韓國軍事運營分析學會誌
第16卷, 第2號, 1990. 12. 31.

# 可用度를 考慮한 裝備의 最適 豫備部品數 決定에 관한 研究

# (A Study on Determining the Optimal Number of Equipment Spares under Availability Consideration)

朴範昌 · 姜聲振*

## Abstract

This paper addresses the problem of determining the optimal number of spares for a system consisting of multi-item parts. In commercial sector, the cost minimization is mainly considered as an objective functions in most inventory models.

However, in the military inventory systems, it is more stressed on maximizing the system availability than minimizing the system cost because the field commander always wants the system to be in perfect working condition to prepare against an emergence case.

In this point of view, this paper develops an inventory model which decides the optimal number of spares by *minimizing units short* and *simultaneously achieving* a certain level of system availabilty.

Solution algorithms are derived using the generalized Lagrange multiplier approach and marginal analysis approach.

Sample data and output results are provided and sensitivity analysis is performed as the level of system availability changes in order to decide the optimal number of spares and availability in terms of economic sense.

* 國防大學院

## 1. 槪 要

軍事裝備는 이것이 要求되는 時點에서 滿足스럽게 運營되어 戰鬪能力을 發揮할 수 있어야 한다. 따라서, 軍의 在庫管理는 단순히 經濟性을 考慮한 費用의 最小化보다는 實際 運營環境下에서 物資가 필요한 期間 또는 어느 瞬間에 一定한 水準의 物資準備態勢(material readiness : 以後 準備態勢라고 함)를 維持하는데 더 큰 關心을 가지고 있다.

이제까지 많은 學者들이 어느 裝備의 準備態勢를 測定하기 위하여 그 裝備를 構成하고 있는 各 部品의 信賴度(reliability), 充足率(fill rate), 裝備의 不可動時間(down time), 整備人時數(maintenance man-hour), 補給所要時間(supply response time) 등을 測定하여 그 測定值들을 斷片的으로 使用하여 왔다. 그러나 이러한 測定值들은 裝備의 準備態勢를 표시하는데 있어 하나의 要素는 되지만 裝備의 全般的 準備態勢를 표시하지는 못한다.

따라서, 위에 列擧한 各 要素들을 綜合하여 單一測定值로서 裝備의 準備態勢를 表現하기 위한 尺度의 開發이 必要하게 되었는데 이것이 바로 可用度(availability)이다. 可用度란 通常 "現 運榮體系下에서 하나의 裝備나 體系(system)가 어느 時刻 또는 一定期間 동안 可動狀態에 있을 確率"로 定義된다.

이제까지 몇몇 學者들이 可用度와 豫備部品數를 關聯지어 硏究하였다. 예를 들어 Jee[4]는 豫算이 制限되어 있는 狀況下에서 瞬間可用度(point availability)를 最大化할 수 있는 豫備部品數 算定에 관한 硏究를 하였고 Richards와 McMasters[6]는 豫算이 制限되어 있을 때 安定狀態可用度(steady state availability)를 目的函數로 하여 이를 最大化할 수 있는 豫備部品數 算定에 관한 硏究를 하였다. 이와 같은 硏究는 모두 豫算이 限定되어 있다는 假定下에서 이루어졌으므로 裝備의 準備態勢, 즉 可用度는 주어진 豫算의 範圍를 超過하여 達成될 수 없다.

본 연구는 軍事裝備와 같이 準備態勢를 중요시하는 裝備에 대하여 裝備管理者가 要求하는 一定水準의 總體的 準備態勢(體系可用度)를 維持하면서 在庫枯渴을 最小化할 수 있는 最適의 豫備部品數를 算定해 내는 模型을 연구한 것이다.

## 2. 可用度와 平均補給所要時間

可用度에 대하여 많은 學者들이 다음과 같이 類似한 定義를 내리고 있다. Abell과 Lengeld[1]는 "平時에 運營在庫의 準備態勢에 가장 直接的이고 意味있는 尺度는 武器體系可用度(weapon system availability)이다. 우리는 可用度, 完製品可用度(end-item availability), 武器體系可用度를 어떤 完製品, 즉 탱크나 비행기 등이 그것에 무엇을 裝着하거나 修理를 받는데 있어 기다림이 없을 確率이라는 意味로 사용한다."고 하였으며 Blanchard와 Fabrycky[2]

는 "裝備 혹은, 體系를 實際 運營環境下에서 運營할 때 그것이 要求되는 時點에서 滿足스럽게 運營될 確率"로 定義하고 있다.

可用度는 作戰準備態勢와는 달리 體系의 遊休時間(idle time)은 고려하지 않고, 단지 運營時間(operating time)과 故障時間(down time)만을 고려하는 것으로서 여기에는 信賴度(reliability)와 整備度(maintainability)가 內包되어 있다.

