

한계분석법과 유전알고리즘을 결합한 다단계 다계층 재고모형의 적정재고수준 결정

정성태[†] · 이상진

¹국방대학교 국방관리학과

Optimal Spare Part Level in Multi Indenture and Multi Echelon
Inventory Applying Marginal Analysis and Genetic Algorithm

Sungtae Jung[†] · Sangjin Lee

Defence Management, Korea National Defense University

■ Abstract ■

There are three methods for calculating the optimal level for spare part inventories in a MIME (Multi Indenture and Multi Echelon) system : marginal analysis, Lagrangian relaxation method, and genetic algorithm. However, their solutions are sub-optimal solutions because the MIME system is neither convex nor separable by items. To be more specific, SRUs (Shop Replaceable Units) are required to fix a defected LRU (Line Replaceable Unit) because one LRU consists of several SRUs. Therefore, the level of both SRU and LRU cannot be calculated independently.

Based on the limitations of three existing methods, we proposes a improved algorithm applying marginal analysis on determining LRU stock level and genetic algorithm on determining SRU stock level. It can draw optimal combinations on LRUs through separating SRUs. More, genetic algorithm enables to extend the solution search space of a SRU which is restricted in marginal analysis applying greedy algorithm. In the numerical analysis, we compare the performance of three existing methods and the proposed algorithm. The research model guarantees better results than the existing analytical methods. More, the performance variation of the proposed method is relatively low, which means one execution is enough to get the better result.

Keywords : MIME System, Optimization, Marginal Analysis, Genetic Algorithm

1. 서 론

수리부속은 장비 운용가용도를 유지하는 필수요소로 고장시 신속한 정비를 위해서는 충분히 보유하고 있어야 한다. 장비 불가용은 선박, 항공기, 의료장비와 같은 고가 장비의 경우 경제적으로 막대한 손해를 가져오고, 군 장비와 같이 상시 준비태세를 유지해야 하는 경우 작전의 실패를 가져올 수 있다. 부품재고를 유지하는 목적은 장비 불가용에 따른 피해를 방지하여 목표한 장비 운용가용도를 보장하는 것이다. 하지만, 수리부속 획득과 유지는 비용이 수반되므로 높은 운용가용도 유지를 위해 무작정 많은 재고를 보유하는 것은 예산제약으로 현실적으로 불가능하다. 적정 운용가용도 유지를 위해 수리부속 품목 종류와 수량을 결정하는 것은 매우 중요하다. 또한, 수리부속은 장비 운용위치 뿐만 아니라 운용을 지원하는 위치에도 재고를 보유하는 다단계 시스템(Multi Echelon)이므로 적정재고수준 결정은 쉽지 않다. 특히 다수 구성품과 하위품목인 다수 결합체가 연결된 계층구조(Multi Indenture)를 가지는 장비의 경우 시스템 측면(System Approach)에서 운용가용도를 고려한 적정재고수준의 결정은 더욱 복잡해 진다.

다단계 시스템에서 장비 운용가용도를 고려하여 재고수준을 결정한 연구의 시작은 Sherbrooke[11]의 의해 제기된 METRIC(Multi-Echelon Technique for Recoverable Item Control)이다. METRIC은 기지와 창 의 2단계로 구성된 복구성 품목의 수리부속 지원체계의 적정 수리부속 재고수준을 결정하는 모형이다. Muckstadt[7]는 METRIC이 수리부속 계층구조를 고려하지 못하는 제한사항을 보완하여 MOD-METRIC을 제안하였다. METRIC, MOD-METRIC 모두 포이송분포의 적용으로 창이 양의 재고를 가질 때 재보급선 재고량(Resupply Pipeline)분포가 실제보다 적게 계산되는 단점이 있었다. Slay[13]는 이러한 단점의 극복을 위해 재보급선 재고량분포를 음이항분포로 적용하는 Vari-METRIC을 제안하였다. Graves[5]는 재보급선 재고

량분포를 음이항분포로 적용할 경우 오차범위가 1% 이내로 유지되는 것을 수치예제를 통해 제시하여 Vari-METRIC의 논리를 증명하였다.

METRIC, MOD-METRIC, Vari-METRIC의 순으로 다단계 다계층 재고모형 논리는 더욱 정확하게 발전하였으나 적정재고수준을 산정하는 방법은 계산의 복잡성으로 인해 부분최적해를 도출하였다. METRIC 계열의 재고모형에서 적정재고수준 결정 방법은 라그랑지 완화법(Lagrangian Relaxation Method), 한계분석법(Marginal Analysis), 유전알고리즘(Genetic Algorithm)의 3가지 방법이 있다.

라그랑지 완화법은 Fox and Landi[4]에 의해 소개되었다. 라그랑지 완화법은 다단계 재고모형의 핵심논리인 기대 후불값 함수가 기지와 창 의 재고수준이 증가할 때 그 효과가 지속적으로 감소하는 것을 이용한다. 재고증가에 따라 기대 후불값 함수는 효과가 감소하고 비용함수는 증가하므로 두 함수의 균형을 맞추도록 라그랑지 상수(θ)를 최대값과 최소값 범위 내에서 이분법(Bisection Method)을 이용하여 수렴하는 방법으로 도출한다. 라그랑지 완화법은 단위미분을 이용하기 때문에 재고수준이 연속이 아닌 이산적으로 나오기에 때문에 예산이 초과되는 해를 도출하는 경우가 있어 최적해를 보장하지 못하는 단점이 있다. 또한, 결정할 수 있는 변수 개수가 기지와 창 2개로 고정되어 구성품 재고와 결합체 재고를 동시에 결정해야 하는 다단계 다계층 재고모형에서는 결합체 재고수준에 일정 예산을 할당하여 기지 결합체 후불을 최소화하는 재고수준을 결정하고 기지 구성품 재고를 결정하는 방법을 사용하였다[6]. 이 방법은 연구자에 의해 결합체 예산할당이 필요하며, 이에 대한 적정성에 대한 평가가 제한된다.

한계분석법은 METRIC, AAM(Aircraft Availability Model), ASM(Aircraft Sustainability Model)에서 재고수준 결정을 위해 활용된 방법이다[9, 14]. 한계분석법은 단위재고 증가효과를 모두 측정하여 예산범위 내에서 가장 효과가 큰 재고의 배분 방법을 결정하는 방법이다. 한계분석법으로 재고수

준을 결정할 경우 수리부속 품목별로 전체 예산범위 내에서 모든 조합에 대한 계산이 요구되어 품목수 \times (예산/단가)²의 많은 계산이 필요하다. 이 경우 각 품목별 기지와 창의 재고수준별 기대 후불값 행렬을 작성하면 최적 재고수준이 산출될 수 있다. 하지만 수리부속 계층구조를 고려하면 하위 품목의 효과가 상위 품목의 수리지연에 영향을 미치므로 품목별 영향을 위의 경우처럼 독립적으로 계산할 수 없다. 이런 문제점으로 인해 계층구조에 대한 복잡한 고려없이 현재 결정된 재고수준이 최적이라는 가정하에 각 품목별 비용대비 재고증가효과가 가장 큰 품목을 예산범위 내에서 차례로 구매하는 탐욕 알고리즘(Greedy Algorithm)이 사용되었다. 탐욕 알고리즘은 추가재고 효과만을 측정하기 때문에 계산소요를 상당히 줄일 수 있으나 해 탐색 공간을 제한하여 추가재고 효과가 지속적으로 감소하지 않는 문제(Non-convex problem)로 인해 부분최적해를 도출한다.

