⊠ 연구논문

운용가용도 제약하에서의 소모성 동시조달부품의 최적구매량 결정

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

오 근태*
Oh, Geun Tae
김 명수*
Kim, Myung Soo

Abstract

In this paper we consider the CSP requirements determination problem of new equipment(machine) system. For the newly procured equipment systems, mathematical analyses are made for the system which is constructed with the consumable parts to derive the associated CSP requirement determination model in mathematical expression. Based on these analyses, a mathematical model is derived for making an optimal CSP requirement determination subject to the constraint of satisfying any given operational availability limitation. We assume that the failure of a part follows a Poisson process. Firstly, the operational availability concept in CSP is defined and the relation between the general system availability and the operational availability is established. Secondly, the problem is formulated as the cost minimization problem that should satisfy the operational availability limitation, and then, using the generalized Lagrange multipliers method, the optimal solution procedure is derived.

1. 개 요

일반적으로 TGV나 F-16 전투기와 같은 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 수리 및 예비부속품을 구입하게 된다. 이를 동시조달부품(Concurrent Spare Part : CSP)이라 하며, 특히 군에서는 초도 배치되는 체계/장비에 대하여 목표전투준비태세 보장 및 원활하고 효율적인 운용/유지를 위해 일정한 CSP 운용기간을 설정하고 일정 수량의 CSP를 획득하여 장비 배치와 동시에 보급하도록 규정하고 있다.

* 수원대학교 산업공학과

그러나, 일반적으로 CSP 운용에서 자주 제기되는 문제는 부품소요량을 불필요하게 과다 책정함으로서 운용기간이 끝난 후에도 상당히 많은 수량의 재고가 사용되지 않고 남게 되어 경제적인 손실을 초래하거나, 반대로 소요부품이 CSP로 책정되지 않았거나 보급량이 부족하여 신규장비의 운용에 지장을 초래하는 경우가 빈번하게 발생한다는 점이다. 특히, 운용기간이 끝난 후에도 과다한 수량이 남아 있게 되는 경우가 많이 발생하여 문제점으로 지적되어 왔는데, 이는 소요가 발생되지 않은 부품이 CSP 대상부품으로 선정되거나, 소요가 발생한 부품인 경우에도 실 소요보다 지나치게 보급량을 많이 책정했기 때문이었다. 이런 경우에는 CSP 운용기간이 상당히 경과한 뒤에도 소모되지 않고 계속 재고로 남게 되므로, 경제적인 손실외에도 보급관리상에 많은 어려움이 있었던 것이다. 이에 본 논문은 경제적인 측면과 장비체계의 운용성 측면을 동시에 고려하여 최적 소요량을 산출할 수 있는 하나의 모델을 제시하고자 한다.

CSP의 소요량은 장비가 과거에 도입되어 운용경험이 있고 국내 라이선스 생산이 되는 경우와 운용경험이 없는 해외직도입 최신장비인 경우로 나누어 생각할 수 있다. 본 논문에서는 두번째 경우를 대상으로한 CSP 소요량의 계산을 다룬다. 전자의 경우는 어느 정도 자료가 축적되어 있어서 소요량 산정이 용이하나, 두번째 경우인 해외직구매 장비는 판매국가 및 회사로부터 보안 또는 사업상의 이유로 CSP 소요산출에 필요한 자료(고장률, 단가, 정비개념 등)의 확보가 곤란하기 때문에 대부분의 경우 생산업체에서 제시한 추천목록을 기준으로 예산 범위안에서 조정하여 구매하는 관행을 보이고 있다. 부족한 자료로부터 실용가능한 소요량을 산출하기 위해서는 운용자 측이 추가적인 노력을 기울여 획득 가능한 자료를 모두 수집하고, 이론적 배경하에 논리적이고 합리적인 방법으로 소요량을 산출할 수 있는 모델의 개발을 추진하여야 한다.

이러한 전제하에서 본 논문에서는 확보 가능한 정보가 단가, *MTBF*(Mean Time Between Failure: 평균고장간격) 정도이며, 부품이 고장났을 경우에는 교체만 하고 고장난 부품의 수리는 불가능하다는 전제하에서 목표운용가용도가 주어져 있을 때 최소의 투자비용으로 이를 달성할 수 있는 구입량을 결정하는 모델을 제시한다.