Jee[5]는 어떤 體系가 임의의 시간 t에서 만족스럽게 運營될 瞬間用可度(point availability)를 다음과 같이 표현하고 있다.

$$A(t)=\frac{MTBF}{MTBF+(MSRT(S)+MTTR)}+\frac{(MSRT(S)+MTTR)}{MTBF+(MSRT(S)+MTTR)}\cdot\exp[-(\lambda+\mu)t] \quad \cdots\cdots (1)$$

여기에서, MTBF＝部品의 平均 故障間時間 (mean time between faliure)

MTTR＝部品의 平均 修理時間 (mean time to repair)

MSRT(S)＝部品이 S개 있을 때 部品의 平均 補給所要時間(mean supply response time)

여기에서, 時間 $t$가 무한히 크다면 可用度는 다음과 같이 표현된다.

$$\lim_{t\to\infty} A(t)=\frac{MTBF}{(MTBF+(MSRT(S)+MTTR)} \quad \cdots (2)$$

式(2)에서 MTBF나 MTTR은 一定하다고 할 수 있으나 MSRT는 豫備部品의 保有數에 따라 변할 수 있다. 즉 故障發生時 豫備部品을 보유하고 있으면 MSRT는 0이 되기 때문이다. 따라서 部品 i에 대한 可用度 $A_i$는 豫備部品의 數 $S_i$의 函數로 나타낼 수 있다.

$$A_i(S_i)=\frac{MTBF_i}{MTBF_i+MTTR_i+MSRT_i(S_i)} \quad \cdots (3)$$

MSRT는 部品의 補給支援能力(supply performance)을 나타내는 尺度로 가장 폭 넓게 사용되고 있으며 통상 軍需遲延時間과 行政遲延時間을 합한 것이다. 즉, $MSRT(S_i)$가 감소하면 어느 정도까지는 可用度函數 $A_i(S_i)$를 증가시킬 수 있음을 알 수 있다.

Richards와 McMasters[6]는 平均 補給所要時間(MSRT)을 다음과 같이 定義하였다.

$$MSRT_i(S_i)=\frac{1}{\lambda_i T_i}E[TWUS_i(S_i)] \quad \cdots\cdots (4)$$

여기에서, $\lambda_i$＝i번째 部品의 單位時間當 需要率.

$T_i$＝i번째 部品의 再補充期間.

$E[TWUS_i(S_i)]$＝i번째 部品이 $S_i$個 있을때 時間이 加重된 在庫枯渴의 기대값(time weighted units short).

$TWUS_i(S_i)$는 時間이 加重된 在庫枯渴로서 어떤部品 1個가 10일간 需要를 충족시키지 못한 것과, 同一한 部品 10個의 需要를 1일간 充足

시키지 못한 것을 同一하게 취급한다는 것이다.

時間 $[0, T]$에서의 TWUS를 구하기 위해 特定品目 한가지를 생각해 보자. $X(T)$를 시간 $[0, T]$에서의 그 部品需要의 確率變數라 하고 $X(T) = m$이라 놓자. 또, $T_m$이 m번째 需要가 발생한 時間이며 $0 < T_1 < T_2 < \cdots < T_m \leq T$이라고 하자. 만일 S個의 部品이 在庫로 있었다면 〈그림 1〉로부터 總 時間이 加重된 在庫枯渴 기대값을 구할 數 있다.

〈그림 1〉에서 時間 T軸 아래 빗금친 부분은 注文殘高(backorder)로 處理된 在庫枯渴時間의 總合으로서 다음과 같다.

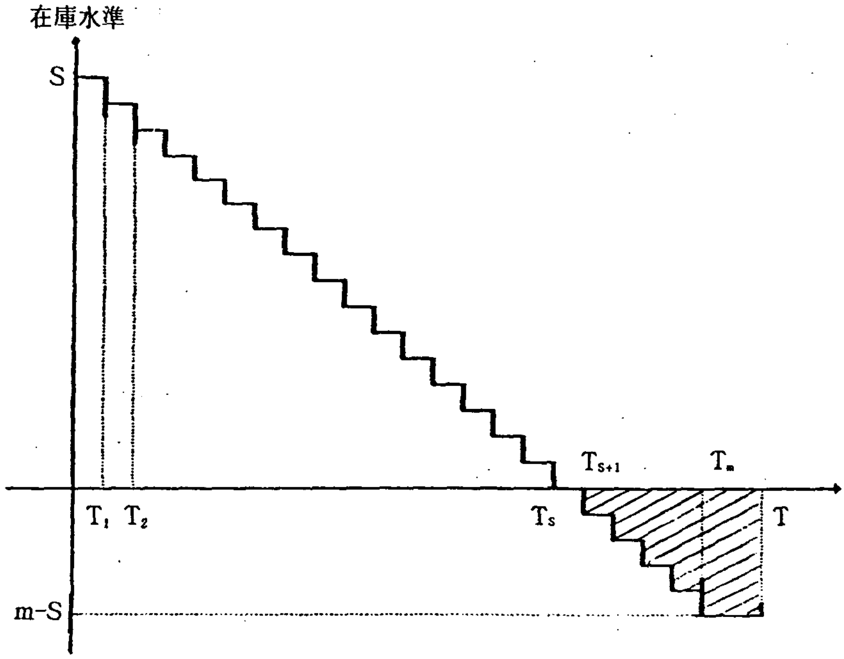
$$\sum_{j=1}^{m-s} (T - T_{s+j})$$

그러므로 TWUS의 조건부 기대값은

$$E[TWUS(S) \mid X(T) = m] = \begin{cases} 0 & , \text{ if } m \leq S \\ \sum_{j=1}^{m-s} (T - E[T_{s+j} \mid X(T) = m]) & , \text{ if } m > S \end{cases} \quad \cdots\cdots\cdots (5)$$

