▩ 연구논문

자금제약하에서의 소모성 동시조달부품의 최적구매량 결정

- Optimal Provisioning Quantity Determination of Consumable Concurrent Spare Part under the Fund Limitation -

오 근 태*
Oh, Geun Tae
차 상 원**
Cha, Sang Won

Abstract

In this paper, the consumable concurrent spare parts requirement determination problem of newly procured equipment systems is considered. The problem is formulated as the operational availability maximization problem with any given fund limitation. The operational availability concept in spare parts requirement problem is defined. Assuming that the failure of a part follows a Poisson process and part failure rate is constant in spite of the decrease of number of equipments during operational period, an analytical method is developed to obtain spare part requirements using the generalized Lagrange multipliers method. The numerical examples show that analytic solution is mostly equal to the realistic solution obtained from simulation regardless of assumptions about part failure rate. It is expected that the analytical method developed in this paper can be effectively used to make a budget for provisioning the concurrent spare parts of newly procured equipment system.

1. 서 론

학교나 정부기관, 기업 또는 군에서 장비를 일괄 구입할 경우 납품업체 측에서는 원가를 낮추기 위해 단위부품들을 분해하여 교체할 수 없도록 단위부품들을 묶어서 일체형(subassembly)으로 제작하여 납품하는 경우가 많기 때문에 일체형 부품안에 있는 단위부품 하나가 고장나도 일체형 부품 전체를 교환해야 되며 불과 1년만 지나도 해당부품이 없어서 A/S를 받기 어렵거나 신형 일체형 부품이 출시되더라도 장착이 불가능한 경우가 빈번히 발생한다.

* 수원대학교 공과대학 산업정보공학과
** 수원대학교 공과대학 기계공학과

이런 경우를 대비하여 장비의 정해진 운용기간 동안 원하는 수준으로 장비운용가용도를 유지하기 위해서는 장비 구입시에 필요한 부품들을 예비부품으로 동시조달할 수밖에 없다.

또한 해외 고가 장비를 도입할 경우에는 처음 몇 년 동안은 부품을 국내 생산할 수 없거나 수리가 불가능한 경우가 많기 때문에 부품의 국내 생산이 가능하거나 수리 능력을 확보할 때까지의 일정 기간 동안 부품의 재보급 없이 장비를 정상적으로 운용하기 위하여 신규 장비를 도입할 때 장비와 함께 예비부속품을 구입하게 된다. 특히 군에서는 이를 동시조달부품(Concurrent Spare Part : CSP)이라 하며, 처음 배치되는 체계/장비에 대하여 목표전투준비태세 보장 및 원활하고 효율적인 운용/유지를 위해 CSP 운용기간을 설정하고 일정 수량의 CSP를 획득하여 장비 배치와 동시에 보급하도록 규정하고 있다.

그러나, 이런 예비부품 도입하는데 자주 제기되는 문제는 장비체계의 운용가용도를 높이기 위해 부품구매량을 불필요하게 과다 책정함으로써 구입비용이 지나치게 커지고 운용기간이 끝난 후에도 상당히 많은 수량의 재고가 남게 되어 경제적인 손실을 초래하는 경우가 빈번하게 발생한다는 점이다. 이런 경우에는 운용기간이 상당히 경과한 뒤에도 소모되지 않고 계속 재고로 남게 되므로 경제적인 손실외에도 보급관리상에 많은 어려움이 있게 된다.

이 분야에 관련된 연구는 [1], [2], [3]와 [4]를 대표적으로 들 수 있다. [1]의 경우는 장비 한 대를 도입할 경우 소모성 예비부품 구입량을 구하는 방법을 제시하였고, [2], [3]의 경우는 동일 장비를 다수 도입할 경우 부품구매비용의 상한이 주어져 있을 때 가용도를 최대로 하는 예비부품 구입량을 구하는 방법을 다루었다. [2]와 [3]에서는 부품을 수리하여 재사용하는 경우를 분석하였다. 특히 [2]에서는 모든 정보, 예를 들면 echelon, indenture, $MTTR$(Mean Time to Repair: 평균수리시간), $MTBF$, 수리능력, 단가, 부품별 중요도 등이 제공되었을 때 사용할 수 있는 모델을 다루었다. [4]에서는 동일 장비를 다수 도입할 경우 장비운용가용도에 대한 제약이 있을 때 투자비용을 최소화하는 경우를 분석하였다. 모든 경우에 부품 고장의 발생은 Poisson process를 따르며 장비의 운용기간 동안 각 부품의 고장률이 일정하다고 가정하였다.

이에 본 논문은 소모성부품을 대상으로 장비 구입에 투자되는 비용이 제한되어있다는 전제하에서 예비부품운용기간 동안 장비운용가용도를 최대로 하는 최적소요량을 산출할 수 있는 하나의 모델을 제시하고자 한다.

