

동시조달 수리부속 적중률 향상을 위한 장비 운용 형태와 특성을 고려한 사례연구

A Case Study to Improve the Accuracy of Concurrent Spare Parts Considering Operational Mode and Characteristics

이범열¹⁾ · 이상진²⁾

Bum Yeol Lee · SangJin Lee

ABSTRACT

The purpose of this research is to improve a prediction accuracy of CSP, done by OASIS(Optimal Allocation of Spares Initial Support) model. The basic logic of OASIS follows Vari-METRIC model, but it doesn't fully consider the operational mode(specifically uptime mode) and operational characteristics. This research has two hypothesis. The first one is to classify total uptime as operational and non-operational. Since some equipments are continuously or intermittently operated, it has to consider this characteristics. The second is to consider operational/mission environment such as a stress. A more stressful mission may result in more frequent failures. A stressful situation may reduce MTBF(Mean Time Between Failures) of an equipment. The result of first hypothesis is empirically done by the K21 equipment. It shows that a specification of uptime may increase a prediction accuracy. However, as stress values are arbitrary given in second hypothesis, it is a major limitation of this research.

Key Words : CSP, OASIS, operational mode, stress, MTBF

논문접수일 : 2021년 4월 1일, 심사일 : 2021년 5월 10일, 게재확정일 : 2021년 5월 21일

1) 육군 소령(진) / 국방대학교 군수조달 석사

2) 국방대학교 군수조달 전공교수 / 교신저자(Corresponding author)

1. 서론

2014년 말 기준으로 군에서 보유하고 있는 수리부속품은 총 53만 6,363개 품목으로 자산가치는 약 11조 원이다. 이 중에서 10년간 수요가 발생하지 않아 사용하지 않은 품목은 9만 7천여 종이며, 이는 전체 품목의 18%이고 자산가치는 2,600억원이다. 재고 자산가치 상위 20개 품목을 뽑아 수요가 발생하지 않은 원인을 분석해 본 결과, 수요예측 정확도가 떨어져 발생하는 비중이 46.9%이며 동시조달 수리부속(CSP: Concurrent Spare Parts) 적중률 미흡이 15.3%, 미군 자산 및 타군 자산 관리전환으로 무분별한 무상획득이 13.9%로 그 뒤를 이었다. 수리부속 재고관리 효율성을 위해서는 동시조달수리부속의 적중률 향상이 필수적이라 하겠다.[1]

CSP와 관련하여 여러 문제점을 해결하기 위한 연구는 오래전부터 계속적으로 이루어져 왔다. 연구는 크게 제도 및 절차와 관련된 연구[2, 3]와 CSP 산정 방법에 대한 연구로 구분할 수 있다. 이 연구는 전자보다는 CSP 산정과 관련한 방법에 대한 연구이다.

이 연구의 주제와 방법론에 있어 연관된 선행 연구로 류연욱, 박명섭(2006)이 있다. 이는 다단계 다계층(MEMSIC: Multi Echelon Multi Structured Items Control Model) 모형으로 기지, 창, 그리고 공급자라는 다단계와 부품의 다계층 구조에서 재고량 보충시간을 고려하여 CSP를 산정하였다.[4]

김경록, 용화영, 권기상(2012)의 연구는 장비 운용가용도에 대한 하위품목의 영향도를 분석하여 이를 CSP 산정에 반영하도록 하였다. 시뮬레이션 기법을 이용하여 가상으로 장비를 운용하면서 정의된 보급 및 정비 체계를 분석하고 이를 통해 품목별 CSP 수량 변화에 따른 운용가용도의 변화 추이를 결과값

으로 산출하였다. 이렇게 얻은 자료를 통해 장비 운용가용도에 대한 다중 회귀모형을 도출 후 이를 목표값으로, 비용을 제약조건식으로 선형계획법을 구성하여 CSP를 산정하였다.[5]

한국군은 CSP 수량 산정을 위해서 현재 표준 S/W인 OASIS(Optimal Allocation of Spares Initial Support)를 사용하고 있다. OASIS에서 CSP 산출의 기반이 되는 기대 후불값(EBO: Expected Back Order) 계산 논리는 Vari-METRIC(Multi Echelon Technique for Repairable Item Control) 모형을 사용하고 있다.

이 연구는 OASIS에서 CSP를 산정하는 Vari-METRIC 모형과 자료 입력 절차에 기반을 두고, 장비 운용 개념을 보다 구체적으로 적용하는 경우의 실증적 효과를 분석하고자 한다.[2, 6] 즉, OASIS 입력 자료 중에 CSP 산정에 영향을 주는 수요율과 관련이 깊은 운용 시간은 운용형태종합/임무유형(OMS/MP: Operational Mode Summary/Mission Profile)에 제시된 가동시간을 구체화하여 CSP 산정에 미치는 영향을 분석하고자 한다.[6] 또한 고장간 평균시간(MTBF: Mean Time Between Failure)은 장비 운용 환경, 즉 환경 부하(stress)에 따른 차이를 적용하여 CSP 산정에 미치는 영향을 평가하고자 한다. 따라서 이 연구의 목적은 첫째, 총 가동시간을 각 품목별 특성에 맞도록 운용 시간을 구체적으로 적용하면 CSP 정확도를 높일 수 있는지와 둘째, 운용 환경 즉 스트레스에 따라 MTBF를 달리 적용하면 CSP 정확도를 높일 수 있는가를 분석하는 것이다.