Richards와 McMasters[6]는 部品 i의 在庫가 $S_i$個 있고 需要가 平均 $\lambda_i$인 同質의 포아송과정(homogeneous poisson process)을 따를 때 주어진 時間 $[0, T]$에서 TWUS의 기대값을 다음과 같이 誘導하였다.

$$E[TWUS(S) \mid X(T) = m] = \begin{cases} 0 & , \text{ if } m \leq S \\ \sum_{j=1}^{m-s} \{T - T[\frac{S+j}{m+1}]\} & , \text{ if } m > S \end{cases} \quad \cdots\cdots\cdots (6)$$




〈그림 1〉 時間에 따른 在庫水準 S의 變化

式(6)에서 m > S인 경우,

$$\sum_{j=1}^{m-s}\{T-T(\frac{S+j}{m+1})\}=\sum_{j=1}^{m-s}T-\sum_{j=1}^{m-s}T(\frac{S+j}{m+1})$$

$$=\frac{T(m-S)(m-S+1)}{2(m+1)}$$

로 됨을 알 수 있다.

결국 m의 모든 可能한 값에 대하여 E[TWUS(S)]는 다음과 같이 얻어 진다.

$$E[TWUS(S)]$$

$$=\sum_{m=0}^{\infty}E\{TWUS(S)\,|\,X(T)=m\}Prob\{X(T)=m\}$$

$$=\sum_{m=s+1}^{\infty}[\frac{T}{2}\frac{(m-S)(m+1-S)}{(m+1)}][\frac{(\lambda T)^{m}exp(-\lambda T)}{m!}]$$

$$=\frac{T}{2}\{H(S+1)[\lambda T-2S+\frac{S(S+1)}{\lambda T}]$$

$$+P\{X(T)=S\}(\lambda T-S)\} \quad \cdots\cdots(7)$$

단, $H(S+1)=\sum_{m=s+1}^{\infty}P\{X(T)=m\}$

$$P\{X(T)=S\}=\frac{(\lambda T)^{s}exp(-\lambda T)}{S!}$$

그러므로 式 (4)와 (7)을 이용하면 部品 i에 대한 可用度는 式 (3)으로부터 구할 수 있다.

## 3. 可用度를 考慮한 豫備部品數 決定模型

軍事裝備는 항상 戰爭準備態勢를 유지하기 위해 가능하면 在庫枯渴이 발생되지 않도록 해야 한다. 본 연구에서는 保有할 豫備部品의 數s로서 時間이 加重된 在庫枯渴의 기대값(TWUS)과 平均 補給所要時間을 統制하여 裝備管理者가 要望하는 可用度水準을 達成하면서 궁극적으로 裝備의 運營에 필요한 必需部品들의 總體的 在庫枯渴 기대값을 最小化하는 適正水準의 豫備部品數를 결정하려고 한다. 아울러 要望可用度를 達成하면서 所要費用을 最小化하는데 필요한 豫備部品數를 결정한다.

다음은 模型 設定을 위한 假定事項들 이다.

(1) 部品 i의 故障은 母數가 $\lambda_i$인 포아송과정(poisson process)에 의해 발생한다.

(2) 裝備의 모든 部品은 直列(series)로 連結되어 있어 어떤 部品이나 그 重要度(essentiality)는 同一한 것으로 看做한다.

(3) 어떤 한 部品의 故障은 그와 다른 어떤 部品의 故障과 獨立이며 각 部品은 Single Line Item이다. 즉, 어떤 한 部品의 故障이 발생하였을 때 그 部品의 어느 Sub-Item이 故障이던지 간에 그 部品의 故障分布는 同一한 것으로 看做한다.

(4) 發生한 在庫枯渴은 注文殘高(backorder)로 處理된다.

在庫枯渴을 最小化 하면서 一定한 水準의 可用度를 維持하기 위해서는 최소한 어느 정도의 豫備部品을 確保하느냐가 問題이다. 어떤 體系가 n個의 部品으로 構成되어 있으며 이러한 部品들은 앞에서 假定한 바와 같이 서로 直列로 連結되어 있고 部品의 需要는 포아송분포를 따른다고 할 때, 만일 部品 i의 豫備部品을 $S_i$個

保有하고 있다면 在庫枯渴은 다음과 같다.

$$\begin{cases} 0 & , \text{ if } d_i \le S_i \\ d_i - S_i & , \text{ if } d_i > S_i \end{cases}$$

만일, 部品 i를 $S_i$個 保有하고 있다면 期待 在庫枯渴數는

$$\sum_{d_i=s_i+1}^{\infty} (d_i - S_i) P(D_i = d_i)$$

로 나타낼 수 있다.

