

휴먼에러를 고려한 추가 CSP 산정 방안

백성일*, 하윤철
한화시스템 ILS팀

Additional CSP calculation method considering Human Error

Sung-Il Baek*, Yun-chul Ha
ILS Team, Hanwha Systems

요약 최근 전력화되는 무기체계들은 최신 기술이 반영된 고가의 장비가 대다수이며, 운용유지비도 지속적으로 증대되고 있는 추세이다. 이러한 무기체계들을 효율적으로 운용, 유지하는 요소로서는 정비계획, 경제적 비용 및 수리부속 소요 등이 있으며 그 중 수명주기 동안 수리부속 소요를 사전에 예측하는 것이 운용유지비 효율성 증대와 운용가용도를 높이는 중요한 방식이라 할 수 있다. 수리부속 소요 분석의 시작으로는 무기체계 배치 시 동시에 보급되는 동시조달수리부속(CSP: Concurrent Spare Parts, 이하 CSP) 산정이라 할 수 있을 것이다. CSP는 무기체계가 초기 일정기간 동안 재보급 없이 주어진 운용임무를 성공적으로 수행하고자 하는데 목적이 있으므로 이 기간 동안에 운용가용도를 달성하는 필수 요소이다. 현재 CSP 산정 방식은 품목의 고장율과 운용 시간 등의 반영하여 분석하고 있지만, 분석된 CSP는 기술적 고장을 대비하는 목적이며, 초도 운용환경에서 휴먼에러 등으로 인한 예기치 않은 고장 발생에 대처하는 부분에서는 제한적인 것이 현실이다. 해당 고장은 무상정비 범위에도 포함되지 않으며, 초도 운용기간 중 무기체계를 운용 불가 상태로 만드는 심각한 요소에 해당된다. 이러한 무기체계의 운용 불가 상태를 예방하기 위하여 초도 운용환경 중 휴먼에러를 고려한 CSP가 필요하며, 그에 대한 산정 방안과 기준을 제시한다.

Abstract Most weapons systems that are Force Integration are expensive equipment that reflects the latest technology, and the operation and maintenance cost is increasing continuously. Factors that efficiently operate and maintain these weapon systems include maintenance plans, economic costs, and repair part requirements. Among them, predicting the repair parts requirements during the life cycle in advance is an important way to increase operation and maintenance cost efficiency and operating availability. The start of requirement analysis for repair parts is a calculation of the CSP (CSP: Concurrent Spare parts, CSP hereafter) that is distributed when the weapon system is deployed. The CSP is an essential component of achieving the operating availability during this period because the weapon system aims to successfully perform a given operation mission without resupply for an initial set period. In the present study, the CSP calculation method was analyzed, reflecting the failure rate and operating time of items, but the analyzed CSP was aimed at preparing for technical failure, but in the initial operating environment, it is limited in coping with unexpected failures caused by human error. The failure is not included in the scope of free maintenance and is a serious factor in making the weapon system inoperable during the initial operation period. To prevent the inoperable status of a weapon system, CSP that considers human error is required in the initial operating environment, and the calculation criteria and measures are proposed.

Keywords : SI, ILS, CSP, FT, IOC, Human Error

*Corresponding Author : Sung-Il Baek(Hanwha Systems)

email: sungil.baek@hanwha.com

Received September 16, 2020

Accepted January 8, 2021

Revised October 8, 2020

Published January 31, 2021

1. 서론

무기체계를 효율적으로 운용하기 위한 다수의 절차와 방안이 있으며, 다수의 방안 중 무기체계의 수명주기 동안에 고장배제, 계획 및 비계획 정비를 수행하는 정비업무도 포함된다. 정비업무를 수행하기 위한 효율적인 수리부속품 산정은 정비의 주요 요소이며, 산정된 수리부속품을 활용한 정비업무는 무기체계의 운용가용도를 높여주는 중요한 역할을 담당한다. 현재의 개발되는 신규 무기체계가 운용지역에 배치 될 때 최적의 가용도를 유지하기 위한 방법으로 CSP를 주장비와 동시에 납품하는 방법을 사용하고 있다. 무기체계 사업 수행단계에서 CSP 산출은 체계개발 단계에서 분석되며, 산출에 핵심요소로서 고장간평균시간(MTBF: Mean Time Between Failure, 이하 MTBF)을 적용하여 규정된 운용소요와 유사장비 야전운용제원을 반영하여 산출한다. 적용되는 MTBF는 기술적 분석에 의한 계산된 값이므로 실제 운용 단계에서 운용기간에 발생하는 고장 등과는 다소 차이점이 발생하며, 유사장비 야전운용제원도 기술의 발전단계와 운용환경 요소를 반영하기에는 제한적일 수밖에 없는 것이 현실이다. 이러한 사유는 CSP 산출을 무기체계 체계개발 동안 수행하고, 산정은 양산 이전에 수행하며, 실제 CSP를 필요로 하는 기간은 초도 무기체계가 운용되는 기간이기 때문이다.

