

고장-기능 간 관계도를 이용한 다 기능 무기체계의 동시조달수리부속 최적화 연구

김경록*, 최효준¹
¹LIG 넥스원 ILS 연구센터

Study to Optimize the Concurrent Spare Parts of Multiple Function Weapon System using Failure-Function Matrix

Kyung-Rok Kim*, Hyo-Jun Choi¹

¹ILS(Integrated Logistics Support) R&D Lab, LIG Nex1

요 약 무기체계 개발 시 종합군수지원 측면에서 중요한 것 중 하나가 동시조달수리부속 산출이다. 동시조달수리부속은 무기체계 가용도 향상 측면에서 매우 중요한 것으로, 이에 대한 다양한 연구가 이루어지고 있다. 그러나 대부분의 연구는 하부 구성품의 고장이 무기체계의 다양한 기능에 미치는 세부 영향들을 고려하지 못하고 있다. 즉 하부 구성품의 고장이 무기체계의 특정 기능에 미치는 영향이 미비하면, 구성품 교환과 같은 정비가 필요 없다는 점을 고려하지 못한다. 그래서 본 연구에서는 고장-기능 간 관계도를 이용하여, 하부 구성품의 고장이 무기체계의 다양한 기능에 미치는 세부 영향을 고려한 동시조달수리부속 산출 방법을 기술하였다. 본 연구 절차는 다음과 같다. 첫째, 무기체계의 운용 및 정비 시스템을 분석한다. 둘째, 고장-기능 간 관계도를 개발한다. 셋째, 수집된 자료를 바탕으로 시뮬레이션 모델을 설계 한다. 마지막으로, 시뮬레이션과 메타 휴리스틱 모형인 진화 전략을 통해 동시조달수리부속 최적 수량을 선정한다. 해당 연구는 동시조달수리부속 산출 연구에 새로운 방향을 제시하였다.

Abstract To develop weapon system, Concurrent Spare Parts(CSP) is one of the important somethings in terms of Intergrated Logistics System(ILS). CSP is very important to improve the availability of weapon system, and various research about CSP are performed. However, most of the research does not consider the effects between sub-item's failure and weapon system's multiple function. In other words, if sub-item's failure does not seriously influence weapon system's specific function, the point, not necessarily to replace sub-item, is not considered. Therefore, the method to calculate CSP based on above consideration is written by failure-function matrix in this paper. The study follows the procedure below. First, it's to define the operation and maintenance procedure of weapon system. Second, failure-function matrix is developed. Third, simulation model is desinged by input data. Finally, The quantity of CSP is calculated by simulation and evolution strategy, meta-model. This study suggests new research direction to calculate CSP.

Keywords : CSP, Evolution Strategy, Failure-Function Matrix, Simulation

1. 서론

무기체계 개발 시 중요 한 것은 기능 요구사항 충족
여부와 더불어 목표 운용가용도를 만족하는 것이다. 목

표 운용가용도란 무기체계의 총 수명주기 동안 임무를
수행할 수 있는 상태를 백분율(%)로 정량화 한 것으로,
이를 만족하기 위해서는 신뢰도를 높이고, 정비도를 낮
추는 분석을 해야 한다. 신뢰도를 높이는 행위 중 대표적

*Corresponding Author : Kyung-Rok Kim(LIG Nex1)

Tel: +82-31-8027-4979 email: kyungrok.kim@lignex1.com

Received May 18, 2015

Revised June 26, 2015

Accepted August 6, 2015

Published August 31, 2015

인 것이 해당 무기체계의 설계를 변경하는 것으로, 이중화 설계, 고사양 부품 탑재, 회로도 구조 변경 등이 있다. 그리고 정비도를 낮추는 행위 중 대표적인 것은 정비 시간 및 행정적 소요시간 최소화 등이 있다. 그런데 정비 시간은 작업관리 등을 통해 개인적 능력에 의해 쉽게 최소화 할 수 있지만, 행정적 소요시간은 한 개인의 작업 능력에 따라 좌우 되는 것이 아닌, 부대-야전-창고로 이루어진 정비계단 구조 혹은 각 부품의 제조사 공급시스템 구조에 의존적이라, 미리 계획되어 관리하지 않으면 무기체계 운용가용도에 부정적인 영향을 미친다.

