

# 해상초계기 주요 수리부속 재고수준이 운용가용도에 미치는 영향 연구

박지훈<sup>1)</sup> · 마정목<sup>\*,1)</sup>

<sup>1)</sup> 국방대학교 국방과학학과

## The Impact of P-3 Essential Assemblies on Operational Availability

Jihoon Park<sup>1)</sup> · Jungmok Ma<sup>\*,1)</sup>

<sup>1)</sup> Department of Defense Science, National Defense University, Korea

(Received 11 March 2019 / Revised 2 May 2019 / Accepted 17 May 2019)

### ABSTRACT

This paper studies the optimal inventory levels of P-3 assemblies in order to assure the required operational availability. A simulation model is developed for identifying the impact of the inventory levels on operational availability. Based on the result of the simulation model, multiple regression analysis is performed. Finally, the optimal inventory levels of critical P-3 assemblies are determined with integer programming. Additionally, sensitivity analysis of depot maintenance period is also conducted for its impact on the operational availability.

Key Words : Operational Availability(운용가용도), Optimal Inventory Level(최적 재고수준), Simulation(시뮬레이션), Multiple Regression Analysis(다중 회귀분석), Integer Programming(정수계획법)

### 1. 서론

운용가용도는 군의 전투준비태세 척도로 사용되는 핵심요소로서 전투준비태세 향상과 한정된 국방예산의 경제적이고 효율적인 운용을 위해 반드시 필요하다. 특히, 수리부속의 적정 재고수준 판단은 목표 운용 가용도 달성과 예산절감에 직접적인 영향을 미치므로 과학적이고 체계적인 접근이 요구된다.

운용가용도를 고려한 수리부속의 적정 재고수준을 판단하기 위해 분석적 모형을 통한 연구가 많이 이루어졌다. 분석적 방법은 Sherbrooke<sup>[1]</sup>가 제시한 METRIC (Multi-Echelon Technique for Recoverable Item Control) 모형을 기반으로 발전하였는데, METRIC 모형은 창과 기지의 평균 재고부족량을 최소화하는 창, 기지 간의 최적배분 조합을 찾는 개념이다. 이후 Muckstadt<sup>[2]</sup>, Slay<sup>[3]</sup>, Hillestad<sup>[4]</sup>에 의해 MOD-METRIC, VARI-METRIC, DYNA-METRIC 모형으로 발전한다. MOD-METRIC은 부품 간 상하관계를 고려할 수 있었으며, VARI-METRIC은 부품재고 분포를 포아송 분포에서 음이항 분포를

\* Corresponding author, E-mail: jxm1023@gmail.com  
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

적용시켜 기존 방법보다 최적해와 일치율이 높음을 보였다. 그리고 DYNA-METRIC은 시간에 따른 부품 수요율의 변화를 반영했다.

이러한 지속적인 발전에도 불구하고, METRIC 모형은 가용도에 따른 재고량 판단 시 예방정비를 고려하지 않으며, 재고보충 기간 등의 군수 및 행정 지연시간을 확정적으로 고려함에 따라 현실을 반영하는 특성이 부족하다는 제한사항이 있었다. 실제 무기체계는 고장에 의한 비계획정비보다 예방정비인 계획정비로 인한 불가동이 많고, 군수 및 행정 지연시간에 대한 편차도 상당히 크게 나타난다.

이처럼 현실에서 일어나는 복잡한 정비절차를 비교적 정확하게 표현하고, 수리부속 수요나 행정 지연시간 등이 다양한 분포를 따르더라도 적용이 가능한 시물레이션을 이용한 연구가 현재는 많이 이루어지고 있다. Tao and Wen<sup>[5]</sup>은 METRIC 모형의 제한사항인 수리시간, 주문 및 수송시간의 다양한 분포 값을 시물레이션에 적용하였다. 이를 통해 수리부속 재고수준 산출을 위해 시물레이션이 METRIC 보다 효과적이라는 것을 밝혔다.

우리 군에서도 항공기뿐만 아니라 육·해상 기동장비까지 시물레이션을 이용한 수리부속 재고수준이 운용가용도에 미치는 영향에 대해 연구를 진행하였다. 전홍주·마정목<sup>[6]</sup>은 해병대의 상륙돌격장갑차를 대상으로 수리부속 및 정비대체장비 재고수준이 운용가용도에 미치는 영향을 시물레이션에 기반하여 연구하였다. 이상진 등<sup>[7,8]</sup>은 시물레이션을 적용하여 KF-16 항공기 엔진과 모듈의 적정 재고수준이 운용가용도에 미치는 영향을 연구하였다. 항공기 관련 연구들은 단발엔진 항공기 특성상 엔진이 전체 운용가용도에 미치는 영향이 가장 크기 때문에 엔진과 모듈의 재고수준에 대한 연구를 중점적으로 진행하였다.

하지만, 본 연구는 해군의 해상초계기를 대상으로 시물레이션을 적용하여 주요 수리부속 재고수준이 운용가용도에 미치는 영향에 대해 살펴 보고자하며, 앞서 언급한 연구들과의 차이점은 다음과 같다.

