

## 시물레이션을 활용한 효율적인 하푼 유도탄 정비인력 운영 연구

최영재 · 마정목<sup>†</sup>

### A Study on the Efficient Operation of Harpoon Missile Maintenance Personnel Using Simulation Model

Youngjae Choi · Jungmok Ma<sup>†</sup>

#### ABSTRACT

The maintenance of the guided missiles typically requires the efficient management of spare parts and maintenance time. This study analyzed the impact of the maintenance time on operational availability. This study classifies the maintenance team with consideration of the skill level of the Harpoon guided missile maintenance and the goal is to analyze the impact on the operational availability with the skill levels quantitatively. Based on the real maintenance data of Harpoon guided missiles, a simulation model is constructed and analyzed. The analysis of the simulation result shows the trade-off between the maintenance time and operational availability. It is expected that the simulation model can help the maintenance policies of guided missiles.

**Key words** : Harpoon Guided Missile, Operational Availability, Maintenance Time, Maintenance Skill Level, Simulation

#### 요약

일반적으로 유도탄 정비의 핵심적인 군수지원요소는 수리부속 재고수량과 정비 소요시간이며, 본 연구는 정비 소요시간과 가동률 간의 상관관계 영향을 분석하였다. 본 연구의 목적은 하푼 유도탄 정비인력 기술수준을 고려하여 정비팀을 분류하고 정비 소요시간 변화에 따라 유도탄 가동률에 미치는 영향을 분석하여 정량적인 분석 결과를 제시하는 것이다. 먼저, 하푼 유도탄에 대한 정비데이터와 정비 소요시간을 측정된 데이터를 바탕으로 실제 유도탄 정비절차와 유사한 시물레이션 모델을 구성하고 결과값을 분석하였다. 정비인력 기술수준을 고려하여 정비팀을 구성하였을 때, 전문성이 높은 팀일수록 정비 소요시간이 단축되었으며 가동률에 미치는 영향이 크다는 것을 시물레이션 결과값을 통해 확인할 수 있었다. 이러한 정량적 분석 결과값은 유도탄 정비인력 구성 및 운영방안에 대한 정책결정에 기여할 수 있을 것이다.

**주요어** : 하푼 유도탄, 가동률, 정비 소요시간, 정비인력 기술수준, 시물레이션

## 1. 서론

군에서 운용중인 유도탄은 목표 가동률을 설정하여 관리·유지되고 있다. 여기서 가동률(Operational Availability)이라 함은 사용되는 유도탄이 어느 시점에서 만족스럽게 작동할 확률을 말한다(DAPA, 2018). 유도탄의 정비 단

계는 유도탄을 운용하는 부대에서 수행하는 부대정비(Organizational Maintenance), 유도탄을 고장유무를 검사하고, 고장인 유도탄을 분해하여 교체·교환 수리하거나 운용부대에 대한 근접정비를 지원하는 근접정비(Intermediate Maintenance), 고장 수리부속에 대한 재생 수리를 하는 외주정비(Depot Maintenance) 3단계로 구분한다. 유도탄 정비 특성을 고려할 때 가동률에 직접적인 영향을 주는 핵심군수지원 요소는 수리부속 재고수량과 군직·외주정비 소요시간이다. 유도탄 가동률 관리 실패는 작전소요가 발생했을 때 즉각적인 군수지원이 제한되기 때문에 엄격한 가동률 관리가 필요하다.

**Received:** 16 November 2020, **Revised:** 2 February 2021,  
**Accepted:** 10 February 2021

<sup>†</sup> **Corresponding Author:** Jungmok Ma

E-mail: jmx1023@gmail.com

Korea National Defense University, Nonsan, Korea

국방부는 ‘국방개혁 2020’에서 최첨단 무기체계를 지속적으로 획득하여 전투력을 강화하고 질적 구조 전환을 위한 단계적 군 인원 감축을 발표하였다(Ministry of National Defense, 2007). 이런 상황을 고려할 때 가동률을 관리해야 할 대상인 유도탄은 지속적으로 도입되는 반면, 관리주체인 인원은 줄어드는 상황에 직면할 수 있다. 따라서 유도탄 정비 소요시간과 가동률 간의 상관관계를 정량적으로 분석하고 이를 통한 효율적인 정비인력 운영방안에 연구가 필요하다.

Choi(2020)는 함정에 탑재되어 적 수상함을 공격하는 대함유도탄인 하푼 유도탄을 대상장비로 하여, 실제 정비 데이터를 분석 후 수리부속 적정 소요를 확인하고 정비 소요시간이 가동률에 미치는 영향 연구를 수행하였다. 하지만 정비 소요시간 산출 시 실제 정비행위가 이루어진 시간만을 포함하였으며, 군직정비 범위에 포함된 검사절차인 정기검사 소요시간을 제외하였다. 하푼 유도탄 정비 데이터를 분석하여 보면 정기검사는 전체 정비횟수의 63%를 차지하고 있으며, 정기검사를 수행하기 위해서는 유도탄 분해, 검사, 재조립의 절차를 거치며 유도탄은 불가동 상태가 된다. 또한 실제 유도탄 정비행위가 이루어진 횟수 중 95% 이상 정기검사를 통하여 고장 수리부속을 확인하였다. 따라서 정기검사가 실제 정비행위가 이루어지지 않는 검사행위라고 하더라도 정비 소요시간에 포함되어야 한다.

