

최적 동시조달수리부속 산출 개선: 신뢰성 정보의 조합을 중심으로

여재룡
국방과학연구소

Improvement of CSP Optimization: Focusing on the combination of reliability information

Jaeryong Yeo
Agency for Defense Development

요 약 동시조달수리부속(CSP: Concurrent Spare Parts)의 보급량은 무기체계의 운용가용도 유지에 결정적인 역할을 한다. 수리부속이 부족할 경우, 무기체계 내 해당 부속 관련 부분에서 고장이 발생했을 때 즉시 수리하지 못함으로 인해 비가동시간이 길어질 수 있다. 반대로 수리부속을 지나치게 많이 보급한 경우 과도한 부품 조달 비용 뿐 아니라 불필요한 재고 관리 비용까지 초래할 수 있다. 이런 상충 관계와 아울러, 적합한 보급량을 계산하기 위해서는 매우 다양한 입력자료를 정확하고 올바르게 확보해야 한다는 사실도 CSP 최적화를 더욱 어렵게 만든다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 CSP 산출에 사용되는 OASIS 시스템에 클라이언트-서버 아키텍처를 적용하여 타 국방 정보 시스템과의 데이터 연계성을 강화해 CSP 최적화를 개선할 수 있음을 보인다. 유사 무기체계의 기초 운용자료 등으로 입력자료를 보정하여 보다 정확한 정보를 반영할 수 있으며, 고장 이력 및 야전 정비 데이터는 신뢰도 조합에 활용하여 각 품목별 고장률 정보의 신뢰성을 높일 수 있음을 보인다. 끝으로 양질의 신뢰도 데이터를 확보하기 위한 시스템 및 제도적 개선 방안도 제안한다.

Abstract The inventory level of concurrent spare parts (CSP) plays a crucial role in maintaining the availability of a weapon system. If the spare parts are insufficient, the downtime of the weapon system might be longer because the failure will not be repaired until the necessary spare parts are acquired. On the other hand, securing excessive spare parts would lead to waste due to unnecessary increases in inventory. In addition to this trade-off feature, many input data required to be obtained accurately and correctly make the CSP optimization more difficult. To improve the optimization process, a client-server architecture was applied to OASIS, CSP optimization model developed by Defense Acquisition Program Administration, which is connected to various other defense-related systems. The results showed that supplementing and correcting input data using data from legacy weapon systems has a significant effect on the quality of the optimization solutions. By implementing the failure rate combination method using the field data, the performance of the reliability prediction was improved. Additional suggestions at the system/institutional level to secure high-quality reliability data were also presented.

Keywords : Concurrent Spare Parts, Optimization, Reliability, Failure Rate Combination, Client-Server Architecture

*Corresponding Author : Jaeryong Yeo(Agency for Defense Development)

email: jr_yeo@add.re.kr

Received March 18, 2021

Accepted July 2, 2021

Revised April 1, 2021

Published July 31, 2021

1. 서론

한정된 예산 내에서 무기체계의 운용가용도를 높이거나 유지하는 것은 국방력 강화를 위해 반드시 달성해야 할 중요하면서 동시에 달성하기 어려운 목표다. 충분히 많은 수리부속품을 미리 확보함으로써 무기체계의 가용도를 높게 유지할 수 있지만, 이는 동시에 불필요한 수리부속품을 과다하게 구매하여 예산 낭비를 초래할 가능성과 재고 관리 비용을 높이는 결과도 낳을 수 있다[1]. 이런 상충 관계에 대한 이해를 바탕으로 현재 각 군에서는 수리부속품의 확보 수량 결정 시 무기체계의 목표 운용가용도와 예산 조건 등을 입력변수로 하는 최적화 접근법을 사용한다.

동시조달수리부속(CSP: Concurrent Spare Parts)이란 무기체계의 목표 운용가용도 보장과 원활하고 효율적인 운용 유지를 위해 주장비 배치와 동시에 보급되는 수리부속품을 일컫는다[2]. 초기 일정기간 동안 재보급 없이 무기체계의 주어진 임무를 원활히 수행할 수 있도록 공급되는 것이 목표이며, 통상 주장비 배치 시점으로부터 3년 간 소요분을 공급한다[3].