첫째, 해군 정비/보급체계를 바탕으로 해상초계기를 연구대상으로 적용한 점이다. 해상초계기는 북한뿐만 아니라 다양한 해양안보 위협, 특히 주변국 잠수함 증강에 대응하기 위한 핵심전력으로 그 중요성을 인정받아 현재는 해상초계기-II 사업이 진행 중이다. 하지만, 현재까지의 관련연구는 Table 1과 같이 공군의 F-16 등 3종의 항공기가 대상이었으며, 해상초계기에

대한 연구는 이루어지지 않았다. 본 연구를 통해 해상초계기 주요 수리부속이 운용가용도에 미치는 영향에 대해 확인 가능할 것으로 판단했다.

Table 1. Relevant prior research

연구자	연구대상		자료기간
Stearns(1998) <sup>[9]</sup>	F-18	예비모듈	18개월
유승낙(2002) <sup>[10]</sup>	F-16	예비엔진 및 모듈	2년
배주근(2006) <sup>[11]</sup>	F-16		5년
김민규(2009) <sup>[7]</sup>	(K)F-16		12년
김진호(2014) <sup>[8]</sup>	KF-16		5년

둘째, 복구성 수리부속 이외에 소모성 수리부속까지 연구대상 품목으로 적용하였다. 복구성 품목은 단가가 높으며 고장 발생 시 수리 후 재사용이 가능하고, 소모성 품목처럼 주기적으로 수요가 발생하는 것이 아니라 확률적으로 발생한다. 또한, 장비운용에 핵심적인 수리부속으로 운용가용도에 직접적인 영향을 미치므로 기존 연구에서는 중요도가 소모성 품목보다 높게 여겨졌다. 이러한 이유로 현재까지 기존연구 대상은 복구성 품목에 한정되어 있었다. 하지만, 본 연구에서는 해상초계기의 5년간 정비실적을 분석한 결과, 단가가 높으며 수요가 확률적으로 발생하고, 고장 발생 시 항공기가 불가동이 되는 소모성 품목을 식별하였다. 이에 따라 소모성 수리부속도 운용가용도 분석에 반드시 필요할 것으로 판단했다.

셋째, 외주정비 소요시간 민감도 분석에 대한 연구를 실시하였다. 연구대상 품목의 외주정비 소요시간을 분석한 결과, 국내/국외정비 모두 장기간 소요되는 것을 확인하여, 외주정비 소요시간의 단축이 수리부속 재고수준과 운용가용도 향상에 미치는 영향에 대해 연구가 필요하다고 판단하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 연구수행 절차

해상초계기 주요 수리부속 재고수준이 운용가용도에 미치는 영향을 살펴보기 위해 다음과 같이 연구를 수행하였다. 먼저 연구대상 수리부속을 선정하기 위해

해상초계기 00대에 대한 5년간 정비실적 자료를 분석한 후 중요도에 따라 6개의 품목을 선정하였다. 또한, 선정된 수리부속의 실제 정비 및 보급지원체계를 기반으로 시뮬레이션 모델을 구성하였다. 둘째, 모델의 각 단계에 필요한 시간자료 산출을 위해 6개 품목에 대한 RAM(Reliability, Availability, Maintainability)분석을 실시 후, 품목별 재고수준에 2<sup>6</sup>인자 실험설계법을 적용하여 시뮬레이션을 실행했다. 본 연구의 독립변수는 6개의 수리부속으로 요인의 수(k)는 6이므로 시나리오의 개수는 64(=2<sup>6</sup>)개가 된다. 셋째, 수리부속 별 재고수준을 독립변수로 설정하고, 시뮬레이션의 결과인 운용가용도를 종속변수로 한 다중 회귀분석을 통해 메타모델을 구하였다. 넷째, 목표 운용가용도를 달성하면서 비용을 최소화하기 위해 정수계획 모형을 실행하여 수리부속 적정재고 수준을 산출하였다. 끝으로 외주정비 소요기간에 따른 민감도 분석을 실시하여 외주정비 소요기간의 단축이 재고감소와 예산절감에 기여할 수 있는지 확인하였다. Fig. 1은 연구수행 절차를 도식화한 것이다.