여기에서 어떤 武器體系를 구성하는 n個의 部品에 대해 在庫枯渴의 기대값을 目的函數로 하고 制約式을 그 武器體系의 要望되는 可用度水準으로 하면 다음과 같은 非線型計劃問題가 성립될 수 있다.

$$(P): \min\ Z(S) = \sum_{i=1}^{n} \sum_{d_i=s_i+1}^{\infty} (d_i - S_i) P(D_i = d_i)$$

$$\text{s.t}\quad \prod_{i=1}^{n} A_i(S_i) = L$$

단, $S = (S_1, S_2, \cdots\cdots, S_n)$

$S_i$ = i 번째 部品의 在庫水準

$$P(D_i = d_i) = \frac{(\lambda_i T_i)^{d_i} \exp(-\lambda_i T_i)}{d_i\,!}$$

단, $T_i$ = i번째 部品의 再補充時間

$A_i(S_i)$ = i 번째 部品이 $S_i$個 있을때 i 번째 部品의 可用度

L = 要望하는 體系 可用度水準

模型 (P)는 資源을 割當한다는 側面 보다는, 우선 要望하는 可用水準을 達成시키기 위해 在庫枯渴을 最小로 하면서 再補充間 $T_i$동안에 얼마의 豫備部品을 確保해야 되는가를 決定해 준다.

## 4. 解 法

이 模型은 Everett[3]가 제시한 一般化된 라그랑지乘數法(generalized Lagrange multiplier method)을 應用해서 解를 구할 수 있다.

먼저 위 모형에서 制約式의 양변에 자연대수를 취하면 分離可能函數(separable function)가 된다. 즉,

$$\ln\left[\prod_{i=1}^{n} A_i(S_i)\right] = \sum_{i=1}^{n} \ln\ A_i(S_i) = \ln\ L \quad \cdots\cdots (8)$$

非線型計劃問題 (P)에서 制約式을 (8)로 대치한 후에 라그랑지函數 $L(S;\theta)$로 표시하면

$$\begin{aligned} L(S;\theta) &= \sum_{i=1}^{n} \sum_{d_i=s_i+1}^{\infty} (d_i - S_i) P(D_i = d_i) \\ &\quad - \theta\left[\sum_{i=1}^{n} \ln\ A_i(S_i) - \ln\ L\right] \quad \cdots\cdots (9) \end{aligned}$$

로 되며, 다시 式(9)를 n個로 分離하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} &L(S_1, S_2, \cdots\cdots, S_n;\theta) \\ &= \sum_{i=1}^{n} \left[\sum_{d_i=s_i+1}^{\infty} (d_i - S_i) P(D_i = d_i)\right. \\ &\quad \left. - \theta\ \ln\ A_i(S_i)\right] + \theta\ \ln\ L \quad \cdots\cdots (10) \end{aligned}$$

여기서 式(10)은 n個의 單一變數 最適化問題로 分離가 可能하므로 n個의 部分目的函數(sub-objective function)를 最小化 함으로서 이 모형 전체를 最小化할수 있음을 알수 있다.

만일 需要分布가 連續函數이면 式(10)을 各 $S_i$에 대해 편미분하여 0으로 놓고 $S_i$를 구할 수 있다.

$$\frac{\partial L}{\partial S_i} = \frac{dZ(S_i)}{dS_i} - \frac{\theta d[\ln\ A_i(S_i)]}{dS_i} = 0 \quad \cdots (11)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \theta}=\sum_{i=1}^{n}\ln A_i(S_i)-\ln L=0 \qquad \cdots\cdots (12)$$

式(11)과 (12)를 만족하는 $\theta$는 制約式의 단위변화량에 대한 目的函數의 변화를 나타내는 潛在價値(shadow price)를 말한다. 즉,

$$\theta=\frac{\partial Z(S_i)}{\partial \ln L}$$

本 模型에서는 $\theta$가 어떤 部品의 한單位 增加함에 따라 追加된 可用度當 目的函數 값의 변화량을 나타내는 것으로 目的函數가 可用度 lnL의 單調 非增加函數(monotone non-increasing function)임을 알 수 있다. 또한 본 模型은 非線型計劃 問題이면서 그 解가 非陰整數인 離散點(descrete points) 集合이어야 한다는 특성을 가지고 있으므로 반드시 定差方程式(difference equation)을 使用해야만 타당하다. 즉 決定變數 $S_i$가 整數라는 屬性을 가지므로 정확한 最適解를 구하는 것이 不可能 할 경우가 대부분이다. 그러나, 여기에서 얻어진 近似最適解와 正確한 最適解와의 차이가 有意할 만한 水準은 아니다.