CSP를 체계개발 기간 산출하는 것이 적절하지 않다는 주장은 아니며 CSP를 주장비와 동시에 납품하기 위해서는 양산 이전 체계개발 단계에서 산출하고, 양산이 수행되기 전에 산정하는 현재의 방안도 시기적으로 적절한 것이 현실이다. 최근 체계개발 단계에서 무기체계들의 CSP 분석 결과에 따른 품종과 수량은 상대적으로 소량으로 계산되어지고 있다. 분석 결과가 소량으로 산출되는 이유는 현대의 무기체계들의 기술적 향상과 높은 신뢰성 있는 부품 사용 및 군수지원성 설계반영으로 기술적인 MTBF 값이 지속적으로 높은 비율로 증대되고 있기 때문이다.

신뢰성 높은 부품 사용 및 군수지원성을 고려한 설계반영으로 무기체계의 고장이 최소화되도록 개발하지만 실제 무기체계가 배치되어 운용되는 초도 시점에서는 예기치 않은 고장 등이 발생하는 것도 현실적인 결과이다. 이러한 예기치 않은 고장이 발생하는 원인은 다양한 사유에서 찾아 볼 수 있지만, 사유 중 기술적인 문제에 의한 원인은 무기체계의 설계변경으로 해소하고, 기술적인 원인을 제외한 고장에 대해서는 문제점을 파악하고 대처 방안을 수립 및 조치하여 고장을 해소하고 있다. 이

대처 방안 중에 하나가 정비업무 수행, 수리부속 산정 및 보급이다. 특히 초도 시점에서는 발생하는 고장들은 대다수 무기체계 수명주기 동안 지속적으로 발생하는 문제점보다는 초도 무기체계가 배치되는 운용환경과 운용절차, 정비 등에서 원인을 찾을 수 있을 것이다. 따라서 초도 무기체계가 배치 후에 관련 원인에 의한 무기체계의 고장을 해소하고 효율적으로 운용을 위해서는 해당 정비의 수리부속을 선 확보하는 것이 필요하며, 이를 위해서는 초도 운용 시기에 부합하는 CSP를 산출하고 확정하는 것이 초도 운용환경을 고려한 무기체계 운용의 시작이라 할 수 있을 것이다.

또한 현재의 무기체계들의 산정된 CSP의 사용실적이 초도 운용기간 동안 미비하여 여러 기관에서도 개선이 필요하다고 주장하고 있으며, 산출 방식도 지속적으로 연구하고 있다. 현 시점에서 산정된 CSP가 초도 운용 동안 사용 실적이 저조한 사유가 CSP 분석이나 산출 방식의 오류가 아니라 무기체계의 운용환경을 반영하여 계산하는 시점과 CSP를 납품 및 운용하는 시점의 차이에서도 원인을 찾아볼 수 있을 것이다. 또 다른 원인으로는 무기체계 특정 조건이나 동일 조건에 배치 및 운용될 경우에는 상대적으로 적중률이 높게 나타나지만 육, 해, 공군 등 다수의 운용군이 동종 무기체계를 동시에 사용하는 경우에는 각각의 배치 지역과 운용 조건에 따라 무기체계가 운용되기 때문에 체계개발 시 선정된 CSP의 사용 실적이 상대적으로 낮게 나타날 수도 있다.

즉 실제 배치되어 운용된 무기체계의 초도 운용환경상의 운용 실적을 반영하여 CSP를 산출하고 확정한다면, 초도 운용 고장에 의한 무기체계의 비가동성에 대처 할 수 것이다. 단 초도 운용 시 도출되는 기술적, 품질적인 문제는 설계변경과 품질보증 활동으로 개선한다는 전제 조건을 반영하여 초도 운용환경을 고려한 CSP 산정에서는 배제하고 CSP를 추가 산출한다. 이러한 사유는 기술적, 품질적 발생 사항이 무기체계의 신뢰성 측면으로 고려되어야 한다면, 이는 초도 운용환경에 따른 CSP를 추가 산정하는 것이 아니라 CSP 분석을 위한 자료를 전체적으로 최신화 후 분석 및 확정하여야 하기 때문이다. 따라서 무기체계의 기술적, 품질적인 문제를 제외한 초도 배치되는 무기체계의 초도운용 요소 등의 특성을 반영하면, 기존 무기체계들의 CSP 산정 방안인 기술적 특성과 유사체계 정비 결과를 반영한 CSP 이외에 초도 운용환경에서의 휴먼에러를 고려한 추가 CSP 산정할 수 있을 것이다. 이는 결과적으로 무기체계의 운용가용도를 향상할 수 있어 본 연구에서 관련 방안을 제시하게 되었다.

2. 본론

무기체계의 휴먼에러를 고려한 CSP 산정의 주요 연구 절차는 운영환경과 고장 모수(parameter) 정의 및 고장 분류, CSP 산정 방식 분석을 위한 시기와 수행 기준 정의, 초도 운용 결과와 수식 적용 시뮬레이션으로 추가 CSP 소요량 분석 방안, 연구결과에 따른 결론과 발전방안을 제시하는 순으로 Fig. 1과 같이 진행되며, 2.1항부터 상세 내용을 수록하였다.