2. 관련 이론 및 연구

2.1 Vari-METRIC

OASIS에서 EBO를 계산하는 기본 논리는 Vari-METRIC 모형을 따른다. 이는 기존 METRIC이 재보급과정 재고량을 실제보다 과소 계산되기에 이를 보완하기 위하여 Slay에 의해 제안되었으며 Sherbrooke에 의해 다계층 모델로 최종 정립되었다[7, 8, 9, 10]. METRIC은 재고량 확률분포를 포아송 분포로 가정하는 반면에, Vari-METRIC은 음이항 분포로 가정하여 EBO를 구하기 때문에 재고량의 평균 뿐 아니라 분산의 계산이 필요한 모델이다. Vari-METRIC의 가정 사항은 다음과 같다.

- 1) 각 정비 계단에서 단위 정비 부대의 보급요청은 차 상위 정비부대에만 가능하다. 부품 고장은 포아송 분포를 따른다.
- 2) 모든 정비부대에서의 수리과정에 대기시간은 존재하지 않는다.
- 3) CSP 운용 기간 동안 외부로부터 창으로의 재보급은 없다.
- 4) 하위 정비부대의 재고 통제는 (s-1, s) 정책을 취한다. 즉, 예비품 재고 한 개를 소모할 때마다 청구한다.
- 5) 동일 품목에 대한 폐기율은 정비부대와 상관없이 동일하다.
- 6) 무기체계의 부품 고장 발생에 따른 수리부속 소요율 및 수리 소요율은 상황에 따라 변화하지 않는다.
- 7) 동일 수준의 정비 부대 간 수평보급은 허용되지 않는다.
- 8) 하위 정비부대에서 상위 정비부대에 수리부속을 청구하여 수령받는데 소요되는 기간(주문 회송시간)은 독립적이다.

EBO 계산 및 과정 설명을 위한 기호 정의는 다음과 같다.

- j = 부대 및 창 번호
- λ_j = 부대 j 에서의 수요율
- r_j = 부대 j 에서 수리할 수 있는 확률
- R_j = 부대 평균 수리 시간
- R_0 = 창 평균 수리 시간
(후송시간 + 수리시간)
- O_j = 평균 주문/수송 시간
- s_j = 부대 j 예비 재고량
- s_0 = 창 예비 재고량
- $B_j(s_j)$ = 부대 j 의 예비 재고량이 s_j 일 때 후불값

부대 j 재보급선 재고량의 기댓값(평균)은 부대 수리 중인 재고 평균, 주문/수송 중인 재고 평균, 창에서 수리 지연 중인 재고 평균을 더한 값으로 아래 식과 같다.

$$E[x_j] = E[x_{jb}] + E[x_{j0}] + E[x_{jd}]$$

$$E[x_{jb}] = \lambda_j \times r_j \times O_j : \text{부대 수리 중인 재고 평균}$$

$$E[x_{j0}] = \lambda_j \times (1 - r_j) \times O_j : \text{주문/수송 중인 재고 평균}$$

$$E[x_{jd}] = \frac{\lambda_j(1 - r_j)}{\lambda_0} \times E[B_0(s_0)] : \text{창에서 수리가}$$

지연 중인 재고 평균

$$\lambda_0 = \sum_{j=1}^n \lambda_j(1 - r_j) : \text{창에서 수요율, 각 부대에서 수리되지 못하고 창으로 이송되는 확률}$$

부대 j 재보급선 재고량의 분산은 부대 수리 중인 재고 분산, 주문/수송 중인 재고 분산, 창에서 수리 지연 중인 재고 분산을 더한 값으로 아래 식과 같다.

$$V[x_j] = V[x_{jb}] + V[x_{j0}] + V[x_{jd}]$$

$E[x_{jb}] = V[x_{jb}]$: 부대 수리 중인 재고 분산
 $E[x_{j0}] = V[x_{j0}]$: 주문/수송 중인 재고 분산
 $V[x_{jd}] = f_j(1-f_j)E[B_0(s_0)] + f_j^2 V[B_0(s_0)]$:
 창에서 수리 지연 중인 재고 분산
 이 식에서, $f_j = \frac{\lambda_j(1-r_j)}{\lambda_0}$

창 재고부족량의 분산 $V[B_0(s_0)]$ 은 다음의 식으로 구할 수 있다.

$$V[B_0(s_0)] = E[B_0^2(s_0)] - E[B_0(s_0)]^2$$

$$E[B_0^2(s_0)] = \sum_{x_0=s_0+1}^{\infty} (x_0 - s_0)^2 p(x_0|\lambda_0 R_0)$$

$$p(x_0|\lambda_0 R_0) = \frac{(\lambda_0 R_0)^{x_0} e^{-\lambda_0 R_0}}{x_0!}$$

위의 식들을 통하여 재보급선 재고량의 평균과 분산을 계산할 수 있으며 이를 토대로 음이항 분포의 확률질량함수를 구할 수 있다.

2.2 OASIS에서 CSP 산정

OASIS 소프트웨어 개발은 국방과학연구소에서 SOLOMON(Software for LOGistics Support Analysis: 군수지원분석용) 체계 개발사업에 의해 이루어졌으며 2007년부터 CSP 산출에 사용되었다. 2014년도에 OASIS 2.0에서 3.0으로 개선되었으며 2018년도에는 4.0이 개발되어 육해공군을 모두 통합하여 사용하고 있다.