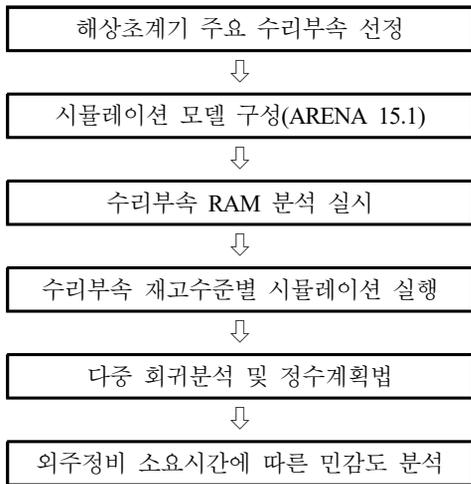


Fig. 1. Study process

2.2 연구대상 선정

해상초계기의 운용가용도에 영향을 미치는 수리계통에는 기관, 기체, 여압, 유압, 전기/계기, 전자/무장의 총 6가지가 있으며, 가장 큰 영향을 미치는 계통의 수리부속 선정을 위해 해군 장비정보체계를 이용하여 5년간('13 ~ '17년)의 정비 실적을 수집하였다. 그리고 해상초계기가 정비로 인하여 부여된 임무를 수행할

수 없는 불가동 상태일 때 항공기 수리계통을 분석한 자료는 Table 2와 같으며, 계획정비와 비계획 정비를 모두 포함한 결과이다.

Table 2. Maintenance part analysis

순 위	계 통	정비 횟수	비 율(%)
1	기관	115	55.02
2	기체	49	23.44
3	전기/계기	17	8.14
4	전자/무장	13	6.22
5	유압	12	5.74
6	여압	3	1.44

Table 2와 같이 해상초계기 운용가용도에 가장 큰 영향을 미치는 계통은 기관계통으로 전체의 55.02 %를 차지하고 있었으며, 기체계통과 더하면 총 78.46 %를 차지했다. 이에 따라 해상초계기 불가동에 가장 큰 영향을 미치는 2가지 계통(기관, 기체)에 대한 수리부속 사용실적을 분석하였으며, 그 결과는 Table 3과 같다.

Table 3. Analysis of engine and airframe maintenance

계 통	품 명	정비 횟수	비 율(%)
기관	프로펠러	42	36.52
	엔진조립체	22	19.13
	프로펠러 컨트롤	14	12.17
	연료조절기	11	9.56
	압축기	7	6.08
기체	방풍창	27	55.1

Table 3을 통해 확인할 수 있듯이 프로펠러 등 5개 품목이 기관계통 수리부속 전체의 83.46 %를 차지하고, 모두 단가가 높은 복구성 품목이다. 방풍창은 기체계통 수리부속 전체의 55.1 %를 차지하고 있었으며, 단가가 높으며 고장 발생 시 항공기가 불가동이 되는 소모성 품목이다. 따라서 본 연구에서는 운용가용도 향상을 위한 적정 재고량 산출을 위해 Table 3에 표시된 기관계통 상위 5가지 수리부속과 기체계통 1가지 수리부속을 연구대상으로 선정하였다.

2.3 가정사항

본 논문의 시뮬레이션 모델은 다음사항을 가정하였다. 첫째, 기관계통 수리부속 5품목은 단가가 높아 정비 현장에서 재생하여 사용하는 품목으로 폐기되지 않고 모두 재생 가능하다. 둘째, 정비규정에서 극히 급박한 경우를 제외하고 동류전용을 제한하므로 본 모델에서는 수리부속 부족 시 동류전용은 허용하지 않는다. 셋째, 수리부속 교체가 이뤄지지 않는 정비행위(장/탈착, 조정 등)는 운용가용도에 미치는 영향이 미비하여 비계획 정비 발생 대상에서 제외한다.

3. 시뮬레이션 모형

3.1 시뮬레이션 모델 구성

시뮬레이션 모델은 실제 해군 정비/보급체계, 정비 교범을 바탕으로 Fig. 2와 같이 설계되었으며, 실무자 자문에 의한 사전 개념 검증을 실시하였다.

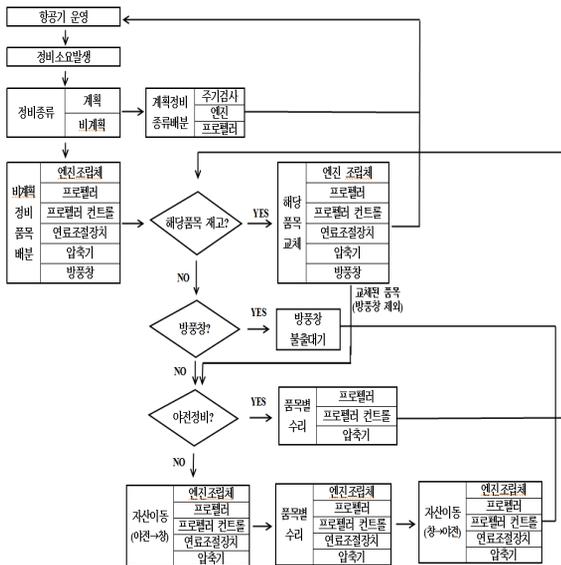


Fig. 2. Simulation model

시뮬레이션 모델에서 구현된 항공기 정비과정을 살펴보면, 우선 항공기 운용에 따라 예방차원의 계획정비와 엔진, 프로펠러 등의 고장에 의한 비계획정비가 발생한다. 계획정비의 경우 정비교범에 의거하여 32주를 주기로 실시하는 주기검사와 엔진과 프로펠러 사용 시간에 따른 시간검사가 있으며 계획정비 기간에는 항

공기가 불가동 상태에 있게 된다. 비계획 정비의 경우 본 연구에서 선정한 6가지 수리부속들의 정비소요가 발생하면, 해당 항공기는 불가동 상태에 있게 된다. 정비 부대에서는 보유하고 있는 예비 수리부속 수량을 확인하여 재고가 있으면 해당 수리부속을 교체하여 항공기를 가동상태로 만든다. 재고가 없으면 항공기는 예비 수리부속이 확보될 때까지 불가동 상태가 된다.