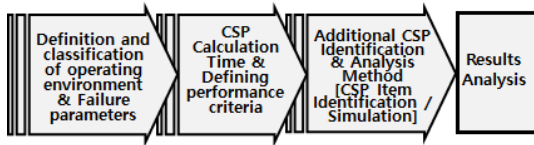


Fig. 1. Human Error CSP Calculation Research Procedure

2.1 운영환경과 고장 모수(parameter) 정의

현재의 CSP 산출 방식은 무기체계가 운용되는 환경 조건을 세부적으로는 포함하지 않으며, 무기체계의 초도 배치 시 발생하는 불확실한 상황이나 환경을 체계개발 단계의 CSP 산출 시에 적용하기는 제한되는 것이 사실이다. 이를 적용하기 위해서는 운영환경과 그에 따른 불확실한 상황에 대한 모수 발생 시 해당 결과를 Data화하여 적용 할 수 있어야 한다. 즉 무기체계 초도 운용 후 관련 자료를 CSP 산출 시 적용하면, 무기체계가 초도 운용기간 동안 필요로 하는 CSP 품목과 소요량에 좀 더 근접한 결과를 도출 할 것으로 판단된다. 체계개발 단계에서 CSP 산출 시에는 기술적 MTBF를 적용하여 분석하는데 이는 세부적 운영환경이 아닌 광의적 운영환경이 적용되었다고 볼 수 있다. 광의적 운영환경의 의미는 신뢰도 분석 시 적용하는 운영환경 기준인 GF(Ground Fixed), GM(Ground Mobile) 등을 적용하여 도출된 MTBF를 기준으로 CSP를 산출하기 때문에 광의의 운영환경이 적용되었다고 간주 할 수 있다. 다만 MTBF에 적용된 운영환경은 지상, 해양, 항공 등 넓은 의미의 운영환경으로 실제 장비가 설치되는 세부적인 환경조건과는 다소 차이가 발생 할 수 있다.

양산단계에서는 무기체계가 초도 배치 후 운용되는 직접적인 운용 조건이 식별되고, 운용 시점에 고장 등이 발생된다면, 이는 환경 조건이 반영된 하나의 운용 결과로 볼 수 있다. 이러한 고장의 원인을 확인 후 기술적 문제에 의한 것이라면, 무기체계의 설계변경이나 추가적인 지

원장비를 설치 운용하는 조건으로 고장배제를 검토하여야 할 것이다. 그러나 이러한 원인이 기술적인 문제가 아닌 경우라면, 해당 부분에 대한 별도의 대책 수립이 필요하며, 이러한 대책 수립 중 하나가 추가 CSP 산출 및 선정하는 것이다. 무기체계의 초도 운영환경의 정의는 무기체계가 배치되는 시설환경, 자연환경, 인적환경이 모두 해당된다. 이 중 시설환경에 의한 운용 제한 및 정비를 요하는 상황이 발생할 경우에는 직접적인 시설조건을 재검토 하여 개선 방안을 도출하고, 자연환경이나 인적환경에 의한 개선 방법은 추가 CSP를 활용하는 방안을 모색한다.

자연 환경을 직접 개선하는 방법은 없지만, 운용자가 무기체계를 운용하기 위해서 자연환경을 고려하여 운용하기 때문에 결과적으로 자연환경과 운영환경에 의한 고장 발생 시 하나의 문제해결 방안으로 대책 안을 수립할 수 있을 것이다. 즉 자연환경과 인적환경을 초도 운영환경 기준 요소로 정의하고, 초도 운용기간 발생하는 기술 문제 및 시설 문제를 제외한 발생되거나 예측되는 고장을 초도 운영환경에 따른 고장으로 정의한다. 이는 무기체계를 초도 운용 시 발생하는 설계변경, 시설 개선 사항을 제외한 고장을 초도 운영환경 결과에 따른 고장의 모수로 정의한다는 의미이다.

2.2 운영환경 조건과 고장 분류

신규 무기체계가 개발되고 양산되는 기간 중 초도 배치 전 운용자를 위한 초도 운용교육을 수행하며, 수행 시 장비의 운용과 주의 사항 등에 대하여 전반적으로 교육을 수행한다. 그러나 신규 무기체계의 경우 운용자가 최초 접하는 장비이며, 운용절차도 1회의 교육으로 모든 것을 숙지하기는 제한된다. 또한 기존 무기체계에 추가 또는 개선되는 무기체계가 아니거나 유사 무기체계를 운용한 실적이 없는 운용자에게는 초도 운용교육으로 무기체계의 운용 및 유지 방법을 완벽하게 습득하게 할 수는 없을 것이다.

이러한 운용자는 무기체계를 사용하게 되는 초도 운영환경에서 결과적으로 실제 장비의 기술적 고장 발생과 상이한 원인으로 예기치 않은 고장을 발생시키며, 운용자가 무기체계를 직접 제거 및 설치하거나 이동을 위한 작업을 수행 할수록 고장 발생 확률은 높아질 수 있다. 여기에 운용 인원이 다수이고, 인원과 설치 장소의 변경이 빈번하다면 실제 무기체계의 초도 운영환경에 의한 고장은 더욱더 높게 발생 할 수 있다. 즉 초도 운영환경에서 기술적이거나 품질적인 문제가 아닌 고장 발생 원인은

무기체계의 제거 및 설치와 운용 중에서 원인을 찾을 수 있으며, 이는 초도 운용환경(자연환경에 따른 운용 결과 포함)에 따른 휴먼에러(human error)로 정의하고, 휴먼 에러에 대처 할 수 있는 추가 CSP를 산정하여 초도 운용 환경 하에서 무기체계의 운용가용도를 높게 한다.