만일 部品 i의 在庫水準이 $S_i-1$ 에서 $S_i$로 변화했을 때 라그랑지函數 $L_i$의 변화량을 $\triangle L_i(S_i;\theta)$라고 定義하면

$$\begin{aligned}\triangle L_i(S_i;\theta) &= L_i(S_i)-L_i(S_i-1)\\ &= Z_i(S_i)-\theta[\ln A_i(S_i)-\ln L]\\ &\quad -\{Z_i(S_i-1)-\theta[\ln A_i(S_i-1)-\ln L]\}\\ &= Z_i(S_i)-Z_i(S_i-1)-\theta[\ln A_i(S_i)\\ &\quad -\ln A_i(S_i-1)]\end{aligned}$$

여기서 決定變數(decision variable) $S_i$가 정수이기 때문에 最適解 $S_i^*$는

$$\triangle L_i(S_i^*;\theta)=L_i(S_i^*;\theta)-L_i(S_i^*-1;\theta)<0$$

$$\triangle L_i(S_i^*+1;\theta)=L_i(S_i^*+1;\theta)-L_i(S_i^*;\theta)\geq 0$$

를 동시에 만족하는 값이다.

## 5. 알고리즘

앞에서 우리는 裝備의 MTBF와 MTTR은 주어져 있다고 假定하고 決定變數로서 MSRT에 關聯되는 $S_i$를 選定하여 可用度를 나타내었다. 즉 可用度는 豫備部品 保有갯수의 函數로 나타낼 수 있음을 알았다. 즉 豫備部品을 많이 保有하고 있으면 TWUS가 감소되고 이에 따라 MSRT가 감소하여 可用度는 증가하게 되는 것이다.

그러나, 豫備部品이 아무리 많다고 해도 결코 MSRT가 0이하로 감소하지는 않는다. 따라서, 裝備가 達成할 수 있는 可用度의 최대값은 MSRT가 최저 0까지 감소하였을 때이다. 즉, 最大可用度를 $A_o^*$라고 定義하면 $A_o^*$는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$A_o^*=\prod_{i=1}^{n}\left[\frac{MTBF_i}{MTBF_i+MTTR_i+MSRT_i(S_i=\infty)}\right]$$

$$=\prod_{i=1}^{n}\left[\frac{MTBFi}{MTBFi+MTTRi+0}\right] \qquad \cdots\cdots (13)$$

=保有部品의 數로서 成就할 수 있는 可用度의 上限

裝備管理者는 그 裝備가 現在의 運營狀況下에서 達成할 수 있는 可用度의 最大값을 把握하고 이 最大可用度의 90%, 혹은 주어진 一定한 目標水準만 達成하면 만족한다는 어떤 範圍를 결정해야만 한다. 앞 節에서 設定한 模型은 限界分析法을 根幹으로 하여 다음과 같은 節次를 通해 解를 해 구할 수 있다.

段階1) 最大可用度 $A_o^*$를 계산하고 要望하는 可用度水準을 L을 결정한다. 즉, $\delta$, $(0 \le \delta \le 1)$를 裝備管理者가 要望하는 可用度의 最大可用度에 대한 比率이라고 놓고 $L=\delta[A_o^*]$를 구한다.

段階2) $S=(0, 0, \cdots, 0)$일때 $A_o(S)$를 계산한다.

段階3) 모든 部品의 在庫를 한 單位 追加시키고 그 결과 증가한 可用度當 目的函數값의 變化量을 計算하여 $\gamma_i$라 놓고 그 값들 중 最大값을 갖는 部品을 찾아 첨자(Index) j를 賦與한다. $(j=1, 2, \cdots, n)$

$$\gamma_i = \frac{Z_i(S_i+1) - Z_i(S_i)}{\ln A_i(S_i+1) - \ln A_i(S_i)} = \frac{\Delta Z_i(S_i+1)}{\Delta[\ln A_i(S_i+1)]}$$

$$\max_{\text{all } i}(\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \cdots, \gamma_n) = \gamma_j$$

段階 4) $S_j=S_j+1$로 놓고 $\gamma_j$를 計算한다.

$$\gamma_j = \frac{\Delta Z_j(S_j+2)}{\Delta[\ln A_j(S_j+2)]}$$

段階 5) 벡터 S를 修正하고 $MSRT_j(S_j+1)$를 계산한 다음 만일 要望하는 可用度水準 L에 到達하였거나 現在의 體系可用度와 可用度水準 L과의 差異가 어떤 작은 값 $\varepsilon$보다 작으면 計算을 終了하고 그렇지 않으면 다음 段階로 간다.