이에 본 연구는 하푼 유도탄을 정비하는데 소요되는 시간에 검사, 정비행위를 모두 포함하여 정비 소요시간을 산출하였으며, 정비 소요시간이 가동률에 미치는 영향을 분석하여 효율적인 정비인력 운영방안을 위한 정책 결정에 기여하고자 한다. 여기서 가동률이란 해군에서 보유중인 하푼 유도탄 운용기간 동안 전체 유도탄 보유 수량 대비 운용 가능한 유도탄 수량의 평균 비율을 말한다. 유도탄 정기검사 소요시간은 정비인력 기술수준에 따라 정비팀을 분류하여 직접 측정하였다. 하푼 유도탄 정비데이터

상 정비 소요시간과 실제 측정된 정기검사 소요시간을 합산하여 이를 정비 소요시간에 반영하였다. 실제 하푼 유도탄 절차와 동일한 시뮬레이션 모델을 구성하고, 정비 인력 기술수준에 따라 정비에 소요되는 시간 변화가 가동률에 미치는 영향을 정량적으로 분석하였다. 2장에서는 관련 문헌연구들을 살펴보고 3장에서는 연구방법을 소개하였다. 4장에서는 시뮬레이션 구성 및 실행 결과값을 바탕으로 분석결과를 제시하였으며, 5장에서는 연구 결론 및 제한사항을 제시하였다.

## 2. 관련연구

무기체계 정비와 가동률 간의 상관관계 연구는 Sherbrooke(1968)이 제시한 METRIC(Multi-Echelon Technique for Recoverable Item Control) 모형에서부터 시작되었다. METRIC 모형은 미 항공기 정비체계에 수리부속 평균 재고부족량을 최소화하도록 최적 배분조합을 찾는 개념이다. 하지만 METRIC 모형은 정비 소요시간에 포함되는 재고자산 이동시간, 군수 및 행정 지연시간 등의 현실적인 특성이 고려되지 않는다는 점의 제한사항을 가지고 있다. 이런 제한사항을 보완하기 위하여 Tao and Wen(2009)은 정비시간, 수송시간 분포값 등을 시뮬레이션에 적용하여 수리부속 적정 재고수준을 산출함으로써 시뮬레이션이 METRIC 모형보다 효과적이라는 것을 입증한 바 있다. 또한 Kim(2014)은 군 정비시설 운용 분석을 위해 다양한 입력자료가 복합적으로 고려되어야 하는데 이를 위한 최적의 분석 방법은 시뮬레이션임을 연구를 통해 입증한 바 있다.

시뮬레이션을 활용한 무기체계 정비와 가동률 간의 상관관계 연구들은 Table 1과 같이 다양하게 진행되었다. Jeon(2018)은 해병대 상륙돌격장갑차를 대상으로 수리부속과 정비대체장비 재고수준, 재생정비 대기시간이 가동률에 미치는 영향을 분석하였으며, Park(2019)은 해상초

Table 1. Relevant prior research

Researcher	Research Equipment	Inspection time	Maintenance time
Jeon(2018)	KAAB	×	▪ Depot maintenance & delay time
Park(2019)	P-3C	×	▪ Depot maintenance & delay time
Choi(2020)	Harpoon	×	▪ Intermediate & depot maintenance time, delay time
Kim(2017)	UH60, UH1H, 500MD, AHIS	Virtual data	▪ Depot maintenance time
Koo(2017)	Maintenance System	Virtual data	▪ Intermediate maintenance time
This paper	Harpoon	Real data	▪ Intermediate & depot maintenance time, delay time

계기 주요 수리부속 재고수준과 외주정비 소요시간이 가동률에 미치는 영향을 분석하였다. Choi(2020)는 하푼 유도탄 정비 소요시간이 가동률에 미치는 영향을 분석하였으나, 앞선 3가지 연구는 시물레이션 상 정비 소요 시간에 정비행위가 이뤄지지 않는 검사행위는 모두 정비 소요시간에서 제외하였다. Kim(2017)은 시물레이션을 활용하여 육군 항공기 정비창 정비 프로세스 모델을 구성하고, 창정비 비용대 효과분석 연구를 수행하였으며, Koo(2017)는 시스템 신뢰도를 고려한예방정비 정책 연구를 수행하였으나, 2가지 연구 모두 정비인력에 대한 작업 소요시간을 [작업가용시간×기술수준]의 계산방법으로 연구에 반영하였다.

이에 본 연구는 하푼 유도탄을 대상장비로 선정하고, 하푼 유도탄 정비 소요시간을 실제 검사시간과 획득한 실제 정비 소요시간을 합산하여 시물레이션에 반영하였다. 하푼 유도탄 검사에 소요되는 시간은 정비인력의 기술수준에 따라 팀을 분류하여 직접 측정하였다. 실제 하푼 유도탄 정비절차와 동일한 시물레이션을 모델을 구성하여 검사시간이 포함된 정비 소요시간을 입력하고 실행하였다. 시물레이션 결과값을 바탕으로 하푼 유도탄 정비 소요시간 변화에 따른 가동률에 미치는 영향을 분석하였다. 투자 대비 산출 효과를 비교하기 위하여 결과값을 비용으로 환산하여 비교 분석함으로써 정량적 분석값을 제시하였다.

