlando, pp. 1692-1698.



**김 성 필** (senseksp@gmail.com)

2007 해군사관학교 군사전략학과 학사  
2011~현재 연세대학교 경영대학원 석사 재학

관심분야 : 모델링&시뮬레이션, 국방운용분석, 재고관리



**박 선 주** (boxenju@yonsei.ac.kr)

1989 서울대학교 컴퓨터공학과 학사  
1991 서울대학교 컴퓨터공학과 석사  
1999 University of Michigan(미) Computer Science & Engineering 박사  
1999~2005 Rutgers University(미) 조교수  
2005~2013 연세대학교 경영대학 조·부교수  
2013~현재 연세대학교 경영학과 교수

관심분야 : 온라인 소셜네트워크, 마이크로 그리드, 경영과학, 비즈니스 시뮬레이션, 의사결정론



**정 예 림** (yerimchung@yonsei.ac.kr)

2000 연세대학교 경영학과 학사  
2005 Paris 1 University 응용수학과 석사  
2010 Paris 1 University 컴퓨터 사이언스 박사  
2008~2010 Paris 1 University 연구원  
2010~2011 서울대학교 산업공학과 연구원  
2011~현재 연세대학교 조교수

관심분야 : 조합 최적화 이론, 근사이론, 역최적화 이론