

야전데이터 기반 하푼 유도탄 정비 소요시간이 가동률에 미치는 영향 연구

최영재¹⁾ · 마정목^{*,1)}

¹⁾ 국방대학교 국방과학학과

Impact of Maintenance Time of Anti-Ship Missile Harpoon on Operational Availability with Field Data

Youngjae Choi¹⁾ · Jungmok Ma^{*,1)}

¹⁾ Department of Defense Science, National Defense University, Korea

(Received 6 March 2020 / Revised 26 May 2020 / Accepted 12 June 2020)

Abstract

This paper studies the impact of the maintenance time of anti-ship missile Harpoon on operational availability with real field data. The Harpoon maintenance simulation model is developed as a testbed for identifying the optimal inventory levels on operational availability. Using multiple linear regression analysis and integer programming, the optimal inventory levels of essential assemblies are suggested. Finally, the result of sensitivity analysis shows the quantitative impact of maintenance time on operational availability and inventory costs. The authors believe that this quantitative analysis can support policy decisions to decrease maintenance time of missiles.

Key Words : Anti-Ship Missile Harpoon(하푼 대함유도탄), Operational Availability(가동률), Maintenance Time(정비 소요시간), Simulation(시뮬레이션), Multiple Linear Regression Analysis(다중선형회귀분석), Integer Programming(정수계획법)

1. 서론

해양통제권 확보는 전쟁의 승패를 좌우하는 매우 중요한 요소이다. 해양통제권을 확보하기 위한 해군 전력의 핵심인 무기체계는 유도탄으로 과거 해전사에서 그 우수성이 입증되어왔다. 중동전쟁 기간 중에 있

었던 이스라엘과 아랍 해군간의 해전은 1967년 이집트의 포트사이드 항구 근해에서 발생하였다. 당시 이집트 유도탄정은 소련에서 개발한 대함유도탄 2발을 발사해 외해에서 경계중이던 이스라엘의 기함을 침몰시키는 사건이 발생하였다. 이는 해전사상 최초로 유도탄 공격에 의한 군함 침몰 사건으로 세상에 주목을 받았다¹⁾.

이 사건을 계기로 충격을 받은 미국은 소련의 대함 유도탄에 대응하기 위한 유도탄 개발에 착수하였으며,

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

1972년 첫 해상시험에 성공하여 1977년 실전배치된 대함유도탄이 바로 하푼(Harpoon)이다. 하푼 유도탄은 세계 30여개국이 도입하여 운용하고 있으며, 우리나라는 1978년 최초 도입하여 운용중에 있다.

함대함유도탄인 하푼 유도탄은 해군 함정에 탑재되어 운용되는 무기체계이다. 함정 작전소요 발생 시 함정에 신속하게 유도탄을 탑재하기 위해서는 유도탄 가동률 관리가 필수적이다. 하푼 유도탄의 경우 4년 주기로 정기검사를 수행하고, 정비소요 발생 시 수리부속 재고를 고장난 수리부속과 교체하는 군직정비와 고장난 수리부속을 해외로 보내는 외주정비를 실시하고 있다. 유도탄의 정비특성 상 유도탄 정비 소요시간과 수리부속 확보는 유도탄 관리유지를 위한 중요한 요소이며, 유도탄 가동률 향상에 직접적인 영향을 주는 핵심군수지원 요소이다. 따라서 유도탄 가동률 향상을 위해서는 수리부속을 적정 보급수준으로 운영하고 유도탄 정비를 적기에 완료할 수 있도록 하는 것이 중요하다.

이러한 유도탄 가동률 관리의 중요성에도 불구하고 실제 야전데이터를 기반으로 수리부속 재고수량, 정비 소요시간이 가동률에 미치는 정량적 분석이 이루어지지 않았다. 유도탄 수리부속은 미 해군에서 보유중인 수리부속 수량, 해외 수리부속 생산업체의 부품생산 일정, 수리부속 예산 범위를 고려하여 확보하기 때문에 유도탄 목표 가동률을 만족하기 위한 적정 수리부속 소요 예측이 필요하다. 또한, 정비 소요시간 단축을 위한 정책결정을 지원할 수 있도록 유도탄 수리부속 정비 소요시간이 가동률에 미치는 영향에 대한 정량적 분석이 필요하다.