Kim et al.(1994)[4]는 개략적인 수준에 머물렀던 CSP 관련 군 규정의 발전방향과 이를 위한 최적 CSP 소요 산출모델을 제시하였다. 이는 추후 방위사업청에서 방위사업 관리규정 및 중합군수지원 개발 실무지침서 등을 통해 CSP 소요산출용 표준 소프트웨어로 지정한 OASIS 시스템의 개발에 기반이 된다. Moon et al.(2017)[5]은 OASIS 3.0 개발 과정에서의 주요 개선점과 그 효과를 제시하였다. Woo et al.(1998)[6]은 무기체계 배치 초기의 동적상태에서의 고장 현상과 정비능력을 고려한 동적 확률모형으로 CSP 재고수량을 결정하는 방법을 제시하였다.

CSP 보급량은 무기체계 배치 대수와 운용 환경, 각 부품별 단가 및 고장률, 정비 관련 정보 등 다양한 입력항목들을 고려하여 산출된다. 이때 많은 입력항목들 중 일부 입력항목을 부정확하게 입력하는 경우 CSP 산출 결과의 정확도는 떨어질 수밖에 없으며, 정확하고 충분한 데이터를 확보하고 CSP 산출 과정에 반영할 수 있는 방안에 대한 연구의 필요성이 증대되고 있다.

본 연구는 클라이언트-서버 아키텍처의 적용으로 CSP 산출에 관련된 타 국방 정보 관련 시스템의 데이터를 연동 및 연계함으로써 OASIS를 통한 CSP 산출 방식을 개선할 수 있음을 보인다. 유사 무기체계의 운용기초 자료를 연동하여 반영하고, 부품별 고장률 데이터를 실제

야전운용 데이터로 보정하는 과정을 통해 CSP 입력자료의 신뢰성을 한층 더 높일 수 있음을 보이며, 향후 장기적인 관점에서 양질의 신뢰성 데이터를 확보해 나가기 위한 추가 방안도 제안한다.

2. 기존 CSP 산출 시스템

2.1 OASIS 시스템

OASIS 시스템은 무기체계 확보 시 CSP를 체계적으로 산출하기 위해 1996년 방위사업청에서 개발되었다. 한국 군수 보급체계에 적합한 시스템으로 정비계단별 군수지원체계에 대한 정확한 CSP 산출이 가능하도록 산출모델을 개발하였고, 이후 지속적으로 업데이트하며 알고리즘과 기능을 개선하였다.

1996년 개발된 OASIS 1.0은 DOS 운영체제 기반으로 단단계 보급지원을 반영한 구조였으며, 평균가용도 및 획득비용을 기준으로 CSP를 산출하였다. 1999년에 OASIS 1.5로 확장 개발하면서 목표 획득 비용을 기준으로 CSP를 산출하는 기능이 추가되었으며, 산출에 필요한 입력자료의 정합성을 검증하는 절차와 민감도 분석 기능도 추가되었다.

2004년 OASIS II가 개발되면서 개선되고 추가된 핵심 알고리즘 및 주요 기능은 다음과 같다. 먼저 비대칭 보급지원 구조를 고려할 수 있게 되었는데, 이로 인해 정비업무의 지원 구조 및 각 부대별 장비의 운용 대수를 고려한 부대별 적정 CSP 보유량을 차별적으로 산출할 수 있게 하였다. CSP 산출 기준도 가용도와 획득비용 중 선택할 수 있게 되었는데, 가용도를 기준으로 할 경우 평균 가용도가 아닌 최소가용도가 목표가용도를 만족하는 최적해를 찾도록 개선되었다. 또한 무기체계가 장기간에 걸쳐 부대에 배치되는 경우 연차별 배치 수량을 고려한 적정 CSP 산출이 가능하게 되었으며, 수리부속의 기 보유수량이 존재하는 경우 그 수량만큼 제외하도록 개선되었다.

2014년에 OASIS 3.0이 개발되었고, 각각 2015년과 2016년에 해군/공군 무기체계 개발사업에 적용되었다. OASIS 3.0에서는 현장교환품목(LRU: Line Replaceable Unit) 뿐만 아니라 공장교환품목(SRU: Shop Replaceable Unit)도 포함한 전체 대상품목의 최적해를 산출하도록 개선된 점, 유전 알고리즘을 적용한 2차 탐색이 추가된 점, 최적해 산출에 호환 가능한 공통 품목을 고려하는 등 최적화 품질의 향상을 위한 개선이 있었다.

여러 차례 OASIS의 핵심 알고리즘과 기능들이 개선되고 추가되었으나, CSP 산출 결과의 품질 향상을 위해서 입력정보의 정확성을 높이기 위한 연구는 미흡했다. 이는 현실적으로 CSP 산출 담당자의 판단과 시스템의 데이터 확보 역량에 전적으로 의존하고 있는 현실이 현재 CSP 산출 프로세스의 주요한 한계점 중 하나임을 의미한다.