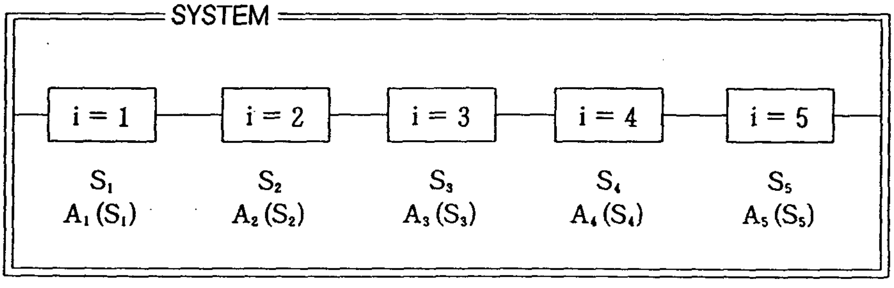
段階 6) $\gamma_i (i \neq j)$와 段階 4)에서 計算한 j번째 部品이 한 單位 증가했을 때 目的函數값의 變化量을 $\gamma_j$와 比較하여 最大값을 갖는 部品에 새로 첨자를 賦與한다.

$$\max\left\{\max_{i \neq j}\left[\frac{\Delta Z_i(S_i+1)}{\Delta[\ln A_i(S_i+1)]}\right], \frac{\Delta Z_i(S_i+2)}{\Delta[\ln A_i(S_i+2)]}\right\} = \gamma_j$$

段階 4)로 돌아가 反復한다.

## 6. 模型의 適用

〈그림 2〉와 같이 어떤 武器體系가 5가지 種類의




〈그림 2〉 어떤 裝備의 構成部品 連結圖

重要部品으로 構成되어 있으며 이들은 모두 直列로 連結되어 있어 이 部品中 어느 하나가 故障이면 그 武器體系 全體가 故障狀態에 놓이게 된다. 이 武器體系의 管理者는 每 分期末 在庫를 檢討한 後 要望하는 可用度水準을 達成하기 위해 一定한 水準의 豫備部品을 確保하고자 한다. 만일 이 武器體系의 最大可用度가 max $A_o$이고 실제 軍에서 이 武器體系를 運營時 可用度 目的水準이 라고 한다면 要望可用度 L은 $\delta$ (max $A_o$)가 된다.

또한, 各 部品의 需要는 포아송분포를 따르며 各 部品의 再補充時間은 동일하다. 이 裝備의 部品需要率 및 再補充時間 등은 과거의 자료로부터 다음과 같음을 알고 있다.

이 武器體系의 構成部品들은 限界分析法에 의해 段階的으로 割當하여 보자. 즉, 〈표 1〉의 5가지 部品 各各의 在庫水準에 따른 $\gamma_i$값을 모두 구하여 〈표 2〉을 작성한다. 그 값들을 상호 比較하여 큰 값부터 표에 나타난 番號順序대로 各 部品의 在庫水準을 한 單位씩 증가시키면서 每回 要望可用度를 達成하였는지 검토한다. 만일 要望可用度가 達成되었다면 이때의 各 部品 在庫水準인 벡터 S가 이 裝備의 最適 豫備部品數이므로 計算을 終了한다.

〈표 1〉 各 部品과 關聯된 資料

| 部品番號 i | 需要率 $\lambda_i$ | 再補充時間 $T_i$ | 單位當價格 $C_i$ | 平均整備時間 $MTTR_i$ | 現保有量 $S_i$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1.0 | 1.0 | 10.0 | 0.0411 | 0.0 |
| 2 | 3.0 | 1.0 | 50.0 | 0.0213 | 0.0 |
| 3 | 10.0 | 1.0 | 5.0 | 0.0027 | 0.0 |
| 4 | 5.0 | 1.0 | 25.0 | 0.0137 | 0.0 |
| 5 | 13.0 | 1.0 | 15.0 | 0.0011 | 0.0 |

**〈표 2〉 各 部品의 在庫增加에 따른 單位可用度 변화당 目的函數값의 변화량**

| 在庫水準 | $\gamma_1$ | $\gamma_2$ | $\gamma_3$ | $\gamma_4$ | $\gamma_5$ |
|---|---|---|---|---|---|
| .0 | ① -2.317634 | ③ -3.066008 | -6.182882 | ⑦ -3.905460 | -7.629558 |
| 1.0 | ② -2.857138 | ④ -3.200640 | -5.891235 | ⑧ -3.857312 | -7.277928 |
| 2.0 | ⑥ -3.640117 | ⑤ -3.473622 | -5.648030 | ⑨ -3.894272 | -6.954869 |
| 3.0 | -4.558791 | ⑩ -3.931102 | -5.458522 | -4.029000 | -6.666750 |
| 4.0 | -5.535102 | -4.574834 | -5.323407 | -4.293052 | -6.419126 |
| 5.0 | -6.500937 | -5.364995 | -5.241947 | -4.712034 | -6.215301 |