유전알고리즘은 시뮬레이션 모형과 결합하여 적정재고수준을 결정하는 방법으로 활용되었다[1, 2]. 유전알고리즘은 자연계의 유전법칙과 같이 자연선택과 유전법칙의 메카니즘을 이용하여 적응도가 높은 해를 다음 세대로 전달해 가는 방식이다[3]. 유전알고리즘은 교차와 변이를 이용한 복수개의 잠재 해집합을 운용하여 최적값에 수렴해 가는 결과를 찾는 방식으로 매 세대마다 모집단을 운용하여 내재된 병렬성을 갖는 기법이다. 유전알고리즘은 대체적으로 만족할 만한 수준의 해를 도출할 수 있는 장점이 있으나 확률에 의해 유전연산인 선별, 교차, 변이를 거치기 때문에 해의 수렴까지 많은 시간이 소요되는 단점이 있다. 시뮬레이션 모형은 METRIC 계열의 분석적 모형에 비해 현실과 유사한 조건하에서 재고수준을 결정할 수 있는 장점이 있지만 결과의 신뢰도를 향상시키기 위해서는 많은 실험을 통한 통계적 유효성이 보장되어야 한다는 단점이 있다. 유전알고리즘을 활용하여 다수의 잠재해 집합을 세대를 거듭하여 운용할 경우, 적정재고수준 결정을 위한 소요시간은 분석적 모형에 비해 상당히

증가한다. 실험모수가 변화되면 적정재고수준 결정을 위해 실험을 처음부터 다시 해야하는 제한이 있다.

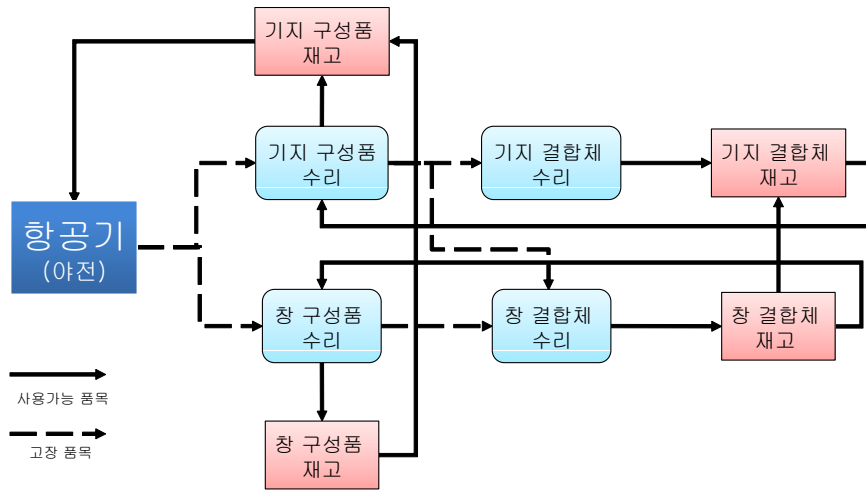
본 연구의 제 2장은 다단계 다계층 재고모형의 논리를 설명하고 서론에서 언급한 각 방법의 제한사항을 극복하여 운용가용도 향상을 위한 연구 알고리즘을 제시한다. 제 3장은 연구모형 평가 단계로 수치예제를 통해 연구에서 제시한 방법이 기존 방법에 비한 성과향상을 제시하고 실제 군 무기체계 데이터를 적용하여 효과를 실증분석한다. 제 4장은 결론으로 연구결과를 종합하고 제한사항을 도출하여 차후 연구방향을 제시한다.

2. 다단계 다계층 재고모형 논리

2.1 기대 후불값 계산

다단계 다계층 재고모형의 논리는 다음과 같다 [7]. 기지에서 운용중인 장비에 고장이 발생하면 기지는 예비품을 불출하고, 예비품이 없으면 수리가 완료되어 예비품이 가용할 때까지 후불이 지속된다. 고장 구성품은 수리가능여부에 따라 기지에서 수리하거나 창으로 입고하여 수리한다. 기지에서 수리할 경우 구성품 고장여부 또는 결합체 고장여부를 판단하여 결합체 고장인 경우 기지에서 수리하거나 수리가 불가능한 경우 결합체를 창에 입고하여 수리한다. 결합체의 경우도 구성품의 경우와 마찬가지로 예비품이 가용시 불출하고 예비품이 없으면 수리가 완료되어 예비품이 가용할 때까지 결합체의 후불은 지속된다. 창의 경우도 기지와 동일한 절차로 수리를 실시하지만 창은 모든 수리가 가능하여 수리소요시간 이후 가용품으로 전환하여 예비재고로 보유한다. 이때 기지와 창의 재고수준은 고장품의 이송과 동시에 주문이 이루어지기 때문에 일정하게 유지된다. 다단계 다계층 재고모형에서 고장품과 예비품이 이동하는 것은 <그림 1>과 같다.

다단계 다계층 재고모형의 논리를 적용하기 위



〈그림 1〉 다단계 다계층 재고모형

해서는 다음과 같은 가정사항을 필요로 한다. (1) 수리부속 수요분포는 고정된 수요율을 평균으로 하는 포아송분포를 따른다. (2) 기지와 창의 재고 관리 정책은 (s-1, s)를 따르고 정비능력은 충분하여 수리를 위해 대기하는 고장품은 없다. (3) 기간 전환보급 및 고장품의 동류전용은 고려하지 않는다. (4) 기지수리시간, 창수리시간, 주문 및 수송 시간은 기지에 관계없이 동일하다. (5) 창은 모든 수리가 가능하여 고장품의 폐기는 없다.

다단계 다계층 재고모형의 핵심논리는 재보급선 재고량 확률분포를 도출하여 기대 후불값(EBO: Expected BackOrder)을 계산하는 것이다. 후불은 현재재고가 부족하여 충족되지 못한 수요량으로서 불가동 구성품 수를 의미한다. 재보급선 재고량은 고장이 발생하여 주문 중에 있는 예비품의 수량으로 Vari-METRIC의 논리인 평균과 분산을 이용하여 확률분포를 추정한다. 기대 후불값 계산논리를 수식으로 표현하면 식 (1)과 같다.

$$\text{기대 후불값}(EBO) = \sum_{x > s} (x - s)P(x) \quad (1)$$

여기서 x : 재보급선 재고량, s : 재고수준,

P(x) : 재보급선 재고량 확률

다단계 다계층 재고모형 설명을 위해 필요한 기호의 정의는 다음과 같다.

- j : 위치 번호(기지 및 창, 창의 번호 : 0)
- i : 품목 번호(결합체 및 구성품, 구성품의 번호 : 0)
- λ_{ij} : 품목 i의 위치 j에서 수요율
- s_{ij} : 품목 i의 위치 j에서 재고수준
- r_{ij} : 품목 i의 위치 j에서 수리확률
- O_{ij} : 품목 i를 창에서 기지 j로 이송하는 평균 주문 및 수송시간
- R_{ij} : 품목 i의 기지 j에서 평균 수리시간
- D_{i0} : 품목 i의 창에서 평균 수리시간
- α_{ij} : 위치 j에서 결합체 i가 구성품 수리를 위해 요구될 확률
- $E[X_{ij}]$: 품목 i의 위치 j에서 재보급선 재고량의 평균
- $Var(X_{ij})$: 품목 i의 위치 j에서 재보급선 재고량의 분산
- $EBO_{ij}(s_{ij}|E[X_{ij}], Var(X_{ij}))$: 품목 i의 위치 j에서 재보급선 재고량 평균과 분산이 $E[X_{ij}], Var(X_{ij})$ 이고 재고수준이 s_{ij} 일 때 기대 후불값
- $VBO_{ij}(s_{ij}|E[X_{ij}], Var(X_{ij}))$: 품목 i의 위치 j에서 재보급선 재고량 평균과 분산이 $E[X_{ij}], Var(X_{ij})$ 이고 재고수준이 s_{ij} 일 때 후불값의 분산

다단계 다계층 재고모형의 계산 논리는 기지 구성품 수요율을 바탕으로 기지와 창에서 구성품과 결합체의 수요율을 계산한 뒤 이를 바탕으로 수요율 계산의 역순으로 기지와 창의 재보급선 재고량 평균과 분산을 계산한다. 각 계산 순서는 다음과 같다.

