

무기체계 계층구조를 활용한 수리부속의 수명주기비용 추정 방안

이자경* · 김상부**† · 박윤규*** · 배인화**

* 한성에스앤아이

** 창원대학교

*** 한국항공우주산업

Life Cycle Cost Estimation Method for Spare Parts Using Weapon System Hierarchy

Lee, Ja Kyoung* · Kim, Sang Boo**† · Park, Yun Gyu*** · Bae, In Hwa**

* Hangsung S&I

** Changwon National University

*** Korea Aerospace Industries

ABSTRACT

Purpose: The spare part cost is one of the most important cost factors with which construct Life Cycle Cost. The LCSP(Life Cycle Sustainment Plan) Guidebook issued by Korea Ministry of Defense, however, suggests a simple equation to estimate the spare part cost using maintenance task frequencies and each part cost. Therefore, following the cost estimation method in the LCSP Guidebook may lead to an improper cost estimation result since both the hierarchical structure of the weapon system and the part discard rate are not considered. The purpose of this study is to develop a new life cycle cost estimation method for spare parts of weapon system during its life cycle.

Methods: In this study, the detailed cost structure of spare parts is provided. Also a new spare part cost estimation methods for the each cost element are proposed, considering the hierarchical structure of weapon system and the part discard rate. And the proposed spare cost estimation methods are applied to K system for a case study.

Results: Based on the case study of K system, the spare part cost estimation method, proposed by this study, shows that it can complement the estimation method suggested by the LCSP Guidebook. It also shows that it is applicable to the weapon systems for Korea armed forces.

● Received 29 April 2024, 1st revised 21 May 2024, accepted 30 May 2024

† Corresponding Author(sbkim@cwnu.ac.kr)

© 2024, The Korean Society for Quality Management

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-Commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

* 이 논문은 2022년 정부(방위사업청)의 재원으로 국방기술진흥연구소의 지원을 받아 수행된 연구임(KRIT-CT-22-081, 무기체계 CBM+ 특화연구센터)

Conclusion: The proposed life cycle cost estimation method for spare parts has an advantage of estimating the spare part cost more accurately. It is expected to be useful in analyzing the procurement alternatives objectively and making up the Korea armed forces budget effectively.

Key Words: Life Cycle Cost Estimation, Spare Parts, Weapon System, Hierarchical Structure

1. 서 론

수명주기비용이란 일반적으로 제품의 생산, 사용, 폐기의 각 단계에서 발생하는 비용을 합한 총비용을 말한다. 무기체계의 경우 하나의 무기체계가 개발·획득·운영·도태되는 때까지 소요되는 전체 비용을 뜻하고, 연구개발비용, 양산비용, 구매비용, 운영유지비용, 폐기비용으로 구분한다(MND, 2023). 이 중 운영유지비의 한 항목인 군직정비비(수리부속)는 운영유지 단계 중 발생하는 수리부속 비용을 의미하며, 무기체계의 수명주기비용 중 큰 비중을 차지하고 있다. 하지만 국내 무기체계 수리부속 비용 추정식은 간단한 개념적 수식만을 제공하고 있고 무기체계의 계층구조와 수리부속의 폐기 가능성을 반영하고 있지 않다. 또한 미군이 사용하는 무기체계 수리부속 비용 추정식은, 미국과 우리나라의 정비 개념의 차이로 인해 국내 무기체계에 직접 적용이 제한적인 상황이다.

무기체계의 수리부속 비용 추정에 대한 연구는 현재까지도 꾸준히 진행되어 오고 있으며, 특히 비용 추정의 정확도 향상을 위한 여러 연구가 진행되었다. 관련 연구를 크게 분류하면 정비 실적을 활용한 연구, 상용 소프트웨어를 활용한 연구, 추정식을 기반으로 수리부속 비용을 추정하는 연구로 구분할 수 있다. 첫째, 과거 정비 실적을 기초로 유사 체계 수리부속 비용을 추정하는 방안을 고려하는 연구로는 과거 실적자료 중 유사 체계 획득비, 노후화율, 임무형태, 국산화율 등을 바탕으로 새로운 무기체계의 수리부속 비용을 추정하는 모델을 개발하거나(Ryu et al., 2010) 유사 체계 수리 실적을 기초로 수리부속 비용을 추정하는 연구(Ahn et al., 2010)가 있다. 그 외에도 신규 연구 개발되는 체계와 유사 체계의 운용형태, 체계 제원을 비교하여 모델링한 것을 신규 연구개발 체계에 적용한 결과를 제시하거나(Fusaro et al., 2018) 전투임무기의 기종별 장비유지비를 바탕으로 연간 정비비 추정식을 제시하는 연구(Sun, 2021) 등이 있다. 상용 소프트웨어를 활용하는 경우 일반적으로 알려진 상용 소프트웨어 적용 결과를 비교 분석(Jeong et al., 2019)하거나 무기체계 연구개발 단계에서 상용 소프트웨어를 체계에 적용한 결과를 제시한 연구(Kwon et al., 2022) 등이 주를 이루고 있다. 또한, 추정식을 기반으로 수리부속 비용을 추정하는 연구는 수명주기관리계획서 가이드북(MND, 2019)에서 제시하는 군직정비비(수리부속) 추정식을 활용하여 비용을 추정하는 연구(Kim et al., 2020)가 있다.