이 분야의 연구는 [1], [3], [4]와 [5]를 대표적으로 들 수 있다. 모두 비용상한이 주어져 있을 때 가용도를 최대로 하는 모델을 다루었으며, 특히 [3]에서는 부품을 수리하여 재사용하는 경우를 분석하였다. 이와는 달리 [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.

2. 운용가용도의 정의

일반적인 운용가용도는 장비가 가동되어야 할 시간에 대한 실제 가동할 수 있는 상태의 시간과의 비율로 정의된다. 즉,

$$\text{운용가용도} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR + MLDT}$$

이다. 여기서 *MLDT*(Mean Logistic Delay Time)는 평균보급지연시간을 나타낸다.

그러나, CSP의 운용목적을 고려한다면 CSP의 운용가용도는 일반적으로 정의되는 운용가용도와 달리 정의되어야 할 것이다. 왜냐하면, CSP 운용기간 동안은 재고가 고갈된 부품의 재보급이 허용되지 못한다. 따라서, CSP 대상 부품들이 소모성부품들로 구성되고 교환(replacement)을 원칙으로 하면 어떤 부품이든지 사용 가능한 상태의 예비부품이 없을 때에는 장비는 가동이 중지된다. 일단 어떤 부품의 재고결손이 발생하면 CSP 운용기간 만료시까지 장비의 가동이 중지되며, 시간이 흐를수록 정상가동 상태에 있는 장비의 수는 감소한다. 또한

CSP 기간이 일정기간으로 한정되어 있으므로 본 논문에서는 일반적으로 사용되는 장비 운용가용도 대신 "CSP 기간동안 단위시간당 전체 장비에 대한 정상가동중인 장비의 평균비율", 즉

$$\frac{E[\text{ CSP 기간동안 단위시간당 정상가동중인 장비수}]}{\text{전체 장비수}}$$

을 운용가용도로 정의한다.

3. 기본 가정 및 기호의 정의

본 논문에서 기본적으로 전제하고 있는 가정은 다음과 같다.

- 부품 고장의 발생은 Poisson process를 따른다고 가정한다. 단, 고장이 발생되는 모집단의 수(장비의 수)가 한정되어 있고, 부품 부족으로 정상 가동하는 장비의 수가 줄어들더라도 계산상 편의를 위해 무한(infinite)하다고 가정한다.
- 고장의 발생은 부품 상호간에 독립적으로 발생하며, 부품의 교체시간은 무시한다.
- CSP 운용기간 동안은 부품을 재보급하지 못한다. 따라서, 고장난 부품의 교체용 재고가 결손되면 장비는 가동이 중지된다. CSP 기간중 고갈된 부품은 CSP 기간이 종료되는 시점에서 모두 보충된다
- 장비의 배치 스케쥴(CSP 기간 동안의 시기별 배치댓수)은 알려져 있으며, 특별한 언급이 없는 한 동시에 전체 장비가 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 i에 할당된 CSP 물량으로 결정해야 할 값.
S : $(S_1, S_2, \cdots, S_G)$를 의미.
c_i : 부품 i의 단가.
T : CSP 기간.
$Y(T)$: CSP 기간동안 가동 중단된 평균장비 · 시간(machine · hour).
t : $(0, T]$ 기간 동안 소요(고장)가 발생되는 시점.
λ_i : 부품 i의 단위시간당 고장률.
$S_i^{\max}$: 부품 i의 최대구입량(예산이나 장비의 수를 고려하거나 공급업체에 의해 제한된 양).
$X_i(t)$: t 시점까지 고장난 부품 i의 수를 나타내는 변수, 평균 $\lambda_i t$의 Poisson 분포를 따른다고 가정.

$$p_i(x,\ t) = P\{X_i(t) = x\} = \frac{e^{-\lambda_i t}(\lambda_i t)^x}{x!}\ .$$

$$H_i(x,\ t) = P\{X_i(t) \geq x\}\ .$$

4. 모형의 정립

$Y(T)$는 "CSP기간인 T시간 동안 부품 부족으로 장비를 사용하지 못한 장비 · 시간"의 기대치이므로 $Y(T)/T$는 CSP 기간동안 단위시간당 고장상태에 있는 평균장비수가 된다. 따라서 목표운용가용도를 A_0라 할 때 최적 S를 구하기 위한 모형를 정립하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} &\text{minimize } \sum_i c_i S_i \\ &\text{subject to } \frac{N - Y(T)/T}{N} \geq A_0 \end{aligned} \qquad (1)$$

단, S_i는 음이 아닌 정수.