2.2.1 OASIS 입력 자료

OASIS 입력 자료는 <표 1>과 같다.

OASIS 입력 항목은 CSP 수량에 영향을 미친다. AS 기간 중 고장이 발생하면 업체에서 100% 수리를 보장하기 때문에 소요 기간이 길수록 산출량이 많이 발생된다. 또한 연간 장비 운용시간이 많을수록 고장횟수가 늘

<표 1> OASIS 입력 항목

입력항목	세부항목
정비계단	정비계단 선택(2단계, 3단계, 4단계 정비구조), 수리 소요시간, 교체 업무분포, 수리업무 분포
일반품목	구분(수리가능 LRU, 소모성 LRU, 수리가능 SRU, 소모성 SRU), 단가, MTBF, 임무 필수품목, 교체업무 분포
예방정비 품목	구분(주기교환, 시한성), 단가, 교환주기, 교환수량, 정비부대
운용기초 정보	AS기간, 연간장비 운용시간, 주문 및 회송시간,
지원정비 부대정보	정비계단 구조, 상세구조
장비배치 일정	부대명, 배치일자, 배치대수
기 보유수량	이미 보유하고 있는 수리부속량

* LRU(Line Replaceable Unit), SRU(Shop Repairable Unit)

어 산출량이 많다. 보급 및 행정, 수송시간이 길수록 지연이 발생되어 산출량이 많이 발생된다.

부품의 MTBF 값이 작을수록 고장률이 높아 산출량이 많아지며, 단가가 낮을수록 적은 비용으로 운용가용도를 높일 수 있어 산출량이 많아진다. 장비에 포함된 부품의 개수만큼 고장이 발생되어 산출량이 많아진다. 고장 발생시 교환개수가 많을수록 산출량이 많아진다. 교체 업무 및 수리 업무 비율이 높을수록 시간이 길어져 산출량이 많아지며 운용가용도를 높게 입력할수록 후불을 줄이기 위해 산출량이 많아진다. 목표비용을 높게 입력할수록 CSP를 더 많이 산출할 수 있어 높은 운용가용도의 CSP가 산출된다.

2.2.2 목적함수 및 산출 프로세스

OASIS는 목적함수 비용을 최소화하며 최적의 CSP를 찾는 알고리즘이다.

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n (s(i, j) \times UP(i)) + \lambda \times \sum_{j=1}^m TEBO(j)$$

s.t. $\text{Min}[A_1(S), \dots, A_o(S)] \geq A_t$

$s(i, j)$: j 부대에 보급할 품목 i 보급량

$UP(i)$: i 품목 단가

λ : 품목의 후불에 따른 벌과 비용

$TEBO(\text{Total EBO})(j)$: j 부대에서 교환 요청에 대한 기대 후불값

A_t : 목표 운용가용도

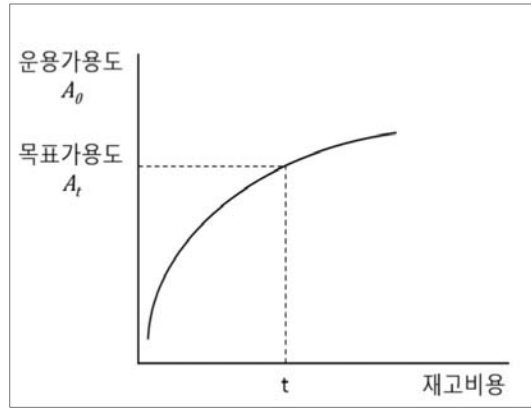
$A_k(s)$: 완제품 운용부대 k에서 보급량 s로 성취되는 운용가용도

n : 품목 개수

m : 정비부대 수

o : 완제품 운용부대 수

목적함수 좌측 $\sum_{i=1}^n (s(i, j) \times UP(i))$ 은 CSP 확보를 위한 조달비용을 계산하는 부분이며 우측 $\lambda \times \sum_{j=1}^m TEBO(j)$ 은 CSP 부족(후불)에 따라 발생하는 가상의 비용이다. CSP 부족에 따른 벌과금은 목표 운용가용도를 높이면 OASIS 알고리즘에서 벌과금을 높게 산정하여 CSP 부족에 따른 가상의 비용 부담이 커져 CSP 후불을 줄이기 위해 CSP 수량을 늘리게 된다. 벌과금을 계속해서 변화시키면서 해를 구하면 <그림 1>과 같은 곡선이 구해지며 구해진 재고수준에 따라 결정되는 운용가용도가 목표 운용가용도에 일치되는 시점에서 최적해를 구할 수 있게 된다. <그림 2>는 앞서 설명한 OASIS 산출 프로세스 알고리즘이다.



<그림 1> 재고비용과 가용도의 관계

2.3. 기대 후불값 계산

OASIS에서 기대 후불값 계산은 Vari-METRIC 모형을 기반으로 한다. 기대 후불값 계산 논리 및 과정 설명을 위하여 기호 정의와 수식은 다음과 같다.