이 연구는 우리나라 무기체계 계층구조와 수리부속의 폐기율 반영을 통해 수명주기관리계획서 가이드북의 군직정비비(수리부속) 추정식을 보완하여 보다 정밀한 수리부속 비용을 추정하는 방안과 관련되어 있다. 이를 위해 무기체계의 계층구조를 고려한 수리부속 비용의 세부 항목 구조를 제시하고, 각 항목별로 추정식을 제시한다. 그리고 제시한 추정식을 국내에서 연구 개발된 K 체계에 적용한 결과를 보이고, 그 결과를 기존 추정식과 비교함으로써 수명주기 수리부속 비용 추정 방안의 적용 가능성을 확인하였다.

2. 국내외 수리부속 비용 추정 방법

미국 O&S Cost-Estimating Guide(2020)에 보면, 무기체계의 수명주기비용에서 운영유지비 비중은 평균적으로 약 65%이며 특히 이 연구에서 사례로 제시한 K 체계가 속한 무기체계 범주에서 총수명주기비용 대비 운영유지비는

67%로 나타나 있다(OSD, 2020). 또한 운영유지비 중 수리부속 비용의 비율은 미군용기의 경우 27%이며 (Boito et al., 2016) 우리나라 항공기나 장갑차의 경우 약 27~28%로(Ryu et al., 2010) Figure 1과 같이 수리부속 비용이 수명주기비용에서 큰 비중을 차지하고 있음을 알 수 있다.

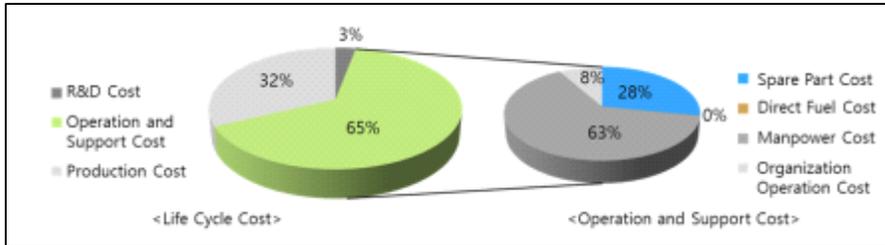


Figure 1. Life Cycle Cost and Spare Part Cost

우리나라의 경우 국방부 총수명주기관리업무 훈령(MND 2023)과 수명주기관리계획서 가이드북(MND 2019)을 통해 수명주기비용 구조와 추정 방법이 제시되고 있다. 총수명주기관리업무 훈령은 2021년 제정 이후 2차례 개정되며 2019년 발간된 수명주기관리계획서 가이드북을 통해 보인 수명주기비용 항목을 일부 통합, 폐지하였다. 항목별 정의와 용어 등을 토대로 볼 때 수명주기관리계획서 가이드북의 부대정비비(수리부속), 야전정비비(수리부속), 군직창정비비(수리부속), 지원장비/물자 교체비 및 지원장비/물자 정비비 5개 항목이 총수명주기관리업무 훈령의 군직정비비(수리부속)으로 통합된 것을 알 수 있다. 그리고 이 관계를 바탕으로 정리한 군직정비비(수리부속) (Spare Part Cost)의 추정식은 식 (1)과 같다.

$$Spare\ Part\ Cost = \sum_i i^{th} Item\ Annual\ Maintenance\ Frequency \times Part\ Cost \quad \text{식 (1)}$$

식 (1)에 따르면 군직정비비(수리부속)는 품목별 정비업무 빈도와 수리부속 소모 금액의 곱을 수리부속별로 합하여 전체 수리부속 비용을 산출한다. 정비업무 빈도는 품목별 연간운용소요와 고장률을 곱하여 구할 수 있고, 수리부속 소모 금액은 수리부속 단가로 추정된다. 그러나 해당 수식에는 다음과 같은 문제점이 있다.

- 1) 고장 이후 수리하지 않고 폐기되는 품목을 재고 보충을 위해 재구매하는 비용에 대한 고려가 없다. 또한, 무기체계를 이루고 있는 계층구조 내에서 상위 품목의 폐기 가능성은 하부 품목의 교체 또는 폐기에 영향을 주는데 이에 대한 반영이 없다.
- 2) 수리부속 소모 금액에서 수리부속에 대한 세부 비용 항목을 제시하고 있지 않다.