이에 본 연구는 하푼 유도탄을 운용, 관리하면서 획득된 실제 야전데이터를 분석하여 적정 하푼 유도탄 수리부속 소요를 확인하고, 정비 소요시간 변화에 따른 가동률에 미치는 영향에 대해 살펴보고자 한다. 2장에서는 관련 문헌연구들을 살펴보고 3, 4장에서는 본 연구에서 활용한 시물레이션 모델을 소개하고, 실행한 결과값을 제시하였다. 5장에서는 시물레이션 결과값을 바탕으로 다중선형회귀분석, 정수계획 모형을 실행하여 목표 가동률을 만족하는 적정 수리부속 수량을 확인하였다. 6장에서는 정비 소요시간을 일정 비율로 감소시켜 가동률에 미치는 영향을 확인하였다. 7장에서는 연구 결론 및 제한사항을 제시하였다.

2. 문헌연구

수리부속 재고수준이 가동률에 미치는 영향을 판단하기 위한 연구는 Sherbrooke^[2]이 제시한 METRIC (Multi-Echelon Technique for Recoverable Item Control) 모형에서부터 시작되었다. METRIC 모형은 2단계(기지, 창)로 구성된 미 항공기 정비체계에 수리부속 평균 재고부족량을 최소화하는 최적배분 조합을 찾는 개념이다. 이후 Muckstadt^[3]가 포아송 분포를 적용하여 부품 간 상하관계를 고려한 MOD-METRIC, Slay^[4]가 음이항 분포를 적용한 VARI-METRIC, Hillestad^[5]가 수리부속 부품의 동적 특성을 반영하여 시간에 따라 부품 수요율의 변화를 나타내는 DYNA-METRIC 모형으로 발전되어 연구가 진행되어왔다.

하지만 METRIC 모형은 정비 소요시간에 포함되는 재고자산 이동시간, 군수 및 행정 지연시간을 고려하지 않는다는 점의 제한사항을 가지고 있다. 이런 METRIC 모형의 제한사항을 보완하기 위하여 Tao and Wen^[6]은 수리시간, 주문 및 수송시간 분포값 등을 시물레이션에 적용하여 수리부속 적정 재고수준을 산출함으로써 시물레이션이 METRIC 보다 효과적이라는 것을 입증한 바 있다.

국내에서도 시물레이션을 활용한 연구들이 Table 1과 같이 진행되었다. 이상진·김민규^[7]와 김진호^[8]는 (K)F-16 항공기의 예비엔진 및 모듈 재고수준이 가동률에 미치는 영향에 대해 연구하였다. 김성곤^[9]은 육군 항공기 정비단 엔진 정비절차를 시물레이션 모델로 구성하여 항공기 가동률에 미치는 영향과 비용대효과 분석을 연구하였다. 진홍주^[10]는 해병대 상륙돌격장갑차를 대상으로 수리부속과 정비대체장비 재고수준이 가동률에 미치는 영향과 재생정비 대기시간에 대한 민감도를 시물레이션을 활용하여 분석하였으며, 박지훈^[11]은 해상초계기 주요 수리부속 재고수준이 가동률에 미치는 영향과 외주정비 소요시간 변화에 대한 민감도를 시물레이션을 활용하여 분석하였다.

본 연구는 기존 연구들과 2가지의 차이점을 두고 하푼 유도탄의 수리부속 정비 소요시간이 가동률에 미치는 영향 연구를 진행하였다.

첫째, 정비에 소요되는 모든 정비 소요시간을 가지고 가동률에 미치는 영향을 분석했다는 점이다. 현재까지 수행된 관련 연구는 해당 장비의 수리부속 창정비 소요시간, 부품 재생정비 대기시간, 외주정비 소요시간 같은 장기간 소요되는 정비시간만을 가지고 가

동물에 미치는 영향을 분석했다. 하푼 유도탄 야전데이터를 살펴보면 외주정비가 군직정비보다 장기간 소요되는 것은 명확하나, 정비횟수의 68 %를 군직정비가 차지하고 있다. 또한, 군직정비와 외주정비 소요시간에 수리부속 정비 소요시간과 자산 이동시간, 군수 및 행정 지연시간 등이 모두 포함되어 있다. 이에 따라 실제 모든 정비 소요시간을 시뮬레이션에 적용하여, 정비 소요시간 변화에 따른 가동률 변화와 비용 효과분석을 통해 정비 소요시간 단축을 위한 정책 결정에 기여할 수 있을 것으로 판단하였다.

둘째, 항공기, 상륙돌격장갑차와 같은 장비가 아닌 유도탄을 연구대상으로 적용한 점이다. 현재 군에서 다품종 다량의 유도탄을 운용중에 있으며, 다양한 유도탄의 개발이 진행되고 있다. 하푼 유도탄 정비 소요시간이 가동률에 미치는 정량적인 분석 결과값을 바탕으로 다른 종류의 유도탄에 확대 적용한다면, 유도탄 유지관리 예산절감과 가동률 향상에 기여할 수 있을 것으로 판단하였다.