- 수요율 계산 : ① 기지 구성품 수요율 → ② 기지 결합체 수요율 → ③ 창 구성품 수요율 → ④ 창 결합체 수요율
- 재보급선 재고량 계산 : ⑤ 창 결합체 재보급선 재고량 → ⑥ 창 구성품 재보급선 재고량 → ⑦ 기지 결합체 재보급선 재고량 → ⑧ 기지 구성품 재보급선 재고량

기지와 창의 수요율 계산은 비교적 쉽게 구할 수 있는데 계산방법은 <표 1>과 같다.

기지와 창의 구성품과 결합체 수요율을 계산하면, 이를 바탕으로 각 위치에서 재보급선 재고량 평균과 분산을 도출한다. ⑤ 창 결합체 재보급선 재고량은 포아송고장에 대한 수리과정으로 평균과 분산은 같아 식 (2)와 같이 계산한다.

$$E[X_{i0}] = Var(X_{i0}) = \lambda_{i0} D_{i0} \quad (2)$$

창 구성품 수리를 위해 요구되는 결합체 i의 창 수요 비율을 β_{i0} 라고 하면, ⑤ 결과를 바탕으로 ⑥ 창 구성품 재보급선 재고량 평균과 분산은 식 (3), 식 (4)와 같이 계산한다.

$$E[X_{00}] = \lambda_{00} D_{00} + \sum_i \beta_{i0} EBO_{i0}(s_{i0}|E[X_{i0}]) \quad (3)$$

$$Var(X_{00}) = \lambda_{00} D_{00} + \sum_i \beta_{i0} (1 - \beta_{i0}) EBO_{i0}(s_{i0}|E[X_{i0}]) + \sum_i \beta_{i0}^2 VBO_{i0}(s_{i0}|E[X_{i0}]) \quad (4)$$

여기서, $\beta_{i0} = \frac{\lambda_{00} \alpha_{i0}}{\lambda_{i0}}$

기지 j의 결합체 수요가 창 결합체 수요에 기여하는 비율을 β_{ij} 라고 하면, ⑤ 결과를 바탕으로 ⑦ 기지 결합체 재보급선 재고량 평균과 분산은 식 (5), 식 (6)과 같이 계산한다.

$$E[X_{ij}] = \lambda_{ij} \{ (1 - r_{ij}) O_{ij} + r_{ij} R_{ij} \} + \beta_{ij} EBO_{i0}(s_{i0}|E[X_{i0}]) \quad (5)$$

$$Var(X_{ij}) = \lambda_{ij} \{ (1 - r_{ij}) O_{ij} + r_{ij} R_{ij} \} + \beta_{ij} (1 - \beta_{ij}) EBO_{i0}(s_{i0}|E[X_{i0}]) + \beta_{ij}^2 VBO_{i0}(s_{i0}|E[X_{i0}]) \quad (6)$$

여기서, $\beta_{ij} = \frac{\lambda_{ij} (1 - r_{ij})}{\lambda_{i0}}$

기지 j의 구성품 수요가 창 구성품 수요에 기여하는 비율을 β_{0j} 라고 하면, ⑥, ⑦ 결과를 바탕으로 ⑧ 기지 구성품 재보급선 재고량 평균과 분산은 식 (7), 식 (8)과 같이 계산한다.

$$E[X_{0j}] = \lambda_{0j} \{ (1 - r_{0j}) O_{0j} + r_{0j} R_{0j} \} + \beta_{0j} EBO_{00}(s_{00}|E[X_{00}], Var(X_{00})) + \sum_i EBO_{ij}(s_{ij}|E[X_{ij}], Var(X_{ij})) \quad (7)$$

$$Var(X_{0j}) = \lambda_{0j} \{ (1 - r_{0j}) O_{0j} + r_{0j} R_{0j} \} + \beta_{0j} (1 - \beta_{0j}) EBO_{00}(s_{00}|E[X_{00}], Var(X_{00})) + \beta_{0j}^2 VBO_{00}(s_{00}|E[X_{00}], Var(X_{00})) \quad (8)$$

<표 1> 기지와 창에서 구성품과 결합체 수요율

수요율	계산	수요율	계산
① 기지 구성품 (λ_{0j})	야전 데이터 관측으로 추정	③ 창 구성품 (λ_{00})	$\sum_j (1 - r_{0j}) \lambda_{0j}$
② 기지 결합체 (λ_{ij})	$r_{0j} \lambda_{0j} \alpha_{ij}$	④ 창 결합체 (λ_{i0})	$\sum_j (1 - r_{ij}) \lambda_{ij} + \lambda_{00} \alpha_{i0}, i \neq 0$

$$+ \sum_j VBO_{ij}(s_{ij}|E[X_{ij}], Var(X_{ij}))$$

$$\text{여기서, } \beta_{0j} = \frac{\lambda_{0j}(1-r_{0j})}{\lambda_{00}}$$

기지 구성품 재보급선 재고량 평균과 분산을 도출하였으면, 식 (1)에 의해 기지 기대 후불값을 도출하는 것이 다단계 다계층 재고모형의 핵심논리이다. 식 (1)의 계산은 이론적으로 재고수준(s)부터 무한대까지 계산해야 기대 후불값을 계산할 수 있다. 이것은 현실적으로 불가능하기 때문에 지금까지 METRIC 계열 다단계 재고모형에서는 임의의 큰 수를 대입하여 계산하는 근사법을 사용하였다. 이것은 많은 계산이 요구되는 다단계 다계층 재고모형에서 계산시간 증가의 주 원인이다. 다음 절에서 제시되는 1차, 2차 모멘트의 관계식을 이용한 대칭계산법을 사용하면 계산소요를 줄일 수 있어 더욱 빠르고 정확하게 결과를 도출할 수 있다.

2.2 대칭계산법

기대 후불값과 후불값의 분산은 앞서 언급한 바와 같이 무한대까지 해당 확률분포를 반복적으로 계산해야만 정확한 값이 계산이 가능하다. 하지만 재보급선 재고량 확률분포로 사용된 포아송분포나 음이항분포는 긴꼬리를 가지는 분포로서 값이 커지면서 확률값은 0에 가깝게 수렴한다. 따라서 METRIC 계열 다단계 재고모형에서는 임의의 큰 수(예 : 100)를 대입하여 재고수준(s)부터 100까지 반복계산을 통해 기댓값을 계산하였다. 특히 다단계 다계층 재고모형과 같이 다수 구성품과 결합체로 이루어진 경우는 계산소요가 급격하게 증가하기 때문에 결과를 도출하기까지 상대적으로 많은 시간이 소요된다. 하지만 1차, 2차 모멘트를 활용하여 재고수준을 중심으로 대칭으로 계산하면 빠르고 정확하게 기대 후불값과 후불값의 분산을 계산할 수 있다[8]. 기대 후불값 계산은 식 (1)을 이용하여 식 (9)와 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} EBO &= \sum_{x>s}^{\infty} (x-s)P(x|E[X], Var(X)) \\ &= \sum_{x>s}^{\infty} x \cdot P(x|E[X], Var(X)) \\ &\quad - s \sum_{x>s}^{\infty} P(x|E[X], Var(X)) \\ &= E[X] - \sum_{x=0}^s x \cdot P(x|E[X], Var(X)) \\ &\quad - s(1 - \sum_{x=0}^s P(x|E[X], Var(X))) \\ &= E[X] - s - \sum_{x=0}^s (x-s)P(x|E[X], Var(X)) \quad (9) \end{aligned}$$