반면에 미국은 Operating and Support Cost-Estimating Guide(OSD, 2020)를 통해 무기체계의 운영유지비용 구조와 계산식을 제시하고 있다. 이 중 수리부속 비용과 관련된 Repair Parts and Material 비용과 Condemnation Spares 비용 추정식을 그대로 국내 무기체계 연구개발 단계에서 적용하는 데에는 다음과 같은 문제점이 있다.

- 1) 2단계의 정비 체계를 위한 수식이므로 국내의 3단계 또는 5단계 정비 체계 적용에 제한적이다.
- 2) LRU(Line Replaceable Unit)는 부대에서 정비하고 SRU(Shop Replaceable Unit)는 정비창에서 정비하는 정

비 개념을 가정한 추정식으로, 3단계 또는 5단계 정비를 적용하고 있는 우리나라 군직정비의 경우 LRU와 SRU의 정비 위치가 미국의 경우와 상이한 부분이 있어 이를 그대로 적용하는 것이 제한적이다.

- 3) 정비별 물자비용인 MCPR(Material Cost Per Repair)의 파라미터 확인이 제한된다. MCPR은 정비에 필요한 소모성 물자와 그 하부 품목의 고장률 및 단가 등을 종합적으로 고려한 비용의 기댓값을 나타낸다고 말할 수 있다. 품목별로 산출된 MCPR 값을 O&S Guide에서 제시하고 있으나 그 과정이 생략되어 있어 세부 확인이 불가능하다.

따라서 우리나라 무기체계 수리부속의 수명주기비용에 대한 정확한 추정 방안이 요구된다.

3. 무기체계 계층구조를 활용한 수명주기 수리부속 비용 추정 방안

무기체계 계층구조는 상위 품목과 하위 품목 간의 구조를 말한다. 하나의 체계는 여러 개의 도면품, 기구물, 조립체, 부품 등으로 구성되고, BOM(Bill of Material), GBL(General Breakdown List) 등으로 구성품과 계층구조를 확인할 수 있다.

3.1 수리부속 비용 구조

국내 군직정비 형태에 따른 수리부속 비용 구조는 고장정비비와 계획정비비로 구분된다. 고장정비비(TCMC : Total Corrective Maintenance Cost)에는 고장이 발생한 품목을 캐비닛, 랙 등과 같은 상위 품목에서 제거 및 설치하며 발생하는 소모성물자 비용(Material Cost)과, 고장품목을 폐기하고 재고를 보충하며 발생하는 재구매 비용(Replenishment Cost)이 있다. 계획정비비(TPMC : Total Planned Maintenance Cost)는 소모되는 소모성물자 또는 주기교환품목 비용으로 구성된다.

3.2 연간 수리부속 비용 추정 방법

연간 수리부속 비용의 추정은 고장정비비와 계획정비비로 나누어 수행하고, 모든 정비 대상 품목은 계층구조와 상관없이 최소 정비 단위 품목까지 지수분포를 따르며 최소 정비 단위 품목의 고장이 시스템 고장을 발생시키는 직렬 구조를 가정하였다. 실제로 정비 단위 품목의 수명분포가 지수분포를 따르지 않는 경우가 있지만 이를 모두 반영하는 경우 정비 비용을 추정하는 식이 복잡해짐을 고려하여 지수분포를 가정하였다.

3.2.1 고장정비비

고장정비비는 소모성물자 비용과 재구매 비용을 합산하여 추정한다. 이 중 소모성물자 비용(Material Cost) 추정식은 식 (2)와 같다.

$$\text{Material Cost} = QTY_{SYS} \times$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^{k_i} \left[\left\{ \prod_{j=1}^l (1 - DCR_{ij-1}) \right\} \times RMMC_{il} \times QTY_{il} \right] \times AOR_i \times \lambda_i \quad \text{식 (2)}$$

- n : Number of the lowest level maintenance items
- QTY_{SYS} : Quantity of the systems
- k_i : The maximum hierarchical level of the i th item
- DCR_{ij} : Discard rate of the j th hierarchical item of the i th item
- $RMMC_{il}$: Replacement maintenance material cost of the l th hierarchical item of the i th item
- QTY_{il} : Quantity of the l th hierarchical item of the i th item
- AOR_i : Annual operating requirement of the i th item
- λ_i : Failure rate of the i th item

n 은 체계의 최소 정비단위 품목 개수이고, k_i 는 i 번째 품목의 최대 계층구조 레벨이다. 추정식은 먼저 레벨 1부터 상위조립체 레벨(l)까지 수리가능 비율($1 - DCR_{ij-1}$)을 곱하여 계층구조를 반영한다. 이 값에 해당 레벨 품목의 교체 소모성물자 비용($RMMC_{il}$)과 실제 수량(QTY_{il})을 곱하여 각 계층구조의 소모성물자 비용 기댓값을 구한다. 계산한 각 계층구조의 기댓값을 최소 정비단위 품목에 모두 더한 후, 정비단위 품목의 연간운용소요(AOR_i)과 고장률(λ_i)을 곱하여 i 번째 품목과 그 상위 품목의 연간 소모성물자 비용을 산출한다. 여기에 체계 내 존재하는 모든 최소 정비단위 품목의 소모성물자 비용을 더하고 시스템 수량(QTY_{SYS})을 곱하여 연간 소모성물자 비용을 계산한다. 계층구조 레벨 1 품목은 상위품목이 없으므로 $DCR_{i0} = 0$ 으로 설정하며, 도면품, 기구물과 같이 정비가 이뤄지지 않는 비정비대상품목은 산출에서 제외하고 $DCR_{ij} = 0$, $RMMC_{il} = 0$ 으로 설정한다.