*휴먼에러(human error)란 시스템의 성능, 안전 또는 효율을 저하시키거나 감소시킬 잠재력을 갖고 있는 부적절하거나 원치 않는 인간의 결정이나 행동으로 어떤 허용범위를 벗어난 결과로 발생하는 일련의 에러로 정의 할 수 있다[1].

2.3 단계별 CSP 산정 시기 분류

신규 무기체계를 운용하는 환경과 배치 지역 특성, 운용자들이 최초 장비 획득 후 직접 운용하는 기간을 고려한다면, 체계개발 단계에서 MTBF에 근거한 CSP 산출과 초도 운용환경 결과를 반영한 CSP 산출 시기를 구분하여 것이 적절하며, 체계개발과 양산 단계별로 CSP를 산정하는 시기를 제시하였다.

단계적 구분을 위하여 무기체계를 개발하는 체계개발과 개발된 무기체계를 생산하는 양산단계로 구분하여 기준을 선정하며, 체계개발 단계에서의 산출 시기는 현 개발 절차에 따라 운용시험평가 전 품목을 산출하고, 이를 운용시험평가 결과를 반영 후 확정한다. 양산 단계에서는 초도 운용 결과를 반영 할 수 있는 시기와 이를 검토하고 확정할 수 있는 시기를 고려하여 추가 CSP를 산출하고 확정되어야 한다.

첫 번째로 체계개발 단계에서는 현 무기체계개발 지침에 따른 CSP 산출 방식인 OASIS 소프트웨어를 활용하여 산출하고, 두 번째로 양산 단계에서 해당 품목에 대하여 추가적인 검증을 한 후 최신회를 수행하여야 한다. 이러한 단계적 CSP 산출은 무기체계의 양산, 배치 등의 계약적인 측면도 고려되어야지만 현실적으로 반영이 가능할 것이다.

두 번째로 초도 운용환경을 고려한 추가 CSP 산출은 양산단계에서 수행되어야 하며, 산정 시기는 초도 운용 결과와 예측되는 문제점 반영, 추가 양산 배치 시기를 고려하고, 분석에 대한 자료 식별, 판단 기준 및 관련 기관 검토가 되어야하는 시점이다. 이와 같은 일련의 절차가 가능한 시점은 양산 단계의 야전운용시험(FT : Field Test, 이하 FT) 또는 전력화평가(IOC : Initial Operational Capability, 이하 IOC)[2]에서 수행 가능한 것으로 식별하였다. 체계개발과 양산단계 수행 시 CSP 및 추가 CSP 산출과 확정시기를 도식화하여 Fig. 2

와 같이 제시하였다.

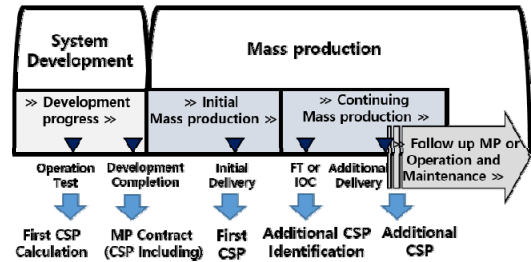


Fig. 2. Categorization of CSP selection timing by phase

2.4 CSP 산정 단계별 수행 기준

무기체계의 양산 계약에서는 체계개발에서 선정된 CSP 품목을 확정하여 계약을 진행한다. 이는 무기체계를 최초 배치 시점과 생산 시기를 고려하면, 양산 계약 전 확정된 품목으로 계약을 진행하는 것이 무기체계의 생산과 배치를 준비하기에는 적합하다. 그러나 초도 운용 결과를 반영한 CSP 추가 산출을 위해서는 현 CSP 산출 시점 이후에 한 단계 더 구분하여 수행이 필요하며, 이러한 단계적 특성을 고려하여 각각의 단계별 CSP 산출 기준을 구분하여야 한다. 체계개발 단계에서 CSP 산출 시 고려하여야 하는 부분은 기술적 고장 및 야전 유사장비의 Data 등을 기준으로 산출하는 방식으로, 이후 양산 단계에서는 산출 시 고려하여야 하는 부분은 무기체계 초도 배치 후 환경에 따른 운용 결과를 반영하는 방식으로, 수행 기준을 분류하였다. 또한 현재의 무기체계에서 규정된 CSP 산정 비용 기준과 효율적인 CSP 산정 및 생산 납품 일정 등을 고려하여 체계개발 시점에서 CSP 분석, 양산 시점에서의 초도 무기체계 납품용 CSP 보급과 추가 CSP 품목 선정 및 보급으로 구분하여 단계별 CSP 산정 수행 기준을 제시하였다.

- I. 1단계(체계개발 시) : 기술적 CSP 품목 분석
 - 1차 CSP : 운용시험평가 전 후 산출, 운용시험 결과를 반영하여 CSP 1차 확정
 - 동시조달 수리부속품 산출프로그램(OASIS: Optimal Allocation Of Spares For Initial Support, 이하 OASIS) 소프트웨어 입력 기준 및 소요군 검토 결과 반영
 - 2차 CSP : 주장비 양산 계약 이전 산출
 - ✓ 운용가용도 및 연간 운용시간 기준의 타당성 검토