이 모델은 제약조건을 하나 가지고 있는 분리가능한 비선형 최적화 문제로 정리됨으로써 라그랑즈 승수법(Lagrange Multiplier Method)을 사용하여 최적해를 찾을 수 있는 계산절차를 유도할 수 있다.

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 $Y(T)$를 구할 수 있으며, 다음과 같이 표현할 수 있다.

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

여기서 부품 i의 CSP가 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. 또, 고장의 발생은 Poisson process를 따르며, 고장이 발생되는 모집단의 수(장비의 수)가 한정되어 있지만 계산상 편의를 위해 무한(infinite)하다고 가정했으므로 $\phi_i(k, S_i, t)$를 다음과 같이 개략적으로 표현할 수 있다.

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

이를 이용하면

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

가 된다.

모형 (1)의 조건식은 $Y(T) \le (1-A_0)NT$가 되므로, 모형 (1)을 라그랑즈 승수기법으로 표현하면

$$\begin{aligned} \text{Minimize} \quad L(S;\theta) &= \sum_{i=1}^{G} c_i S_i - \theta\{(1-A_0)NT - Y(T)\} \\ &= \left\{ \sum_{i=1}^{G} c_i S_i + \theta\, Y(T) \right\} - \theta(1-A_0)NT \end{aligned} \tag{2}$$

가 된다. 여기서 S는 $(S_1, S_2, \cdots\cdots, S_G)$를 의미한다.

$L_i(S_i;\theta)$를 $c_i S_i + \theta \int_0^T \sum_{k=S_i+1}^{N+S_i} (k-S_i)\, \phi_i(k, S_i, t) dt$ 라 하면 식 (2)는

$$\text{Minimize} \quad L(S;\theta) = \sum_{i=1}^{G} L_i(S_i;\theta) - \theta(1-A_0)NT$$

로 다시 표현된다. 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

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

이고,

$$\begin{aligned}\triangle L_i(S_i+1;\theta)-\triangle L_i(S_i;\theta) &= \theta\int_0^T \{p_i(S_i+1,t)-p_i(N+S_i+1,t)\}\,dt \\ &= \frac{\theta}{\lambda_i}\sum_{k=S_i+1}^{N+S_i} H_i(k+1,T)-\frac{\theta}{\lambda_i}\sum_{k=S_i+2}^{N+S_i+1} H_i(k+1,T) \\ &= \frac{\theta}{\lambda_i}\sum_{j=S_i+2}^{N+S_i+1}\frac{e^{-\lambda_i T}(\lambda_i T)^j}{j!} \\ &\geq 0\end{aligned}$$

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

$$\begin{cases}\triangle L_i(S_i-1;\theta)\leq 0, \\ \triangle L_i(S_i;\theta)\geq 0,\end{cases} \tag{3}$$

과 가용도조건

$$\sum_{i=1}^{G}\int_0^T\left\{N-N\sum_{k=0}^{S_i}p_i(k,t)-\sum_{k=S_i+1}^{N+S_i-1}(N-k+S_i)\,p_i(k,t)\right\}dt\leq(1-A_0)NT \tag{4}$$

를 동시에 만족하는 최소의 S_i 값이다.

관계식 (3)을 다시 표현하면

$$\begin{cases}c_i-\dfrac{\theta}{\lambda_i}\displaystyle\sum_{k=S_i}^{N+S_i-1}H_i(k+1,T)\leq 0, \\ c_i-\dfrac{\theta}{\lambda_i}\displaystyle\sum_{k=S_i+1}^{N+S_i}H_i(k+1,T)\geq 0,\end{cases} \tag{5}$$

이 된다. 이 식에서 $F(S_i)=\sum_{k=S_i+1}^{N+S_i}H_i(k+1,T)$라 할 때

$$F(S_i)=F(S_i-1)-\sum_{k=S_i+1}^{N+S_i}p_i(k+1,T) \tag{6}$$

이 성립하므로 만일 c_i와 θ값이 주어졌을 때 식 (5)를 만족하는 S_i를 구하고자 할 때는 관계식 (6)을 이용하면 좋을 것이다.