정비가 필요해 항공기에서 분리된 수리부속은 야전 정비 시설에 입고되어 수리를 받으며 야전정비 결과 이상이 없으면 예비재고로 쓰이게 된다. 야전정비가 불가하거나 야전정비 능력을 초과할 경우에는 창으로 발송하여 국내 또는 국외 창정비를 수행하고, 창정비 완료 후 기지로 이송하여 예비재고로 쓰이게 된다.

3.2 시뮬레이션 입력자료

시뮬레이션에 입력할 자료는 해군 장비정보체계의 2013년부터 2017년까지 5년간 정비실적 자료 및 야전 부대 자료를 활용하였다. 시뮬레이션 모델에 필요한 자료 유형을 다음과 같이 도출하였다.

첫째, 정비소요를 분석하기 위한 정비발생 시간간격이다. 먼저 5년간 항공기 운용시간과 예방정비(242건, 58.2 %) 및 비계획정비(174건, 41.8 %)를 통해 수리부속 별 MTBF(Mean Time Between Failure)와 MTBM(Mean Time Between Maintenance)을 도출하였으며 그 결과는 Table 4와 같다. 시뮬레이션에 필요한 정비발생 시간간격은 Table 4의 6가지 수리부속을 종합한 MTBM과 연간 평균 비행시간 00을 이용하여 분석한 결과 약 70.19일의 값이 도출되었다 시뮬레이션에는 해상초계기 정비발생 시간간격을 70.19일의 지수분포를 이루도록 반영하였다.

Table 4. MTBF & MTBM of P-3 items

품명	MTBF(시간)	MTBM(시간)
프로펠러	439.5	207.6
엔진조립체	1387.9	212.6
프로펠러 컨트롤	1318.5	693.9
연료조절기	3767.3	1054.8
압축기	643.2	439.5
방풍창	1098.8	627.9
합계	154.21	63.39

둘째, 계획정비별 실시 비율 및 정비기간이다. 계획 정비는 정비규정에 의거 엔진과 프로펠러 가동시간에 따른 시간검사와 가동시간에 관계없이 32주를 주기로 실시하는 주기검사가 있으며, Table 5와 같은 결과를 도출하였다.

Table 5. Allotments and distributions of scheduled maintenance

계획정비	비율(%)	확률분포(일)
주기검사	44.7	8+LOGN(5.41, 3.99)
엔진 시간검사	35.9	EXPO(0.462)
프로펠러 시간검사	19.4	GAMM(1.05, 1.36)

셋째, 비계획 정비의 수리부속별 정비 비율 및 교체 정비 기간이다. 그 결과는 Table 6과 같으며 확률분포는 5년간 정비시간 자료를 바탕으로 Arena 입력분석기를 이용하여 산출하였다.

Table 6. Allotments and distributions of unscheduled replacement maintenance

품명	비율(%)	확률분포(일)
프로펠러	35.1	LOGN(3.71, 3.96)
엔진조립체	11.1	TRIA(2, 8, 14)
프로펠러 컨트롤	11.7	5.81*BETA(0.947, 1.64)
연료조절기	4.1	LOGN(1.8, 2.19)
압축기	23.9	0.08+LOGN(0.38, 0.284)
방풍창	14.1	TRIA(0.5, 0.891, 4.41)

넷째, 야전정비 및 창정비 소요시간에 대한 확률분포 값이다. 자산이동 시간, 정비종류별 정비시간, 행정 시간 등을 포함한 확률분포는 Table 7과 같다. 프로펠러, 프로펠러 컨트롤, 압축기는 야전 및 창정비 모두가 가능하지만 엔진조립체, 연료조절기는 고장 발생 시 야전정비 능력을 초과하여 곧바로 창정비로 보내지는 품목이다. 방풍창은 고장 발생 시 고장품은 폐기하고 신제품으로 교체하는 비복구성 품목으로 야전, 창정비가 불가하고 예방정비만 실시하고 있다. 방풍창의 확률분포 값은 수리부속 청구를 위해 필요한 행정 지연시간

부터 해외에서 야전부대까지 오는데 필요한 시간을 분석한 결과이다.