2. 운용가용도의 정의

일정기간 예비부품을 운용하는 동안은 재고가 고갈된 부품의 재보급이 허용되지 않는다. 따라서, 예비부품들이 소모성부품들로 구성되었을 경우는 어떤 부품이든지 고장시에는 교환(replacement)을 해야 하는데 이때 사용 가능한 상태의 예비부품이 없다면 그 장비는 그 부품으로 인해 가동이 중지된다. 이 경우 예비부품운용기간 만료시까지 장비의 가동이 중지되며, 시간이 흐를수록 정상가동 상태에 있는 장비의 수는 감소하게 된다.

본 논문에서는 일정기간 동안의 장비가동률을 고려해야 하기 때문에 "어느 순간에 정상상태에 있는 장비의 수/정상상태에 있어야 하는 장비의 수"로 정의되는 장비의 순간가동률 개념을 확대하여 "어느 기간 동안에 정상상태에 있는 장비 · 시간(machine · hour)/어느 기간 동안 정상상태에 있어야 하는 장비 · 시간(machine · hour)"을 장비가동률로 정의한다.

이러한 이유로 본 논문에서는 운용가용도를

$$E\left[\frac{\text{예비부품운용기간 동안 정상가동된 장비} \cdot \text{시간}}{\text{예비부품운용기간 동안 모든 장비가 정상가동되었을 때의 장비} \cdot \text{시간}}\right]$$

으로 정의한다.

3. 기본 가정 및 기호의 정의

본 논문에서 기본적으로 전제하고 있는 가정은 다음과 같다.

- 부품 고장의 발생은 Poisson process를 따른다.
- 고장의 발생은 부품 상호간에 독립적으로 발생하고, 부품은 소모성이므로 고장나면 수리하지 않고 교체하며 교체시간은 무시한다.
- 예비부품운용기간 동안은 부품을 재보급하지 못한다. 따라서, 고장난 부품의 교체용 재고가 결손되면 장비는 가동이 중지된다. 예비부품운용기간 중 고갈된 부품은 예비부품운용기간이 종료되는 시점에서 모두 보충된다
- 장비는 예비부품운용기간 시작시에 모두 배치된다.
- 장비가 가동중지 상태로 될 때 하나의 장비에 둘 이상의 결손 부품은 발생하지 않는다. 즉, 장비의 가동중지는 단 하나의 부품결손으로 발생한다.

이후 본 논문에서 사용될 기호는 다음과 같다.

N : 장비의 총 수.
G : 부품종류의 총 수.
S_i : 부품 i의 구입량으로 결정해야 할 값.
S : $(S_1,\ S_2, \cdots,\ S_G)$를 의미.
c_i : 부품 i의 단가.
T : 예비부품운용기간.
t : $(0,\ T]$ 기간 동안 부품고장이 발생되는 시점.
λ_i : 부품 i의 단위시간당 고장률.
B : 부품구매자금 ($B \geq \min\{c_j\}$).
$Y(T)$: 예비부품운용기간 동안 가동 중단된 평균장비 · 시간(machine · hour).
$X_i(t)$: t 시점까지 고장난 부품 i의 수를 나타내는 변수, 평균 $\lambda_i t$의 Poisson 분포를 따른다고 가정.

$$p_i(x,\ t) = P\left\{\sum_{i=0}^{N} X_i(t) = x\right\} = \frac{e^{-N\lambda_i t}(N\lambda_i t)^x}{x!}.$$

$$H_i(x,\ t) = P\left\{\sum_{i=0}^{N} X_i(t) \geq x\right\}.$$

4. 모형의 정립

부품구매자금을 B라 할 때 목표운용가용도를 최대화하는 최적 S를 구하기 위한 모형을 정립하면 다음과 같다.

$$\text{maximize} \quad E\left[\frac{\text{장비운용기간 동안 정상가동된 장비·시간}}{\text{장비운용기간 동안 모든 장비가 정상가동되었을 때의 장비·시간}}\right]$$

$$\text{subject to} \quad \sum c_i S_i \leq B \tag{1}$$

단, S_i는 음이 아닌 정수.

5. 최적 S의 유도

임의의 t 시점에 부품 부족으로 인하여 가동 중단된 상태에 있는 장비의 수는 $\sum_i$ {임의의 t 시점에 부품 i의 부족으로 인하여 가동 중단된 상태에 있는 장비의 수}이며, 다시 표현하면 $\sum_i$ { 임의의 t 시점에 부품 i의 부족량}이 된다. 즉, $\sum_i \max\ \{X_i(t)-S_i,\ 0\}$가 된다.