본 연구는 기존 연구들과 2가지 차이점을 두고 연구를 진행하였다.

첫째, 유도탄 정비 소요시간은 정비행위 뿐만 아니라 검사행위까지 포함하여 시물레이션에 반영하였다는 점이다. 앞선 선행연구를 살펴보면 장시간 소요되는 재생정비 대기시간과 실제 정비행위가 이루어진 군직·외주정비 소요시간만을 시물레이션에 반영하였으며, 검사행위는 정비 소요시간에 제외하였다. 실제 정비행위가 이뤄지지 않더라도 정기검사는 유도탄 고장유무를 식별해내는 가장 중요한 수단이며 유도탄을 분해, 조립하기 때문에 유도탄은 불가동상태가 된다. 따라서 정기검사 소요시간도 정비 소요시간에 포함하여 연구를 진행하였다.

둘째, 현재 근무중인 하푼 유도탄 정비인력 기술수준을 고려하여 팀을 분류하고, 정기검사를 수행하는데 소요되는 시간을 직접 측정하여 시물레이션 입력자료로 활용하였다. 지금까지 진행된 연구들은 작업 소요시간을 [작업가용시간×기술수준]의 계산된 시간으로 작업능력을 산출하여 시물레이션에 반영하였다. 하지만 본 연구는 정비인력 기술수준이 다른 3팀으로 분류하고, 각 팀별로 유도

탄 검사에 소요되는 시간을 직접 측정하여 시물레이션에 반영함으로써 실제 정비절차와 유사하고 현실적인 특성을 반영하였다. 또한, 정비팀별로 투자 대비 산출 효율성을 분석함으로써 정비인력 운용을 위한 인원구성, 신규인원획득 등의 정책결정에 기여할 수 있는 정량적 분석값을 제시하였다.

### 3. 연구방법

#### 3.1 유도탄 정비개념

해군 정비관리 규정에 따르면 정비는 사용 가능한 장비 및 보급품을 항상 사용 가능한 상태로 유지하는 행위와 사용 불가능한 장비 및 보급품을 원상태로 복구하는 일체의 행위를 의미한다. 유도탄 정비는 유도탄의 성능 유지 및 관리를 위하여 검사, 수리부속 교체, 고장난 수리부속 복구 등의 일체의 행위들을 말한다. 유도탄 정비 절차를 세분화하면 운용중인 유도탄은 운용부대에서 유도탄 고장유무를 확인하는 부대정비를 수행하고, 저장중인 유도탄은 유도탄 검사주기에 맞춰 수행하는 정기검사와 고장이 확인된 유도탄을 분해, 고장 수리부속 교체, 재조립의 절차를 거치는 군직정비를 수행한다. 부대정비에서 고장이 확인된 유도탄은 유도탄 정비시설로 이동하여 군직정비의 절차를 거친다. 이후 고장난 수리부속은 제작사로 보내어 재생하는 외주정비의 절차를 거친다. 유도탄 정비교범과 하푼 유도탄 실무자의 자문을 바탕으로 유도탄 정비절차를 Fig. 1과 같이 도식화하였다.

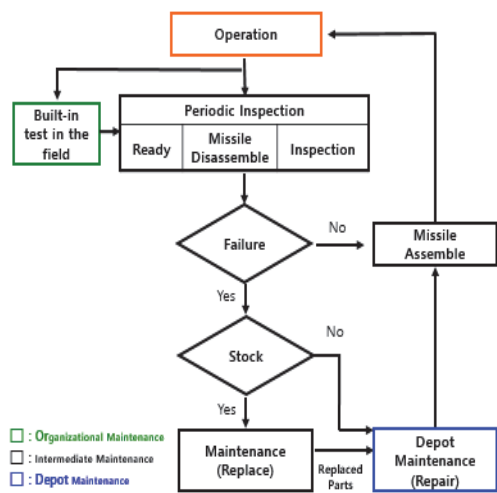


Fig. 1. Harpoon missile maintenance logic

### 3.2 정비인력 기술수준

무기체계를 정비하는 인력의 능력을 고려하여 기술수준을 정한다. 육군의 경우 정비인원의 기술수준은 숙련공, 준숙련공, 미숙련공으로 분류하며 시간당 작업할 수 있는 작업량을 Table 2와 같이 적용한다(육군본부, 2006). 예를 들어 준숙련공 1명이 하루에 8시간씩 일하며 주간 작업능력을 계산한다면  $[8시간 \times 5일 \times 0.75(기술수준)] = 30시간$ 과 같다. 앞선 연구들은 이와 같이 계산된 정비원의 작업능력을 연구자료로 활용하였다.