하여 최신회

- OASIS 소프트웨어의 산출 및 관련 기관 검토 후 종합군수지원 실무조정 회의 (ILS-MT: Integrated Logistics Support-Management Team, 이하 ILS-MT)를 통한 최종 확정
- 1단계 CSP 품목이 주장비 비용 3% 이하 선정 시 (CSP 품목 3% 기준은 “국내양산 3%, 2020 국방예산안 편성 및 기금운용계획안 작성지침 ”에 따름)
- ✓ 선정 품목 및 추가 품목 발생을 고려하여 계약 시 주장비 비용 3%로 금액 선정 추진
- 1단계 CSP 품목이 주장비 가 3% 이상 선정 시
- ✓ 주장비의 3%로 기준으로 계약 금액 선정 및 품목 분류

II. 2단계(양산 단계_무기체계 초도 납품 전) : 1차 납품 품목 선정

- 계약된 품목 중 1차 CSP 납품 선정
- ✓ 주장비 가의 2% 이내에서 품목 우선 순위로 검토하여 ILS-MT에서 결정(3단계 추가 CSP를 위해 2% 범위 내로 선정 제안)
- ✓ 우선 순위는 품목 치명도 값(Cr: Item Criticality Number) 기준으로 Eq. (1)과 같이 품목 순위 선정을 적용

$$Pr = \frac{R}{TIn} \times 100 \quad (1)$$

❖ Pr = Percentile rank, R = Ranking,
TIn = Total item number

→ Table 1과 같이 치명 품목의 치명도 값과 순위를 예를 표기하였으며, 해당 순위로 품목을 선정한다.

Table 1. Table Cr Item ranking examples

Item name	Cr	Ranking	Percentile rank
A	8,120	9	90
B	2,130	2	20
C	3,090	4	40
D	9,011	10	100
E	2,500	3	30
F	1,010	1	10
G	3,804	5	50
H	7,513	7	70
I	5,500	6	60
J	7,640	8	80

✓ 품목 결정은 생산 시기를 고려하여 양산 사업 착수 시점

III. 3단계(양산 단계 FT 또는 IOC에서 식별) : 초도 운용환경 고려 추가 CSP 품목 식별

- 주장비의 1%로 이내 기준으로 초도 운용환경 고려한 추가 CSP 선정 : 비수요 필수 품목 중 보장성 품목
- 추가 CSP 불필요 시 2단계에서 치명도 값 기준으로 후순위 품목 선정

2.5 추가 CSP 식별 방안

CSP 대상 품목별 분류 기준은 Table 2에서 보는 바와 같이 수요품목(Demand Item), 계획수요 품목(Planned Demand Value Item), 임무필수 품목(Mission Essentiality Item)으로 구분되며, 계획수요의 주기교환 품목(Cycle Replace Item)과 시한성 품목(Time Change Item)과 임무필수 품목 중 기능적 중요도 품목은 체계개발 단계에서 식별 및 분석이 가능하며, 소요 수량도 적절하게 산출 할 수 있다.

그러나 고장이나 이벤트가 예상되지 않는 임무필수 품목은 CSP 분석 기간 동안 소요 예측 및 산정 수량을 적절하게 산출하는 것이 제한되는 것이 현실이다. 보장성 품목(Insurance Type Item)은 예기치 않은 사고와 실수 등이 원인으로 발생하는 품목으로 운용환경 시 발생된 예기치 않은 사건과 고장에 의한 품목으로 볼 수 있다.

Table 2. CSP item standard of classification[3]

Target Item		Description
Demand Item		Item expected to take at least one time during the CSP operation based in the total number of weapons systems deployed
Planned Demand Value Item	Cycle Replace Item	Item required for regularly scheduled maintenance activities
	Time Change Item	Items planned to be replace after a certain period of use
Mission Essentiality Item	Insurance Type Item	Item that are not expected to be required more than once, but give serious effects to system operation in the event of unforeseen disturbances.

보장성 품목을 산출하는 가장 좋은 방법은 예기치 않은 이벤트 또는 고장이 실제 발생하는 것을 확인하는 시점에서 선정하는 것이 최선이나, 이러한 이벤트 또는 고장을 확인하고, 품목을 선정하는 것은 개발 및 양산 단계에서는 시기적으로 소요 품목을 필요한 시점보다 이후가 될 것이다. 따라서 양산 초기 단계에서의 초도 운용환경

을 고려한 보장성 품목에 대한 CSP 추가 품목을 식별하고 산정하는 것이 시기적으로 적절한 것으로 판단한다. 무기체계의 운용에 심각한 영향을 미치는 품목은 체계개발 단계에서 CSP로 고려되지만 운용기간 중 기능적 고장에 의한 소요가 예상되지 않는 품목이나 MTBF가 상대적으로 높아 기술적 고장 발생이 예측되지 않으면, 체계개발단계에서의 CSP로 산정이 제외 될 수 있다. 이런 조건의 품목들은 비기능 품목 또는 설치 및 운용상에 필요 품목이나 고신뢰성 품목인 경우가 많으며, 이러한 점을 고려하여 추가 CSP 선정 시에도 해당 품목에 대한 운용자의 설치 및 제거와 정비 상에 휴먼에러가 발생되거나 예상되는지 검토하여야 할 것이다.