정보체계에 기록되어 있는 하푼 유도탄의 최근 20년간 야전데이터를 수집하였다. 유도탄 검사일지와 유도탄 이력부는 수기로 기록이 되어 있어 전산상에 기록되어 있는 자료, 하푼 정비팀이 기록유지하고 있는 전산 자료와 비교 분석하여 야전데이터의 신뢰성을 높였다.

먼저 연구대상 수리부속을 선정하기 위해 해군에서 보유 중인 하푼 유도탄 전량에 대한 수리부속 정비실적을 분류하였으며, 정비대상 수리부속은 총 10종이었다. 정비횟수 순으로는 Table 2와 같이 탐색기, 배터리, 유도조종장치, 고도계 순이며, 이는 총 정비횟수의 87 %에 해당한다. 이 중에서 배터리는 소모성 교체 수리부속이나 전체 정비횟수의 13 %를 차지하고 있었으며, 고장 시 유도탄 불가동이 되는 품목이다. 따라서 본 연구에서 목표 가동률을 만족시키기 위한 적정 수리부속 재고수준을 산출하기 위해 탐색기, 배터리, 유도조종장치, 고도계 4가지 수리부속을 연구대상으로 선정하였다.

Table 1. Relevant prior research

연구자	연구대상	연구특징
김민규(2010)	(K)F-16	단발엔진 특성을 고려한 가동률 분석
김진호(2014)	KF-16	
김성곤(2017)	육군 헬기	정비기간을 장비가동률, 정비인력 인시로 한정
전홍주(2018)	상륙돌격장갑차	재생정비 대기시간 민감도 분석
박지훈(2019)	해상초계기	외주정비 소요시간 민감도 분석

Table 2. Maintenance part analysis

순위	품목	정비횟수	비율(%)
1	탐색기	304	56.50
2	배터리	70	13.01
3	유도조종장치	55	10.22
4	고도계	46	8.55

3.2 연구수행 절차

연구를 수행하기 위한 절차는 다음과 같다. 먼저 실제 정비절차를 기반으로 한 시뮬레이션을 구성하였다. 시뮬레이션 구성은 상용 프로그램 중 하나인 ARENA 16.0^[12]을 활용하였다. 4가지 수리부속에 대한 야전데이터를 분석하여 정비 소요시간을 산출하여 시뮬레이션에 입력하였고, 품목별 재고수준에 2*인자 실험설계법을 적용하여 시뮬레이션을 실행하였다. 시뮬레이션 결과값을 바탕으로 수리부속 재고수준을 독립변수, 가동률을 종속변수로 한 다중선형회귀분석 수행하였다. 이후 최소 비용으로 목표 가동률을 달성할 수 있는 적정 수리부속 재고수준을 확인하기 위해 정수계획모형을 실행하였다. 끝으로 정비 소요시간을 일정 비율로 감소시키면서 가동률에 미치는 영향을 분석하였다. Fig. 1은 연구수행 절차를 도식화한 것이다.

3. 연구방법

3.1 연구대상 선정

본 연구는 하푼 유도탄의 수리부속 야전데이터를 분석하여 정비 소요기간 변화에 따라 가동률에 어떤 영향을 미치는지를 분석하는 것이 목표이다. 해군에서 보유중인 하푼 유도탄을 정비·관리하고 있는 병기탄약창에 방문하여 하푼 유도탄 정비팀의 협조를 받아 유도탄 검사일지, 유도탄 이력부, 해군장비정비

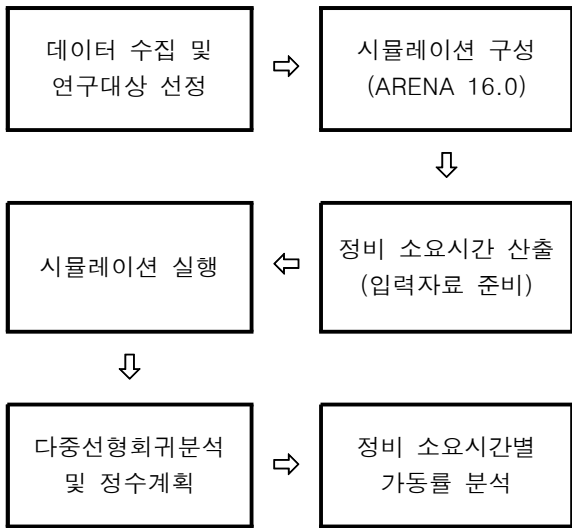


Fig. 1. Study flow chart

3.3 가정사항

본 연구의 시뮬레이션 모델은 다음 사항을 가정하였다. 첫째, 소모성 수리부속인 배터리를 제외한 수리부속은 100 % 재생이 가능하다. 둘째, 수리부속 교체가 이뤄지는 정비 행위가 아닌 단순 유도탄 검사는 정비 소요시간에 포함하지 않는다. 셋째, 수리부속 재고가 부족하다고 하여 대상 수리부속별로 동류전용을 수행하지 않는다.