이를 이용하여 "예비부품운용기간 동안 부품 부족으로 장비를 사용하지 못한 장비·시간"의 기대치, $Y(T)$를 구할 수 있으며, 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
Y(T) &= E[\text{ 장비운용기간 동안 가동 중단된 장비·시간}] \\
&= \sum_{k=0}^{N} k\{(0,\ T] \text{ 동안 } k\text{개의 장비가 고장난 상태에 있는 시간의 기대치}\} \\
&= \sum_{k=0}^{N} k \int_0^T P\left\{ \sum_{i=1}^{G} \max\{X_i(t)-S_i, 0\} = k \right\} dt \\
&= \int_0^T \left[\sum_{k=0}^{N} kP\left\{ \sum_{i=1}^{G} \max\{X_i(t)-S_i, 0\} = k \right\}\right] dt \\
&= \int_0^T E[\text{임의의 } t \text{ 시점에 가동 중단된 장비의 수}]dt \\
&= \int_0^T \sum_{i=1}^{G} E[\text{임의의 } t \text{ 시점에 부품 } i\text{의 부족에 의해 가동 중단된 장비의 수}]dt.
\end{aligned}$$

부품 i의 예비부품이 S_i일 때 임의의 t 시점까지 누적하여 k개의 부품이 고장날 확률을 $\phi_i(k,\ S_i,\ t)$ 라고 하면

$$Y(T) = \int_0^T \sum_{i=1}^{G} \sum_{k=S_i+1}^{N+S_i} (k-S_i)\,\phi_i(k, S_i,\ t)dt$$

이 된다.

한편 모형 (1)의 목적함수의 분모인 "장비운용기간 동안 모든 장비가 정상가동되었을 때의 장비·시간"은 $N \cdot T$임을 쉽게 알 수 있으므로 $Y(T)$를 이용하여 모형 (1)의 목적함수를 표현하면

$$\text{Maximize} \quad \frac{NT - Y(T)}{NT}$$

이고, 여기서 N과 T는 상수이므로 다시

$$\text{Minimize} \quad Y(T) \tag{2}$$

로 고칠 수 있다.

따라서 모형 (1)은 식 (2)가 목적함수이고 제약조건을 하나 가지고 있는 분리가능한 비선형 최적화 문제로 정리되며 라그랑즈 승수법(Lagrange Multiplier Method)을 사용하여 최적해를 찾을 수 있는 계산절차를 유도할 수 있다.

여기서 문제점은 고장이 발생됨에 따라 장비의 수가 감소되기 때문에 이를 반영한 정확한 $\phi_i(k, S_i, t)$를 유도하기 어렵다는 점이다. 따라서, 예비부품운용기간 동안 장비의 수가 N으로 일정하다고 가정하고 $\phi_i(k, S_i, t)$를 다음과 같이 개략적으로 표현한다.

$$\phi_i(k, S_i, t) \approx \begin{cases} p_i(k, t), & 0 \le k \le N+S_i-1, \\ 1 - \sum_{k=0}^{N+S_i-1} p_i(k, t), & k = N+S_i . \end{cases}$$

이를 이용하면

$$Y(T) = \int_0^T \sum_{i=1}^{G} \left\{ N - N\sum_{k=0}^{S_i} p_i(k, t) - \sum_{k=S_i+1}^{N+S_i-1} (N-k+S_i)\, p_i(k, t) \right\} dt \tag{3}$$

가 된다.

식 (3)을 이용하여 최적해를 탐색했을 경우 $\phi_i(k, S_i, t)$를 정확한 식이 아니라 근사식으로 가정했기 때문에 도출된 해가 실제 최적해라고 할 수는 없다. 그러나 장비의 수가 줄더라도 부품별 고장발생비율은 $\lambda_i / \sum_{j=1}^{G} \lambda_j$로 항상 일정하기 때문에 식 (3)을 최소화하는 해는 모형 (1)의 목적함수를 최대화하는 실제 최적해에 같거나 근사할 가능성이 크다고 할 수 있다. 이는 6장의 수치예에서 실제 상황을 가정한 시뮬레이션 결과와 비교해 봄으로써 확인할 수 있다.

모형 (1)을 라그랑즈 승수기법으로 표현하면

$$\begin{aligned} \text{Minimize} \quad & L(S; \theta) \\ = \; & \sum_{i=1}^{G} \int_0^T \left\{ N - N\sum_{k=0}^{S_i} p_i(k, t) - \sum_{k=S_i+1}^{N-S_i-1} (N-k+S_i)\, p_i(k, t) \right\} dt \\ & - \theta\left(B - \sum_{i=1}^{G} c_i S_i \right) \\ = \; & \sum_{i=1}^{G} \left[\int_0^T \left\{ N - N\sum_{k=0}^{S_i} p_i(k, t) - \sum_{k=S_i+1}^{N+S_i-1} (N-k+S_i)\, p_i(k, t) \right\} dt + \theta c_i S_i \right] \\ & - \theta B \end{aligned} \tag{4}$$

가 된다. $L_i(S_i; \theta)$를 $\int_0^T \left\{ N - N\sum_{k=0}^{S_i} p_i(k, t) - \sum_{k=S_i+1}^{N+S_i-1} (N-k+S_i)\, p_i(k, t) \right\} dt + \theta c_i S_i$ 라고 하자. 그러면 식 (4)는

$$\text{Minimize} \quad L(S; \theta) = \sum_{i=1}^{G} L_i(S_i; \theta) - \theta B$$

로 표현될 수 있다. 그러므로, $L(S; \theta)$의 최적 S는 각 $L_i(S_i; \theta)$를 최적화시키는 S_i의 집합으로 이루어진다.