추가 CSP 품목 산출은 임무필수 품목 중 보장성 품목으로 기술적 고장이 아닌 설치, 운용환경에 따른 고장 발생과 운용자에 의한 예기치 않은 고장 등이 발생하는 품목을 기준으로 식별한다. 운용환경에 따른 고장 발생 빈도가 높은 품목들의 특성 중 하나는 무기체계를 제거 및 설치 시 물리적으로 결합되는 부분이나 운용 중 반복적으로 동작되거나 특정 조건으로 운용하여야 하는 품목에서 비정상적인 절차를 수행하면서 발생한다. 또한 운용 기간 설치 및 제거를 지속적으로 반복하거나 이동하는 무기체계에서 상대적으로 더욱더 높게 발생 할 것이다. 초도 운용에서 기술적인 고장을 제외하고 발생하는 대부분의 고장은 운용환경에서 발생하는 휴먼에러(human error)이다.

추가 CSP 품목 선정은 이러한 기준으로 휴먼에러로 식별된 품목 기준으로 산출 후 무기체계 양산간 FT 또는 IOC에서 검증 후 최종 확정한다. FT 또는 IOC에서 검증을 하는 사유는 무기체계를 양산 초도시기에 특정 수량을 초도환경 기준으로 배치하여 현장에서 실제 사용 후 운용 결과를 도출하고, 도출된 결과에 대한 검증 단계이기 때문에 초도 운용환경에서 식별된 추가 CSP를 검증하고, 확정 할 수 있는 현실적인 최선의 시점으로 볼 수 있다.

2.6 추가 CSP 소요량 분석 방안

양산단계에서 초도 배치된 무기체계를 기준으로 FT 또는 IOC까지의 초도 운용 시 발생한 고장 발생 건수를 집계하고, FT 또는 IOC를 통하여 운용자가 운용 및 정비 절차를 검증하면서 취약한 품목 등을 추가적으로 식별한다.(이 중 설계변경 수행, 지원장비 추가 및 시설 개선 등으로 고장이 배제되는 경우는 활용 자료에서 제외) 식별된 품목의 고장원인이 장비의 제거 및 설치, 운용, 정

비 등이 원인인 경우 초도 운용환경의 휴먼에러로 분류한다.

휴먼에러의 예로서 케이블 조립체를 제거, 설치 시 운용자의 인지 및 작업오류에 의한 커넥터 연결 부분 고장, 회전이나 좌우 이동 규격이 있는 절차를 따르지 않아 발생하는 파손 등이 있으며, 이는 무기체계의 운용불가 또는 성능저하를 원인이 된다. 이러한 고장은 최초 장착 후 지속적으로 사용되는 고정형 무기체계 보다는 이동형 무기체계에서 보다 높게 발생되며, 본 연구에서는 케이블 조립체의 고장 발생을 예로 휴먼에러의 소요량 분석 방안을 설명하였다.

휴먼에러로 인한 고장 발생 품목을 추가 CSP 대상 품목으로 선정하고, 선정된 품목의 예측 소요 수량 산출을 위해서는 무기체계의 고유 고장율이 아닌 성능과 휴먼에러의 관계 값이 정의되어야 한다. 이를 정의하기 위해 시스템 성능과 인간 과오의 관계정의를 적용하여 무기체계와 운용자의 관계를 정의식을 Eq. (2)와 같이 적용하였다.

$$SP = F(HE) = HE \times K \quad (2)$$

Where, SP: System Performance(HE), F(HE) : human error number, function(K : constant)

Table 3. System Performance Constants Defined

Constant	Description
$K \approx 1$	Human error has a significant effect on the system
$K < 1$	Human error creates a potential effect or risk on the system
$K \approx 0$	Human error has no effect on the system

Table 3과 같이 상수 K에 대해서는 분류 값이 3단계 기준으로 단순하여, 시스템퍼포먼스 상수 정의 대신에 시스템 체계 분석 기준으로 산출한 무기체계의 임무영향도 분석 값을 적용하였다. 기능별 임무 영향 분석을 적용한 상수 K 값의 산출 방안은 무기시스템의 임무기능 정의, 임무영향 분석, 임무영향도 기준 수립, 장치별 임무영향도, 품목별 임무영향도 계수 산출 순으로 분석하여 산출한다[4].

첫 번째로 무기체계의 기능을 분류하기 위해서는 하부 시스템 계통 기능 또는 소프트웨어 계층적 구조 중 CSCI(Computer Software Configuration Item) 별로 각각 분류하여 부여한다. 본 연구에서는 F1 ~ F5 시스템 계통 기능 기준으로 구분하여 무기체계의 임무에 영향을 미치는 가중치 계수를 정의한다.

두 번째로 무기체계의 하부 Level 품목 또는 부시스템을 Family Tree 기준으로 분류한다.(본 연구에서는 I ~ IV Subsystem 분류 기준으로 예로서 표기함.)