Table 2. Amount of work per hour

Technical Standard	Skilled labor	Intermediate labor	Unskilled labor
Maintenance Man-hour	1 m/h	0.75 m/h	0.5 m/h

해군 병기탄약창에서는 유도탄을 정비하는 인력의 능력을 고려하여 A, B, C, D, E 총 5등급으로 분류하여 관리하고 있으며, 자체 심의위원회를 통하여 등급을 상·하향 조정하고 있다. 일반적으로 신규 군무원이나 해당 무기체계를 처음 접한 인원은 E 등급으로 분류하고, C/D 등급까지 상향되는데 2~3년, A/B 등급까지 상향되는데 4~5년이 소요된다.

### 3.3 연구수행 절차

연구를 수행하기 위한 절차는 Fig. 2와 같다.

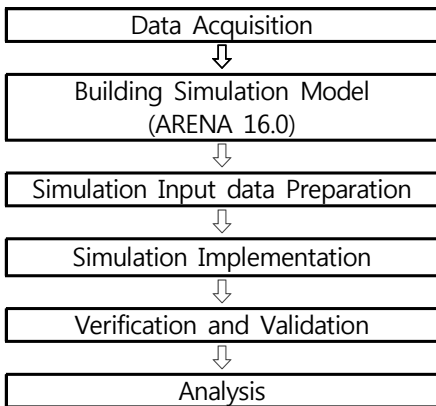


Fig. 2. Study process

먼저 하푼 유도탄에 대한 정비데이터와 정비 소요시간 측정데이터를 확보 후 실제 유도탄 정비절차를 바탕으로 시뮬레이션 모델을 구성하였다. 시뮬레이션은 상용 프로

그램 중 하나인 ARENA 16.0(Kelton, 2015)을 활용하였다. 확보된 데이터를 시뮬레이션 입력자료로 활용하기 위하여 데이터 변환 작업을 거친 뒤 정비 소요시간별 시뮬레이션을 실행하고 검증 후 결과값을 분석하였다.

### 3.4 자료수집

본 연구는 해군에서 유도탄 정비를 담당하고 있는 병기탄약창의 협조를 받아 하푼 유도탄 검사일지, 유도탄 이력부, 해군장비정비정보체계에 기록되어 있는 최근 20년간 하푼 유도탄 정비실적 자료를 수집하였다. 데이터의 신뢰성을 높이기 위하여 유도탄 검사일지, 유도탄 이력부, 해군장비정비정보체계에 기록되어 있는 데이터들을 비교 분석하였다. 하푼 유도탄 정비데이터 중 수리부속 고장 및 정비 횟수별로 나열한 값은 Table 3과 같다. 이중 정비가 완료되지 않아 정비 소요시간을 산출하기 어렵거나, 정비 횟수가 적어 정비 소요시간 확률분포의 신뢰도가 낮은 수리부속은 연구대상에서 제외하였다. 연구대상 수리부속은 Seeker부터 Actuator까지 고장횟수가 가장 많은 상위 5개 품목으로 선정하였다. Battery와 Actuator의 경우 소모성 교체 수리부속(Consumable)으로 외주정비를 수행하지 않는다.

Table 3. Harpoon missile maintenance parts

Parts	Number of Maintenance	Note
Seeker	304	-
Battery	70	Consumable
MGU	55	-
Altimeter	46	-
Actuator	32	Consumable
Engine	26	-
Initiator	17	Consumable
Control Section	11	-
ECA	7	Consumable
Relay panel	5	-
Converter	5	-
Fuze	2	Consumable
Probe	2	Consumable
Sustainer	2	-
Radome	1	Consumable

하푼 유도탄을 정비하는데 소요되는 시간은 Fig. 1에서 확인할 수 있듯이 정기검사, 군직정비, 외주정비 소

시간을 모두 포함한 시간이다. 하푼 유도탄 정비데이터는 고장난 수리부속, 고장시작 시점, 복구완료 시점을 확인할 수 있다. 정비데이터만으로 근무정비, 외주정비 소요 시간은 확인할 수 있으나, 정기검사 소요시간은 추가 확인이 필요하였다. 따라서, 본 연구의 목표인 정비인력 기술수준별 정비 소요시간이 가동률에 미치는 영향을 확인하기 위하여 하푼 유도탄 정비팀 인원을 기술수준에 따라 3개의 팀으로 분류하였고, '20. 5~8월까지 약 4개월 간 팀별로 정기검사 소요시간을 직접 측정하였다. 하푼 유도탄 정비교범 상 정비절차에 따르면 하나의 유도탄을 정비하는데 필요한 최적 인원은 4명으로 명시되어 있어 한 개의 팀은 4명으로 구성하였으며, 구성한 결과는 Table 4와 같다.

**Table 4.** Status of maintenance personnel skill level & maintenance team composition

Skill Level	A	B	C	D	E	Total
Number	2	4	1	1	-	8

No.1 Team : A, A, B, B / No.2 Team : B, B, B, B / No.3 Team : B, B, C, D

본 연구에서는 현재 하푼 유도탄 정비팀 인원 총 8명의 기술수준을 고려하여 상급 기술수준 No. 1 Team, 중급 기술수준 No. 2 Team, 하급 기술수준 No. 3 Team으로 분류하였다. 하푼 유도탄 정비는 통상 1개월에 4~5발 정도 정비하는 것을 감안하여, 약 4개월간 정기검사는 총 20발을 실시하였고 측정된 소요시간은 Table 5와 같다. 객관적인 데이터 확보를 위해 정기검사 소요시간 측정은 각 팀별로 유도탄 분해-검사-재조립-확인 of 동일한 절차를 수행하였다.

