

유전 알고리즘을 활용한 야전 배치된 군 시스템의 성능 복원 시점 결정

임종욱¹, 김태완², 홍석환¹, 류준열^{3*}

¹서울대학교 산업공학과, ²육군대학, ³육군사관학교 기계·시스템공학과

Determination of Refurbishing Timing for Deployed Military Systems Using Genetic Algorithm

Jong-Wook Lim¹, Tae-Wan Kim², Seok-Hwan Hong¹, Jun-yeol Ryu^{3*}

¹Department of Industrial Engineering, Seoul National University

²Command & Staff Course for Majors, R.O.K. Army College

³Department of Mechanical and Systems Engineering, Korea Military Academy

요약 본 논문은 군 등에서 회수된 다양한 잔여 성능 수준을 가진 시스템의 최적 복원 시점을 결정하는 문제를 다룬다. 야전 배치된 군 시스템 등은 비용 등의 제약으로 인해 계획된 일정에 따라 사용 중인 시스템을 회수하여 성능을 복원하고, 다른 부대 등에 배치하여 사용하는 특징을 갖고 있다. 이때, 회수된 시스템의 잔여 성능 수준은 사용 환경 및 조작자의 특성 등으로 인해 서로 다른 잔여 성능 수준을 갖고 있다. 이 경우 회수된 시스템은 상태에 따라 서로 다른 재고 비용을 야기하며, 복원에 필요한 비용 또한 다르다. 그러나 일반적으로 회수된 시스템을 통합 보관한 뒤 복원을 하는 방식의 재고 관리가 이루어지고 있어 이는 전체 복원 비용의 증가를 야기한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 회수 시스템의 상태를 고려한 복원 시점 계획을 제안한다. 이를 위해 회수 시스템의 다양한 상태를 고려한 상황에서 복원 과정에서 발생하는 비용을 목적함수로 하여 복원 시점을 결정하는 재고 관리 기반 수리 모델을 구성하였으며, 최적 근사해를 효율적으로 구하기 위해 유전 알고리즘을 활용하였다. 잔여 성능 수준을 고려하지 않고 복원하여 재배치하는 경우와 잔여 성능 수준에 따라 복원 시점을 결정하여 재배치하는 경우를 비교하여 수리 모델의 효과성을 확인하였다.

Abstract This paper deals with the problem of determining the refurbish timing of a system with various residual performance levels retrieved from field units. For example, owing to cost restrictions, military systems deployed in the field are refurbished according to their planned schedule after their original use and are placed in the target unit (secondary market) after refurbishment. In this circumstance, this study focused on the fact that the residual performance level of the retrieved system differs according to the various environmental characteristics where the system has been deployed. The holding cost and refurbishing cost vary according to the residual performance. On the other hand, the inefficiency of the refurbishing process generally occurs because retrieved systems are handled without this consideration. Therefore, to solve this problem, a refurbishing plan considering the state of the retrieved system is required. This study presented a mathematical model that determines the refurbish timing for the minimum cost and proposes a genetic algorithm to obtain the near-optimal solution efficiently. The model effectiveness was examined by comparing the case of refurbishing without considering the residual performance and the case of refurbishing separately, i.e., determining the timing of refurbishment according to the residual performance level.

Keywords : Refurbishing, Inventory Management, Timing of Refurbishment, Residual Performance Level, Genetic Algorithm

본 논문은 육군사관학교 화랑대연구소의 2021년도 연구활동비 지원을 받아 연구되었음.

*Corresponding Author : Jun-Yeol Ryu(Korea Military Academy)

email: barampool@gmail.com

Received February 23, 2022

Revised March 15, 2022

Accepted May 6, 2022

Published May 31, 2022

1. 서론

사격 시스템, 감시 시스템과 같은 군용 시스템은 사용 과정에서 성능 진부화 및 정비 소요가 발생한다. 군에서는 성능 진부화 및 마모 등으로 인한 성능 감소를 해결하기 위해 새로운 버전의 시스템을 도입하여 기존 시스템을 업그레이드하거나 대체하고, 이전 버전의 시스템은 회수한다. 회수한 시스템은 계획에 따라 사용 불능 처리하거나 성능을 복원하여 재배치한다. 이때, 복원된 장비는 재배치될 부대의 임무 특성을 고려하여 재할당되고 다시 사용된다.

회수된 시스템의 성능 수준을 비교해 보면, 동일 시간 동안 사용된 시스템이라도 해당 장비를 사용한 부대의 작전적 특성, 운용 환경에 의해 하위 시스템, 부품의 마모 정도 및 배터리 수명 저하를 등 잔여 성능 수준의 차이가 발생한다. 다시 말해 회수된 시스템의 사용 가능한 잔여 성능의 차이가 존재한다. 성능 복원 기관에서는 회수한 시스템을 성능 관점에서 잔여 성능 수준에 따라 분류하고, 표준 기능을 구현하는데 필요한 만큼 성능을 복원한다. 이때 회수된 시스템은 잔여 성능 및 상태에 따라 서로 다른 조건에서 보관되며 재고 비용이 다르게 발생하고, 마모된 부품의 종류, 하위 시스템의 성능 저하 정도 등에 따라 복원 비용의 차이 또한 발생한다.