고장정비비 중 재구매 비용 (Replenishment Cost) 추정식은 식 (3)과 같다.

$$\text{Replenishment Cost} = QTY_{SYS} \times$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^{k_i} \left[\left\{ \prod_{j=1}^l (1 - DCR_{ij-1}) \right\} \times DCR_{il} \times ITC_{il} \times QTY_{il} \right] \times AOR_i \times \lambda_i \quad \text{식 (3)}$$

소모성물자 비용과 마찬가지로 n 은 체계의 최소 정비단위 품목 개수이고, k_i 는 i 번째 품목의 최대 계층구조 레벨이다. 추정식은 먼저 상위품목 수리가능 비율($1 - DCR_{ij-1}$)을 레벨 1부터 상위조립체 레벨(l)까지 곱하여 계층구조를 반영하고, 여기에 해당 레벨 품목의 폐기율(DCR_{ij}), 단가(ITC_{ij})와 실제 수량(QTY_{il})을 곱하여 각 계층구조의 재구매 비용 기댓값을 구한다. 계산한 각 계층구조의 기댓값을 최소 정비단위 품목에 대해 모두 더한 후, 최소 정비단위 품목의 연간운용소요(AOR_i)와 고장률(λ_i)을 곱하여 i 번째 품목과 그 상위 품목의 연간 재구매 비용을 산출한다.

가상의 무기체계인 지휘체계의 계층구조 내에서 고장정비비 비용 추정 방법을 도식화하면 Figure 2와 같다. 최소 정비단위인 메인보드(Mainboard)의 고장은 계산기(Processor), 자료처리장치(Information Processing Unit), 콘솔

(Console)을 거쳐 전투체계(Combat System) 고장으로 나타난다. 즉, 상위 품목의 고장은 최소 정비단위 품목의 고장에 기인하고, 고장이 발생하면 정비대상 품목인 자료처리장치, 계산기, 메인보드 순으로 각각의 상위품목에서 제거되며 소모성물자 비용이 발생한다. 따라서 체계 고장의 원인인 메인보드 교체에는 메인보드와 그 상위품목인 자료처리장치, 계산기의 소모성물자 비용이 모두 발생하게 되고, 이때 정비업무 빈도는 메인보드 고장률 및 연간운용소요(정비업무 빈도)에 기인한다. 재구매 비용 또한 메인보드의 고장률 및 연간운용소요(정비업무 빈도)에 따라 발생하며, 여기에 자료처리장치, 계산기 각 품목의 폐기율을 따른다. 그러므로 최소 정비단위 품목에 각 계층구조 레벨에서 발생하는 고장정비비 발생 기댓값을 모두 더하고, 여기에 최소 정비단위 품목의 정비업무 빈도를 곱하여 최소 정비단위 품목과 그 상위 계층 구조에서 발생하는 연간 고장정비비를 산출하였다.

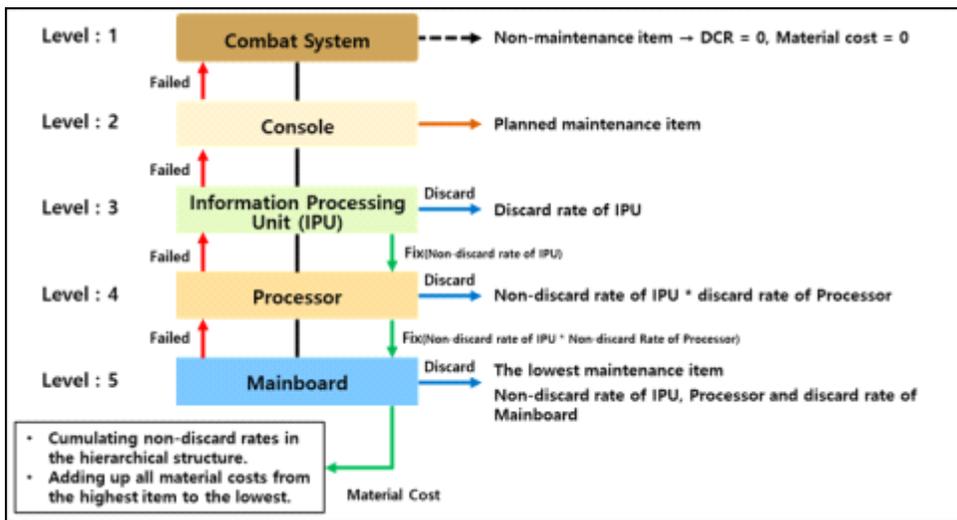


Figure 2. Virtual Combat System Hierarchy and TCMC Estimation

3.2.2 계획정비비

연간 계획정비비 추정은 아래의 식 (4)와 같이 완성할 수 있다.