2.2 최적화 모델

OASIS 시스템의 CSP 산출 모델은 Kaplan(1980) [7]의 모델을 적용하여, 목표 운용가능도 또는 목표 비용을 만족시키는 CSP 공급량의 최적화 문제로 정의된다. 최적화 모델의 목적함수는 Eq. (1)과 같이 총 비용의 최소화로, 각 품목별 조달 비용과 CSP 재고 부족으로 인한 페널티값의 합으로 정의된다. CSP 조달 비용은 각 품목별 조달 단가에 영향을 받고, CSP 재고 부족으로 인한 페널티는 각 품목별 고장률에 영향을 받음으로써, 조달 비용과 가용도간의 상충관계를 반영한다.

$$Min. \sum(x_j \times c_j) + \lambda \times \sum TEBO(x_j) \quad (1)$$

Where, x_j denotes: inventory level of item j as CSP, c_j denotes the price of item j, λ denotes the penalty for the back orders, TEBO denotes total expected back orders.

기대 재고 부족량(EBO)은 CSP 재고의 소요 발생 분포를 음이항분포로 가정한 Variances Multi-Echelon Technique for Recoverable Item Control (Vari-METRIC) 모델에 근거하여 각 품목별 수리, 재보급, 상위계단 정비 지연 등으로 발생하는 CSP 소요량의 기댓값과 분산값을 사용하여 계산된다[8-10].

최적해 탐색 과정은 CSP 산출 조건을 만족할 때까지 재고 부족 벌과금(λ) 값을 조정하며 반복 수행된다. '목표 운용가능도 만족' 또는 '목표 비용 만족'에 해당하는 제약 조건이 추가되어, 계산된 운용가능도 또는 비용이 목표값과 근사한 차이로 제약조건을 만족할 때까지 λ 값을 조정하며 해를 찾는다. 이 반복 과정을 도식화하면 Fig. 1에서 보는 바와 같다.

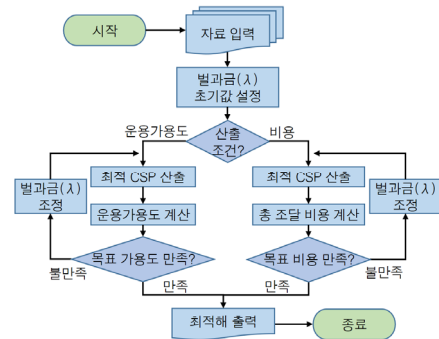


Fig. 1. Iterative process for searching optimal solution

주요 입력항목별 CSP 최적해 산출에 미치는 영향은 다음과 같다.

Table 1. Major input data and its effect on CSP optimization

Input data	Effect on the CSP optimization results
단가	단가가 낮을수록 전체 조달 비용은 낮아지므로 CSP는 증가
MTBF	MTBF가 작을수록 해당 부품의 고장률은 높으므로 CSP는 증가
연간 정비 운용 시간	연간 운용 시간이 길수록 품목별 고장 횟수는 늘어나므로 CSP는 증가
품목 보급행정/ 수송 시간	이 시간이 길수록 정비계단간 보급 지연도 길어지므로 CSP는 증가
품목 정비행정/ 수송 시간	이 시간이 길수록 고장난 품목의 수리 지연도 길어지므로 CSP는 증가
체계 정비행정/ 수송 시간	체계 고장 시 비가동시간이 길수록 운용가능도는 낮아지므로 CSP는 증가
부품의 개수	체계 내 해당 부품이 많을 경우 고장도 더 많이 발생하므로 CSP는 증가
교환 개수	고장 발생 시 한번에 교환하는 개수가 많을수록 소요량이 크므로 CSP는 증가
임무필수점수	비수요 필수품목(임무필수품목)일 경우 해당 품목 CSP는 최소 1개 산출됨.

2.3 신뢰도 예측과 유사 무기체계 데이터 활용

앞서 살펴본 바와 같이, 여러 입력항목 중 부품별 단가와 MTBF(Mean Time Between Failure) 값은 최적화 모델의 목적함수에 포함되어 최적해 산출에 직접적으로 영향을 미친다. 단가 정보는 비용분석 및 양산 계약 과정을 거치며 여러 단계의 검증 및 확인 절차에 의해 고정된 값으로 결정되므로, 부품 단종 등의 특수한 경우를 제외하고는 수치의 변동가능성 및 불확실성이 비교적 낮다. 그런데 각 부품의 MTBF 정보는 CSP 산출이 수행되는 시점에서 정확한 값을 파악하기 어려운 경우가 많으며,

일반적으로 신뢰도 예측 업무를 통해 고장률을 분석하고 예측한다.