EI_k : k 부대에서 지원하는 완제품 대수

P_k : k 부대와 같은 계단에서 수리될 비율

R_k : k 부대와 같은 계단에서 교환될 비율

D : 수요율 = 1 / 평균 교환 간격

TAT_k : 수리회송시간

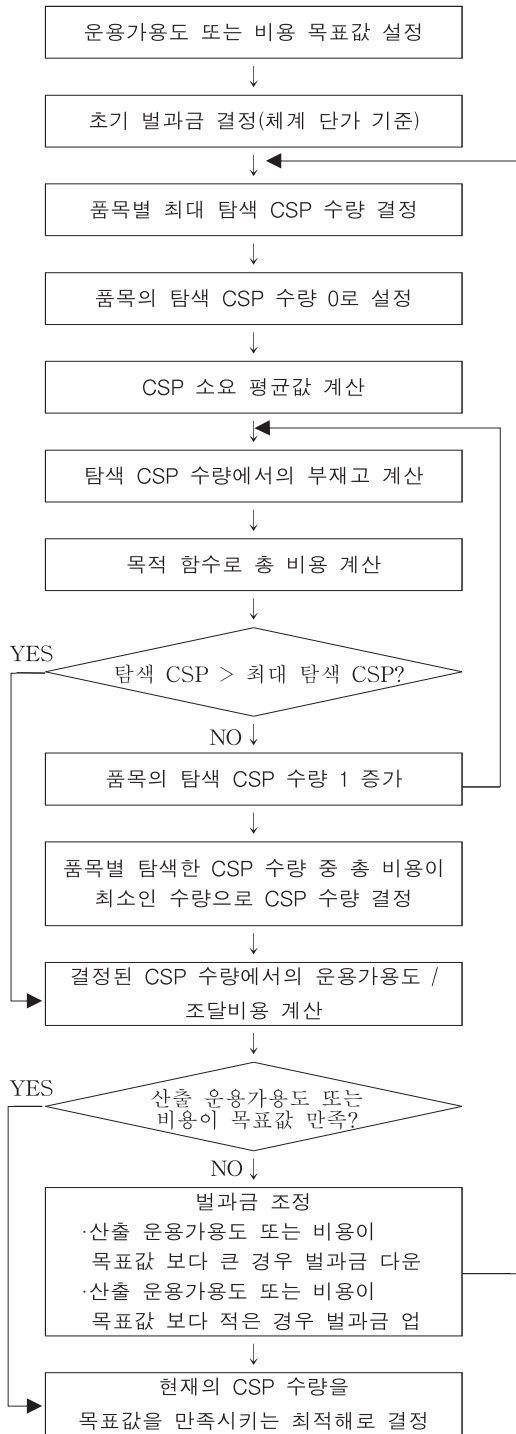
$RSUM_k$: k 부대와 같은 계단 또는 하위 계단에서 수리될 비율

$PSUM_k$: k 부대와 같은 계단 또는 하위 계단에서 교환될 비율

OST_k : 주문회송시간

EBO_k : k 부대에서의 기대 후불값

f_k : 상위 부대의 총수요에 대한 부대 k의 수요비율



<그림 2> OASIS 산출 프로세스

$$E(Q_k) = EI_k \times D \times [P_k \times TAT_k + (RSUM_k - PSUM_k) \times OST_k] + f_k \times EBO_k$$

$E(Q_k) = EI_k \times D \times P_k \times TAT_k$: 부대에서 수리 중인 재고량의 평균

$$E(Q_k) = EI_k \times D \times [(RSUM_k - PSUM_k) \times OST_k]$$

: 주문/수송 중인 재고량의 평균

$$E(Q_k) = f_k \times EBO_0$$

: 창에서 수리가 지연되는 재고량의 평균

$$Var(Q_k) = EI_k \times D \times [P_k \times TAT_k + (RSUM_k - PSUM_k) \times OST_k] + f_k \times (1 - f_k) \times EBO_k + f_k^2 \times Var[B_k(s_k)]$$

$$f_k = \frac{EI_k \times (RSUM_k - PSUM_k)}{EI_k \times [R_k \times (RSUM_k - PSUM_k)]}$$

$E(Q_k) = EI_k \times D \times P_k \times TAT_k$: 부대에서 수리 중인 재고량의 평균

$$E(Q_k) = EI_k \times D \times [(RSUM_k - PSUM_k) \times OST_k]$$

: 주문·수송 중인 재고량의 평균

$$f_k \times (1 - f_k) \times EBO_k + f_k^2 \times Var[B_k(s_k)]$$

: 창에서 수리가 지연되는 재고량에 대한 분산

2.4. 운용가용도

OASIS에서 체계 운용시간과 MTBF값은 운용가용도에 주요한 영향을 미치고 있다. 운용가용도는 다음과 같다.