4. 시뮬레이션 모형

시뮬레이션을 구성하여 수행한 결과는 다음과 같다.

4.1 시뮬레이션 구성

시뮬레이션 모델은 현재 해군 유도탄 정비교범 및 실제 정비절차를 바탕으로 군직정비 후 교체된 고장 수리부속의 경우 외주정비를 통해 재생 복구되어 다시 수리부속 재고로 활용되고, 배터리의 경우 소모성 수리부속으로 교체된 고장 수리부속은 폐기되는 일련의 과정을 Fig. 2와 같이 구성하였으며, 해군 유도탄 정비 관련 실무자 자문을 통한 개념 검증을 실시하였다. 또한 시뮬레이션 검증(Verification and Validation)을 위해 초기 시나리오를 구성하고, 수리부속 재고수준 증가에 따른 가동률 향상 여부를 관찰하여 시뮬레이션 자체검증을 수행하였다.

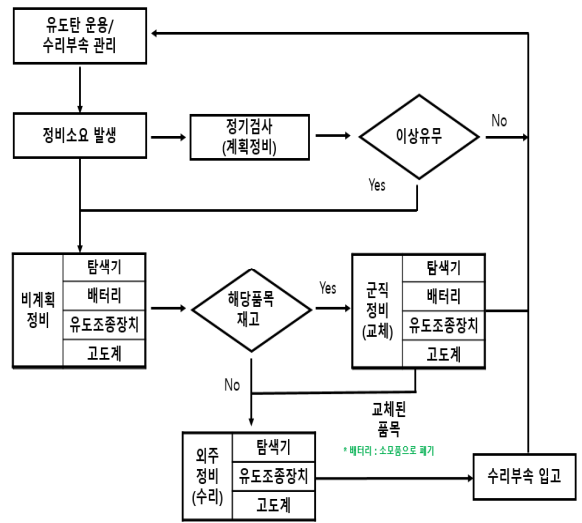


Fig. 2. Schematic diagram of proposed simulation model

4.2 입력자료

시뮬레이션에 입력되는 자료는 총 3가지이며, 다음과 같다.

첫째, 하푼 유도탄 정비 발생 시간간격 및 수리부속별 정비 비율이다. 먼저 20년간 하푼 유도탄 000발에 대한 야전데이터를 분석한 결과 계획정비(985건) 및 비계획정비(475건)가 발생하였다. 이 중 실제 교체정비가 이뤄진 정비건수 475건을 야전데이터 수집기간인 20년으로 나누어 15.37일의 값을 도출하였다. 수리부속 전체 고장횟수 대비 품목별 고장횟수를 상대적 비율로 나타내면 탐색기 64 %, 배터리 14.74 %, 유도조종장치 11.58 %, 고도계 9.68 %이었다. 일반적으로 무기체계 부품에 대한 고장발생 시간간격 분포는 지수분포를 따르기 때문에 시뮬레이션에는 하푼 유도탄 정비 발생 시간간격을 15.37일의 지수분포를 이루도록 입력하였고, 수리부속별 정비비율은 위에서 제시한 비율을 적용하였다.

둘째, 군직정비 소요시간에 대한 확률분포 값이다. 군직정비 소요시간에는 수리부속 이동시간, 정비시간, 행정시간 등이 포함되어 있으며, 확률분포는 Table 3과 같다. 확률분포는 하푼 유도탄의 20년간 야전데이터를 바탕으로 Arena 입력분석기를 이용하여 산출하였다.

셋째, 외주정비 소요시간에 대한 확률분포 값이다. 외주정비 소요시간에는 수리부속 이동시간, 정비시간,

행정시간 등이 포함되어 있으며, 확률분포는 Table 4와 같다. 배터리의 경우 외주정비를 별도로 수행하지 않기 때문에 수리부속 평균 확보 소요시간을 적용하여 743일의 지수분포를 이루도록 입력하였다.