본 연구는 동시조달수리부속(Concurrent Spare Parts, CSP) 수량 최적화 연구를 한 것이다. 동시조달수리부속은 무기체계가 전력화 후 3년 간 필요한 주요 수리부속을 전력화 시점에 같이 납품 되는 것으로, 본 품목 선정에 따라 행정적 소요시간을 최소화할 수 있기 때문에 운용가용도에 미치는 영향이 크다. 이렇게 중요한 동시조달수리부속 산출은 많은 기존 연구에서 다양한 방법을 통해 분석되어 있다. 그러나 대부분의 연구가 특정 가정을 바탕으로 연구된 것이다. 그 가정은 ‘무기체계 하부 구성품 중 일부가 고장이면, 무기체계 전체가 고장이다.’라는 것으로, 이는 모든 무기체계 개발사례에 어울리는 것은 아니다. 특히, 음향 센서, 레이더 등과 같은 것이 그러하다. 예를 들어, 수중 음향 센서의 하부 구성품 중 일부가 고장이 발생했다고, 무기체계의 고주파, 중주파, 저주파에 해당하는 기능 모두가 불가능한 것은 아니며, 일정 부분 영향을 주더라도 그 것이 정비로 이어질 정도는 아니다. 이러한듯 기존 연구에서 한계로 지적되어온 점을 본 연구에서 설명하는 ‘고장-기능간 관계도’를 이용한 시뮬레이션 방법론을 통해 해결하였다.

본 논문의 구성은 2장에서 연구 절차에 대해 설명하고, 3장에서 본연구와 관련된 연구 동향을 분석하고, 4장에서는 본 연구에 해당하는 무기체계 개발 사례의 일반화된 자료를 바탕으로 시뮬레이션 및 최적화를 통해 동시조달수리부속 최적해 산출하는 사례연구를 하여, 5장에서 결론으로 마무리 한다.

2. 연구 절차

본 연구 절차의 내용은 Fig. 1과 같다. 먼저, 무기체계의 운용과 정비에 대한 내용을 분석 후

시뮬레이션 설계를 위해 필요한 입력 자료를 정리 한다. 이때, 본 연구의 중점이라 할 수 있는 고장-기능 간 관계도를 정의한다. 고장-기능 간 관계도는 무기체계 하부 구성품들의 고장 사례 별 다양한 기능에 미치는 영향을 정량적으로 측정된 자료이다. 그리고 이러한 자료를 바탕으로 시뮬레이션 모델을 설계 한다. 시뮬레이션 모델의 대상 범위는 무기체계의 운용 및 정비 시스템 모듈을 동시에 고려한다. 이는 기존 연구가 두 영역을 별도로 구별하여 모델을 설계한 것과는 차별화된다. 이렇게 설계 될 수록 가정이 최소화 되어 보다 정확한 결과를 얻을 수 있다. 그리고 설계된 시뮬레이션 모델을 메타모델로 정의하여, 유전자 알고리즘을 바탕으로 둔 메타 휴리스틱 방법인 진화 전략(Evolution Strategy, ES)을 이용하여 비용 제약 내 해당 무기체계의 동시조달수리부속 최적 수량을 결정한다.

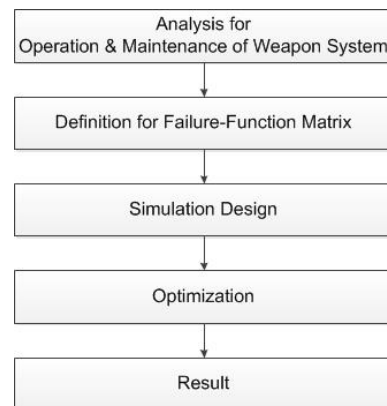


Fig. 1. Research Process

3. 관련 연구 동향

최근 동시조달수리부속 최적화를 다룬 연구들은 아래와 같다.