TPM(Total Preventive Maintenance Time) : 총 예방정비시간

TCM(Total Corrective Maintenance Time) : 총 고장정비시간

OT(Operational Time) : 운용시간

ALDT(Administrative & Logistics Delay Time) : 행정 및 군수 지연시간

MTTR(Mean Time To Repair) : 평균수리시간

$$A_o = \frac{8760 - (TPM + TCM + ALDT)}{8760(365일 * 24시간)}$$

$$TCM = \frac{OT}{MTBF} \times MTTR$$

$$LDT = \frac{TEBO}{EI(\text{체계수량})} \times 8760$$

$$ADT = \frac{OT}{MTBF} \times \text{평균 체계정비 지연시간}$$

3. CSP 산정 고려 사항

CSP 계산은 주어진 비용으로 목표 운용가용도를 충족할 수 있는 재고수준을 산정하는 것이다. 그런데 현재 운용가용도를 산정하는데 총 가동시간에서 불가동시간을 감하는 일률적인 방식으로 값을 구한다. 또한 불가동시간의 고장정비시간을 산정할 때, 가동시간과 MTBF를 품목 특성이나 운용 환경에 따라 달리 적용하지 못하고 있다. TCM 등의 값을 구하는데 OT와 MTBF를 장비 특성이나 운용 환경 부하(stress)에 따라 차이를 주어 적용하면 TCM이 달라지고 결과적으로 운용가용도 값이 달라질 수 있다. 이렇게 CSP를 산정하게 되면 운용 환경에 더 적합한 값이 될 수 있을 것이다.

3.1 품목 특성별 운용 시간

품목 특성을 구분하기 위해 OMS/MP에 대한 구체적인 내용과 장비 가동시간 분류에 대하여 살펴 본다.

OMS(운용형태중합)는 장비가 임무를 수행하기 위해 사용될 다양한 예상 행동을 서술하는 것이며, MP(임무유형)는 특정 임무의 시작부터 종료시까지 발생하는 사건 및 환경을 시간적으로 서술한 것으로 OMS와 MP는 동시에 정의된다. 가동시간의 구체적인 내용은 <표 2>와 같다.[11]

<표 2> 무기체계 가동시간 구분

총 시간(TT)						
총 가동시간 (TUT)			총 불가동시간 (TDT)			
운 용 시 간 (OT)	비운용시간 (NOT)		총 정비시간 (TMT)		행정 및 군수 지연시간 (TALDT)	
	경계 시간 (AT)	대기 시간 (ST)	총 고장 정비 시간 (TCM)	총 예방 정비 시간 (TPM)	행정 지연 시간	군수 지연 시간

무기체계는 품목 특성에 따라 운용 시간이 달라질 수 있다. 시스템은 운용 형태를 고려하여 지속적 운용 체계와 간헐적 운용체제로 구분할 수 있다.[6] 지속적 운용 체계는 항상 작동 중인 시스템을 말하며 그 예로는 레이더와 전자장비 등이 있으며 간헐적 운용 체계는 대기시간에 대한 영향을 반영한 시스템으로 단순 대기시간을 가지는 함정 및 전차 등이 있다.

무기체계는 지속적 운영 체계와 간헐적 체계로 구분할 수 있을 뿐 아니라 무기체계 자체 내에서 복합 하위 장비를 구분할 수 있다. 현대 무기체계는 상당수가 복합 장비로 구성되어 있으며, 복합 장비로 구성된 시스템은 일률적인 운영 시간을 적용하기 보다 각각에 대해 이들 품목 특성에 따른 시간을 반영하여야 할 것이다.

시스템 내의 통신장비는 지속적 운용체제로 운용시간 뿐만 아니라 경계시간까지 운용되며, 기동장비는 간헐적 운용체제로 운용시간만 운용이 된다. 사격장비나 구난 장비는 운용시간, 비운용시간과 관계없이 사격이나 구난이 이루어지는 시간에만 운용이 되는 특성을 가진다.

3.2 운용 환경별 MTBF

장비의 MTBF는 정비/수리 및 수리부속에 대한 수요율에 직접 영향을 미친다. CSP를 산정함에 있어 운용 환경에 적절한 MTBF를 적용한다면 CSP 정확도를 높일 수 있다.

$$(\text{참고: } \lambda(\text{수요율}) = \frac{1}{\text{MTBF}} \times \text{연간운용시간})$$

일반적으로 각 품목별 MTBF는 업체로부터 그 값을 제출받아 사용하고 있으며 군에서는 각 품목별 운용 환경에 대한 구체적인 검증 절차 없이 일률적으로 자료를 사용하고 있다. 그러나, OMS/MP의 실제 운용시간은 기동시간, 수상기동, Idle로 구분이 될 수 있으며 이 때 환경에 맞는 MTBF 값을 적용하면 보다 정확한 CSP를 산출할 수 있을 것이다.

고장률 산출방법으로 전자부품의 고장률 예측은 미 국방성의 MIL-HDBK217F (N2) 모델을 적용하며, 비표준 전자부품은 미국 RIAC의 NPRD-95를 적용한다.[12] 전자부품의 고장 발생 원인은 패키지 형태, 직접 회로의 논리 복잡도, 온도/스트레스 조건, 제조과정의 검사 등급 등의 요인이 있다. 부품부하 분석예측(Part Stress Analysis Prediction) 방법을 고장률 예측에 많이 사용하는데 다음과 같은 산식을 사용한다.

$$\lambda_p = \lambda_b \times \pi_T \times \pi_A \times \pi_R \times \pi_S \times \pi_C \times \pi_Q \times \pi_E$$

λ_p : 부품의 고장률

λ_b : 전기/온도 스트레스 영향을 고려해서 모델로부터 얻어지는 기본 고장률

π_T : 온도 인자

π_S : 스트레스 인자

π_Q : 품질 인자

π_E : 환경 인자

고장률 산정식을 보면 스트레스 인자(π_S)에 따라 이 값은 달라진다. 따라서 해당 장비의 엔진 가동시간에서 육상기동보다 수상기동의 스트레스 인자가 높게 반영되며 반대로 Idle은 스트레스 인자가 낮게 반영되어야 한다. MTBF를 이용함에 있어 스트레스 요인만을 고려해도 CSP 산정은 향상될 것이다.