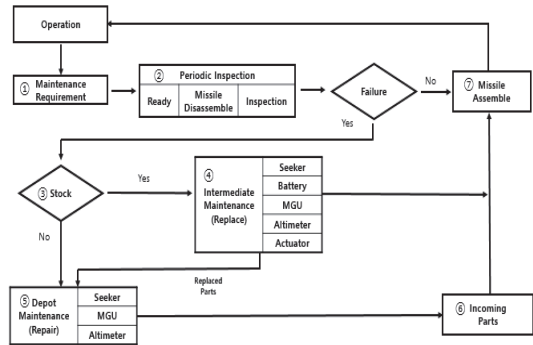
**Table 5.** Result of periodic inspection time

Team	No.1 (6 times)	No.2 (7 times)	No.3 (7 times)
Periodic inspection time	12h 38m	14h 52m	18h 22m
	12h 53m	14h 57m	18h 40m
	12h 54m	15h 03m	18h 55m
	13h 06m	15h 09m	18h 58m
	13h 12m	15h 12m	19h 05m
	13h 13m	15h 19m	19h 11m
	-	15h 20m	19h 13m
Average	13hour	15hour	19hour

## 4. 시뮬레이션

### 4.1 모델 구성 및 절차

시뮬레이션 모델은 현재 해군 유도탄 정비교범 및 실제 정비절차를 바탕으로 Fig. 3과 같이 구성하였다. 기존 연구와는 다르게 단순검사 항목인 정기검사(Fig. 3의 ②) 소요시간을 추가로 반영하여 실제와 유사한 시뮬레이션 모델을 구성하였다.



**Fig. 3.** Schematic diagram of proposed simulation model

시뮬레이션 절차는 다음과 같다. ① 하푼 유도탄 정비 소요가 발생하게 되면 ② 정기검사를 통해 고장유무를 확인한다. 하푼 유도탄 수리부속 고장이 확인되면 ③ 고장난 수리부속 재고 유무에 따라 ④ 고장난 수리부속은 보유중인 수리부속 재고를 이용하여 근무정비(교체정비)를 실시하고 ⑤ 고장난 수리부속은 해외 제작사로 보내 외주정비(재생정비)를 실시하거나, 재고가 없을 경우 바로 외주정비를 실시한다. ⑥ 정비가 완료된 수리부속이 입고되면 ⑦ 유도탄에 재장착되어 검사를 거친 후 재운용하거나, 수리부속 재고로 활용된다. 시뮬레이션 종료 후 Report를 통해 유도탄 가동률을 확인한다.

### 4.2 자료입력

시뮬레이션 모델에 입력되는 자료는 다음과 같다. 먼저 Fig 3의 ① 하푼 유도탄 정비 발생시간 간격이다. 최근 20년간 하푼 유도탄 정비데이터를 분석한 결과 정기검사는 985건 발생하였으며, 정기검사 985건을 데이터 수집기간인 20년으로 나누어 7.42일의 값을 도출하였다. 일반적으로 무기체계 부품 고장발생 시간간격 분포는 지수분포를 따르기 때문에 정비 발생 시간간격은 7.42일의 지수분포를 이루도록 입력하였다.

Fig 3의 ② 정기검사 소요시간은 실제 측정된 Table 5



결과의 평균 소요시간인 No.1팀 13시간, No.2팀 15시간, No.3팀 19시간을 입력하였다. Failure의 비율은 정기검사 횟수인 985건 대비 고장 식별로 실제 정비행위가 이루어진 585건을 고려하여 No 41%, Yes 59%의 비율을 입력하였다.

다음은 Fig 3의 ③ 수리부속 재고이다. 본 연구의 목표는 정비인력 기술수준에 따른 소요시간 변화가 가동률에 미치는 영향을 확인하는 것이기 때문에 가동률 변화에 영향을 미칠 수 있는 또 다른 변수인 수리부속 재고는 현재 해군에서 보유중인 실제 수리부속 재고수량을 고정값으로 입력하였으며, 구체적인 재고수량 수치는 군사자료 임을 고려하여 생략하였다.

다음은 Fig 3의 ④ 근직정비, Fig 3의 ⑤~⑥외주정비 소요시간이다. 최근 20년간 하푼 유도탄 정비데이터 중 근직·외주정비 소요시간에는 수리부속 이동시간, 정비시간, 행정시간 등이 포함되어 있다. 정비 소요시간 분포가 어떤 확률분포에 가장 적합한가를 분석하기 위하여 ARENA에서 제공하는 입력분석기를 활용하여 정비 소요시간 분포를 확인하고 추정된 분포의 적합도 검증을 수행하였다. Table 6, 7은 ARENA 입력분석기를 통해 산출된 각 수리부속별 정비 소요시간 확률분포값이다. Battery, Actuator의 경우 소모품으로 외주정비를 수행하지 않기 때문에 평균 수리부속 확보 소요시간을 지수분포가 이루어도록 산출하였다.