Table 7. Distributions of field and depot maintenance

품명	종류	확률분포(일)
프로펠러	야전	GAMM(5.25, 1.25)
	창	TRIA(227, 429, 901)
엔진조립체	창	241+172*BETA(1.1, 1.37)
프로펠러 컨트롤	야전	8*BETA(0.484, 1.71)
	창	161+WEIB(169, 0.587)
연료조절기	창	NORM(231, 62.5)
압축기	야전	ERLA(1.93, 2)
	창	95+723*BETA(1.22, 2.67)
방풍창	-	70+EXPO(99.6)

3.3 시뮬레이션 실행

시뮬레이션 프로그램<sup>[12]</sup>은 ARENA 15.1을 사용하였고, 시뮬레이션 실행기간은 장비 내구년한 20년을 설정하였다. 시뮬레이션 반복횟수 설정을 위해 10개의 시나리오를 무작위로 선정하여 반복 실행한 결과 누적 평균가용도가 안정 상태에 이르는 시뮬레이션 반복횟수는 Fig. 3과 같이 150회 이후임을 확인할 수 있었으며, 이에 따라 반복횟수를 150회로 설정하였다.

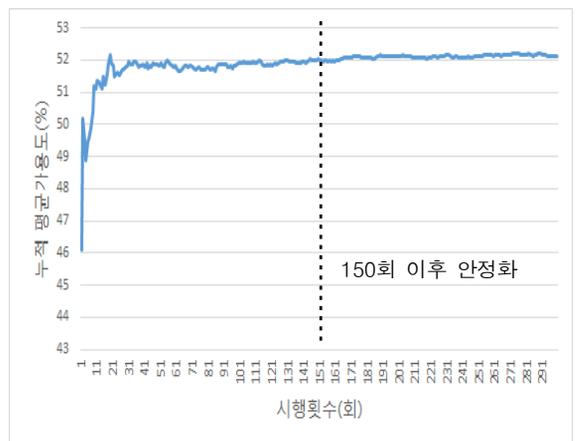


Fig. 3. Steady state analysis

시뮬레이션 모델의 목적은 수리부속 6가지의 재고 수준별 운용가용도 산출이다. 이때, 수리부속의 재고 한계를 설정하기 위해 모든 수리부속 재고를 1로 설정 후, 각각의 수리부속만 1개씩 증가시키며 시뮬레이션을 실행한 결과 Fig. 4의 그래프를 얻었다. 프로펠러 재고수준 증가가 운용가용도 상승에 가장 큰 영향을 미치고, 다음으로 엔진, 방풍창, 연료조절기, 프로펠러 컨트롤, 압축기 순이었다. Fig. 4의 결과 모든 품목의 재고수준이 15개 이후로는 운용가용도가 일정하게 유지됨을 확인할 수 있었으며, 이에 따라 수리부속의 재고한계를 1개 이상, 15개 이하로 설정하였다.

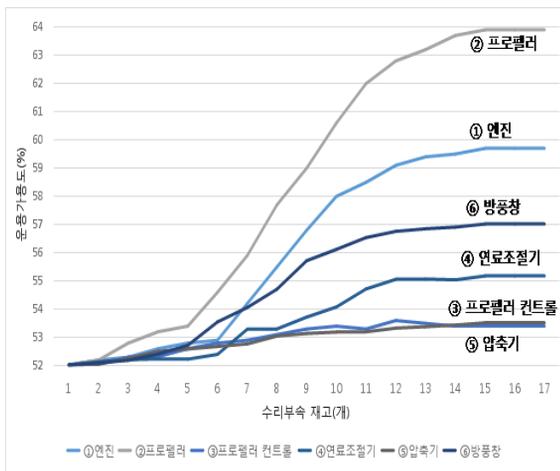


Fig. 4. Operational availability analysis for change of inventory level

Table 8. Results of simulation

시나리오	재고수준						운용가용도
	프롭	엔진	컨트롤	연료	압축	방풍	
1	1	1	1	1	1	1	52.03
2	1	1	1	1	15	1	53.43
...	...	...	...	...	...	...	...
32	1	15	15	15	15	15	78.1
33	15	1	1	1	1	1	59.73
...	...	...	...	...	...	...	...
63	15	15	15	15	1	15	91
64	15	15	15	15	15	15	92.7

설정된 수리부속 재고 한계는 시뮬레이션 시나리오 설계 시 적용되며, 본 연구에서는 2<sup>k</sup>인자 실험설계법을 적용하였다. 그 이유는 수리부속 재고수준과 운용가용도가 재고한계 내에서 대체로 비례하여 증가하고, 이 경우 2<sup>k</sup>인자 실험설계법을 적용하면 다중 회귀분석 적용 시 독립변수간의 교호작용을 최대한 배제시킬 수 있기 때문이다<sup>[13]</sup>. 2<sup>k</sup>인자 실험설계법을 이용해 수리부속별 재고수준을 1과 15라는 2개 수준으로 조합한 64가지 시나리오에 대한 시뮬레이션 결과는 Table 8과 같으며, 재고수준이 증가함에 따라 평균 운용가용도가 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