복원을 마친 장비의 성능 수준은 군 표준에 맞춰 거의 동일한 성능 수준 값을 갖고 있으며, 다시 전량 부대에 배치된다. 이와 같은 과정은 동시기에 도입된 시스템 군에 적용되고, 특정 시점의 일정 기간에 교체 및 복원작업이 진행되고 이 과정에서 많은 비용이 발생한다. 한정된 자원을 할당하여 전투력을 유지 발전시키기 위한 군사 분야에서 비용의 최소화는 중요한 문제이다.

군 분야에서의 관련 연구는 주로 수리 부속의 재고 관리, 병참선 관점에서 이루어지고 있다. 비용 제한 상황에서 장비의 가용성(availability) 증가를 위한 수리 가능 군수품의 적정 재고 산정[1], 시스템 다이내믹스 관점에서 수리 부속 재고 관리 모델의 주문량 조정 알고리즘 연구[2], 신규 무기체계 구매 시 동시조달 수리 부속의 적정 구매량 및 단계별 재고량 모형 연구[3], 시스템 다이내믹스에 기반한 군용 훈련차량 정비 및 합동 재고 관리에 대한 연구 등이 있다[4]. 일반적인 상황을 보면, 주로 1차 배치되는 부대(first market)와 연관된 연구가 주로 이루어지고 있으며, 정비 후 1차 부대가 아닌 2차 배치 부대(secondary market, 부가판권시장)에 배치하는 상황에서의 연구는 부족한 상황이다.

반면, 민간 분야에서 부가판권 시장에서의 재고 관리 연구는 상당 부분 진행되어 왔다. Schrady의 수리 가능한 물품에 대한 재고 관리 모형 연구 이래로 수리 가능한 시스템에 대하여 재고를 관리하는 연구들이 진행되어 왔다[5]. 기존 연구에 따르면 수리 가능한 시스템은 크게 재제조(remanufacturing)와 복원(refurbishing)으로 구분될 수 있다. 재제조의 경우 수리 후에 새 제품으로 취급되어 일차 시장에 판매되는 것을, 복원의 경우 그보다 수준이 낮은 이차 시장에 판매되는 것을 말하며 Christy et al.에서 표현한 복원 과정은 Fig. 1과 같다[6].

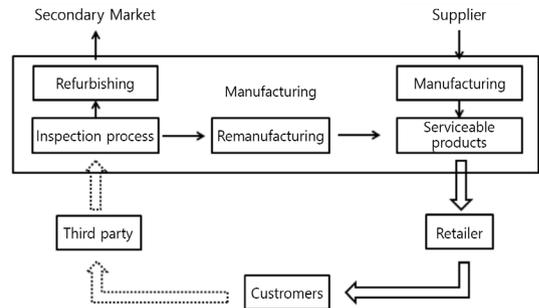


Fig. 1. Description of recovery process

이 중 이차 시장의 상황은 진부화가 진행되어 회수된 후 복원 작업을 거쳐 예비부대로 이전되는 시스템 군의 상황과 유사하다. 관련하여 많은 연구들이 닫힌 루프 공급망(closed loop supply chain) 내에서 사용이 완료된 물품을 회수한 후 복원 작업을 하는 데까지 소요되는 비용에 대해 주목하였다. Teunter은 물품을 조달함에 있어 자재를 활용하여 생산하는 것과 회수된 물품을 복원하는 두 가지 방안을 고려하였다. 이를 위해 생산에 사용 가능한 물품의 재고(servicable stock)와 복원이 수행되어야 하는 회수된 물품의 재고(recoverable stock)를 각기 모델링 하여 총 재고 비용을 줄이기 위한 경제적 주문 수량(EOQ: Economic Order Quantity) 모형을 제안하였고, 이를 그림으로 나타내면 Fig. 2와 같다[7].

이에 더하여 Zikopoulos and Tagaras은 회수된 물품의 품질에 주목하였다[8]. 특히 회수된 물품의 품질이 확인되는 것은 복원 장소이기 때문에 불확실성이 존재하며, 회수된 물품의 품질에 의해 복원 비용이 달라질 수 있음을 고려하였다. Benkherouf et al.의 경우 생산과 재제조, 복원을 함께 고려하여 유한한 길이의 시간동안 발생하는 재고 비용을 최소화하기 위한 모형을 개발하였다[9].