θ가 주어져 있을 때 최적 S_i를 찾기 위해 $\triangle L_i(S_i;\theta)$를 $L_i(S_i+1;\theta)-L_i(S_i;\theta)$ 라고 하면

$$\begin{aligned}\triangle L_i(S_i;\theta) &= \theta c_i - \int_0^T \sum_{k=S_i+1}^{N+S_i} p_i(k,t)\,dt \\ &= \theta c_i - \sum_{k=S_i+1}^{N+S_i} \frac{e^{-N\lambda_i T}}{N\lambda_i} \sum_{j=k+1}^{\infty} \frac{(N\lambda_i T)^j}{j!} \\ &= \theta c_i - \frac{1}{N\lambda_i} \sum_{k=S_i+1}^{N+S_i} H_i(k+1,T)\end{aligned}$$

이고,

$$\begin{aligned}\triangle L_i(S_i+1;\theta)-\triangle L_i(S_i;\theta) &= \theta c_i - \frac{1}{N\lambda_i}\sum_{k=S_i+2}^{N+S_i+1} H_i(k+1,T) \\ &\quad -\left\{\theta c_i - \frac{1}{N\lambda_i}\sum_{k=S_i+1}^{N+S_i} H_i(k+1,T)\right\} \\ &= \frac{1}{N\lambda_i}\sum_{k=S_i+2}^{N+S_i+1} \frac{e^{-N\lambda_i t}(N\lambda_i t)^k}{k!} \\ &\geq 0\end{aligned}$$

이므로 $L_i(S_i;\theta)$는 S_i에 대해 convex이다. 그러므로 최적 S_i는

$$\begin{cases}\triangle L_i(S_i-1;\theta)\leq 0, \\ \triangle L_i(S_i;\theta)\geq 0,\end{cases} \tag{5}$$

과 가용도조건

$$\sum_{i=0}^{G} c_i S_i \leq B \tag{6}$$

를 동시에 만족하는 최소의 S_i 값이다.

관계식 (5)와 (6)의 조건을 만족하는 최적의 S_i를 $S_i^*(\theta)$라 할 때, $S_i^*(\theta)$와 θ와의 관계를 표현하면

$$\frac{\sum_{k=S_i^*(\theta)+1}^{N+S_i^*(\theta)} H_i(k+1,T)}{Nc_i\lambda_i} \leq \theta \leq \frac{\sum_{k=S_i^*(\theta)}^{N+S_i^*(\theta)-1} H_i(k+1,T)}{Nc_i\lambda_i}$$

이 된다. 만일 $S_i^*(\theta)$는 위의 가용도조건 (6)을 무시하면 품목 i에 대해

$$\begin{cases}\text{i)}\ \theta \geq \max\left\{\dfrac{\sum_{k=1}^{N} H_j(k+1,T)}{Nc_j\lambda_j}\right\} \text{일 때} \\ \qquad S_i^*(\theta)=0, \\ \text{ii)}\ 0\leq\theta<\max\left\{\dfrac{\sum_{k=1}^{N} H_j(k+1,T)}{Nc_j\lambda_j}\right\} \text{일 때} \\ \qquad S_i^*(\theta)\geq 0.\end{cases} \tag{7}$$

여기서, (7)의 i)은 모든 S_i가 0이라는 뜻인데 실제로는 부품구매자금이 가장 값이 싼 부품의 단가 이상이기 때문에 적어도 부품 한 개는 반드시 구입하므로 무시될 수 있는 조건이다.

여기서 $V_i(S_i)$를 $c_i S_i$라 하고, $V(S)$를 $\sum_{i=1}^{G} V_i(S_i)$라 하자. $V_i(S_i)$의 특성과 $S_i^*(\theta)$와 θ와의 관계로부터 $V(S)$를 크게 하기 위해서는 각 $S_i^*(\theta)$를 크게 하고, 각 $S_i^*(\theta)$를 크게 하기 위해서는 θ를 작게 하여야 함을 알 수 있다.

이상의 여러 특성들로부터 최적 S_i를 다음과 같은 방법을 이용하여 구할 수 있다.

Step 1 : $\theta_M = \min\left\{ \dfrac{\sum_{k=1}^{N} H_j(k+1, T)}{Nc_j\lambda_j} \right\}$로 둔다.

Step 2 : $\theta = \theta_M$으로 하여 식 (5)를 만족하는 최소의 S_i $(i = 1, 2, \cdots, G)$를 구한다.

Step 3 : $\sum_{i=1}^{G} V_i(S_i) \le B$이면 Step 4로 가고, 그렇지 않으면 Step 10으로 간다.