김경록(2012)등은 시뮬레이션과 다중 회귀모형을 이용하여 동시조달수리부속의 최적 수량을 산출하였다[1]. 기존 수리적 분석 연구에 비해, 본 연구처럼 운용과 정비 절차를 각 구성품 단위로 시뮬레이션 모델링을 설계 후 이를 다중 회귀를 통해 산출된 메타 모델을 목적 함수로 하여, 개발 단계 중 수시로 변화되는 단가 등의 자료 적용을 신속하게 할 수 있게 하였다. 그러나 이 방법론은

본 연구에서 고려한 ‘하부 구성품 고장이 무기체계 기능 불가로 항상 이어지는 것은 아니다.’는 명제를 충족시키진 못하였다.

나인성(2006)등은 기존 동시조달수리부속 소요 산출 방법에서 한국군의 운용개념에 맞도록 다단계 보급 및 정비체계, 정비능력 및 보급형태, 정비업무 후 재사용 가능 등을 추가 고려하여 예산 제약 하에서 운용가용도를 고려한 최적 동시조달수리부속품 산출 모델을 연구하였다[2]. 기존 연구에 현실 환경을 고려한 주요 요소를 추가한 것은 보다 완성도 높은 연구라 할 수 있다. 그렇지만 고려 요소들이 늘어날수록 각각의 요소들이 운용가용도에 미치는 영향은 독립적인 영향과 상호관계에서 오는 영향을 함께 고려되어야 하는데 여기서 사용한 수리적 계산에 의한 접근은 이런 고려 요소들이 늘어날수록 한계를 보일 것이다[1].

4. 사례 연구

4.1 무기체계의 운용 및 정비 시스템 분석

무기체계는 전체 수명 주기 동안 운용과 정비 절차가 서로 간 교차되어 있다. 무기체계의 운용은 작전운용형태 및 임무유형(Operational Mode Summary/Mission Profile, OMS/MP)을 기준으로 정의한 계획 운용과 교전, 전시 등의 상황을 통해 발생하는 비계획 운용으로 나뉘어 수행된다. 이렇게 운용이 수행된 후 하부 구성품들의 고장 판단 및 정비 업무는 규정된 정비절차 및 정비계단(부대-야전-창)에 따라 처리 된다. 이때 발생하는 하부 구성품 들의 고장은 고장-기능간 관계도를 기준으로 정비 유/무가 결정된다. 본 사례 연구의 무기체계 하부 구성품은 모듈 단위로 총 5개, 기능은 총 3개로 이루어진 것으로 한다.

Table 1. Failure-Function Matrix

No.	Failure					Function		
	Item(A)	Item(B)	Item(C)	Item(D)	Item(E)	α	β	γ
#1	0	0	0	0	0	1	1	1
#2	1	0	0	0	0	0.7	1	1
#3	0	1	0	0	0	0.7	0.7	1
#4	0	0	1	0	0	0.7	0.6	0.8
#5	0	0	0	1	0	1	0.7	0.7
#6	0	0	0	0	1	1	1	0.6
#7	1	1	0	0	0	0.7	0.7	1
#8	1	0	1	0	0	0.7	0.6	0.8
#9	1	0	0	1	0	0.7	0.7	0.7
#10	1	0	0	0	1	0.7	1	0.6
#11	0	1	1	0	0	0.6	0.6	0.8
#12	0	1	0	1	0	0.7	0.6	0.7
#13	0	1	0	0	1	0.7	0.7	0.6
#14	0	0	1	1	0	0.8	0.6	0.6
#15	0	0	1	0	1	0.8	0.6	0.5
#16	0	0	0	1	1	1	0.7	0.2
#17	1	1	1	0	0	0	0.3	0.8
#18	1	1	0	1	0	0.2	0.4	0.7
#19	1	1	0	0	1	0.2	0.7	0.5
#20	1	0	1	1	0	0.3	0.3	0.5
#21	1	0	1	0	1	0.3	0.6	0.3
#22	1	0	0	1	1	0.5	0.7	0.2
#23	0	1	1	1	0	0.5	0	0.5
#24	0	1	1	0	1	0.5	0.3	0.3
#25	0	1	0	1	1	0.7	0.4	0.2
#26	0	0	1	1	1	0.8	0.3	0
#27	1	1	1	1	0	0	0	0.5
#28	1	0	1	1	1	0.3	0.3	0
#29	1	1	0	1	1	0.2	0.4	0.2
#30	1	1	1	0	1	0	0.3	0.3
#31	0	1	1	1	1	0.5	0	0
#32	1	1	1	1	1	0	0	0