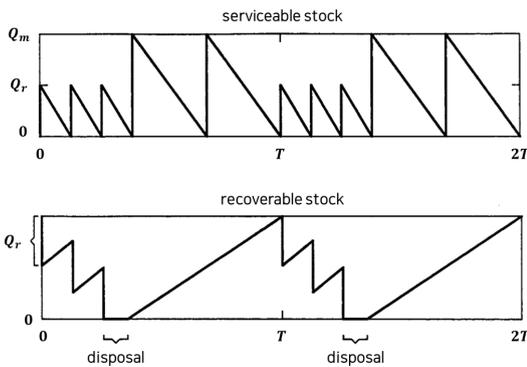


Fig. 2. EOQ model with recoverable stock

앞서 언급한 Zikopoulos and Tagaras가 수행했던 연구와 마찬가지로 회수된 물품은 품질에 따라 재제조를 할 수 있는 물품과 복원을 수행해야 하는 물품이 구분된다고 보았으며, 유한한 시점 내에서 최적의 복원 시점을 구하고자 하였다. Weng은 2017년 소매상의 입장에서 복원을 포함한 재고 관리 모형을 제안하였다[10]. 소매상에게 물건을 구매하고, 사용이 완료된 물건을 회수하여 복원을 할 수 있는 능력이 있다고 보았을 때 소매상의 물건 조달에 대한 의사결정을 내리고자 하였다.

위와 같이 복잡한 상황에서의 문제를 해결하기 위해 다양한 휴리스틱 알고리즘이 개발되고 있다. 특히 GA(유전 알고리즘; Genetic Algorithm)는 자연의 진화 과정에서 기인한 전역 최적화 방법으로 다양한 가능해 영역을 탐색하여 최적 근사해를 찾아내는 특성을 갖고 있다. 이러한 특성은 군사 도메인에서의 비선형적, 비연속적인 복잡한 변수 특성을 가진 최적화 문제를 해결하는데 적합한 알고리즘이다. Lieckens and Vandaele는 단일 제품의 단일 수준 네트워크 상황에서, 부가판권 시장에서의 비용 문제를 해결하기 위해 대기행렬을 포함한 비선형 혼합 정수 모델을 GA를 사용하여 해결하는 연구를 진행하였다[11]. 이 외에도 Golebiewski et al., Ardjmand et al., Dai and Wang의 연구에서도 GA를 사용하여 복잡한 상황에서의 재고 관리 문제를 해결하는 연구를 진행하였다[12-14].

본 연구에서는 GA를 활용하여 최소 비용으로 군용 시스템의 성능 복원 최적 시점을 결정하는 방법을 제안한다. 시스템의 회수 및 복원은 회수한 시스템을 재배치하기까지 보관 비용, 복원을 하기 위해 기본 장비를 설치하고 부품 등을 조달하여 실제 복원하는 비용 등이 주요 고려 사항이며 특정 시기에 복원을 진행하기 때문에 언제 시스템을 회수하여 배치할 것인가를 결정하는 것이 중요

하다. 이번 연구에서 제안하는 모델은 특히 군 도메인과 같이 다양한 상태를 갖는 시스템을 회수하여 복원한 뒤, 다시 분배하여 사용하는 특수한 상황에 적합하다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 본 연구에서 다루는 군 시스템 복원에 대한 문제 상황을 설명하고 문제를 정의한다. 3장에서는 군 시스템 복원 시점을 결정하기 위한 정수계획 수리 모형을 제시하고, 모형의 해를 효율적으로 찾기 위한 휴리스틱으로써 유전 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 3장에서 제안한 유전 알고리즘을 활용하여 실험을 수행하고 도출된 결과를 기존의 복원 방법의 결과와 비교한다. 마지막으로 5장에서는 본 연구의 향후 연구 방향에 대해 논하였다.

2. 군 시스템 복원 문제

군 시스템 복원 상황은 크게 2가지 단계로 나누어 설명할 수 있다. 먼저 Fig. 3과 같이 단위 부대에서 사용 중인 군 시스템을 회수하여 복원하는 단계이다.

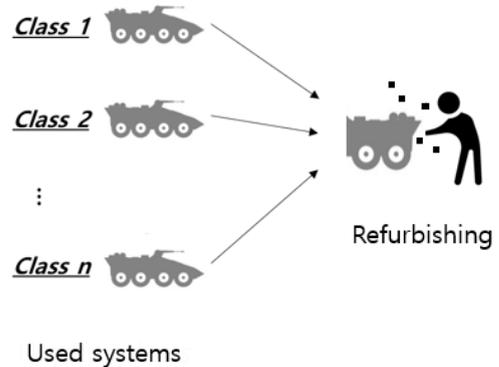


Fig. 3. Step 1 Refurbishing

이때 회수된 시스템은 서로 다른 잔여 성능 수준을 갖고 있으며 수준에 따라 구분할 수 있으며, 동일한 목표 성능을 갖도록 복원 작업을 시행한다. 복원이 완료된 시스템은 Fig. 4와 같이 재배치 대상 부대에 할당된다.

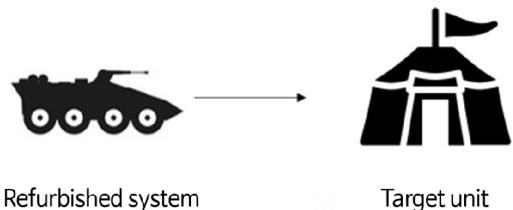


Fig. 4. Step 2 Allocation of a Refurbished System

본 연구에서 제안하는 GA는 서로 다른 잔여 성능 수준을 갖는 군용 시스템의 복원 비용과 재고 비용을 고려하여 최적의 회수 시점을 결정한다. 군용 시스템은 정비 계획 등에 따라 특정 시스템 군에 대한 수요가 지속적으로 발생한다는 특성을 갖는다. 회수된 시스템의 성능 수준은 사용 환경 등에 따라 다양한 값을 갖고 있으며, 성능 유지에 필요한 조건에 서로 다른 보관 시설이 필요하고, 복원에 필요한 장비와 부품이 다르므로 보관 및 복원에 필요한 비용이 상이하다는 특성을 갖는다.