Table 3. Distributions of field maintenance time

품명	확률분포(일)
탐색기	0.5 + LOGN(8.59, 14.5)
배터리	EXPO(1)
유도조종장치	0.5 + LOGN(8.37, 13.6)
고도계	0.5 + LOGN(4.97, 5.45)

Table 4. Distributions of contract maintenance time

품명	확률분포(일)
탐색기	TRIA(481, 1.01e+003, 2.24e+003)
배터리	EXPO(743)
유도조종장치	842 + 1.72e+003 * BETA(0.596, 1.67)
고도계	399 + WEIB(283, 0.713)

4.3 시뮬레이션 실행

시뮬레이션 프로그램^[12]은 ARENA 16.0을 사용하였고, 시뮬레이션 실행기간은 야전데이터 수집기간과 동일하게 20년을 설정하였다. 하륵 유도탄 누적 가동률이 안정상태에 이르는 시뮬레이션 반복횟수를 결정하기 위해 무작위로 시뮬레이션을 반복 실행한 결과 반복횟수는 Fig. 3과 같이 130회 이후임을 확인할 수 있었다. 이에 따라 시뮬레이션 반복횟수는 130회로 설정하였다.

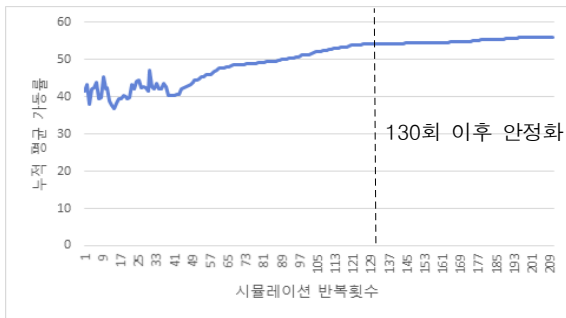


Fig. 3. Steady state analysis

수리부속별 재고수준 변화에 따른 가동률을 확인하기 위하여 각각 수리부속 재고를 1에서부터 1개씩 증가시키면서 시뮬레이션을 실행한 결과 Fig. 4의 결과를 도출하였다. 수리부속 재고가 증가함에 따라 가동률도 비례하여 증가함을 확인할 수 있다. 탐색기의 경우 가동률 상승에 가장 큰 영향을 미쳤으며 50개 이후 가동률이 안정화됨을 확인하였다. 배터리는 25개, 유도조종장치와 고도계는 15개 이후 가동률이 안정화되었다. 이에 따라 탐색기 50개, 배터리 25개, 유도조종장치와 고도계는 각 15개의 재고한계를 설정하였다.

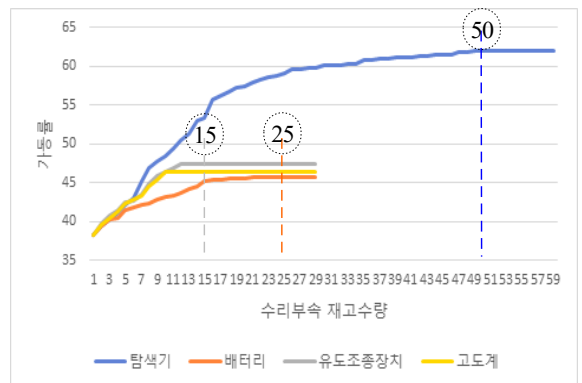


Fig. 4. Operational availability analysis for change of inventory level

Table 5. Results of simulation

구분	재고수준(개)				가동률 (%)
	탐색기	배터리	유도조종장치	고도계	
1	1	1	1	1	38.23
2	1	25	1	1	45.73
3	1	1	1	15	46.38
4	1	1	15	1	47.43
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
13	50	25	1	15	66.64
14	50	25	15	1	67.14
15	50	1	15	15	69.33
16	50	25	15	15	70.16

수리부속 재고한계를 설정한 이유는 2^k인자 실험설계법을 적용하기 위함이다. 2^k인자 실험설계법은 2가지 수준을 가진 K인자의 조합을 최소의 실험으로 결과값을 도출해 낼 수 있는 실험설계법이다. 탐색기는 1과 50, 배터리는 1과 25, 유도조종장치와 고도계는 1과 15로 수리부속별 수준을 설정하고, 수리부속 품목 4인자를 조합하여 16개의 시나리오를 구성하였다. 16개의 시나리오를 시뮬레이션한 결과는 Table 5와 같다.