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

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

이 되므로, 위의 가용도조건 (4)를 무시하면 품목 i에 대해

$$\begin{cases} \text{i) } 0 \le \theta \le \min\left\{ \dfrac{c_j \lambda_j}{\sum_{k=1}^{N} H_j(k+1,\, T)} \right\} \text{ 일 때} \\ \qquad S_i^*(\theta) = 0, \\ \text{ii) } \min\left\{ \dfrac{c_j \lambda_j}{\sum_{k=1}^{N} H_j(k+1,\, T)} \right\} < \theta < \dfrac{c_i \lambda_i}{\sum_{k=S_i^{\max}+1}^{N+S_i^{\max}} H_i(k+1,\, T)} \text{ 일 때} \\ \qquad 0 \le S_i^*(\theta) \le S_i^{\max}, \\ \text{iii) } \theta \ge \dfrac{c_i \lambda_i}{\sum_{k=S_i^{\max}+1}^{N+S_i^{\max}} H_i(k+1,\, T)} \text{ 일 때} \\ \qquad S_i \text{는 } S_i^{\max} \text{ 보다 클 수 없으므로} \\ \qquad S_i^*(\theta) = S_i^{\max}. \end{cases}$$

또한 가용도조건 (4)의 좌변을 정리하면

$$GNT - \sum_{i=1}^{G} \frac{1}{\lambda_i} \left\{ N \sum_{k=0}^{S_i} H_i(k+1,\, T) + \sum_{k=S_i+1}^{N+S_i-1} (N-k+S_i)\, H_i(k+1,\, T) \right\}$$

이므로, 가용도조건은

$$\sum_{i=1}^{G} \frac{1}{\lambda_i} \left\{ N \sum_{k=0}^{S_i} H_i(k+1,\, T) + \sum_{k=S_i+1}^{N+S_i-1} (N-k+S_i)\, H_i(k+1,\, T) \right\} \ge (G-1+A_0)NT \qquad (7)$$

로 표현할 수 있다.

여기서 $U_i(S_i)$를 $\frac{1}{\lambda_i} \left\{ N \sum_{k=0}^{S_i} H_i(k+1,\, T) + \sum_{k=S_i+1}^{N+S_i-1} (N-k+S_i)\, H_i(k+1,\, T) \right\}$라 하고, $U(S)$를 $\sum_{i=0}^{G} U_i(S_i)$라 하자. $U(S)$는 식 (7)의 좌변이 된다. $U_i(S_i)$의 특성을 파악하기 위해 $\triangle U_i(S_i)$를 $U_i(S_i+1) - U_i(S_i)$라고 하면

$$\triangle U_i(S_i) = \frac{1}{\lambda_i} \left\{ \sum_{k=S_i+2}^{N+S_i+1} H_i(k,\, T) \right\}$$

이고,

$$\triangle U_i(S_i+1) - \triangle U_i(S_i) = \frac{1}{\lambda_i} \{ H_i(N+S_i+2,\, T) - H_i(S_i+2,\, T) \} \le 0,$$

$$\lim_{S_i \to \infty} \{ \triangle U_i(S_i+1) - \triangle U_i(S_i) \} = 0$$

이다. 그리고,

$$\triangle U_i(0) = \frac{1}{\lambda_i} \left\{ NH_i(1,\, T) + \sum_{k=1}^{N-1} (N-k)\, H_i(k+1,\, T) \right\} \ge 0$$

이 성립하므로, $U_i(S_i)$는 S_i가 커짐에 따라 처음에는 커지다가 일정한 값에 수렴하게 된다.

따라서, $U_i(S_i)$의 특성과 앞의 $S_i^*(\theta)$와 θ와의 관계로부터 $U(S)$를 작게 하기 위해서는 S를 작게 하고, S를 작게 하기 위해서는 θ를 작게 하여야 함을 알 수 있다.

이상의 여러 특성들로부터 최적 S_i를 S_i^*라 할 때 S_i^*를 다음과 같은 절차를 통하여 구할 수 있다.