4.2 고장-기능간 관계도 정의

고장-기능간 관계도는 무기체계 하부 구성품의 고장 경우 별 각 기능의 미치는 영향을 표로 정량화한 것이다. 본 사례는 5개 하부 구성품의 고장 경우 수는 2⁵인 32개이다. 이처럼 각 경우의 수를 모두 구별한 이유는 각 하부 구성품의 고장이 각 기능에 미치는 영향도가 서로 독립적인 것이 아닌, 상호작용까지 고려하기 위한 것이다. Table 1을 통해 하부 구성품의 고장 경우 당 각 기능의 영향도를 확인할 수 있으며, 0.5 이하로 저하된 것이 있을 때 정비를 수행한다.

4.3 시뮬레이션 설계

무기체계 운용 및 정비 분석 후 시뮬레이션 모델 설계를 한다. 시뮬레이션 설계를 위해 가정을 우선 정의한다. 이 가정은 시뮬레이션 모델 알고리즘을 작성할 시 적용한다. 그리고 입력 자료를 정성적 자료와 정량적 자료로 나누어 정리한다. 정성적 자료는 운용 절차, 정비 절차가 있으며, 정량적 자료는 임무 시간, 정비 시간 등이 있다. 이렇게 정의된 가정과 입력 자료를 이용하여 시뮬레이션 모델을 설계 및 구현한다.

분석에 사용된 자료는 무기체계의 군수지원분석시 산출되는 자료를 일반화한 것이다.

4.3.1 시뮬레이션 가정

- (1) 시뮬레이션 실험 기간은 CSP의 필요 존재 기간을 고려하여 3년으로 한다.
- (2) 운용 직 후 정비 유무를 판단한다.
- (3) 하부 구성품의 정비 시, 정비 완료 될 때 까지 운용을 중단한다.
- (4) 각 정비계단의 정비 가용 여부는 행정적 소요시간으로 국한한다.

간으로 국한한다.

- (5) 각 정비 계단의 정비 대상은 다양한 무기체계를 담당하는 것이 아닌, 현재 고려된 무기체계 만을 고려하였다.
- (6) 정비 시 소요되는 이동 시간, 행정적 소요시간, 교환시간, 수리시간은 정규 분포를 가진다고 정의하고, 이때 편차는 평균값의 10%로 정의한다.
- (7) 운용 시 소요되는 임무 시간은 정규 분포를 가진다고 정의하고, 이때 편차는 평균값의 10%로 정의한다.
- (8) 무기체계 하부 구성품들의 MTBF는 지수분포를 따른다고 정의한다.

4.3.2 입력자료

(1) 정성적 자료

본 연구의 시뮬레이션 설계를 위해 필요한 정성적 자료로는 운용 절차, 정비 절차가 있다.

Fig. 2는 운용 절차를 순서도로 표현한 것이다. OMS/MP를 통해 산출된 5 종류의 각 임무(Mission)들은 P1 - P5로 구성된 세부 절차로 구성된다[3]. 이때 무기체계가 이러한 임무를 수행하면서, 하부 구성품들에 미치는 영향은 Table 2에 명기하였다. 이것은 임무 내 세부 절차 수행 시 무기체계 각 하부 구성품의 활성화 유/무를 명기 한 것으로, 이를 통해 하부 구성품들의 고장 발생 기준으로 한다.

Fig. 3는 정비 절차를 순서도로 표현한 것이다. 각 임무 후 정비 필요 유무를 고장-기능간 관계도를 통해 결정하고, 필요 시 정비 절차에 따라 진행한다. 정비 절차는 먼저 구성품 별 교환계단으로 정의된 정비계단으로 이동한다. 그리고 이동된 정비계단의 필요 수리부속 보