5. 다중선형회귀분석 및 정수계획 모형

5.1 다중선형회귀분석

수리부속 재고한계별 가동률 산출값인 Table 5의 결과값을 바탕으로 가동률을 종속변수, 수리부속 품목별 재고수준을 독립변수로 한 다중선형회귀방정식을 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다. A₀는 가동률, X는 수리부속별 재고수준, β는 다중 회귀계수를 의미한다. 다중 회귀계수가 클수록 해당 독립변수가 종속변수에 미치는 영향이 큰 것을 의미한다.

$$A_o = \beta_0 + \beta_1 X_{\text{탐색기}} + \beta_2 X_{\text{배터리}} + \beta_3 X_{\text{유도조종장치}} + \beta_4 X_{\text{고도계}} \quad (1)$$

다중선형회귀분석을 위해 Excel 2019를 사용하였으며, 회귀분석 결과는 Table 6과 같다. 회귀분석 결과를 살펴보면 결정계수는 0.98으로 회귀식이 가동률에 98% 설명하고 있다는 것을 의미하며, 유의한 F-값이 0에 가까우므로 회귀식이 유의함을 보여준다. P-값은 설정한 유의수준 0.05보다 작으므로 회귀계수가 통계적으로 유의미하다고 볼 수 있다.

Table 6. The result of multiple regression analysis

구분	Y절편	탐색기	배터리	유도 조종장치	고도계
계수	41.27	0.39	0.09	0.32	0.28
P-값	375E-13	2.1E-10	0.025	0.0003	0.0009
· 결정계수 : 0.98		· 유의한 F-값 : 3.19E-09			
· F-비 : 132.30		· 표준오차 : 1.74			

회귀분석 결과값을 바탕으로 식 (1)에 계수값을 대입하여 도출한 회귀식은 식 (2)와 같다.

$$A_o = 41.27 + 0.39 X_{\text{탐색기}} + 0.09 X_{\text{배터리}} + 0.32 X_{\text{유도조종장치}} + 0.28 X_{\text{고도계}} \quad (2)$$

5.2 정수계획 모형

최적의 비용으로 목표 가동률을 만족하기 위한 적정 수리부속 수량을 확인하기 위해 정수계획 모형을 활용하였다. 정수계획법은 선형계획의 목적함수를 만족하는 정수(Integer)의 해를 얻기 위한 하나의 방법이다. 정수계획 모형의 목적함수는 수리부속별 가격을 계수로 하는 목적함수로 설정하였고, 수리부속 가격은 해군장비정비정보체계에 나와있는 수리부속별 품목가격을 기준으로 설정하였다. 제약조건은 다중선형회귀분석 결과를 바탕으로 도출한 식 (2)와 수리부속별 재고한계로 설정하였다. 목표 가동률 70%는 해군에서 보유중인 하푼 유도탄 수량, 함정 탑재소요, 비축물량을 고려하여 설정하였다. 이렇게 설정한 정수계획 모형은 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} MIN(\text{비용}) = & 195,472,163 X_{\text{탐색기}} + 264,083 X_{\text{배터리}} \\ & + 142,395,985 X_{\text{유도조종장치}} \\ & + 21,039,314 X_{\text{고도계}} \end{aligned} \quad (3)$$

s.t.

$$\textcircled{1} 41.27 + 0.39 X_{\text{탐색기}} + 0.09 X_{\text{배터리}} + 0.32 X_{\text{유도조종장치}} + 0.28 X_{\text{고도계}} \geq 70$$

$$\begin{aligned} \textcircled{2} 1 \leq X_{\text{탐색기}} & \leq 50, \\ 1 \leq X_{\text{배터리}} & \leq 25, \\ 1 \leq X_{\text{유도조종장치}} & \leq 15, \\ 1 \leq X_{\text{고도계}} & \leq 15 \end{aligned}$$

$$\textcircled{3} X_{\text{탐색기}}, X_{\text{배터리}}, X_{\text{유도조종장치}}, X_{\text{고도계}} = \text{정수}$$

정수계획 모형은 Excel 2019를 이용하여 실행하였으며, 실행한 결과는 Table 7과 같다. 목표 가동률을 만족하는 각 수리부속 품목별 재고수량을 수리부속 가격으로 환산하면 약 121.8억원이다. 현재 군에서 보유하고 있는 연구대상 수리부속 수량을 수리부속 가격으로 환산하면 134.52억원으로 12.7억원의 차이를 보인다. 이는 목표 가동률을 70%로 설정했을 때 9.4%의 예산을 절감할 수 있을 것으로 분석된다. 다만, 현재 군에서 보유하고 있는 실제 유도탄 수리부속 수량은 유도탄 긴급정비 상황을 대비한 여유 수

리부속을 추가로 보유하고 있기 때문에 정확한 비교 분석을 위해서는 다양한 상황을 추가적으로 고려해야 한다.

