Journal of the KSQC
Vol. 17, No.1 1989

# 部品特性을 고려한 多部品裝備의 整備模型
# Maintenance Model of Multi-Component System Considering Characteristics of Components

鄭 永 培 *
黃 義 徹 **

**ABSTRACT**

In general, the characteristics of components which consist of multi-component system can not be the same. This paper proposes a maintenance model of multi-component system considering the characteristics of each component.

In this paper, multi-component system is divided into three components -critical unit, major unit and minor unit, respectively. This paper determines the optimal replacement time of the system which minimizes total maintenance cost, optimal replacement period of major unit and initial stock quantity of minor unit within this optimal replacement time.

Numerical examples are shown when the failure times of each unit have gamma distribution.

## 1. 序 論

現代에 들어 生産裝備가 機械化, 自動化되고, 이 裝備의 稼動中 발생되는 故障은 전체 생산공장의 操業中斷등 큰 손실을 초래하게 됨에 따라 시스템의 運用費用과 可用度(availability)에 직결되는 문제인 整備(maintenance)에 대한 관심이 높아지고 있다. 따라서 시스템의 規模와 정비에 따르는 비용이 클 경우 整備費用의 절감효과를 보면서 시스템의 可用度를 높일 수 있는

* 仁川大學校 産業工學科 助敎授
** 漢陽大學校 産業工學科 敎授

효과적인 整備模型(maintenance model)의 수립이 필요하게 된다.

효과적인 정비모형을 수립하기 위해서는 다음과 같은 세가지 문제를 고려해야 한다.

첫째, 정비를 실시하는 시점에 따라 분류되는 故障整備(breakdown maintenance)와 豫防整備(preventive maintenance)의 경제적인 면을 고려해야 한다.

둘째, 정비를 실시하는 방법에 따라 분류되는 現在條件에서 장비를 유지시키는 修理와 現裝備를 交換하는 두가지 代案을 고려해야 한다.

셋째, 정비를 원활히 수행하기 위해 在庫되어야 할 수리 및 교환부품의 종류나 수량이 使用頻度, 部品의 價格, 시스템의 整備槪念에 따라 고려되어야 한다.

이와같은 문제를 고려한 整備方針(maintenance policy)에 대해 많은 연구가 있었으나 대부분 單一部品으로 구성된 시스템에 대한 정비방침이었으며, 여러개의 부품으로 구성된 시스템에 대해서도 각 部品의 고장이 確率的, 經濟的으로 독립이라는 가정하에 이루어졌기 때문에 각 부품에 대한 정비방침의 결정도 모두 독립이 되어 單一部品의 결정방법과 일치하게 된다.

그러나 현실적으로는 多部品으로 구성된 장비의 정비를 할 때 部品들의 特性이 모두 같을 수가 없기 때문에 똑같은 정비방침을 적용하여 정비를 한다는 것은 합리적인 방법이라 할 수 없다.

本 硏究에서는 시스템이 복잡하고 다양한 多部品으로 구성되어 있는 경우 모든 部品의 特性이 같지 않다는 점에 착안하여 시스템을 구성하는 部品을 致命部品(critical unit), 重部品(major unit), 輕部品(minor unit)으로 분류하여 각각의 部品特性에 적합한 서로 다른 交換方針(replacement policy)에 따른 整備模型을 설정하여 시스템의 總整備費用을 最小로 하는 多部品裝備의 整備模型을 제시하고자 한다.

## 2. 整備模型의 設定및 記號說明

### 2.1 模型의 設定

本 硏究에서는 시스템을 구성하는 部品을 特性에 따라 다음 세가지로 분류한다.

1) 致命部品

시스템 전체의 性能에 致命的인 영향을 주는 매우 중요한 부품이며, 이러한 部品의 故障은 시스템 전체의 고장과 같다고 할 수 있다. 따라서 이러한 부품에 고장이 발생하면 시스템 전체를 交換한다.

2) 重部品

시스템 전체의 性能에는 치명적인 영향을 미치지는 않지만, 이러한 部品에 고장이 발생하면 시스템의 運用上에 문제점이 발생하며, 修理가 가능하고 價格도 비교적 비싼 부품이다. 따라서 이러한 部品이 고장나면 應急修理(minimal repair)를 해가면서 사용하다가 定期交換時點(periodic replacement time)에서 定期的으로 교환해 준다.

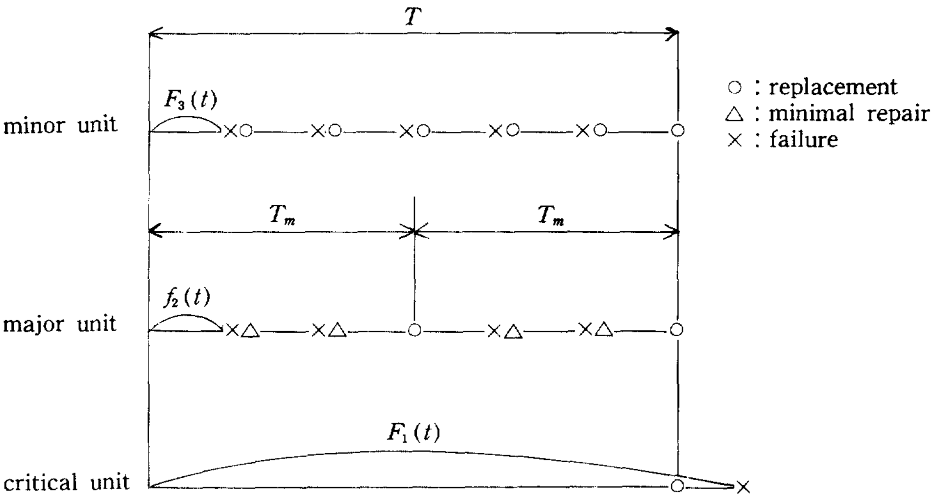
3) 輕部品

시스템 전체의 性能에 거의 영향을 주지 않을 뿐만 아니라, 價格도 저렴해서 修理를 하는 것보다는 고장이 발생할 때마다 部品을 교환해 준다.