여러 신뢰도 예측방법 중 부품에 가해지는 스트레스 인자와 부품의 설계정보를 기반으로 고장률을 판단하는 부품부하분석방법이 가장 많이 적용되며, 주로 미국에서 제정된 표준적 모델식이 함께 활용된다. 대표적인 표준적 모델식으로는 전기전자부품의 경우 MIL-HDBK-217F 또는 ERPD를, 기구물과 같은 비 전자부품에는 NPRD를 활용한다[11]. MIL-HDBK -217은 미 국방성에서 1962년 제정, 1995년 F 버전 Notice 2까지 발간되었다. NPRD는 미국 DSIAC에서 1995년 제정되었다.

이 기준들은 오랜 기간 운용된 장비들의 데이터를 기반으로 구축된 데이터베이스, 그리고 각 부품별 특성을 고려한 신뢰도 예측에 필요한 수식들을 제공한다. 그런데 신뢰도 예측에 활용되는 기본고장률 값은 미국에서 축적된 데이터에 기반한다는 한계점이 존재한다. 국내와 다른 지형과 환경에서 축적된 데이터가 한국군의 야전환경조건에서 운용될 국내 무기체계의 신뢰도 예측에는 부적합할 수 있기 때문이다. 또한, MIL-HDBK -217F의 경우 20년 이상 경과된 데이터로, 최신 제조공정 및 소재 등 기술의 발전을 반영하지 못하고 있다. 이와 같은 근본적인 한계점에도 불구하고 현재 우리나라에 이를 대체할 데이터베이스가 없어 여전히 신뢰도 예측에 활용하고 있다[12].

이와 같은 한계점을 보완하기 위해, 다른 체계의 야전정비 데이터를 활용한 신뢰도 정보의 보정도 시도되고 있다. CSP 산출 대상품목과 동일하거나 유사한 부품이 유사 무기체계에 사용됐다면, 해당 무기체계의 야전정비

기록을 통해 실제 현장에서의 고장률 정보를 반영하여 대상품목의 신뢰도 값을 더욱 정확하게 예측할 수 있다. 다만 충분히 긴 시간동안 누적된 큰 규모의 데이터 세트인 경우에만 유효한 신뢰도 보정 효과를 얻을 수 있다는 한계는 있다.

품목별 신뢰도 정보 외에도 보급행정 및 수송시간, 정비행정 및 수송시간, 품목별 폐기율, 품목별 교체/수리 업무 비율 등과 같은 운용기초자료들 역시 유사 무기체계의 데이터를 참고할 수 있을 때 더욱 정확하게 입력할 수 있다. 이러한 유사 무기체계 데이터를 얼마나 정확하게 확보하여 보정에 활용할 수 있는지는 담당자의 역량 또는 무기체계별 개발 여건에 의존되므로, Fig. 2에서 보는 바와 같이 각 무기체계별로 독립적으로 수행되는 CSP 산출 결과의 품질은 결과적으로 제각각으로 달라질 수 있다.