Step 4 : θ의 초기 하한(θ_L)과 상한(θ_U)을 다음과 같이 적용한다.

$$\theta_L = 0 \ , \qquad \theta_U = \theta_M \ .$$

Step 5 : $k = 1$로 둔다.

Step 6 : $\theta_k = \dfrac{\theta_L + \theta_U}{2}$로 하여 식 (5)를 만족하는 최소의 S_i $(i = 1, 2, \cdots, G)$를 구한다.

Step 7 : 현재의 θ_k에 대한 $V(S)$를 $V(S;\theta_k)$ 라 할 때,

① $V(S;\theta_k) = B$이면 계산을 중지하고 이때의 S_i가 최적 S_i가 된다.

② $| B - V(S;\theta_k) |$가 주어진 허용범위보다 작으면 계산을 중지하고 Step 11로 간다.

③ 그렇지 않으면 Step 8을 수행한다.

Step 8 : $V(S;\theta_k) < B$이면 $\theta_U = \theta_k$로 놓고, $V(S;\theta_k) > B$이면 $\theta_L = \theta_k$로 놓는다.

Step 9 : $k = k+1$로 하고 Step 6을 수행한다.

Step 10 : θ의 초기 하한(θ_L)과 상한(θ_U)을 다음과 같이 적용하고 Step 5로 간다.

$$\theta_L = \theta_M, \qquad \theta_U = \max\left\{ \frac{\sum_{k=1}^{N} H_j(k+1, T)}{Nc_j\lambda_j} \right\}.$$

Step 11 : $B - V(S;\theta_k) > 0$이면 그 차이만큼 추가 구매하고, 반대로 $B - V(S;\theta_k) < 0$이면 그 차이만큼 적게 구매하여 $V(S;\theta_k) = B$가 되게 해주는 방법들을 찾고 그 중 가용도를 가장 높게 하는 해가 최적해이다.

여기서 Step 11이 필요한 이유는 θ값은 실수이지만 S_i값들은 정수여서 정확히 $V(S;\theta_k) = B$가 되기 어렵기 때문이다.

6. 수치예

예비부품운용기간이 3000시간이고, 구성 부품의 수가 15개인 장비를 10대 도입하는 경우 고장률, 단가의 자료가 <표 1>과 같이 주어졌을 때 예비부품 구매예산에 따른 부품별 구매량을 분석하였다.

<표 1> 부품별 고장률, 단가

부품번호 / 자료	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
고장률 λ_i	0.0008	0.0016	0.0024	0.0008	0.0016	0.0024	0.0008	0.0016	0.0024	0.0008	0.0016	0.0024	0.0008	0.0016	0.0024
단가 c_i	5	5	5	10	10	10	15	15	15	20	20	20	25	25	25

<표 2>, <표 3>, <표 4>는 각각 부품구매자금이 12000, 11500, 11000일 때 5장에 주어진 알고리듬으로 최적해를 구하는 과정과 그렇게 도출한 해가 시뮬레이션으로도 최적해가 됨을 보여준다. <표 2>는 구매예산이 12000이고 주어진 허용범위가 10으로 주어졌을 때의 결과이다. Step 7에서 구한 구입량의 합이 11995가 되어서 $B - V(S;\theta_k) = 5$이므로 $|B - V(S;\theta_k)|$가 주어진 허용범위 10보다 작으면서 $B - V(S;\theta_k) > 0$인 경우가 되어 Step 11을 거쳐서 최적해를 찾는 과정을 보여준다. Step 11에서는 Step 7의 결과로부터 5만큼만 더 추가구매하면 되므로 단가가 5인 제품만 1개씩 더 구매하는 경우만 비교해 보면 된다. 당연히 고장률이 제일 높은 부품 3을 1개 더 구매하는 것이 "알고리듬 가용도"(장비운용기간 동안 장비의 수가 N으로 일정하다고 가정하고 구한 모형 1의 목적함수값)가 0.9299로 최적이 됨을 보여준다. 이렇게 구매했을 때 실제 상황을 가정하여 시뮬레이션으로 가용도를 구해보면 "시뮬레이션 가용도"가 0.9547이 나온다. 알고리듬으로 구한 최적해가 실제 상황에서도 최적해가 될 가능성이 높다는 것을 보이기 위해 부품구매비용 12000을 만족하는 다른 해들에 대해서도 "알고리듬 가용도"와 "시뮬레이션 가용도"를 열거하고 비교하였다. "알고리듬 가용도"가 같은데 "시뮬레이션 가용도"가 틀리거나 "알고리듬 가용도"는 낮은데 "시뮬레이션 가용도"가 높은 경우도 있지만 전체적으로는 서로 비례하는 경향이 강하고 알고리듬으로 계산해낸 최적해는 시뮬레이션에서도 최적해임을 알 수 있다.