4. 연구 결과 및 분석

4.1 연구 대상 및 입력 자료

연구 대상 장비는 야전에서 사용 중에 있는 K21 구난장갑차를 선택했다.

K21 장갑차는 하위 장비로 기동장비, 통신장비, 구난장비 등으로 구성되었으며 이들 품목의 운용 시간은 차별화될 수 있다. 연구에서 통신장비는 3가지 품목, 구난장비는 5가지 품목을 선정하였다. 기동장비는 운용시간의 변화가 없기 때문에 품목을 별도 선정하여 분석하지 않았다.

K21 입력 자료는 <표 3>과 같으며 가정 사항에 따라 통신장비는 운용시간과 경계시간을 포함한 운용시간 값을 적용하였으며, 구

<표 3> K21 OASIS 입력 자료

수리가 능 LRU	수리가 능 SRU	소모성 LRU	소모성 SRU	주기 교환품 목		
239	125	746	491	14		
수리회송시간			수리소요시간			
부대 정비 직접 정비	직접 정비 일반 정비	일반 정비 창정 비	부대 정비	직접 정비	일반 정비	창정 비
38	240	360	26	48	240	360
연간운용시간		장비 MTBF		장비 MTTR		
779		73		1.22		

난장비는 운용시간이 구체적으로 명시되지 않았기에 교범 및 야전운용을 고려하여 20%인 155.8시간을 적용하였다.

변화된 운용시간을 사용하여 수요율, 신뢰도 값을 변화시켜 적용하여 최적 CSP를 산출한다. OASIS 소프트웨어를 사용한 방법과 연구 모형에 의하여 산출된 CSP 수량, 실제 야전에서 사용된 CSP 수량과 상호비교하여 연구 결과를 분석하였다.

운용 환경에 따라 MTBF가 스트레스 인자에 따라 영향을 받는지를 분석하기 위해 육상기동, 수상기동, Idle 시간이 필요하다. 그러나, K21 OMS/MP에는 이 값이 명시되지 않아서, 이러한 시간이 명시된 유사 장비인 차륜형 전투차량의 값을 활용하였다.[13] 차륜형 전투차량의 엔진 운용시간은 1,456시간이며 그 중 육상기동은 584시간으로 40%, Idle은 852시간으로 59%, 수상기동은 20시간으로 0.01%의 비율을 차지한다. K21에서 엔진 가동시간은 육상기동, 수상기동, Idle로 분류하여 이 값을 사용하였다.

4.2 연구 모형 결과 분석

K21 구난장갑차는 품목 특성에 따라 하위장비를 통신장비, 기동장비, 구난장비로 구분할 수 있다. 이 중 기동장비는 OASIS 모형과 연구모형에서 동일한 운용시간을 사용하여 CSP를 산출하기 때문에 기동장비를 제외한 구난장비와 통신장비 2가지를 가지고 장비품목별 특성에 따른 실증분석을 한다. 기동장비는 스트레스 인자에 대한 영향력을 분석하였다.

4.2.1 품목 특성 고려한 결과

구난장비의 특성 품목은 제어기, 제어기 장착판, 전원분배기, 조종판, 작업등 5개이다.

이 품목들은 기동간에는 사용하지 않고 구난작업 시에만 운용한다. 따라서, 본 장비 운용시간은 기동장비의 20%인 155.8시간을 적용하였다.

통신 특성을 가지는 3개 품목은 헬멧조립체, 무전기 세트 오링, 전화 전원스위치이다. 이들 구난장비와 통신장비의 CSP 산정 결과는 <표 4>에 나와 있다.

<표 4> 적중률 결과 비교

장비명	발생량	OASIS		연구모형	
		CSP	적중률	CSP	적중률
구난제어기	1	3	0.33	2	0.5
구난제어기 장착판	0	1	0	0	1
구난전원분배기	2	4	0.5	4	0.5
구난조종판	0	2	0	1	50%
구난작업등	2	4	0.5	4	0.5
헬멧 조립체	2	8	0.25	2	1
무전기세트 오링	3	4	0.75	4	0.75
전화 전원스위치	0	1	0	0	1
전체 품목	10	27	0.37	24	0.588

K21 장갑차에 대한 CSP 산출 결과를 평가하기 위하여 단순 비교법, 수량기준 예측정확도, 평균제곱근오차(RMSE: Root Mean Square Error) 3가지 방법을 사용하였다.

단순비교법으로 적중률을 비교해 보았다. 통신장비 3개 품목은 운용시간과 경계시간을 포함한 값을 적용하였지만 부품의 고장률 자체가 높지 않아 OASIS 산출값과 연구모형 산출값이 동일하다. 구난장비는 3개 품목에서 연구모형의 CSP의 예측정확도가 높았다. 전체적으로 연구모형의 예측 정확도가 0.588로 높았다.