**Table 6.** Distributions of intermediate maintenance time

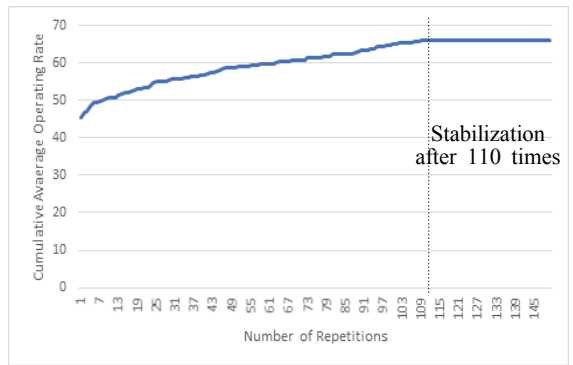
Parts	Probability Distribution(days)
Seeker	0.5 + LOGN(8.59, 14.5)
Battery	EXPO(1)
MGU	0.5 + LOGN(8.37, 13.6)
Altimeter	0.5 + LOGN(4.97, 5.45)
Actuator	1.5 + LOGN(8.11, 11.6)

**Table 7.** Distributions of depot maintenance time

Parts	Probability Distribution(days)
Seeker	TRIA(481, 1.01e+003, 2.24e+003)
Battery	EXPO(743)
MGU	842 + 1.72e+003 * BETA(0.596, 1.67)
Altimeter	399 + WEIB(283, 0.713)
Actuator	EXPO(641)

### 4.3 실행

시뮬레이션은 상용 프로그램인 ARENA 16.0으로 구현하였으며, 실행기간은 정비데이터 수집기간과 동일한 20년을 설정하였다. 시뮬레이션을 200회 이상 반복수행하여 각 반복횟수의 누적값 평균 가동률을 산출하였으며, 그 결과는 Fig. 4와 같다. 시뮬레이션 결과값인 누적 평균 가동률이 안정상태에 이르는 반복횟수는 110회 이후임을 확인할 수 있었다. 이에 따라 시뮬레이션 반복횟수는 110회로 설정하였다.



**Fig. 4.** Steady state analysis

### 4.4 검증

시뮬레이션 모델의 정확성과 타당성을 확인하기 위하여 다음과 같은 검증을 수행하였다. 먼저 정확성(Verification) 검증은 시뮬레이션 모델이 이상없이 정상적으로 실행되는지를 확인하는 것으로, 이는 ARENA 프로그램상의 “Check Model” 기능을 통해 구성된 시뮬레이션 모델이 경로오류, 논리오류가 없음을 확인하였다. 이처럼 시뮬레이션 실행추적을 실시하여 모델이 실제 정비 절차대로 정비흐름이 이뤄지고 있음을 확인하였다.

타당성(Validation) 검증은 유도탄 정비절차가 얼마나 정확하게 반영되었는가를 확인하는 작업으로, 이는 해군 유도탄 정비 관련 실무자 자문을 통한 개념 검증을 수행하고 실제 정비절차를 수행하면서 시뮬레이션 절차와 비교 검증하였다. 또한 수리부속 재고수량 증가, 정비 소요시간 감소에 따른 가동률 향상 여부를 관찰하여 시뮬레이션 자체검증을 수행하였으며, 선행연구들에서 누락한 검사 소요시간까지 정비 소요시간에 포함하여 현실성을 높였다.

### 4.5 결과분석

Fig. 3에서 시뮬레이션 ②(정기검사 소요시간), ③(수

리부속 수량) 입력자료는 고정값으로 설정하고 ①, ④~⑦의 입력자료는 확률변수에 의해 결정되는 가변값으로 설정하였다. Table 8과 같이 총 4가지의 시나리오로 시물레이션을 110회 반복하여 누적값 평균 가동률을 산출하였으며, 이를 총 100회 수행하였다. No.1팀, No.2팀, No.3팀의 정기검사 소요시간을 적용한 3가지 시물레이션과 해군 유도탄 정비교범 중의 하나인 표준작업절차서에 나와있는 정기검사 소요 기준시간인 21시간을 적용한 시물레이션(Standard)을 추가 수행하였다.