<표 3>은 구매예산이 11500일 때는 Step 7에서 $B - V(S;\theta_k) = -5$이고, $B - V(S;\theta_k) < 0$인 경우여서 5만큼만 적게 구매하면 되므로 Step 7의 결과로부터 단가가 5인 제품만 1개씩 빼서 구매하는 경우만 비교해 보면 된다. 구매예산이 11000인 경우인 <표 4>는 Step 7에서 $V(S;\theta_k) = B$가 되어 Step 11을 거치지 않고 계산을 중지하는 예를 보여준다. <표 3>과 <표 4>의 경우도 "알고리듬 가용도"를 최고로 하는 해가 시뮬레이션에서도 가용도를 최고로 해주는 해임을 알 수 있다. 따라서 알고리듬으로 구한 해를 최적해로 사용하더라도 실용적으로 아주 좋은 결과를 준다고 볼 수 있다.

다음으로 부품구매자금의 변화에 따른 구매량의 변화와 특성들이 <표 5>에 주어져 있다. 계산 결과 예상대로 부품구매자금이 클수록 시뮬레이션 가용도가 증가하고, 고장률 λ_i의 값이 크고 단가 c_i가 싼 부품일수록 구입량이 많아짐을 알 수 있다. c_i가 5인 1, 2, 3번 부품을 보면 λ_i의 크기에 따라 1, 2, 3번 부품 순으로 구입량이 많게 나타났으며, λ_i가 0.0016으로 같은 2, 5, 8, 11, 14번 부품들의 경우에 c_i의 크기가 커짐에 따라 2, 5, 8, 11, 14번 부품 순으로

<표 2> 부품구매자금이 12000일 때의 알고리즘 가용도와 시뮬레이션 가용도 비교

탐색 \ 부품번호		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	총비용	알고리즘 가용도	시뮬레이션 가용도
Step 7 결과		32	58	83	30	56	80	29	54	78	29	53	77	28	52	75	11995	0.9294	0.9544
Step 11 수행	1	33	58	83	30	56	80	29	54	78	29	53	77	28	52	75	12000	0.9298	0.9545
	2	32	59	83	30	56	80	29	54	78	29	53	77	28	52	75	12000	0.9298	0.9546
	3	32	58	84	30	56	80	29	54	78	29	53	77	28	52	75	12000	0.9299	0.9547
비교	1	32	58	82	30	56	81	29	54	78	29	53	77	28	52	75	12000	0.9298	0.9545
	2	32	57	83	30	56	81	29	54	78	29	53	77	28	52	75	12000	0.9298	0.9545
	3	31	58	83	30	56	81	29	54	78	29	53	77	28	52	75	12000	0.9298	0.9545
	4	31	57	84	30	56	81	29	54	78	29	53	77	28	52	75	12000	0.9297	0.9544
	5	31	59	82	30	56	81	29	54	78	29	53	77	28	52	75	12000	0.9296	0.9545
	6	33	57	82	30	56	81	29	54	78	29	53	77	28	52	75	12000	0.9296	0.9544
	7	32	58	82	30	57	80	29	54	78	29	53	77	28	52	75	12000	0.9296	0.9545
	8	32	57	83	30	57	80	29	54	78	29	53	77	28	52	75	12000	0.9296	0.9545
	9	31	58	83	30	57	80	29	54	78	29	53	77	28	52	75	12000	0.9296	0.9545
	10	31	57	84	30	57	80	29	54	78	29	53	77	28	52	75	12000	0.9295	0.9544
	11	31	59	82	30	57	80	29	54	78	29	53	77	28	52	75	12000	0.9295	0.9544
	12	33	57	82	30	57	80	29	54	78	29	53	77	28	52	75	12000	0.9294	0.9544
	13	32	58	82	31	56	80	29	54	78	29	53	77	28	52	75	12000	0.9297	0.9545
	14	32	57	83	31	56	80	29	54	78	29	53	77	28	52	75	12000	0.9297	0.9545
	15	31	58	83	31	56	80	29	54	78	29	53	77	28	52	75	12000	0.9297	0.9545
	16	31	57	84	31	56	80	29	54	78	29	53	77	28	52	75	12000	0.9296	0.9544
	17	31	59	82	31	56	80	29	54	78	29	53	77	28	52	75	12000	0.9296	0.9544
	18	33	57	82	31	56	80	29	54	78	29	53	77	28	52	75	12000	0.9295	0.9544
	19	32	58	81	30	56	80	29	54	79	29	53	77	28	52	75	12000	0.9295	0.9544
	20	32	56	83	30	56	80	29	54	79	29	53	77	28	52	75	12000	0.9295	0.9543
	21	30	58	83	30	56	80	29	54	79	29	53	77	28	52	75	12000	0.9294	0.9543
	22	32	57	82	30	56	80	29	54	79	29	53	77	28	52	75	12000	0.9296	0.9545
	23	31	58	82	30	56	80	29	54	79	29	53	77	28	52	75	12000	0.9296	0.9545
	24	31	57	83	30	56	80	29	54	79	29	53	77	28	52	75	12000	0.9297	0.9544
	25	32	58	83	30	56	79	29	54	79	29	53	77	28	52	75	12000	0.9297	0.9545
	26	32	58	83	30	55	80	29	54	79	29	53	77	28	52	75	12000	0.9298	0.9544
	27	32	58	83	29	56	80	29	54	79	29	53	77	28	52	75	12000	0.9295	0.9544

구입량이 적게 나타났다. 또한 전체적으로 부품구매자금이 작아짐에 따라 각 부품별로는 물론 각 부품간에도 구입량의 차이가 작아지는 것도 보여준다.