Step 1 : 모든 S_i를 0으로 두고 $\sum_{i=1}^{G} U_i(0) \geq (G-1+A_0)NT$ 이면 모든 S_i^*는 0이 되며 계산을 중지한다. 아니면 Step 2로 간다.

Step 2 : 모든 S_i를 S_i^{max}로 두고 $\sum_{i=1}^{G} U_i(S_i^{max}) < (G-1+A_0)NT$ 이면 모든 S_i^*는 S_i^{max}가 되며 계산을 중지한다. 아니면 Step 3으로 간다.

Step 3 : $\theta_M = \min\left\{ \dfrac{c_1\lambda_1}{\sum_{k=S_1^{max}+1}^{N+S_1^{max}} H_1(k+1,T)}, \ldots\ldots, \dfrac{c_G\lambda_G}{\sum_{k=S_G^{max}+1}^{N+S_G^{max}} H_G(k+1,T)} \right\}$로 둔다.

Step 4 : $\theta = \theta_M$으로 하여 식 (5)를 만족하는 최소의 $S_i(i=1,2,\cdots,G)$를 구한다.

Step 5 : $\left| \sum_{i=1}^{G} U_i(S_i) - (G-1+A_0)NT \right|$가 주어진 허용범위(매우 작은 수)보다 같거나 작으면 반복계산을 중지하고, 이때의 S_i가 S_i^*가 된다. 허용범위보다 크면서 $\sum_{i=1}^{G} U_i(S_i) > (G-1+A_0)NT$ 이면 Step 6으로 가고, 그렇지 않으면 Step 12로 간다.

Step 6 : θ의 초기 하한(θ_L)과 상한(θ_U)을 다음과 같이 적용한다.

$$\theta_L = \min\left\{ \frac{c_1\lambda_1}{\sum_{k=1}^{N} H_1(k+1,T)}, \ldots\ldots, \frac{c_G\lambda_G}{\sum_{k=1}^{N} H_G(k+1,T)} \right\}, \quad \theta_U = \theta_M$$

Step 7 : $n = 1$로 둔다.

Step 8 : $\theta_n = \dfrac{\theta_L + \theta_U}{2}$ 로 하여 식 (5)를 만족하는 최소의 $S_i(i=1,2,\cdots,G)$를 구한다.

Step 9 : 현재의 θ_n에 대한 $U(S)$를 $\hat{U}(\theta_n)$라 할 때, $|\hat{U}(\theta_n)-(G-1+A_0)NT|$가 주어진 허용범위보다 같거나 작으면 반복계산을 중지하고, 이때의 S_i가 S_i^*가 된다. 그렇지 않으면 Step 10을 수행한다.

Step 10 : $\hat{U}(\theta_n) < (G-1+A_0)NT$이면 $\theta_L = \theta_n$으로 놓고,
$\hat{U}(\theta_n) > (G-1+A_0)NT$이면 $\theta_U = \theta_n$으로 놓는다.

Step 11 : $n = n+1$로 하고 Step 8을 수행한다.

Step 12 : θ의 초기 하한(θ_L)과 상한(θ_U)을 다음과 같이 적용하고 Step 7로 간다.

$$\theta_L = \theta_M, \qquad \theta_U = \max\left\{ \frac{c_1\lambda_1}{\sum_{k=1}^{N} H_1(k+1,T)}, \ldots\ldots, \frac{c_G\lambda_G}{\sum_{k=1}^{N} H_G(k+1,T)} \right\}$$

6. 수치예

CSP기간이 300시간이고, 구성 부품의 수가 10개인 장비를 15대 도입하는 경우 고장률, 단가 및 최대구입량의 자료가 다음 <표 1>과 같이 주어졌을 때 목표운용가용도의 변화에 따른 CSP 구입량을 위의 알고리듬을 적용하여 계산해 본 결과가 <표 2>에 요약되어 있다.

계산 결과 예상대로 목표운용가용도의 수준이 높을수록 전체 구입비용이 증가함을 볼 수 있으며, 고장률 λ_i의 값이 크고 단가 c_i가 싼 부품일수록 구입량이 많고, 같은 부품이라도 목표운용가용도가 커짐에 따라 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, 목표운용가용도가 커짐에 따라 구입량이 증가함을 보여준다. λ_i가 0.016으로 같은 2, 5, 8, 11, 14번 부품들의 경우에 목표운용가용도의 수준에 관계없이 c_i의 크기가 커짐에 따라 2, 5, 8, 11, 14번 부품 순으로 구입량이 적게 나타났다. 또한 전체적으로 목표운용가용도가 낮아짐에 따라 각 부품별로는 물론 각 부품간에도 구입량의 차이가 작아지는 것도 보여준다.