세 번째로 MIL-STD-1625의 위험도 분류 방법으로 위험도를 구분하여 수록한다. [위험도는 임무수행불가(A=1), 치명적 영향(B=0.8), 경미(C=0.5), 영향 없음(X=0)] [5]

첫 번째에서 세 번째까지 수행하여 기능별 위험도 기준으로 임무영향도 값을 산출하면 Fig. 3의 Subsystem (I)의 임무 영향도는 기능유형별 가중치 계수에 위험도 값을 곱한 값의 합으로 아래와 같이 산출된다.

$$\begin{aligned}
 & \text{❖ Subsystem(I) Mission effect coefficient} \\
 & = 0.25 \times A + 0.58 \times B + 0.15 \times C \\
 & \quad + 0.015 \times C + 0.005 \times X \\
 & = 0.25 \times 1 + 0.58 \times 0.8 + 0.15 \times 0.5 \\
 & \quad + 0.015 \times 0.5 + 0.005 \times 0 \\
 & = 0.7965
 \end{aligned}$$

Classification Functional type /Weight		Subsystem (I)	Subsystem (II)	Subsystem (III)	Subsystem (IV)
F1 Function	0.25	A	A	B	C
F2 Function	0.58	B	A	C	X
F3 Function	0.15	C	B	B	X
F4 Function	0.015	C	C	X	C
F5 Function	0.005	X	X	X	X
Mission effect Coefficient		0.7965	0.96	0.61	0.28

Assigning weighting coefficient by Function type

Mission effect Classification Code

The calculation of the mission effect coefficients is the sum of the best values multiplied by the weight coefficient and the mission effect coefficient for each function

Fig. 3. Mission Effects Calculation

결과적으로 Subsystem(I)의 임무영향도가 0.7965로 계산되고, 초도 운용기간 중인 휴먼에러가 2회 발생된다면 Eq. (2) 적용한 시스템 퍼포먼스 SP의 값은 1.593으로 산출된다.

$$\begin{aligned}
 SP &= F(HE) = HE \times K \\
 &= 0.7965 \times 2 = 1.593
 \end{aligned}$$

시스템 퍼포먼스 계산 후 이산적 직무에서의 휴먼에러 확률(HEP: human error probability, 이하 HEP_ 특정한 직무에서 하나의 착오가 발생할 확률로 할당된 시간은 내재적이거나 명시되지 않음을 무기체계의 장착 횟수와 운용자 오류 기준으로 산출한다. 시스템 퍼포먼스

계산 시 휴먼에러 수가 2회 발생 결과를 초도 무기체계 5대로 1년 간 운용한 기준으로 가정하고, 에러가 발생된 품목의 세부 내용을 아래와 같이 정의하였다.

케이블 조립체 체결 방향 오류로 1일 2회 제거 및 설치하고, 연간 운용 일수가 240일 기준으로 Eq. (3)을 적용하여 HEP를 산출하면 결과 값이 0.0008333으로 도출된다.

$$HEP = \frac{HE_n}{TE_n} \tag{3}$$

Where, Human Error Number(HE_n) = number of operator error

- Number of Human Error occurrences per year = 2

Total number of opportunities for Error occurrence (TE_n) = Number of times to Remove/Install cable assemblies

- Cable assemblies task : one day Remove/Install 2

- Annual Operating Day = 240

: number Annual Operating (240 × 2) = 480

- Operating system : 5

→ Total number of operations based on 5 weapon system

$$= 480 \times 5 = 2400$$

$$HEP = \frac{HE_n}{TE_n} = \frac{2}{2400}$$

$$= 0.0008333$$

운용자의 HEP가 0.000833로 계산되고, 무기체계 5대 기준으로 연간 운용 시 최종 휴먼에러 없이 무기체계가 수행할 확률은 산출한다.(케이블 조립체 제거/설치 작업 시간은 1회 5분으로 정의)

5대의 무기시스템은 독립적으로 운용되기 때문에 무기체계의 에러 없이 발생할 신뢰도 분석은 직렬 구조 기준으로 Eq. (4)와 같이 신뢰도 산출식[6]을 적용한다.

$$\begin{aligned}
 R(t_1, t_2) &= \exp \left[- \int_0^t Z(\xi) d\xi \right] \\
 &= e^{-\lambda(t_2 - t_1)} \tag{4}
 \end{aligned}$$

에러확률 상수 λ는 HEP를 0.000833, 주어진 시간 t₂에서 t₁은 연간 운용시간으로 480회 5분씩 5대 기준이면 총 200시간을 적용하여 계산한다.

$$\begin{aligned} \diamond t_2 - t_1(\text{time}) &= 480 \times 5 \times 5 \\ &= 12000 \text{ minute} = 200 \text{ hour} \end{aligned}$$

선행에서 언급한 무기체계의 고장 품목인 케이블 조립체의 연간 제거 및 설치 시간 동안 작업을 성공적으로 수행할 확률은 Eq. (4) 수식을 적용하면 다음과 같은 결과값이 도출된다.

$$\begin{aligned} R(t_1, t_2) &= e^{-0.00083(200-0)} \\ &= 0.847 \end{aligned}$$

즉 휴먼에러가 발생한 부분에 초도 운용 동안의 연간 운용자의 신뢰도는 84.7%이며, 품목의 연간 소요 예측 수량은 시스템 퍼포먼스와 케이블 조립체의 운용자 실패 확률을 적용하여 Eq. (5)의 기준으로 휴먼에러로 인한 품목의 소요량을 산출하였다.

$$\begin{aligned} \diamond \text{Annual requirement of fault items due to Human Error} \\ &= SP \times \text{Operator failure probability} \\ &= SP \times [1 - R(t_1, t_2)] \quad (5) \\ [SP = 1.593, R(t_1, t_2) = 0.847] \\ &= 1.593 \times (1 - 0.847) \\ &= 0.243729 \end{aligned}$$

결과적으로 무기체계 100대 배치 기준으로 초도 운용 기간 중 초도 운용환경(휴먼에러 기준)에 의해 소요 예상되는 품목 소요량은 4.87(0.243729 × 20)개로 분석할 수 있다.