본 연구에서는 이러한 특성을 고려하여 발생할 수 있는 다양한 상황을 단순화하기 위해 다음과 같이 가정하였다.

첫째, 복원이 완료된 시스템을 필요로 하는 곳은 수리가 완료된 장비를 도입하는 부대(부가판매 시장)로 한정하였다. 이는 실제 작전적 중요도 등에 따라 서로 다른 버전의 장비를 사용하는 현실을 반영한다. 둘째, 복원에 대한 의사결정은 이산적인 시간 간격 t 에 대해 이루어진다. 복원이 필요한 장비의 회수는 다수의 부대에서 발생하여 연속적으로 발생하지만, 회수된 장비의 복원은 부대의 운영 계획, 정비 계획 등에 따라 이루어지기 때문에 임의의 시간에 복원 이벤트가 발생하지 않으며, 계획된 일정에 맞춰 복원 작업을 진행하는 현상을 반영하였다. 셋째, 본 모델에서는 복원된 시스템에 대한 수요를 만족시키지 못하는 상황에 대해서는 고려하지 않는다. 즉 재고가 부족(shortage)하거나, 또는 이월 주문(backorder)이 발생하지 않는다고 가정한다. 넷째, 회수된 시스템은 잔여 성능 수준에 따라 Class 1, 2, 3, ..., n 과 같이 구분된다. 이는 복원된 장비가 사용 환경, 운용자 등에 의해 다양한 잔여 성능을 갖게 되는 현상을 반영하였다. 잔여 성능은 복원 난이도와 반비례함을 가정하여 Class 1 시스템의 의미는 잔여 성능이 높으며 복원 난이도가 가장 낮은 상태의 시스템을, n 수준의 시스템은 잔여 성능이 낮아 복원 난이도가 가장 높은 상태의 시스템을 의미한다. 여기서 복원 난이도(Class)는 복원에 필요한 비용을 결정한다. 다섯째, 각 Class의 시스템은 매 시점 일정한 비율로 회수된다. 그러나 회수된 시스템의 Class가 서로 다르므로, Class마다 다른 비율로 재고가 쌓이고 복원된 시스템에 대한 수요 또한 일정한 것으로 가정한다. 이는 모델 내에서 회수와 수요 모두가 선형 함수의 형태를 갖는 것으로 표현된다. 여섯째, 회수된 시스템의 잔여 성능 수준에 따라 서로 다른 재고 비용이 발생한다. 이는 작업의 어려움 및 필요 부속품의 조달, 정밀 부품 등의 성능 유지 등을 위해 서로 다른 조건의 장소에

서 보관되어야 하는 특성을 반영하였다. 일곱째, 회수된 시스템은 복원이 필요할 때, t 주기 마지막 시점에 복원 작업이 진행되며 복원 가능 수량의 제한은 없다. 단 모델의 마지막 시점인 T 에서는 회수되었으나 아직 복원되지 못한 나머지 시스템이 일괄적으로 처분됨을 가정하였으며, 이로 인해 수익을 얻을 수 있다고 가정하였다. 이와 같이 잔여 성능 수준에 따라 서로 다른 회수 시스템의 재고가 발생하면서 동시에 예비 부대 등에서 수요가 발생하는 상황을 도식화하면 Fig. 5와 같다.

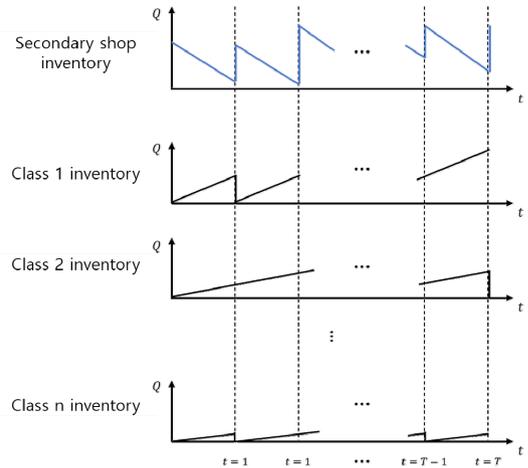


Fig. 5. Accumulation of inventory related to each systems(classified by residual performance)

Fig. 5의 상황에서 이산적인 시간 간격에서 특정 시점에서 회수하여 복원하는 상황을 표로 나타내면 Fig. 6와 같이 나타낼 수 있다. 1부터 T 까지의 시점에서 잔여 성능 수준에 따라 재고가 분리되어 있다.