유사하게 후불값의 분산도 식 (10)과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} VBO &= \sum_{x>s}^{\infty} (x-s)^2 P(x|E[X], Var(X)) \\ &= \sum_{x>s}^{\infty} x^2 \cdot P(x|E[X], Var(X)) \\ &\quad - 2s \sum_{x>s}^{\infty} x \cdot P(x|E[X], Var(X)) \\ &\quad + s^2 \sum_{x>s}^{\infty} P(x|E[X], Var(X)) \\ &= Var(X) + (E[X])^2 - \sum_{x=0}^s x^2 \cdot P(x|E[X], Var(X)) \\ &\quad - 2s(E[X] - \sum_{x=0}^s x \cdot P(x|E[X], Var(X))) \\ &\quad + s^2(1 - \sum_{x=0}^s P(x|E[X], Var(X))) \\ &= Var(X) + (E[X] - s)^2 \\ &\quad - \sum_{x=0}^s (x-s)^2 \cdot P(x|E[X], Var(X)) \quad (10) \end{aligned}$$

여기서, $Var(X) = E[X^2] - (E[X])^2$,

$$E[X^2] = \sum_{x=0}^{\infty} x^2 \cdot P(x), \quad E[X] = \sum_{x=0}^{\infty} x \cdot P(x)$$

식 (9)와 식 (10)을 살펴보면, 기대 후불값과 후불값의 분산을 계산하기 위해서 소요되는 계산의 수가 ‘재고수준(s)+1’인 것을 알 수 있다. 특히 METRIC 계열의 재고모형 품목과 같이 (s-1, s)의 재고

관리 정책을 따르는 고단가의 신뢰도가 높은 품목은 보유하는 재고가 많지 않기 때문에 계산소요 감소는 더욱 두드러진다. 본 연구에서 제시하는 대칭계산법은 계산소요만 감소할 뿐만이 아니라 수학적 방법을 통해 유도된 동치식을 사용하기 때문에 기존에 사용하던 근사방법에 비해 정확도를 향상시킬 수 있다.

2.3 운용가용도 향상을 위한 연구 알고리즘

적정재고수준 결정을 위해 사용된 분석적 방법인 라그랑지 완화법과 탐욕 알고리즘을 활용한 한계분석법은 빠른 계산이 가능한 반면 하위품목의 후불의 영향을 제대로 반영하지 못해 부분최적해에 그쳤다. 유전알고리즘은 다양한 해집합을 운용하여 최적해를 탐색할 수 있는 가능성은 있으나 결정해야 할 변수의 수((구성품 수+결합체 수)×(창위치+기지위치))가 많아 해 수렴까지 많은 시간이 소요되는 단점이 있다.

연구에서 제시하는 연구 알고리즘은 각 분석적 방법과 유전알고리즘을 결합하여 계층구조를 고려할 때 발생하는 제한사항을 극복한다. 연구 알고리즘은 2가지 방법으로 ① 라그랑지 완화법+유전알고리즘 ② 한계분석법+유전알고리즘으로 구성품 재고수준 결정은 분석적 방법을 사용하고 결합체 재고수준 결정은 유전알고리즘을 사용하는 것이다. 두 가지 방법을 제시한 이유는 다음과 같다. 결합체 재고수준의 결정에 유전알고리즘을 조합하는 방법을 선택한 이유는 유전연산인 교차와 변이를 통해 탐욕 알고리즘의 제한사항인 해탐색 구간의 제한을 극복할 수 있으며, 라그랑지 완화법의 제한사항인 결합체 재고수준 결정을 잠재해 생성방법을 통해 극복할 수 있기 때문이다. 적용방법에 있어 결합체 재고수준 결정에 유전알고리즘을 구성품 재고수준 결정에 분석적 방법을 적용한 이유는 다음과 같다. 라그랑지 완화법이나 한계분석법은 주어진 예산 범위 내에서 효과를 극대화하는 재고위치와 수량을 결정하는 방법으로 결합체 재고수

준 결정을 위해 한계분석법이나 라그랑지 완화법을 적용할 경우 결합체 재고구매에 필요한 예산할당이 결정되어야 하는데 적정 예산에 대한 기준 설정이 제한되기 때문이다.

유전알고리즘의 제한사항은 해집합이 수렴하는데 많은 시간이 소요된다는 것이다. 음이 아닌 정수의 재고수준을 갖는 결합체를 기지와 창에 배분하면서 일정값에 수렴하기 위해서는 탐색을 위한 적정 범위의 설정이 필요하다. 기지와 창 결합체 재보급선은 재고를 보유하지 않을 때 가장 많은 후불이 발생하며 이때 분포는 포아송분포를 따르게 되고 기대 후불값은 평균과 같다. 포아송분포는 평균 오른쪽으로 꼬리가 긴 분포로 끝은 무한대까지 이른다. 기대 후불값 감소량은 재보급선 재고량 평균을 지나면서 급격하게 감소하기 때문에 결합체 해탐색 구간의 기준을 재보급선 재고량 평균을 만족하는 최소 정수로 설정할 수 있다. 예산이 충분하지 못해 결합체 재고를 충분히 확보하지 못할 경우는 0에서부터 기대 후불값 감소효과가 큰 재보급선 재고량 평균까지가 결합체 재고수준 탐색범위로 설정할 수 있다. 하지만 예산이 충분하여 모든 결합체 재보급선 재고량 평균 이상 재고를 보유할 수 있을 경우는 무한대로 탐색해야 하기 때문에 효과적인 탐색범위의 최대값 설정이 필요하다. <표 2>는 재보급선 재고량 평균이 변화할 때 각 표준편차 배수 범위 내 포함되는 누적확률을 표시한 것이다.

평균+1 표준편차 탐색범위는 재보급선 재고량 평균이 증가함에 따라 누적확률이 많이 감소하나 평균+2 표준편차 탐색범위는 98%에 가까운 누적확률을 유지한다. 평균+3 표준편차는 2 표준편차에 비해 탐색범위는 약 2배 증가하나 누적확률의 증가효과는 비슷하기 때문에 예산이 충분한 경우 결합체 재고수준의 적정 탐색범위 최대값은 평균+2 표준편차를 만족하는 최소 정수로 정한다.

다단계 다계층 재고모형은 품목별 계층별로 다수의 계산을 요구하기 때문에 복잡한 문제를 분할하여 각 위치별 후불값을 계산하는 연구인 Nowicki

〈표 2〉 재보급선 재고량의 표준편차 배수 범위 내 누적확률

구 분	탐색 범위	누적 확률	탐색 범위	누적 확률	탐색 범위	누적 확률	탐색 범위	누적 확률	탐색 범위	누적 확률
1 표준편차	2	0.920	8	0.932	14	0.917	58	0.884	110	0.853
2 표준편차	3	0.981	10	0.986	17	0.986	65	0.983	120	0.977
3 표준편차	4	0.996	12	0.998	20	0.998	72	0.999	130	0.998
재보급선 재고량 평균	1		5		10		50		100	

[8]의 연구를 활용한다. Nowicki는 각 위치와 품목 별로 분리하여 일정비율의 기대 후불값을 만족하는 재고수준이 예산범위에서 만족여부를 확인하여 초기값으로 설정하고 한계분석법을 적용하여 빠르게 해를 결정하는 방법을 제시하였다. 본 연구도 각 결합체 재고수준 탐색기준인 재보급선 재고량 평균을 기준으로 재고수준 탐색범위를 지정하여 다음과 같은 알고리즘을 적용한다.

단계 1 : 연구 알고리즘 적용을 위한 결합체 재고수준 탐색범위를 설정한다.

단계 1-1 : 모든 재고수준이 '0'인 상태(기대 후불값이 최대가 되는 상태)에서 기지와 창고의 결합체 재보급선 재고량 평균을 계산한다.

단계 1-2 : 결합체 재보급선 재고량 평균을 예산 한계에서 보유 가능하면 결합체 재고수준 초기해는 재보급선 재고량 평균으로 설정하고 탐색범위는 평균부터 2 표준편차로 설정한다.