$$TPMC = QTY_{SYS} \times \sum_{r \in S} (QTY_r \times FREQ_r \times PMMC_r) \tag{4}$$

- QTY_r : Quantity of the item which the r th planned maintenance task is designated
- $FREQ_r$: Annual task frequency of the r th planned maintenance task
- $PMMC_r$: Consumable material cost or periodic replace item cost for the r th planned maintenance task

S가 품목별 정비업무부호(Task Code)일 때, 해당 정비업무부호가 지정된 품목의 수량(QTY_r)에 연간 업무 빈도($FREQ_r$)와 소모성물자 및 주기교환품목 비용($PMMC_r$)을 곱하여 계획정비 항목별 계획정비비를 산출한다. 그리고 체계 내 모든 계획정비비를 모두 합한 값에 시스템 수량(QTY_{SYS})를 적용하여 총 계획정비비를 산출한다. 정비업무부호(Task Code)는 체계 내 정비업무가 부여된 품목에 주어지는 영문자 7자로 이루어진 부호이며 정비 기능과 주기, 정비 단계, 사용군 부호, 운용도 부호, 일련번호로 구성된다(DAPA 2015). 정비업무부호의 두 번째 자리인 정비

주기부호를 확인하여 연간 계획정비 업무빈도($FREQ_r$)를 확인하며, GBL과 기술교범을 통해 소모성물자 및 주기교환품목 비용($PMMC_r$)을 확보하여 추정식에 반영하고, 연간 계획정비비(TPMC)를 산출한다.

3.3 수명주기 수리부속 비용 추정

연간 단위로 추정된 고장정비비(TCMC)와 계획정비비(TPMC)에 매년 일정한 물가상승률(r)을 가정하여 수명주기 n 년 동안의 수리부속비용을 추정한다. 이때 추정식은 식 (5)와 같다. 여기서 r 은 연간 물가상승률 추정값에 1을 더한 값이며 δ 는 총수명주기(년)을 나타낸다.

$$Life\ Cycle\ Spare\ Part\ Cost = \frac{(TCMC + TPMC)(r^\delta - 1)}{r - 1} \quad \text{식 (5)}$$

4. K 체계 적용 사례

4.1 K 체계 구성 및 정비 대상 품목 구분

K 체계는 국내 전투함정에 탑재하여 각종 센서에서 수집된 정보를 통합, 전시하고 이를 바탕으로 효과적인 전투를 수행할 수 있게 하는 체계이다. 체계 특징은 Table 1과 같고, 8개의 Level 3 단위를 가진 체계이다.

그리고 앞서 언급한 바와 같이 정비업무 부호는 체계 내 정비가 지정된 품목에만 주어지며, 이를 바탕으로 K 체계 GBL에서 정비항목 2,443 품목을 확인하였다. 또한 정비업무 부호의 첫 자리가 “J - 수리”, “H - 교환”, “B - 시험”으로 되어있는 품목을 기술교범과 대조하여 고장정비 품목 2,417 품목을 구분하고, 비정비대상 품목인 체계, 도면품, 기구물 등은 폐기율(DCR_{ij})과 교체 소모성물자 비용($RMMC_{ij}$)을 “0”으로 설정하였다. 동일한 방법으로 정비업무 부호 첫 자리가 “C - 근무”, “A - 검사”, “H - 교환”로 되어있는 324건의 계획정비를 식별하였으며, 해당 계획정비가 지정된 26개 품목의 수량과 소모성물자/주기교환품목 단가 및 세부정보를 GBL과 기술교범에서 확인하였다.

아울러 소모성물자는 지정된 소모량이 없고 필요한 만큼 사용하는 형태이므로 정비별 정확한 비용 확인이 불가능하다. 따라서 구매 단위별 단가 등을 고려하여 열전도 그리스는 20,000원, 케이블 타이 5,000원, 접촉제 2,000원 등으로 가정하여 고장정비비와 계획정비비를 산출하였다. 이외 고장정비 품목과 주기교환품목은 실제 단가를 사용하였다.

Table 1. K System Specification

Quantity of the Systems	3	AOR	1,622 Hours (Assumed)
Maintenance Level	3 Level Maintenance (Unit, Intermediate, Depot)	Number of Parts	6,440 items (including non-maintenance items)
Life Cycle	30 Years (Assumed)	Hierarchy Level	9 Levels
Inflation Rate	2 % (Annually, Assumed)	-	-

4.2 연간 수리부속 비용 추정

앞서 언급한 연간 수리부속 비용 추정식을 이용하여 K 체계에 대한 연간 수리부속 비용을 추정하고, 물가상승률을 고려한 수명주기 수리부속비용을 산출한다. 이때 시스템 수량은 3개로 설정하였다.