#### 4. 메타모델 및 정수계획 모형

##### 4.1 메타모델 개발

메타모델<sup>[14]</sup>은 시뮬레이션 결과값을 다중 회귀분석하여 도출된 선형 회귀방정식이다. 해당 연구에서는 시뮬레이션 결과값인 운용가용도를 종속변수로, 품목별 수리부속 재고수준을 독립변수로 한 메타모델을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$A_o = \beta_0 + \beta_1 X_{\text{프롭}} + \beta_2 X_{\text{엔진}} + \beta_3 X_{\text{컨트롤}} + \beta_4 X_{\text{연료}} + \beta_5 X_{\text{압축}} + \beta_6 X_{\text{방풍}} \quad (1)$$

여기서 X는 해당 수리부속 재고수준을 의미하고, β는 다중 회귀계수로 이 계수가 클수록 독립변수가 종속변수에 미치는 영향이 크다는 것을 의미한다. 회귀분석을 위해 Excel 2013을 사용하였으며, 64개 시나리오에 대한 시뮬레이션 결과 값을 회귀분석 한 결과는 Table 9와 같다.

Table 9. The result of multiple regression analysis

구분	Y절편	프롭	엔진	컨트롤	연료	압축	방풍
계수	46.47	1.023	0.702	0.103	0.289	0.085	0.569
P-값	8E-58	5E-39	2E-30	0.001	3E-13	0.007	9E-26
· 결정계수 : 0.9732		· 유의한 F-값 : 6.804E-43					
· F-비 : 344.96		· 표준오차 : 1.72					

분석결과 결정계수는 0.9732로 추정된 회귀식이 운용가용도에 대해 97.32 % 설명하고 있다는 것을 의미

하며, 유의한 F-값이 0에 가까우므로 회귀식이 유의함을 보여준다. P-값은 설정한 유의수준 0.05보다 작으므로 회귀계수가 통계적으로 유의미한 것으로 해석된다. 이를 바탕으로 도출된 메타모델은 다음 식과 같다.

$$A_0 = 46.4718 + 1.0235X_{\text{프롭}} + 0.7016X_{\text{엔진}} + 0.1031X_{\text{컨트롤}} + 0.289X_{\text{연료}} + 0.0856X_{\text{압축}} + 0.5693X_{\text{방풍}} \quad (2)$$

방풍창은 6가지의 독립변수 중 운용가용도에 미치는 영향이 세 번째인 것을 확인할 수 있다. 방풍창은 소모성 품목이고 비용은 복구성 품목에 비해 저가이지만 운용가용도에 미치는 영향은 고가의 복구성 품목들보다 크다는 것을 의미한다. 그 이유는 방풍창의 경우 고장 발생 시 수리해서 사용이 불가하고, 국외에서 재고확보가 장기간 소요되면 재고가 확보될 때 까지 항공기가 불가동 상태가 되기 때문이다.

#### 4.2 정수계획모형 실행

본 연구의 주된 목적은 목표 운용가용도를 만족하기 위해 비용을 최소화하면서, 해상조계기 수리부속 6가지에 대한 적정 재고를 얼마나 확보할 것인지를 결정하는 것이다. 선형계획 문제의 정수(Integer)해를 얻기 위한 방법을 정수계획법이라고 하며, 적정 재고수준을 결정하기 위해 정수계획 모형을 실행하였으며, 결과는 Table 10과 같다. 목적함수와 제약조건은 다음과 같으며, Excel 2013을 이용하여 정수계획 모형을 실행하였다.

$$MIN(\text{비용}) = 552,344,116X_{\text{프롭}} + 990,864,810X_{\text{엔진}} + 83,924,371X_{\text{컨트롤}} + 82,296,358X_{\text{연료}} + 99,713,250X_{\text{압축}} + 10,021,244X_{\text{방풍}}$$

s.t.

- ①  $46.4718 + 1.0235X_{\text{프롭}} + 0.7016X_{\text{엔진}} + 0.1031X_{\text{컨트롤}} + 0.289X_{\text{연료}} + 0.0856X_{\text{압축}} + 0.5693X_{\text{방풍}} \geq 85$
- ②  $1 \leq X_{\text{프롭}}, X_{\text{엔진}}, X_{\text{컨트롤}}, X_{\text{연료}}, X_{\text{압축}}, X_{\text{방풍}} \leq 15$
- ③  $X_{\text{프롭}}, X_{\text{엔진}}, X_{\text{컨트롤}}, X_{\text{연료}}, X_{\text{압축}}, X_{\text{방풍}} = \text{정수} \quad (3)$

실제 해상조계기의 가동률은 동계 70 %, 하계 75 % 이상을 목표로 하고 있지만 본 연구에서는 현실의 모든 현상을 표현하지 못하는 시뮬레이션의 특성과 가정 사항들을 고려하여 정수계획 모형 ①번 제약식의 목표 운용가용도를 85 %로 설정하였다. 부대 여건 및 상황을 고려하여 목표 운용가용도를 유효성 있게 적

용 가능하다.