한편 목표운용가용도 0.95수준에서 c_i가 10일 때 λ_i가 0.008, 0.016, 0.024로 0.006의 등간격으로 변하는 동안 부품구입량은 5, 7, 10으로 비교적 큰 차이를 갖고 변하지만 λ_i를 0.016으로 고정하고 c_i를 5, 10, 15, 20, 25로 5의 등간격으로 변화시켰을 때 부품구입량은 8, 7, 7, 7, 6으로 작은 차이를 갖고 변한다. 이는 다른 목표가용도수준이나 다른 λ_i와 c_i 값에서도 같은 성향을 보인다. 따라서 부품구입량은 단가 c_i보다는 고장률 λ_i에 더 민감한 것으로 판단된다.

<표 1> 부품별 고장률, 단가, 최대구입량

부품번호 / 자료	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
고장률 λ_i	0.008	0.016	0.024	0.008	0.016	0.024	0.008	0.016	0.024	0.008	0.016	0.024	0.008	0.016	0.024
단가 c_i	5	5	5	10	10	10	15	15	15	20	20	20	25	25	25
최대구입량 S_i^{max}	25	30	16	20	19	34	22	15	16	15	15	13	12	20	20

<표 2> 목표운용가용도에 따른 부품구입량 변화

최적부품구입량 / 목표가용도	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}^*	총투자 비용
0.99	7	10	13	6	9	13	6	9	12	5	9	12	5	8	11	1955
0.95	5	8	11	5	7	10	4	7	10	4	7	9	4	6	9	1530
0.90	5	8	10	4	7	9	4	6	9	3	6	8	3	6	8	1365
0.85	4	7	10	4	6	9	3	6	8	3	5	7	3	5	7	1225
0.80	4	7	10	3	6	8	3	5	8	3	5	7	2	4	7	1140
해 냏0.75	4	7	9	3	6	8	3	5	7	2	5	7	2	4	6	1075

7. 결 론

CSP에 관련된 문제는 크게 대상부품을 선정하는 문제와 소요량을 산정하는 문제로 나뉘어 진다. 본 논문은 대상부품이 선정되었다는 가정 하에 소요량을 산정하는 문제를 다루었으며, 운용가용도를 "CSP 기간동안 단위시간당 전체 장비에 대한 정상가동중인 장비의 평균비율"로 정의하고, 제한된 목표운용가용도를 만족시키는 범위내에서 부품구입비용을 최소화하는 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 최적구입량은 실제 상황에서는 완벽하게 각 부품별 최적소요량이 되지는 못한다. 왜냐하면 본 논문에서는 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. 그러므로, 이점을 고려해 볼 때 실제소요량보다 약간 더 책정될 수 있다. 그러나, 과거의 CSP 운용 결과에서 자주 지적된 사항으로 불필요하게 소요를 과다 책정함으로써 많은 부품이 미사용되어 경제적인 손실을 초래한 점과 그 반대로 보급량이 부족하여 신규장비의 운용에 지장을 초래한 점을 들 수 있는데, 실제는 후자가 더 문제가 되며, 위 알고리듬으로부터 계산된 소요량은 안전재고를 포함한 소요량으로 볼 수 있다.

본 논문에서 다루는 모델은 장비가 동시에 배치된 경우를 가정하고 있다. 하지만 실제적으로는 장비의 배치시점이 서로 다를 수 있다. 이러한 경우에 고장률을 정의하기 위하여 TWAMP(Time Weighted Average Month's Program)에 의하여 고장률을 계산하며 자세한 내용은 [1]에 정리되어 있다.

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] Daeschner, William E. Jr., "Models for Multi-item Inventory Systems with Constraints," Doctoral Dissertation, *Naval Postgraduate School*, 1975. 6.

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

[6] Richards, F. Russell, and McMasters, Alan W., "Wholesale Provisioning Models : Model Development," *Naval Postgraduate School*, 1983. 9.