4.2.1 고장정비비

먼저 폐기율(DCR_{ij})을 바탕으로 계층구조에 따른 상위 품목의 수리 가능 비율을 계산하였다. 최소 정비단위 품목 중 하나인 발광다이오드(LED) 및 그 상위품목에 대한 계산 결과는 Table 2와 같다. 그리고 동일한 품목에 식 (2)를 적용한 소모성물자 비용(Material Cost)은 Table 3과 같고, 식 (3)을 적용한 재구매 비용(Replenishment Cost)은 Table 4와 같다.

K 체계와 지휘체계, 캐비닛1은 모두 체계 또는 도면품으로 폐기율은 “0”이다. 정보처리장치의 상위 품목에는 정비대상품목이 없으므로 상위 품목의 누적 수리가능 비율($\prod(1-DCR_{ij-1})$)은 “1”이 된다. 그리고 정보처리장치 하부의 랙조립체는 정보처리장치의 누적 수리가능 비율($\prod(1-DCR_{ij-1})=1$)에 (1-정보처리장치 DCR 0.05 = 0.95)를 곱한 값인 0.95를 누적 수리가능 비율로 갖는다. 랙조립체는 도면품이므로 폐기율은 “0”으로 설정되어 하부품목인 디스플레이에 영향을 주지 않는다. 디스플레이의 상위 품목 누적 수리가능 비율 0.95에 디스플레이 수리가능 비율 (1-0.05)를 곱하여 회로카드조립체는 약 0.90의 상위 품목 누적 수리가능 비율을 갖게 되고 동일한 방법으로 회로카드조립체 하부 발광다이오드는 약 0.86의 상위 품목 누적 수리가능 비율을 갖는다.

Table 2. Part of K System Hierarchy Structure and Discard Rate

Item	Level	Task Code	Item Classification	DCR_{ij}	$\prod(1-DCR_{ij-1})$	
K System	1	-	System	0	-	1
Combat System	2	-	Non-maint. Item	0	-	1
Cabinet1	3	-	Non-maint. Item	0	-	1
IPN	4	HGHNBA	Maint. Item	0.05	1	1
Rack Ass'y	5	-	Non-maint. Item	0	1 x (1-0.05)	0.95
Display	6	HGONBA	Maint. Item	0.05	1 x (1-0.05) x (1-0)	0.95
PCB	7	HGHNBA	Maint. Item	0.05	1 x (1-0.05) x (1-0) x (1-0.05)	0.90
LED	8	JGHNBA	Maint. Item	0.05	1 x (1-0.05) x (1-0) x (1-0.05) x (1-0.05)	0.86

Table 3. Material Cost for LED and Its Higher Level Items : K System Case

Item	Level	Item Classification	$\prod_{(DCR_{ij-1})}^{(1-)}$	$RMMC_{il}$ (KRW)	QTY_{il}	$\sum \left\{ \prod_{(DCR_{ij-1})}^{(1-)} \times RMMC_{il} \times QTY_{il} \right\}$	AOR_i	λ_i
K System	1	System	1	0	1	-	1,622	-
Combat System	2	Non-maint. Item	1	0	1	-	1,622	-
Cabinet1	3	Non-maint. Item	1	0	1	-	1,622	0.00061983
IPN	4	Maint. Item	1	2,000	1	2,000	1,622	0.00011425
Rack Ass'y	5	Non-maint. Item	0.95	0	1	-	1,622	0.00003660
Display	6	Maint. Item	0.95	0	1	2,000	1,622	0.00000739
PCB	7	Maint. Item	0.90	0	1	2,000	1,622	0.00000134
LED	8	Maint. Item	0.86	5,000	6	27,721	1,622	0.00000132

Table 4. Replenishment Cost for LED and Its Higher Level Items : K System Case

Item	Level	Item Classification	$\prod_{(DCR_{ij-1})}^{(1-)}$	DCR_{ij}	ITC_{ij} (KRW)	QTY_{il}	$\sum \left\{ \prod_{(DCR_{ij-1})}^{(1-)} \times DCR_{il} \times ITC_{il} \right\}$	AOR_i	λ_i
K System	1	System	1	0	-	1	-	1,622	-
Combat System	2	Non-maint. Item	1	0	-	1	-	1,622	-
Cabinet1	3	Non-maint. Item	1	0	-	1	-	1,622	0.00061983
IPN	4	Maint. Item	1	0.05	88,812,753	1	4,440,637.7	1,622	0.00011425
Rack Ass'y	5	Non-maint. Item	0.95	0	-	1	-	1,622	0.00003660
Display	6	Maint. Item	0.95	0.05	351,323	1	4,457,325.5	1,622	0.00000739
PCB	7	Maint. Item	0.90	0.05	31,814	1	4,458,761.1	1,622	0.00000134
LED	8	Maint. Item	0.86	0.05	173	6	4,458,805.6	1,622	0.00000132

각 품목별 고장률, 단가, 수량 등을 통해 추정된 최소 정비단위 품목 발광다이오드(LED)와 그 상위 품목의 연간 소모성물자 비용(Material Cost)은 식 (2)를 이용하여 구했을 때 177.8원이고, 재구매 비용(Replenishment Cost)은 식 (3)을 이용하여 구했을 때 28,569.1원이다. 그리고 동일한 방법으로 모든 품목에 대해 계산한 K 체계 고장정비비(TCMC)는 Table 5와 같다.