Table 10. The result of integer programming

품명	수량	비용(억)	운용가용도
프로펠러	15	82.85	85.07 %
엔진조립체	11	108.99	
프로펠러 컨트롤	15	12.58	
연료조절기	15	12.34	
압축기	13	12.96	
방풍창	15	1.5	
합계		231.22	

목표 운용가용도를 충족하면서 정수계획 모형을 통해 산출된 필요한 최소한의 비용은 약 231.22억원으로 나타났다. 현재 군에서 보유중인 연구대상 품목을 비용으로 환산하면 약 266.93억원으로 35.71억원(13 %)의 예산절감이 가능한 것으로 분석된다.

#### 5. 외주정비 소요시간에 따른 민감도 분석

외주정비는 군의 정비능력을 초과하는 경우 수리부속을 복구하는 마지막 단계의 정비로서 연구대상 품목들의 정비실적을 분석한 결과 외주정비 소요시간이 장기간 소요되는 것을 확인하였다. 인력 부족, 행정지연, 정비기간 지연 등의 이유로 인해 외주정비가 장기간 소요됨에 따라 외주정비 기간의 단축이 메타모델 및 정수계획 모형의 결과에 미치는 영향에 대해 민감도 분석을 실시했다. 방풍창의 경우도 운용가용도에 상당한 영향을 미치고, 재고확보 기간도 장기간이 소요되는 것을 확인하였다. 이에 따라, 복구성 품목은 외주정비 기간을 원래 값의 90 %에서 60 %까지 10 %씩 감소시키고, 방풍창은 재고확보 기간을 원래 값의 90 %에서 60 %까지 10 %씩 감소시킨 후 확률분포의 값을 구하였다. 확률분포의 값은 ARENA의 입력분석기(Input Analyzer)를 이용하여 선정하였다. 입력분석기는 적용 가능한 모든 분포를 확인 후, 각 분포에 대한 검정 통계량을 계산하여 최소사승오차 값을 갖는 분포를 선정해준다. 이 중에서 엔진의 결과를 대표로 나타내면 Table 11과 같다.

Table 11. Probability distributions of engine at decreased maintenance time

외주정비 소요시간	외주정비 확률분포(일)	평균(일)
100 % 적용	241+172*BETA(1.1, 1.37)	317.55
90 % 적용	216+156*BETA(1.13, 1.4)	285.8
80 % 적용	192+139*BETA(1.14, 1.41)	254.04
70 % 적용	168+122*BETA(1.14, 1.42)	222.29
60 % 적용	144+104*BETA(1.13, 1.4)	190.53

외주정비 및 재고확보 기간 감소에 따른 확률분포 값을 이용하여 3.3절에서 실시한 동일한 과정으로 시뮬레이션을 실행하였으며, 다중 회귀분석을 통해 구해진 회귀계수의 값은 Table 12와 같다.

Table 12. The result of multiple regression analysis according to decreased maintenance time

소요 시간	Y절편	프롭	엔진	컨트롤	연료	압축	방풍
100 %	46.47	1.023	0.702	0.103	0.289	0.085	0.569
90 %	49.92	0.986	0.675	0.103	0.269	0.068	0.492
80 %	53.47	0.922	0.637	0.095	0.253	0.072	0.431
70 %	56.98	0.861	0.596	0.085	0.244	0.071	0.371
60 %	61.41	0.767	0.538	0.079	0.215	0.063	0.302

외주정비 기간을 감소시킨 후 모든 독립변수의 결과는 P-값이 모두 통계적으로 유의미했으며, 결정계수는 모두 0.98 이상으로 수리부속 6개 품목이 항공기 운용가용도에 대해 충분히 설명해주고 있었다.

Table 12의 결과를 통해 확인할 수 있는 것은 외주정비 소요시간과 소모성 품목의 재고확보 기간이 감소할수록 Y절편이 증가한다는 것이다. 이는 모든 수리부속의 재고가 1개라도 외주정비 및 재고확보 소요시간이 10 % 수준으로 감소할 때 마다 운용가용도가 평균 3.73 %씩 증가하고, 40 % 수준으로 감소하면 운용가용도가 14.94 %나 증가한다는 것을 의미한다. 수리부속 재고량이 동일하더라도 외주정비 및 재고확보 소요시간의 감소는 항공기의 평균 운용가용도를 상승시키는 것을 확인할 수 있었다.

위의 결과를 바탕으로 4.2절과 동일한 과정으로 정수계획 모형을 실행하였으며 외주정비 및 재고확보 소요기간 감소에 따른 수리부속 최적재고 확보비용은 Fig. 5와 같다. Fig. 5를 통해 외주정비 및 재고확보 소요기간 감소가 수리부속 예산절감에 상당한 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있으며, 이는 소요시간 관리의 중요성을 보여주고 있다.