수량기준 수요예측 정확도는 예측 수량과

실제 수요 발생 수량의 수량적 편차를 측정하는 것으로 아래 식을 사용하였다.

$$\text{수요예측정확도} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\text{Min}(\text{예측치}_i, \text{실제치}_i)}{\text{Max}(\text{예측치}_i, \text{실제치}_i)}}{n}$$

$$\text{OASIS} = \frac{\frac{1}{3} + \frac{0}{1} + \frac{2}{4} + \frac{0}{2} + \frac{2}{4} + \frac{2}{8} + \frac{3}{4} + \frac{0}{1}}{8} = 0.29$$

$$\text{연구모형} = \frac{\frac{1}{2} + \frac{0}{0} + \frac{2}{4} + \frac{0}{1} + \frac{2}{4} + \frac{2}{2} + \frac{3}{4} + \frac{0}{0}}{8} = 0.44$$

연구모형의 정확도는 0.44이며 OASIS 정확도는 0.29로 15% 높다.

평균제곱근오차는 추정값 또는 모델이 예측한 값과 실제 환경에서 관찰되는 값의 차이를 다룰 때 흔히 사용되는 측도이다. 계산식은 아래와 같다.

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{예측치} - \text{실제치})^2}{n}}$$

OASIS 평균제곱근오차 : 2.622
 연구모형 평균제곱근오차 : 2.449

OASIS를 통한 결과는 2.622이며 연구 모형 결과는 2.449으로 연구모형의 오차가 낮게 나왔다. 세 가지 척도로 평가를 한 결과, 모든 척도에서 연구모형 적중률이 OASIS의 적중률보다 높았다.

4.2.2 스트레스 인자 고려 결과

기동이나 Idle의 형태에 따라 스트레스 인자의 영향을 고려하여 보자. 육상기동은 기준값으로 1을 적용할 수 있다. 수상기동은 스트레스 지수를 3개 수준인 1.6, 1.4, 1.2로 설정할 수 있고, Idle도 3개 수준인 0.8, 0.6, 0.4로 설정한다. 이렇게 하면 총 9가지 case를 산출

한다. <표 5>는 수상기동, Idle, 기동의 스트레스 인자와 가중치에 대한 승수값 총 9가지의 결과를 나타내고 있다.

<표 5> 스트레스로 인한 승수

운용 환경	수상	Idle	기동	승수
운용시간 내 비율	0.01	0.59	0.4	
Case I	1.6	0.8	1	0.888
Case II	1.6	0.6	1	0.886
Case III	1.6	0.4	1	0.884
Case IV	1.4	0.8	1	0.770
Case V	1.4	0.6	1	0.768
Case VI	1.4	0.4	1	0.766
Case VII	1.2	0.8	1	0.652
Case VIII	1.2	0.6	1	0.650
Case IX	1.2	0.4	1	0.648

스트레스로 인한 승수값은 스트레스에 대한 가중평균이다. 예를 들어 Case I의 승수 0.888은 다음과 같이 계산한다.

$$0.888 = 0.01 * 1.6 + 0.59 * 0.6 + 0.4 * 1$$

Case I의 경우 이 승수의 역수에 MTBF를 곱하여 해당 장비의 고장 정비 빈도를 산출할 수 있다. 이렇게 높아진 MTBF를 가지면 고장 발생은 줄어들게 되어 CSP 수량이 감소하게 된다.

<표 5>에서 승수를 보면 최대가 0.888이며 최소는 0.648이다. 구난장감차 운용 시간에서 Idle의 비율이 0.59로 수상기동의 0.01보다 훨씬 높기 때문에 수상기동의 스트레스가 높아도 전체적으로 Idle의 스트레스 값이 낮아서 승수는 1보다 낮아진다. 이는 Case별 스트레스 승수가 스트레스에 대한 운용 시간의 가

중 평균이기에 idle 운용 시간 비율에 영향을 받기 때문이다. 따라서 모든 경우에 MTBF는 증가하게 된다. 따라서, Idle 운용 비율이 높은 장비일수록 운용 환경에 따른 MTBF값을 높게 산출되어 CSP 결과에 대한 차이가 크게 달라진다.

스트레스 인자에 따른 고장 발생 결과를 확인하기 위하여 K21 장갑차 엔진 관련 품목 5개를 선정하였다. 품목명과 MTBF는 <표 6>과 같다.

<표 6> K21 엔진품목

품목	MTBF
디젤식 엔진	720.51
엔진용 배기장치	73,479.33
엔진보조용 배기장치	18,783.8
냉각제 가열기	11,868.4
엔진냉각장치 송풍기	1,888,930

<표 5>에서 구한 승수 중 최대값과 최소값과 K21 운용시간 779시간을 사용하여 산출한 고장 발생 결과는 <표 7>이다.

<표 7> 스트레스를 고려한 고장발생

품목	고장 발생		
	최초값	Case I	Case IX
디젤식 엔진	1.08	0.96	0.70
엔진용 배기장치	0.01	0.01	0.01
엔진보조용 배기장치	0.04	0.04	0.03
냉각제 가열기	0.07	0.06	0.04
엔진냉각장치 송풍기	0.00	0.00	0.00

디젤식 엔진의 MTBF는 720.51이다. 운용 시간 779시간을 적용하였을 때 고장 발생은 1.08회이며 <표 5>의 승수를 적용하면 고장 발생은 0.96회에서 0.7회로 줄어든다.