즉 초도 운용 시 운용자 환경을 고려한 무기체계의 추가 CSP는 무기체계 100대 배치 기준으로 약 5개의 소요량이 필요한 것으로 분석할 수 있다. 상기 결과를 토대로 휴먼에러로 인한 고장이 발생된 품목들의 각 품목별 소요량을 계산하고, 이를 추가 CSP 품목 소요량으로 산출한다. 계산 결과와 기존 CSP 품목의 품종 및 수량을 비율적으로 검토하여 최종적으로 계약 시 CSP로 할당된 비용 기준으로 FT 또는 IOC 통하여 결론을 도출하여 최종 CSP를 산정한다. 산정된 품목과 소요수량은 양산간 ILS-MT 시 최종 검토 후 의결한다.

3. 결론

신규 무기체계의 운용자들은 초도 운용교육 이수 후 실천 배치된 무기체계를 사용하지만, 최초로 접하는 무기

체계가거나 유사무기체계 운용한 경험 없이 운용 시 초도 운용환경 하에서 여러 가지 시행착오 또는 에러를 발생하고 있다.

이러한 에러 발생 시 장비의 고장이나 작동에 영향을 미쳐 무기체계를 운용할 수 없거나 성능이 저하될 때 CSP를 사용하여 가용도를 높여야 하지만, 현재 분석 및 산정된 CSP는 주로 기능 상 주요 품목 및 고가의 치명 품목 위주로 선정하여, 초도 운용환경에서 발생된 예기치 않은 고장에 대처하기가 쉽지 않은 게 현실이다. CSP 선정은 무기체계 개발 시 주요한 군수지원 업무이며 신뢰성 있는 소프트웨어를 사용하여 산출하고 이 결과를 소요군, 관련 기관 및 개발업체와 상당한 검토와 분석 통하여 결정하고 있다. 그러나 체계개발 단계에서 산출된 CSP는 무기시스템에 초도 운용기간에 발생하는 휴먼에러 고장에 대처하기에는 적절하지 않을 수 있다.

본 연구는 초도 운용기간에 발생하는 휴먼에러 고장에 의한 무기체계의 신속한 복구를 위해 필요한 추가 CSP의 산정 방안을 제시하였다. 이러한 산정 방안을 적용하면, 초도 운용기간에 무기체계의 운용가용도를 높이고 양산간 실제 소요가 예측되는 CSP를 예측하여 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

특히 제한된 비용으로 효과적인 CSP를 선정하여야 하는 소요군에게는 CSP의 사용과 적중률을 높여 무기체계의 가용도 향상뿐만 아니라 효과적인 운용유지비의 활용에도 도움을 줄 것이다. 초도 운용환경 하에서 휴먼에러를 고려한 CSP 산출 방안은 종합군수지원(ILS: Integrated Logistics Support) 개념의 보급지원(Supply support) 측면과 무기체계의 운용유지의 발전 방안으로 제시하였으며, 향후에는 총수명주기체계관리(TLCSM: Total Life Cycle System Management) 관점에서 관리와 지속성이 추가된 IPS(Integrated Product Support)의 유지공학(Sustaining Engineering) 측면에서도 상기 방안을 적용하여 연구하면 수명주기 동안 무기체계의 보급, 운용성 증대뿐만 아니라 유지관리에도 적절한 방안이 될 것으로 판단된다.

References

- [1] Park Jung Chul, "Guidelines on Human Error Assessment and Reduction Technique", Korea Occupational Safety & Health Agency, Korea, pp.2, Oct. 2017. <http://www.kosha.or.kr/kosha/data/guidanceX.do>
- [2] Cho Kyung Ik, "A Study on the Establishment of

Effective Electrification Evaluation System", p221, Korea Research Institute of Military Affairs, Aug. 2013, pp.115-118

<http://lib.afa.ac.kr/search/detail/CATCA000000181953>

- [3] Choi Sung Il, Choi Wan Soo, Lee Sang Geun, "Integrated Logistics Support Guidebook", p373, Defense Acquisition Program Administration, Jul. 2015, pp.254

<http://www.dapa.go.kr/dapa/pblictListView.do>

- [4] Baek Sung Il, "Criticality Number Method considering Software Design", *2019 Autumn Conference*, Korea Institute of Military Science and Technology, Daejeon, Korea, pp.797-798, Nov. 2019.

http://www.kimst.or.kr/electronic_paper/pdf_down.ki.n?idx=16706

- [5] DoD, "MIL-STD-1388-2B Requirements for a Logistic Support Analysis Record", p604, DoD, Mar. 1991, pp.504

- [6] Park Ki Sub, Kim Duk Soo, Lee jae gil, "Weapon System Reliability analysis Guidebook", p488, Korea Army Headquarters, Oct. 2012, pp.Chapter3-12

백 성 일(Sung-II Baek)

[정회원]



- 2002년 8월 : 금오공대 전자공학과 (공학학사)
- 2000년 2월 ~ 현재 : 한화시스템 수석연구원

<관심분야>

무기체계, ILS공학

하 윤 철(Yun-Cheol Ha)

[정회원]



- 2011년 2월 : 동아대학교 전기공학과 (공학학사)
- 2011년 1월 ~ 현재 : 한화시스템 전문연구원

<관심분야>

무기체계, ILS공학