본 연구에서는 최소 비용의 회수 시스템 성능 복원 최적 시점을 결정하기 위한 수리 모형을 제안한다. 수리 모형의 최적 근사해를 찾기 위해 유전 알고리즘을 사용하였으며, 기존의 회수 시스템 성능 복원 방법과의 차이를 분석하였다.

$i \backslash t$	1	2	...	T-2	T-1	T
1	1	0		1	0	0
2	0	0		0	0	1
...						
n	1	0		0	1	0

Fig. 6. Decision making during fixed and discrete time

3. 수리 모형 및 유전 알고리즘

본 장에서는 군 시스템 성능 복원 최적 시점 결정문제 해결을 위한 수리 모형을 수립하기 위한 유전 알고리즘을 제안한다.

3.1 정수계획 수리 모형

본 연구에서 사용할 기호는 Table 1, 결정 변수는 Table 2와 같다.

본 논문에서 제안하는 수리 모형은 아래 Eq. (1)-(4)와 같다. Eq. (1)은 목적함수를 나타내며, Eq. (2)-(4)는 제약식을 의미한다. 먼저 본 수리 모형의 목적함수 Eq. (1)은 TC의 우변 항의 좌측부터 (a), 마지막을 (f)라 하였을 때, (a)-(d)의 모든 값을 더하고 (e)-(f)를 제한 값이다. (a)-(f)가 의미하는 바는 아래와 같다.

Table 1. Notation

Notation	Description
i	Index for item, $i \in \{1, 2, \dots, n\}$
t	Index for time period, $t \in T = \{1, 2, \dots, T\}$
I_0	Initial Inventory of refurbished item
h_r	Inventory holding cost for refurbished item, \$/unit
h_i	Inventory holding cost for item i , \$/unit
r_i	Refurbishing cost for item i , \$/unit
s_i	Fixed setting cost for refurbishing item i
g_r, g_u	Salvage value for refurbished item, used item(not refurbished), respectively
D	Demand rate for secondary shop
q_i	Cumulative rate for item i

Table 2. Decision Variables

Notation	Description
$x_{i,t}$	1 if replenish from inventory of item i at the end of period t , 0 o/w
$Q_{i,t}$	Inventory level of used item i at the end of period t
I_t	Inventory level of refurbished item at the end of period t

- (a) 사용이 끝나 회수된 시스템 군에 대해 발생하는 재고 비용
- (b) 복원작업을 마친 시스템 군에 대해 발생하는 재고 비용
- (c) 복원 난이도에 따라 분류되어 있는 회수된 시스템을 복원할 때 발생하는 복원 비용
- (d) 복원작업을 수행하기 위해 필요한 장비 설치 비용
- (e) 회수된 시스템의 잔여 가치
- (f) 복원된 시스템의 가치

복원된 시스템은 회수할 때의 성능 수준과 무관하게 동일한 성능 수준을 갖게 되며, 재배치 대상 부대에 할당되어 활용된다. 이는 복원된 시스템이 가치를 갖게 되었다는 것을 의미하며, 복원에 소요된 비용이 감소하는 효과를 가져온다.

따라서 총 복원 비용 TC는 (a)~(d)를 모두 더하고 (e)-(f)를 제한 값을 갖는다.

이와 같이 목적함수 Eq. (1)은 총비용을 의미하며, 최소값을 목표로 한다. Eq. (2)는 $t-1$ 시점에서부터 t 시점으로 시간이 흐름에 따라 복원작업을 마친 시스템 군의 재고가 바뀌는 양상을 반영한 제약식이다. 특히 특정 복원 난이도의 시스템 군을 복원하는 것으로 의사결정을 내렸을 때, 보유하고 있는 모든 재고를 모두 복원한다고

$$\begin{aligned}
 & \min. \quad \text{TC} \\
 & = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n \frac{h_i(Q_{i,t-1} + Q_{i,t})}{2} + \sum_{t=1}^T \frac{h_r(I_{t-1} + I_t)}{2} + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n Q_{i,t} x_{i,t} r_i + \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T s_i x_{i,t} - I_T g_r - \sum_{i=1}^n Q_{i,T} g_u \quad (1) \\
 & \text{s.t.} \\
 & I_t = I_{t-1} - D + \sum_{i=1}^n x_{i,t} Q_{i,t}, \forall t \in T \quad (2) \\
 & Q_{i,t} = (Q_{i,t-1} + q_i)(1 - x_{i,t}), \forall i \in I, \forall t \in T \quad (3) \\
 & x_{i,t} \in \{0, 1\}, \forall i \in I, \forall t \in T \quad (4)
 \end{aligned}$$

가정하였다. Eq. (3)은 복원 난이도 별 시스템 군의 재고가 시간의 흐름 및 복원에 대한 의사결정에 따라 달라지는 것을 반영한 제약식이다. Eq. (4)는 주된 의사결정 변수인 $x_{i,t}$ 가 변수의 값을 가짐을 의미하는 제약식이다.