Table 5. Corrective Maintenance Cost of K System

Classification		Estimated Cost (KRW)
TCMC	Material Cost	132,474
	Replenishment Cost	101,712,571
	Subtotal	101,845,045

4.2.2 계획정비비

계획정비비는 시스템 수량, 계획정비 업무빈도, 품목 수량, 소모성물자/주기교환품목 단가의 합 등으로 산출한다. 식 (4)로 추정된 K 체계 산출 예시는 Table 6과 같으며, 동일한 방법으로 모든 품목마다 계산한 K 체계 계획정비비 (TPMC)는 35,776,104원이다.

Table 6. Planned Maintenance Cost of K System

Task Code	Name	Material	QTY_r	$FREQ_r$	$PMMC_r$ (KRW)	Cost (KRW)	
Console	CPONCAA	SKP, Monthly, Unit Level, Monitor Cleaning	(Consumable) Alcohol	8	12	1,000	288,000
	CNHNDAC	Trackball, 6 Month, Intermediate Level, Cleaning	(Consumable) Clothes, Alcohol	8	2	2,000	96,000
Cabinet1	HEHNDAA	UPS, 2.5 Year, Intermediate Level, Battery Replacement	(Periodic) Battery (8 ea)	1	0.4	487,860	585,432
ICU	HEHNDAC	Air Filter and Time Keeper, 5 Year, Intermediate Level, Replacement	(Periodic) Air Filter, Time Keeper	1	0.2	140,000	84,000

4.3 K 체계 수리부속 비용 추정 결과 비교

K 체계의 사례에서 연간 수리부속 비용 추정식에 맞춰 산출한 고장정비비(TCMC)와 계획정비비(TPMC)의 합은 137,621,149원이며, 추정된 연간 수리부속 비용에 연간 2%의 물가상승률을 가정하였을 때 수명주기 30년 동안의 수리부속 비용은 식 (5)로부터 5,583,025,671원이다. 따라서 이 연구에서 제시하고 있는 수리부속 비용 추정 방법과 수명주기관리계획서 가이드북(MND, 2019)의 균직정비비(수리부속) 추정식을 통해 산출한 K 체계 연간 수리부속 비용 추정 결과를 비교하면 Table 7과 같다. Table 7을 보면 계획정비비는 동일하게 산출되나 수명주기관리계획서 가이드북을 이용하여 추정한 고장정비비의 경우 이 연구에서 제안한 추정식을 이용하여 추정한 결과 대비 약 13.24%로 과소 추정됨을 알 수 있다. K 체계의 경우 현재 개발 단계에 있으므로 체계 운용 결과로 나타나는 고장정비비의 실제 값과의 비교는 불가능하지만, 현재 수명주기관리계획서 가이드북을 이용하여 추정한 고장정비비는 현실적으로 매우 낮은 추정값이라고 할 수 있다. 이는 균직정비 중 현실적으로 발생하는 계층구조에 따른 소모성물자

비용과 재구매 비용이 반영되어 있지 않기 때문이다. 즉, 수명주기관리계획서 가이드북의 수명주기비용 추정식에서 고려하고 있지 않지만, 무기체계가 전력화되고 군직정비를 수행하는 중에 발생하는 수많은 소모성 물자비용과 경제성 등의 이유로 수리하지 않고 폐기하여 신품을 구매하는 비용인 재구매비용을 이 연구의 수명주기비용 추정식에 반영하였기 때문으로 판단된다. 따라서 이 연구에서 제시하고 있는 비용 추정 방법으로 군직정비비(수리부속)을 추정하는 것이 수명주기관리계획서 가이드북의 군직정비비(수리부속) 추정식을 활용한 비용 추정 결과보다 실제 발생할 비용의 참값에 가까울 것으로 생각하며, 현실적인 비용 추정이 가능하다는 점에서 유용하리라 생각한다.

Table 7. Annual Spare Part Cost for K System

Classification	Proposed Estimation Method	MND LCSP Guidebook
TCMC	101,845,045	13,484,138
TPMC	35,776,104	35,776,104
Total	137,621,149	49,260,242

5. 결 론

이 연구에서는 무기체계의 수명주기비용 중 비중이 큰 수리부속 비용에 대해 무기체계의 계층구조와 수리부속의 폐기율을 반영한 비용 추정 방법을 제시하였다. 수리부속 비용은 크게 고장정비비와 계획정비로 구분하였고, 고장정비비는 비용 발생 구조에 따라 소모성물자 비용과 재구매 비용으로 나누었다.