〈표 3〉 要望可用度 水準에 따른 最適解의 變化

| RATE | 要望<br>可用度 | 達成<br>可用度 | 在庫枯渴<br>目的函數값 | 所要費用 | 最 適 解<br>S vector |
|---|---|---|---|---|---|
| .60 | .486683 | .528164 | 2.994819 | 915.0 | (6, 8, 13, 9, 11) |
| .70 | .567797 | .587877 | 2.347985 | 930.0 | (6, 8, 13, 9, 12) |
| .80 | .648911 | .683434 | 1.384134 | 960.0 | (6, 8, 13, 9, 14) |
| .90 | .730025 | .738659 | .822872 | 990.0 | (6, 8, 13, 9, 16) |
| .95 | .770582 | .770705 | .487115 | 1095.0 | (7, 9, 14, 10, 17) |
| .99 | .803028 | .805349 | .085283 | 1325.0 | (9, 11, 17, 12, 20) |

〈표 2〉에서 番號 ⑩까지 10回 反復한 결과 要望可用度를 達成하였다면 最適解가 $S_1=3$, $S_2=4$, $S_3=0$, $S_4=3$, $S_5=0$임을 알 수 있다.

〈표 2〉 각 部品의 在庫增加에 따른 單位可用度 변화당 目的函數값의 변화량

〈표 3〉은 裝備管理者가 要望하는 可用度水準에 따라 割當된 豫備部品의 數와 이때 필요한 費用, 達成된 目的函數값 등을 계산하여 구성하였다.

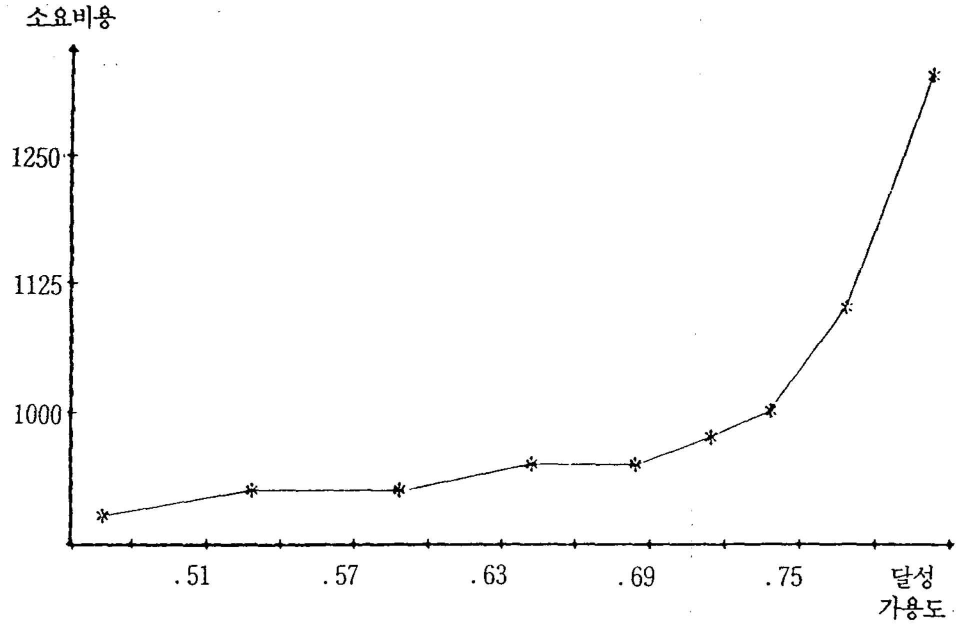
만일 裝備管理者가 이 裝備의 最大可用度의 95%만 達成하면 만족한다고 하면 〈표 3〉의 첫번째 열의 95%에 해당하는 행에서 벡터 $S$가 (7, 9, 14, 10, 17)이고 이때, 達成된 可用度가 0.770705, 在庫枯渴기대값이 0.487115, 所要되는 費用이 1095.0임을 알 수 있다.

RATE=裝備가 達成할 수 있는 最大可用度에 對한 要望可用度의 比率

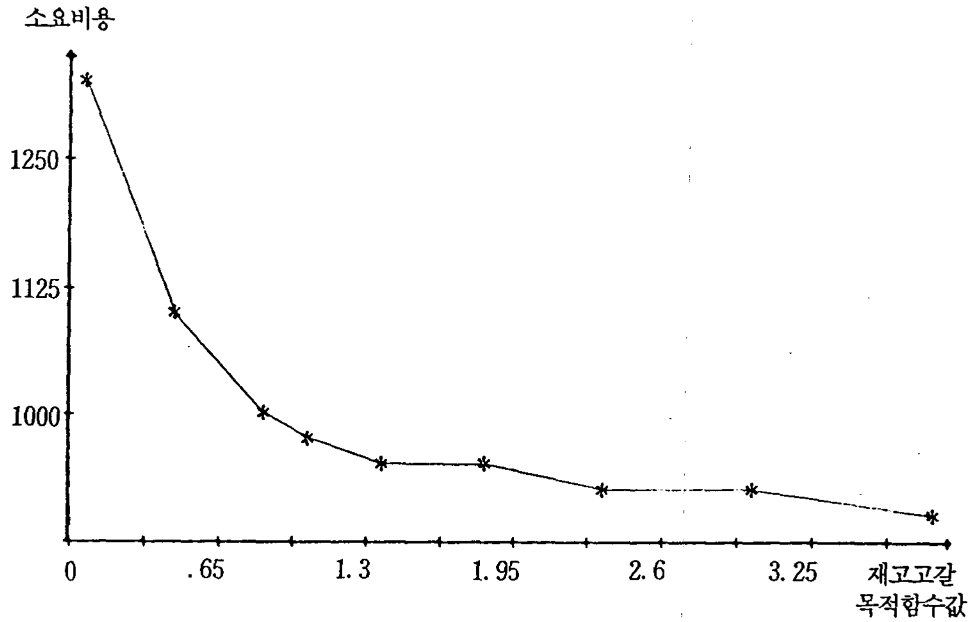
〈그림 3〉과 〈그림 4〉은 費用이 可用度와 在庫枯渴 기대값의 限界收益이 遞感하는 單調函數(mono-tonic function)임을 보여주고 있다. 〈그림 3〉에서 要望可用度를 대략 0.74이상으로 하거나, 〈그림 4〉에서 在庫枯渴이 기대값을 대략 1.0이하로 줄이려 한다면 單位可用度 증가당 所要費用이 懸隔히 증가함을 볼 수 있다. 즉 資源의 單位投資에 比해 限界收益이 遞感하는 樣相임을 알 수 있다.