<표 3> 부품구매자금이 11500일 때의 알고리듬 가용도와 시뮬레이션 가용도 비교

부품번호 / 탐색		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	총비용	알고리즘 가용도	시뮬레이션 가용도
Step 7 결과		31	56	81	29	54	78	28	52	76	27	51	74	26	49	72	11505	0.8728	0.9290
Step 11 수행	1	30	56	81	29	54	78	28	52	76	27	51	74	26	49	72	11500	0.8720	0.9287
	2	31	55	81	29	54	78	28	52	76	27	51	74	26	49	72	11500	0.8719	0.9287
	3	31	56	80	29	54	78	28	52	76	27	51	74	26	49	72	11500	0.8719	0.9287
비교	1	30	56	81	28	54	79	28	52	76	27	51	74	26	49	72	11500	0.8715	0.9284
	2	31	55	81	28	54	79	28	52	76	27	51	74	26	49	72	11500	0.8714	0.9284
	3	31	56	80	28	54	79	28	52	76	27	51	74	26	49	72	11500	0.8715	0.9284
	4	30	55	80	29	54	79	28	52	76	27	51	74	26	49	72	11500	0.8715	0.9284
	5	30	56	81	29	53	79	28	52	76	27	51	74	26	49	72	11500	0.8717	0.9285
	6	31	55	81	29	53	79	28	52	76	27	51	74	26	49	72	11500	0.8716	0.9284
	7	31	56	80	29	53	79	28	52	76	27	51	74	26	49	72	11500	0.8717	0.9285
	8	30	56	81	29	54	78	27	52	77	27	51	74	26	49	72	11500	0.8713	0.9284
	9	31	55	81	29	54	78	27	52	77	27	51	74	26	49	72	11500	0.8712	0.9284
	10	31	56	80	29	54	78	27	52	77	27	51	74	26	49	72	11500	0.8713	0.9285

<표 4> 부품구매자금이 11000일 때의 알고리듬 가용도와 시뮬레이션 가용도 비교

부품번호 / 탐색		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	총비용	알고리즘 가용도	시뮬레이션 가용도
Step 7 결과		30	55	79	28	52	75	27	50	73	26	48	70	25	47	68	11000	0.7799	0.8965
비교	1	30	54	80	28	52	75	27	50	73	26	48	70	25	47	68	11000	0.7798	0.8964
	2	29	55	80	28	52	75	27	50	73	26	48	70	25	47	68	11000	0.7798	0.8963
	3	30	56	78	28	52	75	27	50	73	26	48	70	25	47	68	11000	0.7796	0.8962
	4	29	56	79	28	52	75	27	50	73	26	48	70	25	47	68	11000	0.7796	0.8963
	5	31	55	78	28	52	75	27	50	73	26	48	70	25	47	68	11000	0.7795	0.8964
	6	31	54	79	28	52	75	27	50	73	26	48	70	25	47	68	11000	0.7795	0.8964
	7	30	55	79	28	51	76	27	50	73	26	48	70	25	47	68	11000	0.7797	0.8963
	8	30	55	79	27	52	76	27	50	73	26	48	70	25	47	68	11000	0.7796	0.8963
	9	30	55	77	28	52	76	27	50	73	26	48	70	25	47	68	11000	0.7793	0.8964
	10	30	53	79	28	52	76	27	50	73	26	48	70	25	47	68	11000	0.7794	0.8963
	11	28	55	79	28	52	76	27	50	73	26	48	70	25	47	68	11000	0.7791	0.8962
	12	30	54	78	28	52	76	27	50	73	26	48	70	25	47	68	11000	0.7796	0.8964
	13	29	55	78	28	52	76	27	50	73	26	48	70	25	47	68	11000	0.7796	0.8964
	14	29	54	79	28	52	76	27	50	73	26	48	70	25	47	68	11000	0.7797	0.8964
	15	29	55	79	27	52	76	27	50	73	26	48	70	25	47	68	11000	0.7792	0.8962

한편 부품구매자금이 13000인 경우 c_i가 10일 때 λ_i가 0.0008, 0.0016, 0.0024로 0.0008의 등간격으로 변하는 동안 부품구입량은 33, 60, 86으로 비교적 큰 차이를 갖고 변하지만 λ_i를 0.0016으로 고정하고 c_i를 5, 10, 15, 20, 25로 5의 등간격으로 변화시켰을 때 부품구입량은 62, 60, 58, 57, 57로 작은 차이를 갖고 변한다. 이는 다른 부품구매자금이나 다른 λ_i와 c_i 값에서도 같은 성향을 보인다. 따라서 부품구입량은 단가 c_i보다는 고장률 λ_i에 더 민감한 것으로 판단된다.