연구 결과, 운용 환경을 구체화할 경우 고장 발생이 줄어들어 CSP 산출량이 줄어들게 된다. 따라서, 기존에 과다하게 산출되는 CSP 양을 줄일 수 있을 뿐 아니라 CSP 정확도도 높일 수 있다. 그러나 본 연구에서는 스트레스 인자에 대하여 임의의 가중치를 적용하여 논리적 근거를 제시했을 뿐이다. 정확한 연구 결과 산출을 위해서는 실제 환경에서 스트레스 인자를 산출하는 것이 필요하다.

4. 결론

본 연구는 동시조달수리부속의 예측 정확도를 향상하기 위해 장비의 품목 특성과 운용 환경 특성을 고려하는 방법을 제안하였다. 현재 무기체계가 복합무기로 일률적인 운영 시간이나 운영 형태를 적용하여 CSP를 산출하기 보다 운영 시간이 지속적인 하위 시스템과 간헐적인 하위 시스템을구분하여 적용하고 일률적인 MTBF 값 보다는 운용 환경 스트레스 인자를 고려할 것을 제안하였다.

본 연구 의의는 크게 2가지이다. 첫째, CSP 입력 자료를 구분하여 적용하기 위하여 OMS/MP를 임무 형태별로 구체적으로 작성하면 CSP 적중률을 현재보다 더 높일 수 있을 것이다. 둘째, 운용 환경을 고려하지 않고 일률적인 MTBF 만을 사용하는 것이 아니라 운용 환경에 맞는 MTBF 값을 적용하여 지금보다 CSP 예측 정확도를 더 높일 수 있을 것이다.

본 연구의 한계점으로 K21 구난장갑차를 이용하여 실증분석을 하였기 때문에 구난장

비 부분만 CSP 산출에 영향을 준다는 부분만 검증이 되었다. 품목의 수량도 다수 포함하지 못하였다. 따라서, 추후 연구에서 K21 구난장갑차가 아닌 상시 운용장비인 레이더 또는 통신장비를 활용하여 대기시간, 경계시간을 포함하였을 때 CSP 산출량 또는 적중률에 어떠한 변화가 있는지에 대한 실증적인 연구가 필요하다. 또한 K21의 OMS/MP의 운용 형태별 운용 시간 자료가 제한되고 스트레스 인자에 대한 자료가 부족하여 유사 타 장비 자료를 사용하고 스트레스 인자에 대한 임의의 자료를 사용한 점이 미흡하다. 이러한 한계점을 해결하기 위해서는 야전에서 사용되고 있는 다양한 장비와 품목을 운용 환경에 따라 MTBF 변화가 어떠한지에 대한 연구가 필요하다. 마지막으로 본 연구는 Vari-METRIC이 가지는 본질적인 한계점을 극복하지 못하였는데 이는 OASIS 모형이 가지는 한계와 같다고 할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 머니투데이, “軍 창고에 10년째 방치된 수리 부속품 2600억원 상당” 2015.9.9.
- [2] 김주환, “동시조달수리부속 소요산정 및 관리 개선 발전방향”, 공군고급지휘관 참모특별과정 연구보고서, 공군대학, 2003.
- [3] 박종철, “동시조달수리부속 적중률 향상 방안”, 합동참모대학 연구논문, 국방대학교, 2008.
- [4] 류연욱, 박명섭, “CSP품목 특성을 고려한 다단계 재고모형의 적용”, **한국국방경영분석학회지**, 32권 1호(2006), pp.113-132.
- [5] 김경록, 용화영, 권기상, “시물레이션과 다중회귀모형을 이용한 동시조달수리부속 최적화”, **한국시물레이션학회 논문지**, 21권 3호(2012), pp.79-88.
- [6] 황경환, 허장욱. “무기체계 운용형태를 고려한 운용가용도 설정 방안”, **한국신뢰성학회 학술대회논문집**, 2016, pp.177-181.
- [7] Slay, F.M., “VARI-METRIC: An approach to modeling multi-echelon resupply when the demand process is poisson with a Gamma prior”, *Technical Report AF 301-3*, Logistics Management Institute, 1980.
- [8] Sherbrooke, C.C., “VARI-METRIC: Improved approximation for multi-indenture, multi-echelon availability models”, *Operations Research*. Vol.34, No.2(1986), pp.311-319.
- [9] 윤혁, 이상진, “Vari-METRIC을 개선한 다단계 재고모형의 효과측정”, **경영과학**, 28권 1호(2011), pp.117-127.
- [10] 윤진환, 신창훈, 이상진, “수평보급을 고려한 다단계-다계층 재고모형의 효과분석”, **경영과학**, 35권 2호(2018), pp.57-70.
- [11] 이상진, **군수**, 서울: 한경사, 2019.
- [12] 정영환, 유재우, 장정무, “OMS/MP 기반 RAM 분석 및 관리개념”, **대한조선학회지**, 55권 1호(2018), pp.6-10.

- [13] 이진호, 김종현. “차륜형 전투차량의 전평 시 OMS/MP에 관한 연구”, **한국군사학논집**, 74권 2호(2018), pp.243-261.

저자 소개



이범열 (E-mail: leebumyeol@naver.com)

2020 국방대학교 석사(군수조달)

육군 소령(진)

현재 육군 대학 지휘참모과정

관심 분야 : 군수, 국방계량 분석



이상진 (E-mail: sangjlee@mnd.go.kr)

1993 미국 University of Wisconsin-Madison

경영학 박사

현재 국방대학교 군수조달 전공 교수

관심분야 : 국방 경영, 군수, 획득사업관리,
데이터분석