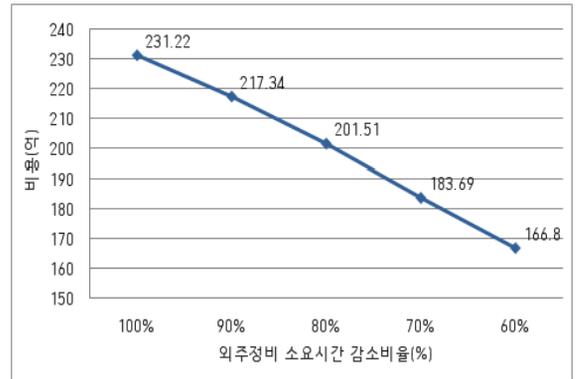


Fig. 5. Cost of optimal inventory levels for depot maintenance time change

## 6. 결론

본 연구는 해상초계기의 주요 복구성 및 소모성 수리부속의 재고수준이 운용가용도에 미치는 영향을 분석하였으며, 이를 바탕으로 목표 운용가용도를 충족하기 위한 적정 재고수준을 확인하고자 했다. 이를 위해 해상초계기 운용가용도에 영향을 미치는 주요 수리부속을 선정하여 시뮬레이션 모형을 제안하였다. 시뮬레이션 결과를 다중 회귀모형의 메타모델로 나타낸 뒤 정수계획 모형을 실행하였다.

본 연구는 다음과 같은 시사점을 가진다.

우선, 해군 해상초계기의 주요 수리부속 재고수준이 운용가용도에 미치는 영향에 대해 최초로 연구를 실시하였다. 또한, 복구성품목 뿐만 아니라, 운용가용도에 상당한 영향을 미치는 소모성 품목을 식별하여 연구대상에 포함함으로써 소모성 품목의 재고관리 연구도 중요하다는 것을 보여주었다. 마지막으로 외주정비 및 재고확보 기간감소가 수리부속 재고수준과 예산절감에 기여할 수 있다는 것을 보여주었다.

하지만, 다음과 같은 두 가지의 한계점이 있다.

첫째, 운용가용도에 영향을 미치는 다양한 요소를 고려하지 않았다. 현실에서는 기체 창 정비, 성능개량, 동류전용, 특별 일시검사 등 항공기가 불가동이 되는 다양한 상황이 존재한다. 항공기 정비횟수 뿐만 아니라 현실에서 일어나는 다양한 조건들을 모형에 반영한다면 더욱 신뢰성 높은 연구가 이루어질 것이다.

둘째, 수리부속의 단가만을 이용하여 비용을 분석하였다. 외주정비 출/입고 시 수송비용, 인건비, 재고 유지비 등 다양한 항목이 수명주기비용 산출시 필요하다. 운용가용도 달성을 위한 비용분석은 상기 내용이 모두 포함된다면 더욱 정확해질 것이다.

## References

- [1] C. C. Sherbrooke, "METRIC : Multi-echelon Technique for Recoverable Item Control," Operations Research, Vol. 16, pp. 122-141, 1968.
- [2] J. Muckstadt, "A Model for Multi-item, Multi-echelon, Multi-indenture Inventory System," Management Science, Vol. 20, pp. 472-481, 1973.
- [3] F. M. Slay, "VARI-METRIC : An Approach to Modeling Multi-Echelon Resupply When the Demand Process is Poisson with Gamma Prior," Logistic Management Institute, Washington D.C, 1980.
- [4] R. J. Hillestad, "Dyna-METRIC : Dynamic Multi-Echelon Technique for Recoverable Item Control," R-2785-AF, Rand, Santa Monica, 1982.
- [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.
- [6] H. Jeon, J. 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.
- [7] S. Lee, J. Bai and M. Kim, "The Impact of the Aircraft Spare Engine & the Module Inventory Level and Module Interchangeability on the Operational Availability," Journal of the Korea Institute of Quality Management, Vol. 38, No. 3, pp. 333-339, 2010.
- [8] J. Kim, S. Lee and S. Jung, "The Impact of Aircraft Spare Engine and Module Inventory Level in Wartime Operational Availability," Korean Management Science Review, Vol. 31, No. 2, pp. 33-48, 2014.
- [9] D. E. StearnsIII, "Logistics Simulation Metamodel for F404-GE-400 Engine Maintenance," M.S. Dissertation, Naval Postgraduate School, 1998.
- [10] S. Yoo, "A study on Estimating Optimal Inventory Level of F-16 Spare Engine and Module," M.S. Dissertation, Korea National Defense University, 2002.
- [11] J. Bae, "A Relationship Analysis of Reliability and Optimal Inventory Level to the Operational Availability of the Aircraft Engine," M.S. Dissertation, Korea National defense University, 2006.
- [12] W. D. Kelton, R. P. Sadowski and N. B. Zupick, "Simulation with Arena, 6th Edition," McGraw Hill, New York, 2015.
- [13] H. Jeon, "Impact of KAAV's Essential Assemblies and Maintenance Float Inventory Levels on Operational Availability Based on Robust Design," M.S. Dissertation, Korea National defense University, pp. 17-18, 2018.
- [14] J. P. C. Kleijnen, "Regression Metamodels for Simulation with Common Random Number : Comparison of Validation Tests and Confidence Intervals," Management Science, Vol. 38, No. 8, pp. 1164-1185, 1992.