<표 5> 부품구매자금에 따른 부품구입량 변화

최적부품구입량 / 구매자금	S_1^*	S_2^*	S_3^*	S_4^*	S_5^*	S_6^*	S_7^*	S_8^*	S_9^*	S_{10}^*	S_{11}^*	S_{12}^*	S_{13}^*	S_{14}^*	S_{15}^*	시뮬레이션 가용도
15000	40	70	98	39	68	97	39	67	95	38	67	94	38	66	93	0.9994
14000	37	66	94	36	64	91	35	63	89	35	62	88	34	62	88	0.9967
13000	35	62	89	33	60	86	32	58	84	31	57	83	31	57	82	0.9857
12500	34	60	86	32	58	83	31	56	81	30	55	80	29	54	79	0.9731
12000	32	58	84	30	56	80	29	54	78	29	53	77	28	52	75	0.9546
11500	30	56	81	29	54	78	28	52	76	27	51	74	26	49	72	0.9287
11000	30	55	79	28	52	75	27	50	73	26	48	70	25	47	68	0.8965
10500	29	53	77	27	50	73	25	48	70	24	47	68	23	45	64	0.8589

7. 결 론

예비부품에 관련된 문제는 크게 대상부품을 선정하는 문제와 소요량을 산정하는 문제로 나뉘어진다. 본 논문은 대상부품이 선정되었다는 가정 하에 소요량을 산정하는 문제를 다루었으며, 장비운용가용도를 "어느 기간 동안에 정상상태에 있는 장비 · 시간(machine · hour)/어느 기간 동안 정상상태에 있어야 하는 장비 · 시간(machine · hour)"으로 정의하고, 제한된 투자 비용을 만족시키는 범위내에서 목표운용가용도를 최대화하는 각 부품별 최적소요량을 구할 수 있는 알고리듬을 개발하였다.

만일 운용가용도의 정의가 다를 경우에는 지금까지 개발한 방법과는 다른 방법으로 알고리듬을 구해야 할 것이다.

본 논문에서 개발한 알고리듬을 이용해서 구한 최적구입량은 실제 상황하에서도 각 부품별 최적구입량이라고 할 수는 없다. 왜냐하면 알고리듬 개발시 각 부품별 고장발생률이 시간에 관계없이 일정하다고 가정했지만 실제로는 시간이 흐를수록 재고가 바닥난 부품수가 증가하면서 가동불능상태의 주장비가 증가하여 운용가능한 장비의 수가 줄어들게 되어 각 부품별 고장발생률은 감소하기 때문이다. 그러나, 수치예를 통해서 알 수 있듯이 알고리듬으로 구한 최적해가 시뮬레이션에서도 가장 좋은 해가 되며, "알고리듬 최적해"와 유사한 수준의 다른 해들도 가용도 수준에서 사실상 큰 차이가 없기 때문에 시뮬레이션까지 할 필요없이 "알고리듬 최적해"를 최적구입량으로 사용해도 실용상 문제가 되지 않으리라 생각된다. 이와 같은 이유로 본

논문에서 제안하는 알고리듬은 새로 조달되는 장비의 동시조달 예비부품의 예산을 책정하는 분야에 효과적으로 적용될 수 있을 것이다.

본 논문은 수리가 가능한 부품으로만 이루어진 경우, 소모성 부품과 수리순환부품이 섞여 있는 경우나 작동불능한 장비에서 가용한 부품을 찾아내서 재활용하는 문제로 확장할 수 있을 것으로 보인다.

참 고 문 헌

[1] 김 재원; "SYMD - 515 - 87228," 국방과학연구소, 1987. 11.

[2] 박 삼준; "동시조달수리부속(CSP)소요산출 모델연구," 국방과학연구소, 1994. 3.

[3] 오 근태, "자금 제약하에서의 동시조달부품의 최적 구매량 결정," 한국공업경영학회지, 제20권, 제41집, pp. 123-134, 1997.

[4] 오 근태, 김 명수, "운용가용도 제약하에서의 소모성 동시조달부품의 최적구매량 결정," 「한국공업경영학회지」, 제21권, 제48집, pp. 113-122, 1998.

[5] Daeschner, William E. Jr., "Models for Multi-item Inventory Systems with Constraints," Doctoral Dissertation, Naval Postgraduate School, 1975.

[6] Everett Hugh, "Generalized Lagrange Multiplier for Solving Problems of Optimum Allocation of Resources, "*Operations Research*, Vol. 11, pp. 399-417, 1963.

[7] Richards, F. Russell, and McMasters, Alan W., "Wholesale Provisioning Models : Model Development," Naval Postgraduate School, 1983.