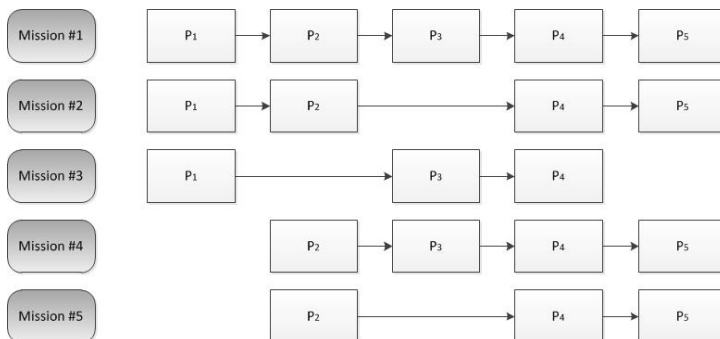


Fig. 2. Operation Process

Table 2. Item-Process Matrix

	P1	P2	P3	P4	P5
A	O	O		O	
B	O	O	O	O	
C	O			O	O
D	O		O		O
E		O	O		O

유 유/무와 해당 구성품의 소모성물자 분류에 따라 판단하여, 필요 시 주문 및 대기 후 정비한다. 정비 종료 후 운용 부대로 이동하여 전력화 된다.

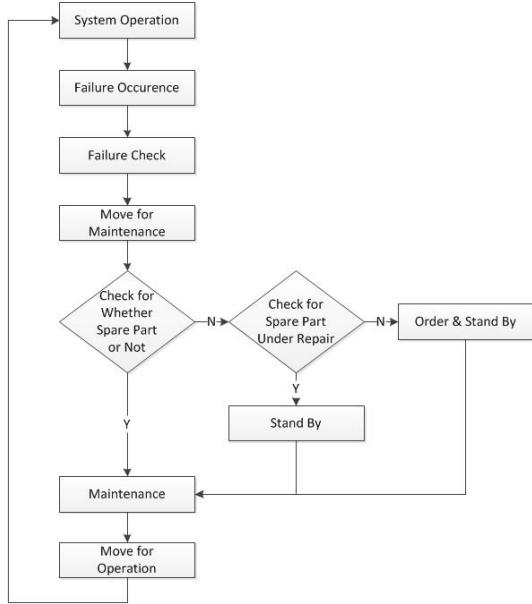


Fig. 3. Maintenance Process

(2) 정량적 자료

시뮬레이션 모델링을 위한 정량적 자료로는 시뮬레이션 모델 진역에서 사용하는 변수(Variables)와 무기체계 하부 구성품 각각에 부여되는 속성(Load Attributes)으로 나뉜다.

변수는 정비 계단 간 이동시간, 정비 계단 별 행정적 소요시간(Administrative and Logistic Delay Time, ALDT), 임무 별 계획 운용 주기, 임무 별 비 계획 운용 주기, 그리고 임무 내 세부 절차 별 소요 시간을 Table 3 에서 정의하였다. 이 중 임무 별 비 계획 운용 주기는 교전 등 불 확실한 상황 발생 시 수행된 연간 임무 빈도

를 확률적으로 고려하였다. 그 외 이동시간, 행정적 소요 시간, 세부 절차 별 소요 시간은 위 가정에서 정의한 대로 정규분포를 따른다.

Table 3. Variables

Classification		Value
Travel Time (Hr)	Lv.1 - Lv.2	N(48, 4.8)
	Lv.1 - Lv.3	N(120, 12)
	Lv.2 - Lv.3	N(72, 7.2)
ALDT (Hr)	Lv.1	N(12, 1.2)
	Lv.2	N(24, 2.4)
	Lv.3	N(48, 4.8)
Occurrence Frequency of Plan Operation(Yr)	Mission #1	Half
	Mission #2	Quarter
	Mission #3	Mohtly
	Mission #4	Quarter
	Mission #5	Mohtly
Occurrence Frequency of Non-Plan Operation(%/Yr)	Mission #1	20
	Mission #2	10
	Mission #3	10
	Mission #4	10
	Mission #5	5
Required Time (Hr)	Process #1	N(100, 10)
	Process #2	N(30, 3)
	Process #3	N(40, 4)
	Process #4	N(20, 2)
	Process #5	N(25, 2.5)

속성은 각 하부 구성품의 수량, 평균고장시간(Mean Time Between Failure, MTBF), 교환계단, 교환시간, 수리계단, 수리시간, 주문시간을 Table 4에서 정의하였다. 수리 계단 및 시간이 부여되지 않은 하부 구성품은 소모성 물자로 구분하여, 고장 시 수리하지 않고 버리며 부족할 경우 재 주문한다. 그리고 평균고장시간은 각 구성품이 갖고 있는 수명주기로, 위 가정에서 정의한 대로 지수 분포를 따른다. 그 외 교환 및 수리 시간은 정규 분포를 따른다.