단계 1-3 : 단계 1-2를 만족하지 않으면 결합체 재고수준 초기해는 0으로 설정하고 탐색범위는 0부터 평균으로 설정한다.

단계 2 : 세대수(g)를 1로 정하고, 창과 기지의 결합체의 재고수준을 표현하는 행을 잠재해수(population) 만큼 단계 1에서 설정한 탐색범위에서 난수발생에 따라 생성한다.

단계 3 : 세대내 모든 잠재해에 대해 한계분석법

또는 라그랑지 완화법을 활용하여 주어진 결합체 재고수준에서 기대 후불값을 최소로 하는 구성품 재고수준을 결정한다.

단계 4 : 단계 3에서 결정한 잠재해의 구성품과 결합체 재고수준에 대해 Vari-METRIC의 논리로 계산한 운용가용도에 따라 적용도를 평가하고, 최대 운용가용도를 산출하는 해를 현 세대의 최적해로 선정한다.

단계 5 : 현 세대내 잠재해별 운용가용도를 모두 합한 값으로 나누어 선별확률을 부여하고 확률바퀴 방법에 따라 다음 세대를 구성하는 잠재해를 선별한다. 선별된 잠재해는 구성품 재고수준은 버리고 결합체 재고수준을 다음세대로 전달한다.

단계 6 : 선별된 해에 대해 교차율과 돌연변이율에 따른 유전연산을 수행한다.

단계 7 : $g = g+1$ 로 현 세대수를 증가시키고 만약 종료조건을 만족하면 알고리즘을 종료하고, 그렇지 않을 경우 단계 3으로 간다.

제 2장은 다단계 다계층 재고모형의 계산논리를 설명한 뒤 핵심논리인 기대 후불값 계산소요를 효과적으로 줄일 수 있는 대칭계산법에 대해 제시하였다. 또한, 기존 사용된 3가지 재고수준 결정방법의 제한사항을 바탕으로 이를 극복할 수 있는 2가지 연구 알고리즘을 제시하였다. 제 3장은 수치예제와 실제 무기체계 적용을 통해 본 연구의 성과를 측정한다.

3. 연구모형 평가

3.1 수치예제를 통한 알고리즘 효과분석

다단계 다계층 재고모형에서 기대 후불값을 계산하는 궁극적 이유는 몇 대의 장비가 불가용하여 실제로 운용가능한 장비의 퍼센트가 얼마인지를 나타내는 운용가능도를 계산하기 위해서이다. 운용가능도는 식 (11)과 같이 계산한다.

$$\begin{aligned} \text{운용가능도}(A_o) &= \frac{\text{기대가용 장비수}}{\text{총 장비수}} \\ &= 1 - \frac{\text{기대불가용 장비수}(EBO)}{\text{총 장비수}} \end{aligned} \quad (11)$$

〈표 3〉 수치예제 모수

주문 및 수송시간	기지수리시간	창수리시간
5일	10일	45일
총예산	기지 수	기지당 항공기수
\$4,000,000	3	20

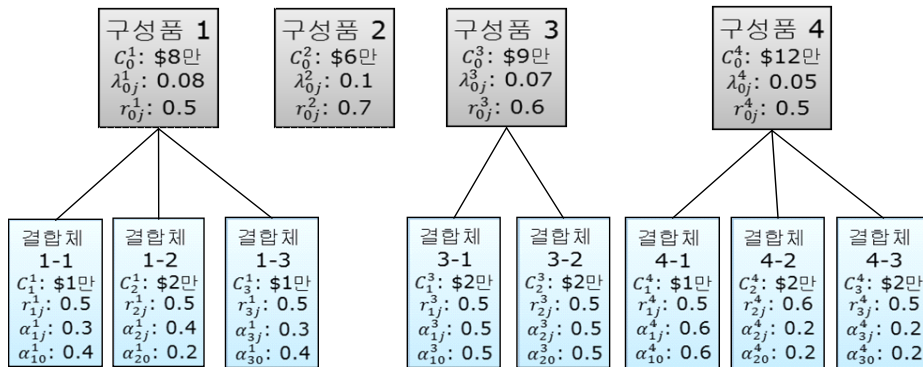
수치예제에서 사용된 모수는 Slay[13]의 논문에서 사용된 값을 참고하여 설정하고, 해당 논문은 품목의 계층구조를 고려하지 않았기 때문에 계층구조에 관련된 모수는 임의로 생성한 값을 사용하였다. 수치예제에 사용된 모수는 〈표 3〉과 같고 구성품과 결합체의 구조 및 고장율, 기지수리율, 상

위품목 수리를 위해 결합체가 요구될 확률은 <그림 2>와 같다.

구성품과 결합체의 구조는 일반화하기 위해 모두 동일한 구조를 가지는 것이 아닌 구성품에 따라 결합체의 수를 다르게 하였고, 하위 품목을 가지지 않는 구성품도 포함하여 수치예제를 구성하였다. 기지 구성품 고장률만 명시하고 결합체 고장율을 명시하지 않은 이유는 <표 1>에서 제시한 순서에 따라 기지와 창의 구성품과 결합체의 고장률을 계산할 수 있기 때문이다.

유전알고리즘을 활용하여 재고수준을 결정하기 위해서는 추가로 유전파라미터에 대한 정의가 필요하다. 유전파라미터는 모집단의 크기, 교차율, 돌연변이율, 종료조건이 있다. 적정 유전파라미터 값을 설정하는 연구는 상당히 이루어 졌으나 아직까지 문제에 적합한 값을 결정하는 것은 기술적인 문제로 남아있다. 따라서 본 연구에서는 유전알고리즘을 활용하여 다단계 다계층 재고모형의 재고수준을 결정한 선행연구와 유전파라미터 설정에 대한 참고서지를 참조하여 <표 4>와 같이 결정하였다[1-3].

순수 유전알고리즘에 비해 연구에서 제시하는 연구 알고리즘이 적은 세대의 종료조건을 설정하는 이유는 다음과 같다. 순수 유전알고리즘은 난수에 의해 구성품과 결합체 재고수준이 결정되면 Vari-METRIC의 논리를 적용하여 운용가능도를



〈그림 2〉 수리부속 계층 구조

〈표 4〉 수치예제 유전파라미터

교차율	0.3	돌연변이율			0.02
모집단의 크기	30	종료 조건	최대 세대수	순수 유전알고리즘	1000세대
				연구 알고리즘	100세대
			해 수렴	동일해 5세대 이상 산출	

상대적으로 빠르게 계산할 수 있다. 반면 연구 알고리즘은 결합체 재고수준만 난수에 의해 결정하고 구성품 재고수준은 라그랑지 완화법과 한계분석법을 통해 결정한다. 따라서 연구 알고리즘의 경우 최적화 과정을 한번 더 거치기 때문에 매 세대마다 계산이 상대적으로 많이 소요되고, 주어진 결합체 수준에서 결정된 구성품 재고수준은 최적에 가깝기 때문이다. 또한 알고리즘 수행은 유전알고리즘으로 결합체 재고수준을 결정하기 때문에 해의 수렴을 확인할 수 있는 적절한 종료조건의 설정이 필요하다. 연구 알고리즘은 다수의 잠재해를 세대를 반복해가며 개선하지만 더 이상 해가 개선되지 않는 상태인 5세대 이상 동일한 해를 산출하는 경우 해가 수렴한 것으로 판단하여 종료조건으로 설정하였다.

연구에서 제시한 탐색범위 설정의 적절성을 판단하기 위해 알고리즘 단계 1을 검토하면 다음과 같다. 기지와 창 의 결합체 재보급선 재고량 평균을 만

족하는 재고수준을 보유하면 필요예산은 \$ 770,000로 총예산범위 내에서 가용하기 때문에 결합체 해 탐색범위는 단계 1-2의 설정범위와 같다. 예로 기지와 창에서 결합체 1-1의 재고수준별 구성품 1의 기대 후불값은 <표 5>, <표 6>과 같다.