Table 8. Simulation result

Periodic Inspection Time	Scenario			
	21hours (Standard)	13hours (No.1 team)	15hours (No.2 team)	19hours (No.3 team)
Average Operating Rate (100 times)	63.16	76.59	76.13	61.33
	53.57	75.38	73.17	71.57
	67.12	78.25	76.91	68.53
	65.58	81.84	80.43	70.22
	∴	∴	∴	∴
	∴	∴	∴	∴
	∴	∴	∴	∴
	∴	∴	∴	∴
	∴	∴	∴	∴
Total Average	65.95	82.03	78.36	69.43

4가지 시나리오별 시물레이션 결과값인 평균 가동률 (Total Average)을 비교해보면, 표준작업절차서 상 표준정비공시 대비 실제로 측정된 3팀의 유도탄 평균 가동률 (Total Average)이 더 높았다. No.3팀의 경우 현재 하푼 유도탄 정비팀에서 근무하고 있는 인원 중 최소 근무경력자로만 구성하였음에도 불구하고 표준 정비공시를 적용한 것보다 가동률이 3.48% 이상 높게 나온 것을 확인할 수 있다. 다만, 현재 해군에서 보유 중인 하푼 유도탄 수량, 함정 탑재 소요, 작전물량 등을 고려한 목표 가동률이 70% 이상임을 감안할 때 No. 3팀이 하푼 유도탄을 정비할 경우 목표 가동률에 미치지 못함을 확인할 수 있다. 현재의 목표 가동률을 만족하기 위해서는 No.2팀 구성원의 기술수준으로 정비인원을 구성해야 함을 시물레이션 결과를 통해 확인할 수 있다.

No.1 팀, No.2 팀, No.3 팀의 시물레이션 결과값을 비교해보면 No.2팀은 No.3팀 대비 8.93% 가동률 상승효과

를 볼 수 있으며, No.1팀은 No.2팀 대비 3.67%, No.3팀 대비 12.6% 가동률 상승효과를 볼 수 있다. 해군에서 보유 중인 하푼 유도탄 수량을 고려하였을 때 가동률 2% 상승은 함정 1척을 추가로 지원할 수 있는 수량임을 의미한다.

현재 보유하고 있는 수리부속 수량을 기준으로 수리부속 단가를 고려한 총 금액 대비 가동률 향상에 따른 절감 가능한 수리부속 수량을 금액으로 환산하여 비교한 그래프는 Fig. 5와 같다. 표준공시를 적용한 시물레이션 결과값을 기준으로 비교해보면 No.1팀은 33.42억원, No.2팀은 25.8억원, No.3 팀은 7.23억원의 예산절감 효과가 있다.

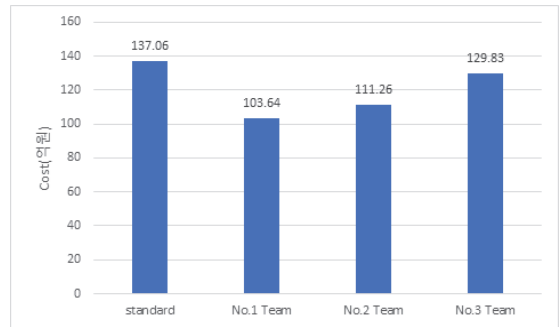


Fig. 5. Cost for change of maintenance time

투입 대비 산출 효과를 비교 분석하기 위하여 각 팀별 인건비를 산출하였다. 인건비는 각 팀별 정비인력의 직급, 호봉을 고려한 연봉의 합으로 No.1팀 2.28억, No.2팀 1.91억, No.3팀 1.48억원이다. 투입한 인건비 대비 유도탄 가동률 향상에 따른 예산절감 비용을 비교한 그래프는 Fig. 6과 같다. 인건비 투입 1억원 기준 No.1팀은 14.66억원, No.2팀은 13.51억원, No.3팀은 4.89억원의 효과를 볼 수 있다. 단, 비용산출 시 수리부속 비용과 정비인력의 연봉만을 가지고 비교 분석한 것이라 제한사항은 있으나, 기술수준이 높은 정비팀일수록 예산절감 효과는 크다는 것을 확인할 수 있다.

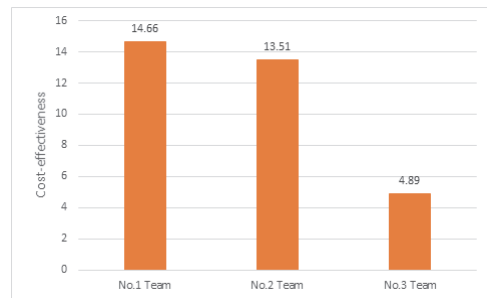


Fig. 6. Cost-effectiveness analysis

## 5. 결론

단 한 번의 발사로 작전임무 성공을 좌우하는 유도탄은 완벽한 정비·관리가 필수적이며, 엄격한 가동률 관리가 필요하다. 유도탄 가동률에 직접적인 영향을 미치는 군수지원요소는 수리부속 재고와 정비 소요시간이며, 본 연구는 기술수준이 다른 3팀의 정비 소요시간 변화가 유도탄 가동률에 미치는 영향을 분석하였다. 시뮬레이션 결과를 살펴보면 정비인력 기술수준이 뛰어난 No.1팀이 No.3팀 대비 12.6% 가동률 상승효과를 볼 수 있으며, 인건비 대비 예산절감의 효과도 훨씬 크다는 것을 알 수 있다. 또한, 현재 해군에서 하푼 유도탄의 목표 가동률 70% 이상을 만족하기 위해서는 No.2 팀 정비인력 기술수준의 인원으로 정비팀을 구성하여야 함을 시뮬레이션 결과를 통해 확인하였다.