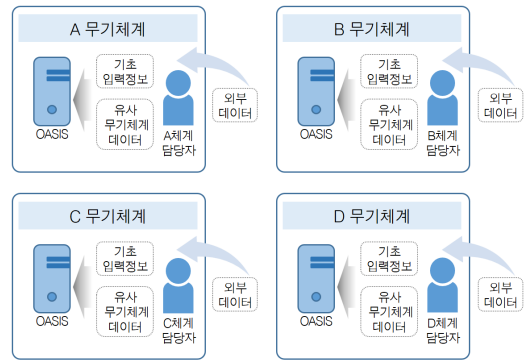


Fig. 2. The current CSP optimization

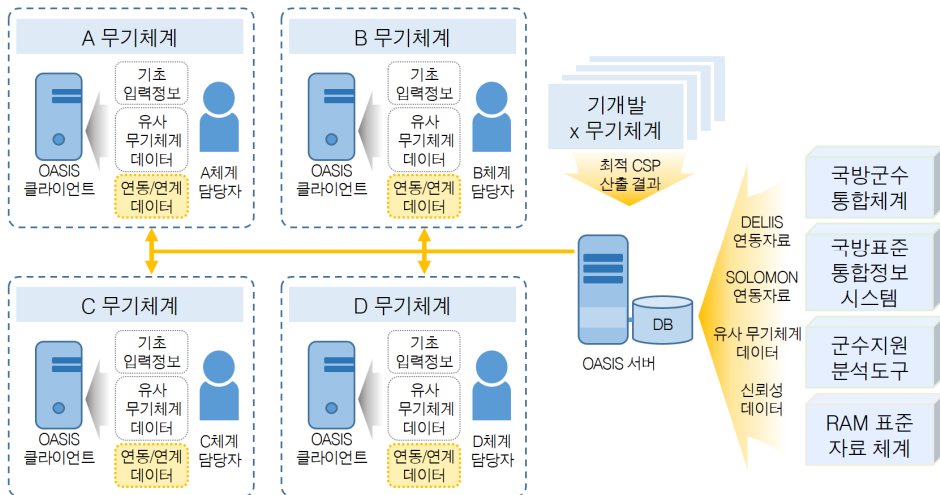


Fig. 3. Client-server architecture in OASIS system

3. 데이터 조합을 통한 CSP 최적화 개선

3.1 클라이언트-서버 아키텍처의 적용

개선된 OASIS에서는 타 국방 정보 관련 시스템들과의 데이터 연동/연계, 그리고 CSP 산출 및 분석 데이터의 통합 관리를 위해서 클라이언트-서버 네트워크 구조를 적용하여 서버의 개념을 도입하였다.

OASIS 서버는 국방군수통합체계와 국방표준통합정보시스템, 군수지원분석도구, 그리고 RAM 표준 자료 체계 등 관련 외부 시스템들로부터 CSP 산출에 필요한 데이터들을 연동 및 연계하여 저장한다. 여러 시스템에 나누어 산재하던 데이터들을 일원화된 채널로 통합함으로써, 입력자료 작성 과정의 변동성을 줄이고 동일 또는 유사 품목에 대하여 개발 참여 업체가 상이한 경우에도 예측 모델 입력속성의 일관성을 확보할 수 있는 기반을 제공한다. 외부 시스템들로부터 연동 및 연계되는 데이터의 목록은 다음과 같다.

Table 2. List of linked data from the external systems

System	Linked Data	Purpose
국방군수 통합체계	현지구매단가, 편성/지원부대 보급거래, 편성부대반납, 통합 정비지시서, 작업 소모인수, 장비 데이터, 장비운영실적, 야전운용 고장/정비	연동 데이터를 분석하여 운용기초자료 생성에 활용 - 보급 주문 및 수송시간 - 체계 정비 관련 정비/행정 지연 및 수송시간 - 품목 정비 관련 정비/행정 지연 및 수송시간 - 품목 교체/수리 업무분포 및 폐기율
국방표준 통합정보 시스템	품목별 단가 정보	CSP 산출 대상품목의 단가 예측에 활용
군수지원 분석도구	품목별 고장률 정보 및 DELIIS 연동자료 이외의 군수지원분석 자료	SOLOMON 자료와의 비교 검토 및 연동 처리를 통한 OASIS 입력자료의 정확성 검증에 활용
RAM 표준자료 체계	체계 총 운용시간, 품목별 고장 정보	야전운용제원을 예측값과 조합하여 품목별 고장률 최신화에 활용

이렇게 통합 수집된 자료는 CSP 산출에 필요한 기초 입력자료의 보정, 검증 및 보완에 활용되어 CSP 산출 결과의 정확성과 신뢰성을 높인다. 유사 무기체계의 고장률 데이터는 품목 NSN 번호와 NIIN 번호가 같은 경우 품목간 매핑이 자동으로 이뤄지며, 사용자가 직접 유사 품목 간의 매핑을 지정할 수도 있다. 매핑된 유사 무기체계의 품목 데이터는 고장률 조합 과정을 거쳐 신뢰도 보정 작업에 활용된다.

또한, 최적 CSP 산출이 완료된 결과 역시 추후 무기체

계 개발에서 더욱 적극적으로 활용될 수 있도록 OASIS 서버로 제출되어 통합 관리된다.

기초자료 보정을 위한 관련 데이터의 흐름을 도식화하면 Fig. 4와 같다.