기지와 창에서 결합체 재고수준의 효과를 살펴보면 평균까지는 효과가 매우 크다가 매우 빠르게 감소하고 평균+2 표준편차 이후로 감소효과가 미약하므로 탐색범위 설정이 적절하다.

수치예제에 주어진 모수를 바탕으로 각 방법별 100회 계산을 통해 기지 항공기의 운용가용도를 산출하여 비교한 결과는 <표 7>과 같다.

기존 재고수준 결정방법은 ① 탐욕 알고리즘을 활용한 한계분석법 ② 라그랑지 완화법 ③ 유전알고리즘의 순으로 나온 결과를 산출하였다. 라그랑지 완화법이 탐욕 알고리즘을 활용한 한계분석법보다 미흡한 이유는 다음과 같다. 라그랑지 완화법은 적정재고수준을 도출하기 위해 결합체와 구성품에

〈표 5〉 기지 결합체 재고수준별 구성품 기대 후불값

재고 수준	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
EBO	5.4000	5.0977	5.0465	5.0406	5.0400	5.0400	5.0400	5.0400	5.0400	5.0400	5.0400
감소 효과		0.3023	0.0512	0.0060	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
탐색범위		최소	최대								
기지 결합체 재보급선 재고량 평균 : 0.36, 평균+2 표준편차 : 1.56											

〈표 6〉 창 결합체 재고수준별 기지 구성품 기대 후불값

재고 수준	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
EBO	5.4000	5.0838	4.8183	4.6283	4.5130	4.4531	4.4261	4.4154	4.4116	4.4105	4.4101
감소 효과		0.3162	0.2654	0.1900	0.1153	0.0599	0.0270	0.0107	0.0038	0.0012	0.0003
탐색범위				최소				최대			
창 결합체 재보급선 재고량 평균 : 2.97, 평균+2 표준편차 : 6.42											

<표 7> 기존 재고수준 결정방법과 연구 알고리즘

구 분		기존 최적화 방법			연구 알고리즘	
		유전 알고리즘	라그랑지 완화법	한계분석법 (탐욕 알고리즘)	라그랑지 완화법 +유전알고리즘	한계분석법 +유전알고리즘
운용가용도 (A_0)	평균	0.8921	0.9416	0.9531	0.9536	0.9617
	표준편차	0.0246			0.0145	0.0036
	최대값	0.9423			0.9684	0.9662
	최소값	0.8388			0.9191	0.9499

대한 최소 투자비용을 설정하고 결합체 투자비용을 증가시켜가면서 알고리즘이 종료할 때까지 결합체 투자수준에 따른 기지와 창 의 구성품과 결합체 재고수준을 결정한다. 결정된 재고수준 중 최소 기대 후불값을 산출하는 것이 라그랑지 완화법의 해이다. 라그랑지 완화법은 미분을 이용하여 재고수준을 결정하는 방법인데 재고는 연속적인 값이 아니라 이산적인 값을 가지기 때문에 정확하게 예산에 부합하지 않고 라그랑지 상수값에 따라 예산을 초과하거나 미만인 경우가 발생한다. 이런 이유로 Muckstadt[7]는 라그랑지 완화법의 알고리즘 종료 조건으로 투자예산과 총예산 차이가 0.05% 이내일 때 종료하는 것으로 제시하였다. 예산 초과를 허용하지 않는 엄격한 제약조건하에서는 적정재고수준의 결정이 제한되는데, 각 결합체 투자수준에 따른 결과 중 예산초과가 되는 결과가 제외되기 때문에 탐욕 알고리즘을 활용한 한계분석법에 비해 성과가 미비하였다. 또, 유전알고리즘의 경우 최대값은 기존 분석적 방법과 유사한 결과를 산출하나 평균적으로 미흡한 성과를 보이는 것은 구성품의 경우 해의 탐색범위가 매우 넓고(창 구성품의 탐색범위 : 최소 0, 최대 66), 해의 결정을 위해 구성되는 잠재해 인자의 수가 24개로 대규모 문제이기 때문이다. 따라서 해가 수렴하기 위해 연구에서 종료조건으로 설정한 세대수인 1000세대가 부족했다 판단된다. 하지만 더 나은 해를 산출하기 위해 세대수를 늘리는 것은 해 개선 가능성은 높아지나, 많은 시간이 소요되기 때문에 적절하지 못하다.

연구에서 제시한 2가지 연구 알고리즘 중 라그

랑지 완화법+유전알고리즘을 활용한 방법은 기존 방법에 비해 더 나은 성과를 제시하지 못했다. 이 방법의 성과가 미흡한 것은 각 회별 계산 시 예산을 초과하는 해가 제거되었기 때문이라고 판단된다. 반면 한계분석법+유전알고리즘을 활용한 방법은 기존 재고수준 결정방법에 비해 평균적으로 약 0.8%의 운용가용도를 향상 시킬 수 있다. 더 나은 점은 결과의 표준편차가 상대적으로 작아 일관되게 기존 방법에 비해 상대적으로 나은 해를 제시할 수 있다는 것이다. 추가로 연구 알고리즘의 최대값을 살펴보면 기존 방법에 비해 해가 1% 이상 향상할 수 있다는 것을 알 수 있다. 각 방법별로 최대 운용가용도를 산출하는 재고수준과 소요비용, 운용가용도는 <표 8>과 같다.

기존 재고수준 결정방법 중 최대 운용가용도를 산출하는 한계분석법의 재고수준과 연구 알고리즘의 최대 운용가용도를 산출하는 결합체 재고수준을 비교할 때, 유사한 범위에 있는 것을 알 수 있다. Sherbrooke[12]는 탐욕 알고리즘을 활용한 한계분석법의 경우 산출한 재고수준은 최적을 보장하지는 않으나 최적해가 산출한 해의 주변에 있다는 것을 제시하였다. 본 연구는 한계분석법의 이러한 점에 주목하여 결합체 초기 재고수준을 결정하는 개선 연구 알고리즘을 제시한다. 개선 연구 알고리즘은 2개의 알고리즘 중 더 나은 결과를 제시하면서도 표준편차가 적은 한계분석법+유전알고리즘을 사용한다. 개선 연구 알고리즘은 제 2.3절의 연구 알고리즘 단계 1~3을 다음과 같이 수정한다.

〈표 8〉 기존 방법과 연구 알고리즘의 최대값 비교

구 분	기존 재고수준 결정방법												연구 알고리즘								
	유전알고리즘				라그랑지 완화법				한계분석법 (탐욕 알고리즘)				라그랑지 완화법 +유전알고리즘				한계분석법 +유전알고리즘				
위치	창		기지		창		기지		창		기지		창		기지		창		기지		
부속 계층	구 성 품	결 합 체	구 성 품	결 합 체	구 성 품	결 합 체	구 성 품	결 합 체	구 성 품	결 합 체	구 성 품	결 합 체	구 성 품	결 합 체	구 성 품	결 합 체	구 성 품	결 합 체	구 성 품	결 합 체	
재고 수준	3	7		0		1		1		5		1		6		1		6		1	
		1	3	2	3	1	4	1	5	2	1	5	4	2	1	6	3	2	1		
		5		0		1		1		5		1		6		1		5		1	
	6	/	2		3	/	2	/	4	/	1	/	5	/	2	/	5	/	2	/	
	2	4	2	2	5	1	2	1	5	5	1	1	3	5	2	1	5	5	1	1	
		4		0		1		1		5		1		4		1		4		2	
	1	12		3		2		1		4		1		6		1		6		1	
		3	1	2	4	1	1	0	5	4	1	1	3	2	1	3	2	1	1		
		6		0		1		0		4		1		3		1		2		1	
	비용	\$3,930k				\$3,980k				\$3,970k				\$4,000k				\$4,000k			
	가용도	0.9423				0.9416				0.9531				0.9684				0.9662			

단계 1 : 세대수(g)를 1로 정하고, 한계분석법을 활용하여 구성품과 결합체 재고수준을 결정한다. 결합체 재고수준을 유전자 행으로 표현하여 잠재해 수만큼 복사한다.