연간 고장정비비 산출에는 계층구조와 폐기율을 반영하여, 상위 품목의 수리가능 비율이 하부 품목에 반영되는 추정식을 마련하였다. 또한, 여러 계층구조를 거치며 수리가능 비율이 누적되어 하부 품목에 적용되도록 하였다. 연간 계획정비비는 연간 업무 빈도, 개별 계획정비 업무가 지정된 품목의 수량, 소모성물자/주기교환품목 비용 등을 통해 추정하였고, 추정된 연간 고장정비비와 계획정비비를 합친 연간 수리부속 비용에 물가상승률을 고려하여 최종 수명주기 수리부속 비용 추정값을 산출하였다.

아울러 연구에서 제시한 추정식을 국내에서 개발된 K 체계에 적용하고, 그 결과를 수명주기관리계획서 가이드북에서 제시하고 있는 추정식과 비교하였다. 이 연구에서 제안한 수명주기 수리부속 비용의 추정 방식이 여러 무기체계 구매/개발사업의 객관적 획득 대안 비교 분석과 효율적인 군 운영유지비 예산 편성에 기여할 수 있기를 기대한다.

REFERENCES

- Ahn, Jaekyoung, Choi, Bongwan, and Lee, Yongkyu. 2010. Life Cycle Cost Estimation for Jangbogo-II Submarines based on Modeling and Simulation Methodologies. *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers* 23(3):221-228.
- Defense Acquisition Program Administration (DAPA). 2015. Integrated Logistics Support(ILS) Application Guidebook, DAPA

- Jeong Jun, Lee Kiwon, Cha Jonghan, Choi Donghyun, and Park Kyoungdeok. 2019. A Study on Comparison Analysis for Calculating of Weapon System Operation Cost at the Development Stage. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society* 20(2):83-94
- Kim, Kyungrok, Kim, Heewook, Jeong, Jun, and Cha, Jonghan. 2020. Simulation Study on the Calculation of Weapon System's Operating Maintenance Costs to develop LCS-P. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society* 21(9):82-91
- Kwon Myeonjae, Park Youngmin, Kye Younggin, Shin Juhwan, and Cho Hyunju. 2022. A Study on the Calculation of Life Cycle Cost of Weapon System Using Modeling and Simulation at the R&D Phase. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society* 23(3):285-294
- M., Boito. T., Light. P., Mills. L. H., and Baldwin. 2016. *Managing U.S. Air Force Aircraft Operating and Support Costs*. Rand Corporation
- Ministry of National Defense (MND). 2023. Total Life Cycle Sustainment Plan Instruction.
- Ministry of National Defense(MND). 2019. Life Cycle Sustainment Plan Guidebook, MND.
- Office of The Secretary of Defense (OSD). 2020. Operating and Support Cost-Estimating Guide (O&S Guide), OSD.
- R., Fusaro. D., Ferretto. V., Vercella. N., Viola. VF., Villace, and J., Steelant. 2018. Life Cycle Cost Estimation Methodology for Hypersonic Transportation Systems. 31st Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences.
- Ryu, Minkyu, Lee, Yongbok, and Kang, Sungjin. 2010. Development and Application of the Spare-parts Cost Estimating Relationships. *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology* 13(4):601-611.
- Sun, Meesun. 2022. Study on Maintenance Cost Estimating Relationships for Air Force Fighter Aircraft. *The Quarterly Journal of Defense Policy Studies* 37(4).

저자소개

- 이자경** 창원대학교에서 산업시스템공학 석사학위를 받았으며, 현재 한성에스앤아이에서 통합체계지원(IPS) 요소 개발을 담당하는 선임연구원으로 근무 중이다. 주요 관심 분야는 IPS, 수명비용 분석, RAM 분석 등이다.
- 김상부** 서울대학교 산업공학과를 졸업하고 KAIST 산업공학과에서 석/박사 학위를 취득하였으며, 현재 창원대학교 산업시스템공학과 교수로 재직 중이다. 주요 관심 분야는 품질 혁신, IPS, 무기체계 정비 정책, 무기체계 RAM 분석, 국방 품질보증 등이다
- 박윤규** 창원대학교에서 산업시스템공학 학사, 석사학위를 취득하고 현재 한국항공우주산업 M&S연구실에서 통합체계지원(IPS) 요소 개발 업무를 수행 중이다. 주요 관심 분야는 IPS, RAM, LPD, RAM-C, CBM+, PBL 등이다.
- 배인화** 창원대학교 산업시스템공학과에서 학사, 석사학위를 취득하고 현재 박사과정에 재학 중이다. 주요 관심 분야는 품질 및 신뢰성공학, 무기체계 RAM 분석 등이다.