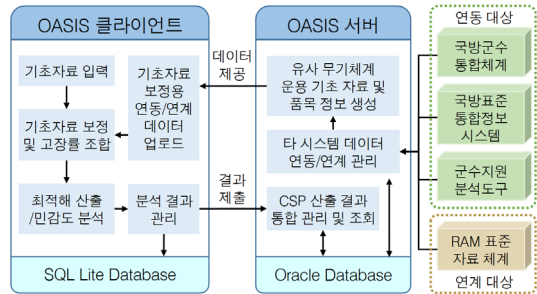


Fig. 4. Data flow diagram of OASIS system

3.2 신뢰도 정보 조합

OASIS에서의 고장률 조합은 Telcordia SR-332의 조합법을 적용하여 수행된다[13]. 이는 Parametric Technology Corporation(PTC) 사의 Winchill과 같은 상용 신뢰도 예측 소프트웨어에서도 활용되며 널리 알려진 조합법 중 하나다. 부품 i 의 고장률(d_i)은 Eq. (2)와 (3)으로 계산한다.

$$d_i = \frac{2 + y_i}{B} \tag{2}$$

$$B = \frac{2}{\hat{d}_i} + \frac{V \cdot t_O \cdot \pi_E}{10^6} \tag{3}$$

Where, y_i denotes field failure count of item i , \hat{d}_i denotes predicted failure rate of item i , V denotes adjustment factor, t_O denotes total operating time of the legacy system, π_E denotes environment factor.

고장률 조합법을 적용할 때는 해당 부품이 충분히 긴 시간동안 운용되었고 충분히 많은 횟수의 고장 이력이 존재하는지에 주의하여야 하며, 실질적으로 운용실적이 약 3,000시간 이상일 경우에 적용할 것을 권장한다. 완전히 동일한 부품이 아닌 유사장비의 데이터를 조합하는 경우 CSP 산출 대상 부품의 환경 팩터 및 품질 팩터가 유사장비 대비 동일 수준 혹은 양호한 경우에 보정 절차가 유효한 점도 고려해야 한다. 불충분하거나 부적합한

데이터를 활용한 조합은 데이터 왜곡 현상을 초래하여 신뢰도 예측 결과가 부정확해질 가능성이 있다.

3.3 최적화 모델의 개선

CSP 산출 알고리즘의 최적해 탐색 방식에서도 크게 두 가지 개선점이 있다. 가능한 해 구간(feasible solution region) 전체를 탐색하지 않고 구간 탐색으로 최적해를 찾는 점, 그리고 기존 OASIS 모델의 최적해 탐색 성능면에서 큰 차이를 발견하지 못했던 유전 알고리즘 기반의 2차 탐색 기능이 삭제된 점이다. 이로 인해 최적화 과정의 효율성이 증대되고 최적해를 찾는 속도 자체가 크게 향상되었다.

또한, 동일 계단에서 완제품 수리(LRU 교환)와 LRU 수리(SRU 교환)가 모두 이루어지는 경우 수리지연을 중복으로 반영하지 않고 한 번만 반영하는 것으로 수정됨으로써 현실적인 상황을 반영하였다.

최적화 모델 내 주요 변수 중 하나인 운용가용도를 계산하는 방식도 개선되었다. Eq. (4)~(6)과 같이 체계 운용 특성별로 상이했던 운용가용도 계산식을 Eq. (7)의 단일 식으로 통일되었다.

- 지속적 운용체계 산출용 기존 식

$$A_o = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR + MLDT} \quad (4)$$

- 간헐적 운용체계(항공기) 산출용 기존 식

$$A_o = 1 - \frac{MTTR + MLDT}{K \times MTBF}, \quad (5)$$

$$K = \frac{\text{총 캘린더시간}}{\text{총 운용시간}}$$

- 간헐적 운용체계(함정) 산출용 기존 식

$$A_o = \frac{K' \times MTBF}{K' \times MTBF + MTTR + MLDT}, \quad (6)$$

$$K' = K - \frac{MTTR + MLDT}{MTBF}$$

- 통일된 단일 식

$$A_o = \frac{OT + ST}{OT + ST + TPM + TCM + ALDT} \quad (7)$$

$$= \frac{8760 - (TPM + TCM + ALDT)}{8760}$$

Where, A_o denotes the operational availability,

MTBF denotes Mean Time Between Failure

MTTR denotes Mean Time To Repair

MLDT denotes Mean Logistics Delay Time

OT denotes Operating Time

ST denotes Standby Time

TPM denotes Total Preventive Maintenance Time

TCM denotes Total Corrective Maintenance Time

ALDT denotes Administrative & Logistics Delay Time

기존에는 반영되지 않았던 예방정비시간(TPM)을 운용가용도 계산에 반영할 수 있도록 수정되어, 반영 여부는 사용자가 선택할 수 있도록 하여 각 무기체계별 운용 상황과 데이터 확보 수준에 맞춰 최적화를 수행할 수 있다.

4. 제안 및 향후 연구

4.1 양질의 신뢰도 데이터 확보를 위한 기술적·제도적 개선 제안

본 장에서는 클라이언트-서버 아키텍처 적용을 통한 CSP 최적화의 성공적인 개선을 위한 추가 제안 사항을 제시하고, 향후 연구 주제를 다룬다.