단계 2 : 결합체 재고수준 탐색범위를 설정한다.
 단계 2-1 : 모든 구성품과 결합체 재고수준이 '0'인 상태에서 기지와 창의 결합체 재보급선 재고량 평균을 계산한다.

단계 2-2 : 결합체 재보급선 재고량 평균이 단계 1에서 결정된 결합체 재고수준보다 작거나 같으면 해 탐색범위를 평균부터 2 표준편차로 설정한다.

단계 2-3 : 단계 2-2를 만족하지 않으면 결합체 재고수준 탐색범위를 0부터 평균으로 설정한다.

단계 3 : 세대내 모든 잠재해에 대해 한계분석법을 활용하여 주어진 결합체 재고수준에서 기대 후불값을 최소로 하는 구성품 재고수준을 결정한다.

개선 연구 알고리즘을 이용하여 100번의 운용가

용도를 산출한 결과는 <표 9>와 같다.

〈표 9〉 개선 연구 알고리즘 결과

구 분	개선 연구 알고리즘	
운용가용도 (A _o)	평 균	0.9654
	표준편차	0.0008
	최대값	0.9672
	최소값	0.9640

개선 연구 알고리즘은 기존 재고수준 결정방법인 한계분석법을 활용하여 초기해를 구성하기 때문에 항상 기존 방법에 비해 더 나은 결과를 산출하는 것을 보장한다. 운용가용도를 살펴보면 기존 방법에 비해 평균적으로 약 1% 이상 향상된 결과를 산출하고 표준편차는 0.08%의 매우 작은 값으로 일관되게 향상된 결과를 산출하는 것을 볼 수 있다. 최소값 또한 기존방법에 비해 더 나은 결과로서, 연구에서 제시한 알고리즘을 1회만 수행하는 것으로도 향상된 결과를 산출할 수 있다.

3.2 무기체계 적용 알고리즘 효과분석

연구에서 제시한 알고리즘 성과측정을 위해 실제 무기체계에 적용하여 효과를 분석하였다. 실증분석할 무기체계는 3군이 공통으로 사용하는 항공장비로서 METRIC 모형과 유사한 수리부속 지원체계를 가지는 UH-60으로 선정하였다. UH-60 수리부속 지원체계는 4개 기지와 1개의 야전정비시설, 창정비시설로 이루어져 있다. UH-60 수리부속 수리는 <그림 3>과 같이 품목별 정해진 수리계단에 의해 수행되기 때문에 2단계 정비로 볼 수 있다.

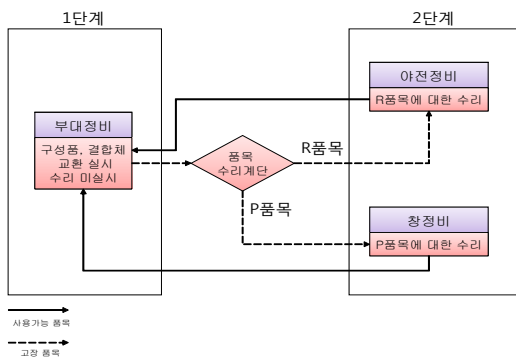
실증분석을 위한 수리부속 품목은 엔진과 동력부의 주요 구성품을 중심으로 수리를 통해 기능을 복구할 수 있는 복구성 품목으로 선정하였고 품목 계층구조는 <그림 4>와 같다.

연구모형 적용을 위해 사용된 모수는 육군의 장비정비 정보체계에 입력된 10년간의 수요 데이터를

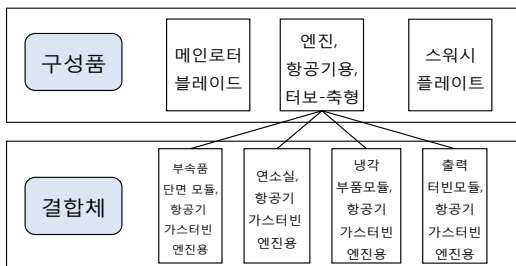
기준으로 평균 수요율을 계산하였고, 기지는 수리부속의 복구를 위한 시설, 장비, 인력의 제한으로 수리를 실시하지 않기 때문에 기지 수리율은 0을 적용하였다. 상위품목 복구를 위해 필요한 하위품목의 필요비율(α)은 각 품목별 고장수가 동일수준의 전체 고장수에서 차지하는 비율로 설정하였다. 주문 및 수송시간은 품목별 청구일자과 수령일자에 대한 세부 데이터 획득이 제한되어 OO항공대대 정비인원 인터뷰 결과를 바탕으로 평균 20일을 적용하였다. 창 수리시간은 OO항공대대의 1997년부터 2014년까지 29번의 창입고부터 출고까지 소요일수를 평균한 값을 활용하여 212일을 적용하였다. 재고배분을 위한 총자산은 군의 보급일수를 기준으로 한 인가저장품목의 재고자산을 활용하였다. 군은 수리부속의 과거 5년간 수요실적을 바탕으로 수요가 지속적으로 발생하거나 임무에 필수적인 품목을 인가저장품목으로 지정하여 재고로 보유한다. 인가저장품목은 일일수요량을 기준으로 보급수준 일수에 해당하는 만큼 보유하는데 해당 자산가치를 비용으로 환산한 151.82억을 가용예산으로 설정하였다.

설정된 모수를 바탕으로 연구에서 제시한 알고리즘을 적용하여 재고자산과 비용, 운용가용도를 산출한 결과는 <표 10>과 같다.

현재 육군의 재고수준은 주요 구성품을 충분히 확보하여 운용가용도를 높게 유지하려하기 때문에 기존 재고수준으로도 후불발생이 적어 98.49%의 운용가용도를 산출한다. 라그랑지 완화법이나 한계분석법을 활용하여 재고수준을 결정하면 운용가용도를 99.87%로 향상할 수 있다. 연구에서 제시한 한계분석법+유전알고리즘을 활용하는 재고수준 결정방법은 99.98%로 향상하면서도 약 2억 원을 절감할 수 있어 국방예산 활용에 더욱 효율적이다.



<그림 3> UH-60 수리부속 지원절차



<그림 4> UH-60 엔진과 동력부의 복구성 품목 계층구조

4. 결 론

본 연구는 다단계 다계층 재고모형의 재고수준을 결정하는 연구로서 기준에 제시된 3가지 재고수준 결정방법에 제한사항을 바탕으로 이를 효과적으

〈표 10〉 UH-60 재고수준 결정방법 결과

구 분	육군의 현 인가저장품목 재고수준				기존 재고수준 결정방법								개선 연구 알고리즘			
					라그랑지 완화법				한계분석법							
위치	창		기지		창		기지		창		기지		창		기지	
부속계층	구 성 품	결 합 체	구 성 품	결 합 체	구 성 품	결 합 체	구 성 품	결 합 체	구 성 품	결 합 체	구 성 품	결 합 체	구 성 품	결 합 체	구 성 품	결 합 체
재고수준	10	0	0	0	9	0	1	0	10	0	1	0	7	2	1	0
		0		0		0		0		1		0				
		0		0		0		0		0		3		0		
		2		0		0		0		4		0				
	1	/	0	/	1	/	1	/	2	/	0	/	2	/	1	/
	42	/	0	/	11	/	4	/	15	/	2	/	16	/	3	/
비용	151.82억				150.30억				150.08억				149.83억			
운용가용도	0.9849				0.9988				0.9987				0.9998			
최대값과 차이	1.483%				0.097%				0.101%				·			

로 개선할 수 있는 방법을 제시하였다. 라그랑지 완화법은 이산적 재고의 단위미분 적용으로 예산을 초과하는 해를 도출하기도 하여 엄격한 예산제약 조건을 갖는 경우 이를 만족하지 못하는 경우가 발생하였다. 탐욕 알고리즘을 활용한 한계분석법은 해의 탐색구간을 제한하여 더 나은 재고수준을 결정하지 못하는 단점이 있었다. 순수 유전알고리즘은 잠재해의 길이가 길고 해의 탐색범위가 넓은 다단계 다계층 재고모형의 경우 수렴을 위해서 많은 시간이 소요되기 때문에 제한된 시간에 적정재고수준을 결정하기에 제한되었다.