3.2 유전 알고리즘

유전 알고리즘은 다윈이 주장한 생물체의 진화 과정에서 발생하는 자연 선택 현상에서 착안한 계산 모델이다. 공학에서는 염색체를 하나의 해로 간주하며 생물체의 염색체가 선택(selection), 교차 변이(cross-over), 돌연변이(mutation)의 과정을 모방하여 보다 나은 해를 찾을 수 있도록 모델링 하였다. 이때 진화에 대한 평가는 적합도(fitness) 함수를 도입하여 이루어지며 세대가 거듭될 수록 염색체가 속한 유전자군(population)이 진화하며 보다 적합한 해를 찾는다. 알고리즘상에서 진화 과정은 일정한 세대 수에 다다르거나, 유전자군이 일정하게 수렴하여 더 이상 진화의 진전이 없을 때 종료된다.

유전 알고리즘은 다양한 변수 및 제약이 존재하는 상황에서 해의 탐색능력이 우수한 알고리즘으로 다양한 분야에서 활용되고 있는 방법이다.

본 연구에서 이러한 알고리즘의 수행을 위해 유전자군을 구성하는 하나의 염색체를 본 연구 상황에 맞도록 인코딩한 것은 Fig. 7과 같다. 회수된 시스템은 서로 다른 복원 난이도를 갖고 있고 각각의 복원 의사결정을 내리므로, 모두 n 개 복원 난이도를 갖는 시스템의 경우 하나의 염색체의 길이는 nT 가 됨을 확인할 수 있다. 유전자의 적합도는 앞서 모델링 하였던 수리 모형의 Eq. (1)에 따라 T 기에 걸친 총비용을 사용하도록 한다.

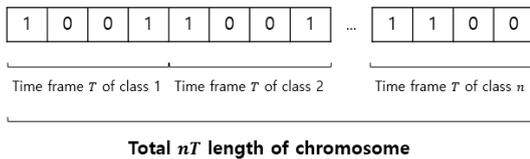


Fig. 7. Fitness value of chromosome

유전자의 적합도는 앞서 모델링 하였던 수리 모형의 Eq. (1)에 따라 T 기에 걸친 총비용을 사용하도록 한다. 유전자 군을 구성하는 염색체들이 해당 식에 따라 평가되며, 그중 다른 염색체들보다 높은 적합도를 가지는 염색체들에 대해 Fig. 8과 같이 교차 및 Fig. 9와 같이 변이의 과정을 거치며 적합한 해를 찾는다.

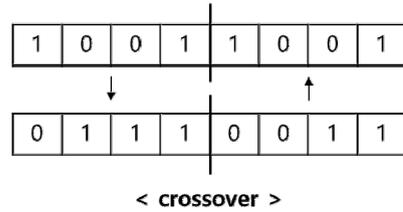


Fig. 8. Description of crossover

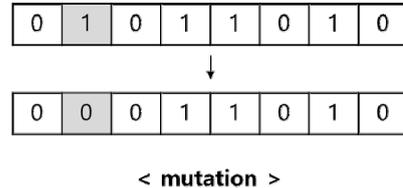


Fig. 9. Description of mutation

4. 실험 및 결과분석

본 장에서는 3장에서 제시한 수리 모형을 기반으로 한 유전 알고리즘 실험 결과를 분석하였다. 총 24기에 걸친 시간에 대해 시스템 군 복원으로 인한 비용을 최소화하는 것을 실험의 목적으로 하며, 가정한 문제 상황은 Table 3과 같다. 유전 알고리즘 실험 수행을 위하여 Python 환경에서 PyPI 내의 geneticalgorithm 모듈을 활용하였으며, 실험에 사용한 파라미터의 설정은 다음 Table 4와 같다.

Table 3. Parameters setting(problem)

Parameters	Value	Parameters	Value
T	24	n	5
D	200	g_r	20
I_0	600	g_u	5
h_r	8	s_i	[50,100,150, 200,250]
h_i	[5,4,3,2,1]	q_i	[20,50,60, 80,100]
r_i	[10,15,20,25,30]		

Table 4. Parameters setting(experiment)

Parameters	Value	Parameters	Value
max number of iteration	3000	crossover probability	0.5
population size	100	parents portion	0.3
mutation probability	0.1	crossover type	Uniform
elit ratio	0.01	max iteration without improvement	None

3000세대에 걸친 유전 알고리즘의 실험 결과는 Fig. 10과 같이 나타나며, 세대가 거듭됨에 따라 목적함수가 개선되는 것을 확인할 수 있다. 이때 얻어진 목적함수의 값 TC_{GA} 는 185710으로 도출되었다.

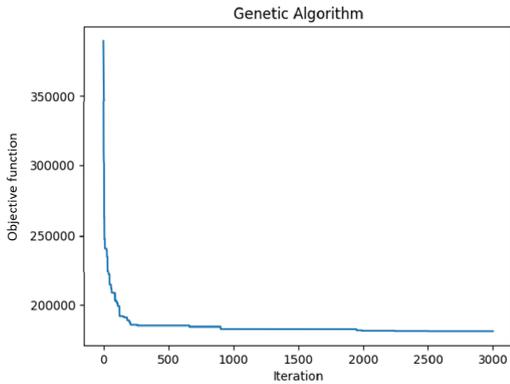


Fig. 10. Result of total cost with classification calculated by GA

진행한 실험에 더하여 시스템 군의 등급을 분류하여 등급별로 재고를 관리하는 것의 효과를 분석하도록 한다. 이를 위해 등급을 분류하지 않았을 때의 총비용을 계산하도록 하며 이때의 총비용과 앞서 구한 TC_{GA} 의 비교를 수행하도록 한다.