여러 외부 시스템 간의 국방 데이터 연동 및 연계성 강화를 통해 성공적으로 CSP 산출 결과의 정확성을 높이려면 연동 및 연계의 대상이 되는 신뢰도 데이터의 생성 단계부터 중요하게 살펴봐야 한다. 대부분 무기체계는 전력화되어 부대에 배치되는 대수가 상대적으로 적으므로 각 장비 및 부품별 고장 이력 데이터 역시 매우 드물게 나타난다. 이는 곧 데이터 조합에 활용할 수 있는 통계적으로 유의미한 수준의 데이터를 확보하기까지 상당히 오랜 시간이 소요될 수 있음을 의미한다. 따라서 희소하게 발생하는 고장 및 정비 관련 데이터를 활용하기 좋은 정보로 생성하기 위해 시스템 측면에서의 기술적 개선과 제도적 개선을 제안한다.

첫째, 고장 및 정비 데이터를 현 시스템에 입력하는 단계를 보다 고도화할 것을 제안한다. 먼저 고장 상황에 대한 구체적이고 다양한 정보를 입력함으로써 고장의 유형과 고장 발생 상황을 세분화하여 활용할 수 있다. 무기체계에서 고장이 발생했을 때 고장의 원인이 부품 및 장비의 내재적 결함 때문인지 혹은 운용상에서의 사용자 과실 때문인지 등을 구분하면 부품 자체의 기본고장률 값을 더욱 정확하게 예측할 수 있고, 소요 발생 원인을 고려한 적합한 추가 수리부속 조달이 가능하다[14]. 운용

측면의 정황 정보나 기후 같은 환경 정보 등 간접적인 정보 또한 다양한 산업 전반에서 폭넓게 활용되고 있는 데이터 마이닝 기법 및 빅데이터 분석 기술을 적용하여 유의미한 분석 결과를 도출할 수 있다[15]. 당장은 고장 발생과의 상관관계가 밝혀지지 않은 데이터라도 추후 분석을 통해 신뢰도 예측에 기여할 가능성이 있다.

둘째, 고장 데이터 입력과 관련된 규정 및 정책과 같은 제도적 개선을 제안한다. 무기체계 고장이 발생했을 때 사용자에게 책임을 묻고 불이익을 가한다면 고장 이력 입력 행위를 기피 또는 지연하거나 고장 내용을 축소 또는 부정확하게 입력하는 등의 악효과가 발생할 수 있다. 과도하게 반복적으로 고장을 유발하거나 고의로 고장을 초래한 경우 등 특수한 예외 상황을 제외하고는 고장이력 입력을 담당한 자에게 장비의 고장에 대한 책임을 지우는 것은 최대한 지양하고, 정확한 고장 관련 데이터를 지연 없이 시스템에 입력한 경우에는 오히려 보상을 주는 제도를 마련함으로써, 장기적인 관점에서 신뢰도 정보의 데이터 풀을 지속적으로 키워나갈 것을 제안한다.

셋째, 군 외부에서의 데이터 확보 기회를 포착하고 활용할 것을 제안한다. 외주정비를 통해 외부 업체에서 정비 및 수리가 이뤄지는 경우는 운용 부대보다 해당 업체에서 더욱 정확하고 고장 및 정비 데이터를 파악할 수 있다. 따라서 소요 부대뿐만 아니라 외주정비를 담당하는 시제업체에서도 고장 및 정비 데이터를 업로드할 수 있는 인프라를 구축할 것을 제안한다. 성실하고 정확한 데이터 입력을 장려하기 위하여, 업체 측에는 관련 부품의 야전운용 데이터에 대한 제한적인 접근 권한 부여와 같은 방식으로 보상과 유인책을 제공하는 것을 고려해볼 수 있다.

4.2 향후 연구

신뢰성 정보의 조합을 포함한 데이터 연계성 강화의 정량적 효과 분석은 근본적으로 야전정비 데이터가 유의미하게 충분한 규모로 누적된 사례가 아직 없다고 판단되어, 향후 연구의 주제로 다루고자 한다. 야전정비 데이터와 품목별 신뢰도 데이터가 충분히 누적되어 데이터 세트의 규모가 일정 수준에 이르렀을 경우, 신뢰도 조합을 통한 품목별 고장률 데이터 보정이 최적 CSP 산출에 미치는 영향을 정량적으로 분석할 수 있을 것으로 기대된다.