Table 7. Optimal quantities of harpoon assemblies

품 명	수량	비용(억)	가동률
탐색기	50	1.95	70.02 %
배터리	25	0.0026	
유도조종장치	15	1.42	
고도계	14	0.21	
합계		121.8	

6. 정비 소요시간에 따른 가동률 영향 분석

시뮬레이션, 다중선형회귀분석과 정수계획법을 활용하여 목표 가동률을 만족하는 적정 수리부속 재고수량을 확인하였다. 본 연구의 목표인 정비 소요시간에 따른 가동률 영향 분석을 확인하기 위해 군직정비와 외주정비 소요시간을 일정 비율로 감소시키면서 시뮬레이션을 반복 실행하였다. 군직정비, 외주정비 소요시간은 원래 값에서 10 %씩 90 % ~ 50 %까지 감소시켜 확률분포의 값을 구하였다. 이 중에서 탐색기의 군직정비, 외주정비 소요시간 결과값을 대표로 나타내면 Table 8, 9와 같다. 확률분포는 Arena 입력분석기를 이용하여 산출하였다.

Table 8. Probability distributions of seeker with decreased field maintenance time

군직정비 소요시간	군직정비 확률분포(일)	평균(일)
100 % 적용	0.5 + LOGN(8.59, 14.5)	9.48
90 % 적용	79*BETA(0.317, 2.62)	8.53
80 % 적용	70*BETA(0.317, 2.61)	7.59
70 % 적용	61*BETA(0.316, 2.59)	6.64
60 % 적용	53*BETA(0.318, 2.65)	5.69
50 % 적용	44*BETA(0.318, 2.63)	4.74

Table 9. Probability distributions of seeker with decreased contract maintenance time

외주정비 소요시간	외주정비 확률분포(일)	평균(일)
100 % 적용	TRIA(481, 1.01e+003, 2.24e+003)	1105.63
90 % 적용	TRIA(432, 907, 2.02e+003)	995.06
80 % 적용	TRIA(384, 806, 1.79e+003)	884.5
70 % 적용	TRIA(336, 706, 1.57e+003)	773.94
60 % 적용	TRIA(288, 605, 1.34e+003)	663.38
50 % 적용	TRIA(240, 504, 1.12e+003)	552.81

탐색기, 배터리, 유도조종장치, 고도계의 정비 소요시간을 일정 비율로 감소시키면서 시뮬레이션을 실행한 결과는 Table 10과 같다.

Table 10. Simulation results with decreased maintenance time

소요시간	가동률		
	군직정비	외주정비	군직+외주
100 % 적용	70.02	70.02	70.02
90 % 적용	70.56	73.07	73.68
80 % 적용	71.11	76.24	76.45
70 % 적용	71.48	79.41	80.36
60 % 적용	72.69	81.43	83.06
50 % 적용	73.54	83.96	86.35

Table 10의 결과값을 살펴보면 군직정비, 외주정비, 군직과 외주정비 모두 소요시간이 감소할 때 가동률은 일정 비율로 상승한다. 군직정비의 경우 소요시간이 10 %씩 감소할 때마다 평균 0.71 %씩 가동률이 증가하였고, 군직정비 소요시간만 60 %로 감소시켰을 때는 가동률이 2.67 % 상승하는 것을 볼 수 있다. 하푼 유도탄 보유수량을 고려했을 때 가동률 2 % 상승은 합정 1척을 추가로 지원할 수 있는 유도탄 수량에 해당한다.

외주정비의 경우 소요시간이 10 %씩 감소할 때 마다 평균 2.79 %씩 가동률이 증가하였고, 군직정비와 외

주정비 소요시간 모두 감소했을 때는 소요시간 10 % 씩 감소할 때 마다 평균 3.27 %씩 가동률이 상승하는 것을 볼 수 있다. 군직정비와 외주정비 소요시간을 모두 70 %로 감소시킬 경우 가동률이 10.34 %나 증가하는 것을 볼 수 있으며 이는 함정 5척을 추가 지원할 수 있음을 의미한다.

Table 10의 가동률 값에 해당하는 평균 수리부속 수량을 수리부속 가격으로 환산한 결과는 Fig. 5와 같다. 군직정비 소요시간만 50 %로 감소했을 때는 약 1.2억원, 외주정비 소요시간만 50 %로 감소했을 때는 약 5억원, 군직정비와 외주정비 모두 소요시간을 50 %로 감소했을 때는 약 5.8억원의 효과가 있는 것을 확인하였다. 정비 소요시간 감소만으로도 수리부속 예산절감에 영향을 미치며, 정비 소요시간 관리의 중요성을 보여주고 있다.