Table 4. Load Attributes

Item	Quantity	MTBF (Hr)	Replacement Lv.	Replacement Time(Hr)	Repair Lv.	Repair Time (Hr)	Order Time (Hr)
A	1	E(566.05)	Lv.1	N(1.5, 0.15)	-	-	N(1200, 120)
B	1	E(1213.31)	Lv.2	N(1.4, 0.14)	-	-	N(2400,240)
C	1	E(1404.9)	Lv.2	N(1.1, 0.11)	Lv.3	N(720, 72)	N(2400,240)
D	1	E(766.7)	Lv.2	N(1.0, 0.1)	-	-	N(1200, 120)
E	1	E(7619.59)	Lv.3	N(1.7, 0.17)	Lv.3	N(1200, 120)	N(3600, 360)

4.3.3 시뮬레이션 모델링 및 검증

본 연구를 위해 시뮬레이션 모델 설계는 AutoMOD 라는 3D 시뮬레이션 SW를 이용하였다. 위에서 언급한 가정 및 입력자료와 고장-기능간 관계도를 바탕으로 시뮬레이션 모델링을 하였으며, 이후 정확성(Verification) & 타당성(Validation) 검증 절차를 통해 최종 완성하였다.

4.4 최적화

본 연구에서 사용한 최적화 기법으로는 메타휴리스틱 중 진화 전략이다[4]. 이를 위해 시뮬레이션 모델을 목적 함수의 실험 대상으로 기준하고, 동시조달수리부속 최적 수량을 산출한다. 진화 전략을 사용 시 필요한 설정 조건은 Table 5과 같다.

$$ES = (\mu, \lambda, R, \Phi, X, \Delta\sigma, \gamma)$$

Table 5. Symbol Definition

Symbol	Contents
μ	the population size
λ	the number of children produced in each generation
R	the replacement policy
Φ	the fitness function
X	a recombination operator
$\Delta\sigma$	the increment/decrement value for modifying the standard deviation σ of each individual
γ	a termination criterion

본 실험에서는 $\mu = 3$, $\lambda = 7\mu$, $R = (\mu + \lambda)$, 최대 반복 횟수는 30번으로 정의하며, 목적 함수(Φ)는 종속 변수인 운용가용도의 평균을 최소화하는 것으로 목표한다. 종료 조건(γ)으로는 최대 세대는 50세대이며, 30세대 이후, 5% 미만으로 개선($\Delta\sigma$)되어 그 효과가 미비하면 종료하도록 하였다.

이때 제약조건은 아래와 같이 정의하였다. 각 독립변수인 하부 구성품의 동시조달수리부속 수량은 비용 제약 1억 내 선정 되어야 하며, 구성품(A)의 단가는 300만원, 구성품(B)의 단가는 1000만원, 구성품(C)의 단가는 1200만원, 구성품(D)의 단가는 150만원, 구성품(E)의 단가는 2000만원이다. 그리고 목적함수는 최대 운용가용

도로 한다.

제약 조건 :

$$0 \leq C(\text{총 비용}) \leq 100,000,000$$

$$\left\{ \begin{array}{l} X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 \text{는 자연수} \\ C = 3,000,000X_1 + 10,000,000X_2 + \\ 12,000,000X_3 + 1,500,000X_4 + \\ 20,000,000X_5 \end{array} \right.$$

목적 함수 :

Max. 운용가용도

4.5 결과

시뮬레이션 모델과 진화전략이라는 최적화 기법을 이용하여 특수 조건 하에서 동시조달수리부속의 최적 수량을 산출하였다. 이때 특수 조건은 앞서 언급한 것처럼, 하부 구성품의 고장이 무기체계의 기능 불가로 바로 이어지는 것은 아니라는 조건을 말한다. Table 6은 최적화 결과이다.

Table 6. Optimization Value

Classification	Value
CSP # of Item(A)	5
CSP # of Item(B)	4
CSP # of Item(C)	1
CSP # of Item(D)	6
CSP # of Item(E)	1

실험 결과, 최대 운용가용도 96%를 만족하는 동시조달수리부속은 하부 구성품(A) 5개, 하부 구성품(B) 4개, 하부 구성품(C) 1개, 하부 구성품(D) 6개, 하부 구성품(E) 1개로 최적해가 산출되었다.