5. 결론

본 연구에서는 데이터 조합을 중심으로 CSP 산출 프

로세스의 개선에 미치는 영향을 분석하였다. 클라이언트-서버 아키텍처의 도입으로 국방 정보 관련 외부 시스템과의 연계성을 높임으로써, CSP 산출에 필요한 기초 입력자료의 신뢰성을 높일 수 있으며, 특히 실제 야전정비 데이터로 품목별 신뢰도 데이터를 보정함으로써 보다 현실적인 신뢰도 예측 결과를 최적 CSP 산출에 반영할 수 있음을 확인하였다. 또한, 기존 OASIS 모델 대비 최적해 탐색 방식의 효율성과 탐색 속도를 높이고, 운용가용도 계산 방식의 개선을 통해 최적화 결과의 정확성을 높였음을 보였다. 마지막으로 양질의 유사 무기체계 신뢰도 데이터를 확보할 수 있는 기술적·제도적 개선안을 제안하였다.

References

- [1] G. Oh, Y. Na, "Provisioning Quantity Determination of Consumable Concurrent Spare Part Under Cannibalization Allowed", *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, Vol.28, No.1, pp.97-104, Mar. 2005.
- [2] K. R. Kim, H. J. Choi, "Study to Optimize the Concurrent Spare Parts of Multiple Function Weapon System using Failure-Function Matrix", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.16, No.8, pp.5260-5266, 2015.
DOI: <https://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.8.5260>
- [3] Defense Acquisition Program Administration, Defense Acquisition Program Management Regulations, 2020.
- [4] S. H. Kim, S. J. Park, A study on Concurrent Spare Parts(CSP) to weapon system readiness, Technical Report, Agency for Defense Development, Korea,
- [5] S. M. Moon, U. J. Kim, "The Development of a Concurrent Spare-Parts Optimization Model for Weapon Systems in the South Korean Military Forces", *Interfaces*, Vol.47, No.2, pp.122-136, Mar. 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1287/inte.2016.0869>
- [6] J. W. Woo, M. K. Maeng, "Determining the Current Spare Parts Level in a Dynamic Environment", *Journal of the Military Operations Research Society of Korea*, Vol.24, No.2, pp.146-161, Dec. 1998
- [7] A. J. Kaplan, Mathematics for SESAME model, Technical Report, ARMY INVENTORY RESEARCH OFFICE PHILADELPHIA, PA, USA.
- [8] C. C. Sherbrooke, "VARI-METRIC: Improved Approximations for Multi-Indenture, Multi-Echelon Availability Models", *Operations Research*, Vol.34, No.2, pp.311-319, Apr. 1986.
DOI: <https://doi.org/10.1287/opre.34.2.311>

- [9] C. C. Sherbrooke, Optimal Inventory Modeling of Systems: Multi-Echelon Techniques, p.392, Springer Science & Business Media, 2006, pp.101-125
DOI: <https://doi.org/10.1007/b109856>
- [10] X. Juan, Z. Hongfu, S. Lei, "A multi-item, multi-echelon inventory allocation model for aircraft spare parts based on VARI-METRIC", *Information Technology Journal*, 13, pp.2218-2223, 2014.
DOI: <https://dx.doi.org/10.3923/iti.2014.2218.2223>
- [11] Defense Acquisition Program Administration, RAM Guide Book, 2018.
- [12] Defense Acquisition Program Administration, Integrated Logistics Support Practical Guide Book, 2015.
- [13] Telcordia Technologies Special Report SR-332 issue 3, Reliability prediction procedure for electronic equipment, Technical Report, Telcordia Technologies, Inc., NJ, USA, 2011.
- [14] S. I. Baek, Y. C. Ha, "Additional CSP calculation method considering Human Error", *Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.22, No.1, pp.759-767, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2021.22.1.759>
- [15] H. Yoon, S. Kim, "Naval Vessel Spare Parts Demand Forecasting Using Data Mining", *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, Vol.40, No.4, pp.253-259, Dec. 2017.
DOI: <https://doi.org/10.11627/jkise.2017.40.4.253>

여 재 룡(Jaeryong Yeo)

[정회원]



- 2013년 2월 : 한국과학기술원 산업및시스템공학과 (학사)
- 2016년 2월 : 한국과학기술원 산업및시스템공학과 (석사)
- 2016년 2월 ~ 2018년 5월 : LG 전자 생산기술원 선임연구원
- 2018년 5월 ~ 현재 : 국방과학연구소 미사일연구원 연구원

<관심분야>

최적화, 종합군수지원, Digital Transformation