등급을 분류하지 않았을 때 재고 비용은 Eq. (5)와 같다.

$$h = \sum_{i=1}^5 h_i \times q_i / \sum_{i=1}^5 q_i = 2.65 \quad (5)$$

복원 비용 및 복원 장비 설치 비용은 유사한 방식으로 구하여 21.77, 167.74의 값으로 실험을 설정하였다. 앞선 실험과 동일한 유전 알고리즘의 파라미터를 사용하여 구해진 결과 그래프는 Fig. 11과 같다. 알고리즘을 통해 도출된 총비용은 $TC_{NC} = 293717.72$ 로써 회수된 시스템

군에 대해 등급을 분류하여 재고 및 복원을 별도로 관리하였을 때보다 약 1.58배 높은 총비용이 소요됨을 확인할 수 있었다. 또한 본 실험의 경우 $TC_{NC} - TC_{GA}$ 값으로 108007.72이 도출되었는데(Table 5), 군 내 복원 시스템에 분류 시스템을 설계하고 투자하는 것이 해당 값보다 작은 경우에 대해 분류 시스템을 도입하는 것이 타당하다고 결론지을 수 있다.

Table 5. Experiment results

	w/ classification	w/o classification
Total cost	185710	293717.72

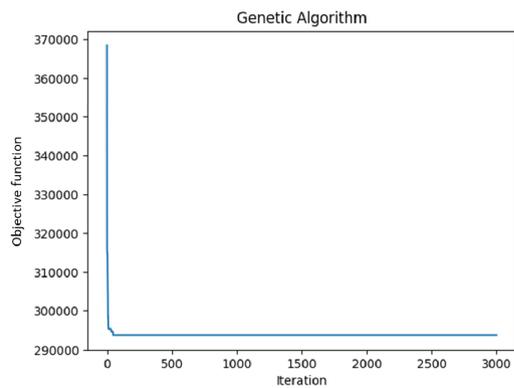


Fig. 11. Result of total cost without classification calculated by GA

회수된 시스템을 잔여 성능 수준에 따라 분류한 뒤, 본 연구에서 제한한 모델을 활용하여 복원 작업을 실시하면, Fig. 10과 같이 단순히 회수된 시스템을 복원하는 것과 비교했을 때 총비용이 감소하는 효과를 얻을 수 있다. 이를 토대로 향후 사용 중인 시스템을 회수하여 정비 후 복원 시스템 재배치 대상 부대에 할당하는 과정에서 총비용의 감소 효과를 얻을 수 있어 효율적인 정비 계획의 수립이 가능할 것으로 기대한다.

5. 결론 및 향후 연구 방향

본 연구에서는 회수하여 정비할 야전 배치된 군 시스템의 잔여 성능 수준에 따라 최적의 복원 시점을 결정할 수 있는 문제를 정의하였다. 특히 각기 다른 환경에 배치되어 사용된, 잔여 성능이 상이한 시스템 군에 대하여 각 시스템 군의 재고 비용, 복원 비용, 그리고 준비 비용을 수준에 따라 나누어 모델링 하였다는 점에서 의의가 있

다. 본 연구에서는 재고 관리 및 복원 시점의 결정에 있어 회수된 시스템의 잔여 성능 수준별로 구분 지어 모델링함으로써 잔여 성능이 고려되지 않은 채 복원에 대한 의사결정을 내렸을 때보다 구분 지어 복원 시점을 정하는 것이 보다 효율적임을 수리적 재고 관리 모델을 통해 확인하였다.

또한 고려해야 할 변수가 다양해짐에 따라 최적해를 찾기 어려운 문제의 특성을 고려하여 유전 알고리즘을 활용하여 합리적인 방법으로 적합한 해를 찾을 수 있음을 확인하였다.

이번 연구에서는 회수 및 복원 대상을 동일 시스템으로 한정하여, 회수하는 시스템의 누적 속도는 현 시스템 사용 부대의 해당 시스템에 대한 수요와 밀접하게 연관되어 있으나 본 연구에서는 동일하다고 가정하였다. 조금 더 현실적인 모델을 개발하기 위해서는 신규 시스템이 현 사용 부대에 도입되는 과정과 연관 변수를 연구하여 모델에 반영하면 더욱 의미 있는 결과를 얻을 수 있을 것이다. 이번 연구에서는 잔여 성능 수준별 분류한 것과 통합하여 시스템을 복원하는 것을 비교하였다. 향후에는 현실의 다양한 변수의 상관관계를 규명하고 이를 반영하여 모델을 정교하게 만드는 후속 연구가 필요하다.