어떤 裝備이던지 간에 〈표 3〉와 같은 표를 作成하면 그 裝備에 있어 限界收益이 遞感하는 變曲點을 찾아낼 수 있고, 이것은 豫算請求者나 豫算決定權者 兩者 모두에게 필요한 구체적인 情報로서 매우 가치있는 意思決定 根據資料가 될 것이다. 따라서 意思決定權者는 對象裝備의 戰略, 戰術的 價値를 考慮함과 同時에 裝備의 特定 性能水準을 費用과 연계하여 적절히 결정해야만 한다.

만일 豫算이 一定金額으로 限定되어 있다면




〈그림 3〉 可用度水準과 費用과의 關係




〈그림 4〉 目的函數값과 費用과의 關係

〈그림 3〉과 〈그림 4〉의 所要費用軸에서 水平으로 그은 直線과 만나는 그래프 上의 點을 垂直으로 내려 그으면 간단히 限定된 豫算으로 達成된 體系의 性能水準을 把握할 수 있다.

## 8. 結 論

본 연구에서는 武器體系를 構成하는 各 部品이 直列로 連結되어 있다는 假定下에서 武器體系可用度를 各 部品의 平均補給反應時間과 平均故障間時間 및 平均修理時間의 函數로 표시하였다. 또한 豫備部品數를 統制하여 體系管理者가 要望하는 可用度를 達成하면서 在庫枯渴기대값이나 所要費用을 最小化할 수 있는 在庫模型을 提示였다.

經濟的 觀點에서 보면 限界收益이 遞減하기 시작하는 지점이 그 體系가 保有해야 할 最適豫備部品數이다. 그러나, 武器體系에 있어서는 費用要素의 最小化보다는 敵對國과의 緊張의 高潮 등 여러가지 周邊狀況으로 因해 體系管理者가 特定한 可用度水準을 要望하게 된다. 이러한 경우 본 연구에서 提示한 模型은 要望 可用度水準에 相應하는 豫備部品數와 所要費用을 算出해 주며 合理的인 可用度 要求水準을 決定할 수 있게 해 준다. 이는 體系管理者가 一定水準의 體系可用度를 達成하기 위해 필요한 豫算의 量을 請求할 때 說得力 있는 根據資料가 되며 豫算 決定權者에게도 納得할 수 있는 資料가 될 것으로 기대된다.

또한 豫算이 이미 限定되어 있다면 體系管理者에게 주어진 豫算으로 달성될 수 있는 體系의 可用度水準과 在庫枯渴기대값을 把握할 수 있게 해준다.

## 参 考 文 獻


〔1〕 Abell, John B. and Lengel, Joan E., "Toward the Use of Availability Models for Spares Computations in the Department of Defense", *Logistics Management Institute, June 1982.*

〔2〕 Blanchard, Benjamin S. & Alter J. Fabrycky, *Systems Engineering and Analysis*, New Jersey, Prentice-Hall, Inc., 1981.

〔3〕 EVerett, Hugh. III, "Generalized Lagrange Multiplier Method for Solving Problems of Optimum Allocation of Resources", *Operations Research* Vol. 11, November 1963, pp. 393~417.

〔4〕 Jee, Man-Won, "An Algorithm for Optimal Allocation of Spare Parts", *Military Operations Research of Korea*, Vol. 9, No. 1, June 1983, pp. 29～49.

〔5〕 Jee, Man-Won, *Mathematical Models for Operational Availability*, (Ph. D. Dessertation, Naval Postgraduate School, September 1980).

〔6〕 Richards, F. Russel & A. W. McMasters, "Wholesale Provisioning Models", *Naval Postgraduate School NPS Technical Report*, NPS 55-83-026.