현재 해군 정비인력 인사교류 정책은 통상 3~5년 근무 시 인사발령 조치를 하고 있다. 정비인력이 일정 기술수준에 도달하고 전문성을 갖추기 위해서는 현재 인사교류 시기 이상의 시간이 필요하며, 정비인력 기술수준 차이는 정비 소요시간을 단축하고 이는 결국 유도탄 가동률 향상에 직접적인 영향을 미친다. 본 연구의 정량적 분석 결과값은 유도탄 정비 소요시간 단축을 위한 인력구성, 정비인력 인원교류, 신규 군무원 채용 등의 정비인력 구성 정책결정에 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 다른 종류의 유도탄 또는 타 무기체계에 본 연구방법을 확대 적용한다면, 무기체계 운용유지 관리와 가동률 향상을 위한 정책결정에 기여할 수 있을 것이다.

다만, 본 연구의 결과를 그대로 적용하는 데는 한계점이 있다. 단순히 하푼 유도탄을 정비하는데 소요되는 시간만을 측정하여 시뮬레이션 입력자료에 활용하였기 때문이다. 정비절차 단계별로 인원배치 또는 정비팀 구성을 달리하거나, 동시 작업 수행을 위한 추가 장비설치 등의 다양한 상황을 고려하여 연구가 진행된다면 보다 더 정확한 분석이 될 것이다. 또한, 시뮬레이션 결과값인 가동률과 비용에 대한 비교분석 시 수리부속 단가와 정비인력 연봉만을 고려하였다. 수리부속 수송비용, 인력운용을 위한 행정 소요비 등 다양한 항목들을 반영하여 비용산출을 한다면 보다 정확한 비교분석이 될 것이다.

## References

1. Choi. Y. J. and Ma. J. M.(2020), “Impact of Maintenance Time of Anti-Ship Missile Harpoon

on Operational Availability with Field Data”, *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol. 23, No. 4, 426-434.

(최영재 등 2명 (2020), “야전데이터 기반 하푼 유도탄 정비 소요시간이 가동률에 미치는 영향 연구”, 한국군사과학기술학회, 제23권 제4호, 426-434.)

2. Jeon. H. J. and Ma. J. M.(2018), “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, 520-528.

(전홍주 등 2명 (2018), “시뮬레이션에 기반한 KAAV 주요 수리부속과 정비대체장비 재고수준이 운용가용도에 미치는 영향 연구”, 한국군사과학기술학회, 제21권 제4호, 520-528.)

3. Kelton. W. D., Sadowski. R. P. and Zupick. N. B., “Simulation with Arena, 6th Edition,” McGraw Hill, New york, 2015.

4. Kim. K. R. and Lee. J. M.(2014), “Simulation Analysis to Optimize the Management of Military Maintenance Facility”, *Korea Academy Industrial Cooperation Society*, Vol. 15, No. 5, 2724-2731.

(김경록 등 2명 (2014), “군 정비시설 운용 최적화를 위한 시뮬레이션 분석 연구”, 한국산학기술학회, 제15권 제5호, 2724-2731.)

5. Kim. S. K. and Lee. S. J.(2017), “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, 23-34.

(김성곤 등 2명 (2017), “시뮬레이션 모형과 실험설계법을 활용한 창정비 비용대 효과 분석 사례”, 한국시뮬레이션학회, 제26권 제3호, 23-34.)

6. Ministry of National Defense(2007), defense reform 2020 : Logistics Master Plan, *Ministry of National Defense*, 7-9.

7. Park. J. H. and Ma. J. M.(2019), “Impact of P-3 Essential Assemblies on Operational Availability,” *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol. 22, No. 3, 416-424.

(박지훈 등 2명 (2019), “해상초계기 주요 수리부속 재고수준이 운용가용도에 미치는 영향 연구”, 한국군사과학기술학회, 제22권 제3호, 416-424.)



8. R.O.K Army(2006), “6-1 Technic and Logistic Standard”, *R.O.K Army Press*, 54-63.
9. Sherbrooke. C. C., “METRIC : Multi-echelon Technique for Recoverable Item Control,” *Operations Research*, Vol. 16, pp. 122-141, Nov 1968.
10. Tao. N. and Wen. S., “Simulation of a Closed Loop Multi-Echelon Repairable Inventory System,” *International Conference on Management Science and Engineering*, pp. 663-668, 2009.
11. Weapon System RAM Business Guidelines, *Defense Acquisition Program Administration*, 2018.



**최영재** (ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-2617-8117> / [win0930@naver.com](mailto:win0930@naver.com))

2010 해군사관학교 경영과학 학사  
2020 국방대학교 국방과학학과 석사

관심분야 : 국방 시뮬레이션, 국방 M&S, 무기체계 획득관리



**마정목** (ORCID : <https://orcid.org/0000-0001-5390-8483> / [jxm1023@gmail.com](mailto:jxm1023@gmail.com))

2002 육군사관학교 운영분석 학사  
2008 미국 펜실베이니아주립대(PSU) 산업공학 석사  
2015 미국 일리노이대(UIUC) 산업공학 박사  
2015~ 현재 국방대학교 국방과학학과 부교수

관심분야 : 국방 모델링 및 데이터 분석학, 무기체계 획득관리