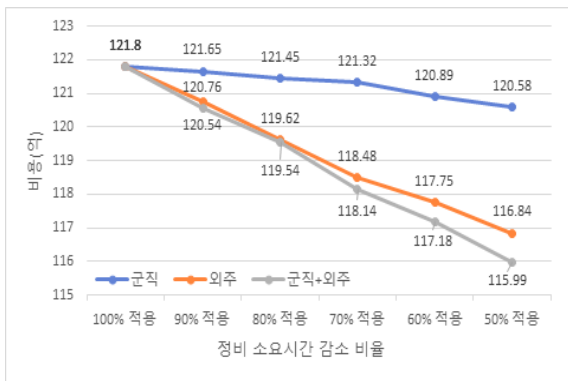


Fig. 5. Cost analysis for change of maintenance time

위와 같은 정량적인 분석 결과값은 유도탄 가동률 향상, 수리부속 예산절감을 위한 정책(군직정비, 외주 정비 소요시간 단축을 위한 정비인력 재배치, 장비·시설 추가 확보, 군수 및 행정 지연시간 감소를 위한 제도개선) 결정에 기여할 수 있을 것이다.

7. 결론

본 연구에서는 하푼 유도탄의 실제 야전데이터를 분석하여 시뮬레이션 모델을 구성하고 다중선형회귀 분석과 정수계획법을 활용하여, 목표 가동률을 만족하는 적정 수리부속 재고수준을 결정하였다. 이후 정비 소요시간을 감소시키면서 가동률에 미치는 영향을 살

펴보았다. 군직정비와 외주정비 소요시간이 감소함에 따라 가동률이 비례적으로 상승하는 것을 정량적인 결과값을 통해 확인하였고, 정비 소요시간 감소만으로도 유도탄 가동률 향상과 수리부속 예산 절감이 가능함을 확인하였다. 이러한 정량적인 분석 결과값을 바탕으로 유도탄 정비 소요시간 단축을 위한 인력 운용, 장비·시설 확보, 제도 개선 등의 정책결정에 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 현재 운용중인 다른 종류의 유도탄에도 본 연구방법을 확대 적용한다면, 유도탄 유지관리 예산절감과 가동률 향상을 위한 정책결정에 기여할 수 있을 것이다.

하지만 본 연구에서도 제한사항이 몇 가지 존재한다. 첫째, 가동률에 영향을 미치는 변수로 수리부속 재고와 정비 소요시간 두 가지만 반영했다는 점이다. 실제 정비수행 중 발생하는 검사장비 고장, 동류전용, 성능개량 등의 다양한 상황이 존재하기 때문이다. 다양한 조건들을 시뮬레이션에 반영한다면 더욱 신뢰성 있는 연구가 수행될 수 있을 것이다. 둘째, 비용 비교 분석 시 수리부속 단가만을 반영하였다. 수리부속 수송비용, 인건비, 행정 소비비 등 다양한 항목들을 반영하여 비용산출을 한다면 보다 정확한 비교분석이 될 것이다.

References

- [1] H. Heo, "History of Navy Battles that Moved the World," Jisung, pp. 138-139, 2008.
- [2] C. C. Sherbrooke, "METRIC : Multi-Echelon Technique for Recoverable Item Control," Operations Research, Vol. 16, pp. 122-141, 1968.
- [3] J. Muckstadt, "A Model for Multi-Item, Multi-Echelon, Multi-Indenture Inventory System," Management Science, Vol. 20, pp. 472-481, 1973.
- [4] 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.
- [5] R. J. Hillestad, "Dyna-METRIC : Dynamic Multi-Echelon Technique for Recoverable Item Control," R-2785-AF, Rand, Santa Monica, 1982.
- [6] 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.
- [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] S. Kim, S. Lee, "A Case Study on the Cost Effectiveness Analysis of Depot Maintenance Using Simulation Model and Experimental Design," Journal of the Korea Society for Simulation, Vol. 26, No. 3, pp. 23-34, 2017.
- [10] 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.
- [11] J. Park, J. Ma, "Impact of P-3 Essential Assemblies on Operational Availability," Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 22, No. 3, pp. 416-424, 2019.
- [12] W. D. Kelton, R. P. Sadowski and N. B. Zupick, "Simulation with Arena, 6th Edition," McGraw Hill, New York, 2015.