References

- [1] Hyeong-geun Yoo, Man-Sik Kim, and Jong-soo Kim. "The Method of Determinating the Spare Inventory Level in the Repairable Munition System." *Military Operations Research Society of Korea*, 16.2, pp.96-104, 1990.
- [2] Won-chan Ji and Seong-Am Moon. "An Effective Order Adjustment Algorithm for Military Inventory with Partial Information." *Korea Logistics Society*, 26.2, pp.71-90, 2018. DOI: <https://doi.org/10.15735/cls.2018.26.2.005>
- [3] Ryoo, Yeon-Uk, and Myung-Sub Park. "An Application to Multi-echelon Inventory Model: Using the Features of CSP." *Journal of the military operations research society of Korea* 32.1, pp.113-132, 2006.
- [4] Guo, J. Y., Zhou S., Zhang Y., Wang W., Huang S and Lv M., "Classification and processing of joint inventory information on maintenance equipment for military training vehicles based on system dynamics." *Journal Européen des Systèmes Automatisés* 52.1, pp. 107-114, 2019. DOI: <https://doi.org/10.18280/jesa.520114>
- [5] Schrady, David A. "A deterministic inventory model for reparable items." *Naval Research Logistics Quarterly* 14.3, pp.391-398, 1967. DOI: <https://doi.org/10.1002/nav.3800140310>
- [6] Christy, A. Y., Fauzi, B. N., Kurdi, N. A., Jauhari, W. A., and Saputro, D. R. S. "A closed-loop supply chain under retail price and quality dependent demand with remanufacturing and refurbishing." *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 855. No. 1. IOP Publishing, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/855/1/012009>
- [7] Teunter, Ruud H. "Economic ordering quantities for recoverable item inventory systems." *Naval Research Logistics (NRL)* 48.6, pp.484-495, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1002/nav.1030>
- [8] Zikopoulos, Christos, and George Tagaras. "Impact of uncertainty in the quality of returns on the profitability of a single-period refurbishing operation." *European Journal of Operational Research* 182.1, pp.205-225, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.10.025>
- [9] Benkherouf, Lakdere, Konstantina Skouri, and Ioannis Konstantaras. "Optimal control of production, remanufacturing and refurbishing activities in a finite planning horizon inventory system." *Journal of Optimization Theory and Applications* 168.2, pp.677-698, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10957-015-0741-9>
- [10] Weng, Tzu-Chun. "An Optimal Replenishment Policy for Retailer Inventory System With Refurbishing." *Journal of Research in Business and Management*, Vol.5, No.5, pp.1-6, 2017.
- [11] Lieckens, Kris, and Nico Vandaele. "Reverse logistics network design with stochastic lead times." *Computers & Operations Research* 34.2, pp.395-416, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2005.03.006>
- [12] Gołębiewski, Bronisław, et al. "Modelling of the location of vehicle recycling facilities: A case study in Poland." *Resources, Conservation and Recycling* 80, pp.10-20, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.07.005>
- [13] Ardjmand, Ehsan, et al. "Applying genetic algorithm to a new location and routing model of hazardous materials." *International Journal of Production Research* 53.3, pp.916-928, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.942010>
- [14] Dai, Lu Feng, and Xi Fu Wang. "Research on mixed intelligent arithmetic of reuse reverse logistics centers' location model." *Advanced Materials Research*. Vol. 945. Trans Tech Publications Ltd, 2014. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.945-949.3246>

임 종 욱(Jong-Wook Lim)

[정회원]



- 2018년 2월 : KAIST 산업공학과 (공학사)
- 2020년 2월 : 서울대학교 산업공학과 (공학석사)
- 2020년 3월 ~ 현재 : 서울대학교 산업공학과 박사과정

<관심분야>

제품개발 프로세스 관리, 전기전자 아키텍처

류 준 열(Jun-Yeol Ryu)

[정회원]



- 2014년 2월 : 육군사관학교 무기시스템공학과 (공학사, 군사학사)
- 2020년 2월 : 서울대학교 산업공학과 (공학석사)
- 2020년 1월 ~ 2021년 2월 : 육군사관학교 기계·시스템공학과 강사
- 2021년 3월 ~ 현재 : 육군사관학교 기계·시스템공학과 조교수

<관심분야>

무기체계, 국방M&S, RCV, 데이터 분석

김 태 완(Tae-Wan Kim)

[정회원]



- 2011년 2월 : 육군사관학교 건축공학과 (공학사, 군사학사)
- 2020년 1월 : 국방대학교 관리대학원 국방과학학과 (공학석사)
- 2020년 1월 ~ 2022년 4월 : 육군사관학교 기계·시스템공학과 조교수
- 2022년 4월 ~ 현재 : 육군대학

<관심분야>

무기체계, 국방M&S, 데이터 분석, 인공지능

홍 석 환(Seok-Hwan Hong)

[준회원]



- 2021년 8월 : 서울대학교 지구과학교육과(이학사), 산업공학과(공학사)
- 2021년 9월 ~ 현재 : 서울대학교 산업공학과 석사과정

<관심분야>

경제성 평가, 에너지 시장, 네트워크 효과