5. 결론

본 연구에서는 고장-기능간 관계도를 이용하여 다 기능 무기체계의 동시조달수리부속 최적 안 산출 연구를 제시하였다. 그 절차는 무기체계 운용 및 정비 절차를 분석하고 고장-기능 간 관계도를 정의한 후, 시뮬레이션 모델을 설계한다. 그리고 진화전략을 통해 동시조달수리부속 최적화를 한다.

이는 '하부 구성품 고장이 무기체계 기능 불가로 항상 이어지는 것은 아니다.' 명제를 토대로 구현된 방법론으로, 음향센서, 레이더 등과 같은 무기체계의 특성을 고려한 연구로 관련 분야 연구에 중요 고려 사항이 될 것으로 생각한다.

특히, 이 연구의 효과는 관련 조건을 고려해야 하는 위와 같은 사례의 무기체계에서 동시조달수리부속 선정시, 수량을 최소화하여 비용 절약에도 큰 영향을 줄 것으로 판단한다.

향후 추가 연구로는 모듈 단위 이하로 구성품을 고려하여 보다 세분화된 연구를 수행할 것이다.

References

- [1] K. R. Kim, H. Y. Yong, K. S. Kwon, "Optimization for Concurrent Spare Part with Simulation", *Journal of the Korea Society for Simulation*, Vol.21, No.3, pp.79-88, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.9709/JKSS.2012.21.3.079>
- [2] I. S. Na, K. K. Lee, M. K. Park, "The Computing Model of Demand Quantity for Optimal Current Spare Parts considering the Operational Availability under Budget", *Journal of the Korea safety management & science*, Vol.8, No.5, pp.167-180, 2006
- [3] Y. J. Han, W. Y. Yun, J. W. You, C. H. Choi, H. W. Kim, "Simulation-based Reliability and Maintainability Design of a Warship", *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol. 39, No. 6, pp. 461-472, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7232/JKIIE.2013.39.6.461>
- [4] K. R. Kim, J. M. Rhee, "Simulation Analysis to Optimize the Management of Military Maintenance Facility", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.15, No.5, pp.2724-2731, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2014.15.5.2724>
- [5] Schwefel, H.P., *Evolution and Optimum Seeking*, pp. 15 - 300, NewYork, John Wiley & Sons., 1991.
- [6] I. S. Um, H. J. Cheon, H. C. Lee, "Optimization for the Design Parameters of Electric Locomotive Overhaul Maintenance Facility", *Journal of the Korean Society for Railway*, Vol.13, No.2, pp.222-228, 2010.
- [7] M. Valliathal, R. Uthayakumar, "A comparative study on two-warehouse inventory model for deteriorating items with shortages", *International journal of procurement management* Vol.6, No.1, pp.39-57, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1504/IJPM.2013.050609>
- [8] Michalewicz, Z., *Genetic Algorithm + Data Structures = Evolution Program 3rd Edition*, pp. 15-300, Springer-Verlag, 1996.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-03315-9>
- [9] A. GOSAVI, *SIMULATION-BASED OPTIMIZATION*, pp. 57-68, Kluwer Academic Publishers, 2003.
- [10] Craig C. Sherbrooke, *OPTIMAL INVENTORY MODELING OF SYSTEMS*, Kluwer Academic Publishers, pp.101-125, 2004.

김 경 록(Kyung-Rok Kim)

[정회원]



- 2008년 2월 : 명지대학교 산업시스템공학부 (공학학사)
- 2011년 2월 : 고려대학교 정보경영공학전문대학원 정보경영공학과 (공학석사)
- 2011년 1월 ~ 현재 : LIG 넥스원 선임연구원

<관심분야>

모델링&시뮬레이션, 체계공학, 최적화

최 효 준(Hyo-Jun Choi)

[정회원]



- 2011년 8월 : 고려대학교 산업시스템정보공학부 (공학학사)
- 2015년 1월 ~ 현재 : LIG 넥스원 연구원

<관심분야>

최적화, 체계공학, 품질공학