개선 연구 알고리즘은 결합체 재고수준이 기지 구성품 재보급선에 미치는 영향을 확률분포의 특성을 이용하여 분석하고 효과적인 해 탐색구간을 제시하여 동일한 예산 제약하에서 운용가용도를 향상할 수 있는 방법을 제시하였다. 개선 연구 알고리즘은 다음과 같은 성과가 있다. 첫째, 예산가용여부를 판단하여 결합체 탐색구간의 최대값과 최소값을 제시하여 유전알고리즘의 제한사항인 해의 수렴에 많은 시간이 소요되는 제한사항을 극복하였다. 둘째, 탐욕 알고리즘을 활용한 한계분석법의 경우 해의 탐색구간이 제한되었으나, 유전연산(교

차와 변이)을 통해 이러한 제한을 극복하였다. 수치예제와 실제 무기체계 적용결과 기존 재고수준 결정 방법보다 더 나은 운용가용도를 산출하는 재고수준을 결정할 수 있었다. 셋째, UH-60 실증분석 사례의 경우 운용가용도를 향상하면서도 약 2억 원의 예산을 절감할 수 있기 때문에 국방예산을 더욱 효율적으로 사용할 수 있는 유연성을 제시한다. 넷째, 표준편차가 매우 작아 일정한 결과를 산출하기 때문에 1번의 알고리즘 수행만으로 결과를 보장할 수 있다. 다섯째, 한계분석법으로 초기해를 구성하기 때문에 기존 재고수준 결정방법에 비해 항상 더 나은 결과를 보장할 수 있다.

또한 연구에서 제시한 대칭계산법은 기존 다단계 다계층 재고모형의 근사계산방법을 1·2차 모멘트의 관계식을 이용하여 정확하게 계산하면서 계산소요를 줄이는 방법을 제시하였다. 다단계 다계층 재고모형의 핵심논리인 기대 후불값 계산은 이론적으로 무한대까지의 계산을 필요로 하여 임의의 큰 수를 대입하여 근사값을 이용하는 방법으로 많은 계산을 필요로 하였다. 연구에서 제시한 대칭계산법은 재고수준(s)부터 무한대까지의 계산을 0부터 재고수준까지의 계산으로 변화시켜 계산소요시간

을 상당히 감소시키는 동시에 수학적 동치식을 이용하여 계산의 정확도를 높였다.

하지만 본 연구는 다음과 같은 제한사항이 있다. 첫째, 결합체 재고수준 결정을 위해 사용된 유전알고리즘은 다수의 해집합을 운용하기 때문에 결과 제시까지 기존 분석적 재고수준 결정방법에 비해 상대적으로 많은 시간이 소요된다. 기존 탐욕 알고리즘을 활용한 한계분석법이나 라그랑지 완화법의 경우 빠르게 재고수준을 결정할 수 있다. 하지만 연구에서 제시한 알고리즘은 유전알고리즘을 활용하기 때문에 (종료 세대수×잡재해 수)만큼 계산소요가 증가하기 때문에 기존 방법에 비해 상대적으로 많은 시간이 소요된다. 차후에 다단계 다계층 재고모형에서 계산 소요를 줄일 수 있는 유전파라미터 설정에 대한 연구가 이루어진다면 빠르게 최적 재고수준을 도출할 수 있을 것이다. 둘째, 다단계 다계층 재고모형에 일반적 사용을 위해 필요한 최적 유전파라미터의 설정이다. 연구에서 제시한 알고리즘이 실질적으로 활용되기 위해서는 다양한 다단계 재고모형에 적용될 수 있는 보편적인 유전파라미터의 제시가 필요하다. 본 연구의 유전파라미터는 관련 선행연구와 참고서지를 바탕으로 설정되었다. 따라서 실제 다양한 무기체계에 대한 야전데이터를 바탕으로 많은 실험을 통해 적절한 유전파라미터를 설정하는 연구가 필요하다. 셋째, 연구 알고리즘의 논리를 적용하기 위해서는 Vari-METRIC의 가정사항이 여전히 유효하다. Vari-METRIC에서 유효한 포아송 고장과정, 전환보급 및 동류전용의 금지, 수리능력의 무제한, 고정적인 수리시간 및 주문/수송시간과 같은 가정사항을 완화하는 연구가 장차 진행된다면 좀 더 현실에 가까운 결과를 산출할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 정일한, 윤원영, “가용도 제약하에 MIME 시스템에서 유전알고리즘과 시뮬레이션을 이용한 수리부속 최적화”, 『한국품질경영학회보』, 제36권, 제2호(2008), pp.9-19.
- [2] 정일한, 윤원영, 김호균, “가용도 제약하에 시뮬레이션과 메타 휴리스틱을 이용한 MIME 시스템의 수리수준 및 수리부속 할당 동시 최적화”, 『경영과학』, 제26권, 제1호(2009), pp.209-223.
- [3] 진강규, 『유전알고리즘과 그 응용』, 교우사, 2002.
- [4] Fox, B.L. and Landi, “Searching for the Multiplier in One-Constraint Optimization Problems,” *Operations Research*, Vol.18, No. 2(1970), pp.253-262.
- [5] Graves, S.C., “A Multi-Echelon Inventory Model for a Repairable Item with One-for-One Replenishment,” *Management Science*, Vol.31, No.10(1985), pp.1247-1256.
- [6] Muckstadt, J.A., “A Model for a Multi-Item, Multi-Echelon, Multi-Indenture Inventory System,” *Management Science*, Vol.20(1973), pp.472-481.
- [7] Muckstadt, J.A., *Analysis and Algorithms for Service Parts Supply Chains*, NewYork : Springer, 2005.
- [8] Nowicki, D.R., W.S. Randall, and J.E. Ramirez-Marquez, “Improving the Computational Efficiency of Metric-Based Spares Algorithms,” *European Journal of Operational Research*, Vol.219, No.2(2012), pp.324-334.
- [9] O'Malley, T., “The Aircraft Availability Model : Conceptual Framework and Mathematics,” *Technical Report AF201*, Logistics Management Institute, Washington, D.C., 1983.
- [10] Ross, S.M., *Introduction to Probability Models*, Academic Press, 2006.
- [11] Sherbrooke, C.C., “METRIC : A Multi-Echelon Technique for Recoverable Item Control,” *Operations Research*, Vol.16, No.1(1968), pp.122-141.

- [12] Sherbrooke, C.C., *Optimal Inventory Modeling of Systems*, Massachusetts : Kluwer Academic Publishers, 2004.
- [13] Slay, F.M., "VARI-METRIC : An Approach to Modelling Multi-Echelon Resupply When the Demand Process is Poisson with a Gamma Prior," *Logistics Management Institute*, Washington, DC Report AF301-3, 1984.
- [14] Slay, F.M. et al., "Optimizing Spares Support : The Aircraft Sustainability Model," *Technical Report AF501MR*, Logistics Management Institute, Washington, D.C., 1996.