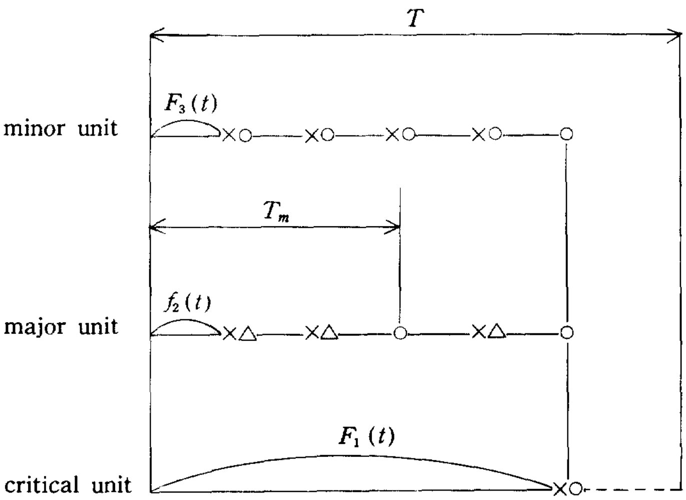
本 硏究에서는 위의 세가지 部品特性에 따라 致命部品은 壽命交換方針, 重部品은 定期交換方針, 輕部品은 故障交換方針을 따르는 다음과 같은 多部品裝備의 整備模型을 제시한다.

模型 : 시스템의 壽命交換時點 이전에 치명부품에 고장이 발생하면 시스템을 교환해 주고, 이 시점까지 치명부품의 고장이 발생하지 않으면 시스템을 壽命交換時點에서 豫防交換해 준

다. 重部品은 시스템의 운용기간 내에서 고장이 나면 應急修理를 하여 사용하다가 定期交換週期에서 교환해 준다. 輕部品은 시스템의 운용기간 내에서 고장이 날 때마다 교환해 준다. 이 整備模型을 그림으로 나타내면 Fig. 1과 같다.




(a) Preventive maintenance of system at time $T$ if critical unit has not failed.




(b) breakdown maintenance of system if critical unit fails before time $T$.

**Fig. 1 Maintenance Model of Multi−Component System**

### 2.2 假定및 記號說明

#### 2.2.1 假定

1) 시스템의 計劃期間은 無限으로 한다.

2) 각 部品의 고장은 確率的으로 독립이다.

3) 整備는 고장발생 즉시 이루어지고, 整備時間은 무시할 수 있을 만큼 작다.

4) 각 部品의 고장은 新品으로 이루어진다.

5) 應急修理는 고장발생 직전의 故障率만큼만 회복되고, 應急修理費用은 修理回數가 1回 증가함에 따라 線型으로 증가한다.

6) 순간고장률함수는 單調增加하고 連續이다.

#### 2.2.2 記號說明

$i$ : 部品의 종류($i=1$ : 致命部品, $i=2$ : 重部品, $i=3$ : 輕部品)

$F_i(t)$ : 部品$i$의 故障時間의 分布函數

$f_i(t)$ : 部品$i$의 故障密度函數

$h_i(t)$ : 部品$i$의 瞬間故障率函數

$H_i(t)$ : 部品$i$의 누적순간고장률함수

$N_i(t)$ : $(0, t)$사이에서 발생한 部品$i$의 故障回數

$M_i(t)$ : 部品$i$의 평균재생회수, $E[N_i(t)]$

$m_i(t)$ : 部品$i$의 재생밀도함수

$T$ : 시스템의 交換壽命

$T_m$ : 重部品의 定期交換週期

$T^*$ : 시스템의 最適交換壽命

$T_m^*$ : 重部品의 最適定期交換週期

$\mu_i$ : 部品$i$의 평균수명

$c_1$ : 치명부품의 고장시 시스템의 고장정비비용

$c_2$ : 시스템의 예방교환비용

$c_{30}$ : 重部品의 응급수리비용중 고정비용

$c$ : 重部品의 응급수리시 單位回數當 增分費用

$c_{3j}$ : 重部品의 $j$번째 고장시 응급수리비용

$c_{3j}^*$ : 重部品의 $j$번째 고장까지의 총 응급수리비용

$c_4$ : 重部品의 단위당 예방교환비용

$c_5$ : 輕部品의 단위당 고장교환비용

$j$ : 重部品의 정기교환주기 내에서의 고장회수

$k$ : 重部品의 예방교환회수

$C_1(T)$ : 치명부품으로 인한 $[0, T]$사이의 期待費用

$C_2(T, k)$ : 중부품으로 인한 $[0, T]$사이의 期待費用

$C_3(T)$ : 경부품으로 인한 $[0, T]$사이의 期待費用

$C_s(T, k)$ : $[0, T]$사이의 시스템의 期待費用

$\bar{\mu}(T)$ : 交換壽命이 $T$인 시스템의 平均壽命

$\bar{C}_s(T, k)$ : 1회의 整備週期가 $T$인 시스템을 무한시간동안 사용할 때의 단위 시간당 평균비용

## 3. 多部品裝備의 最適整備模型決定

致命部品, 重部品, 輕部品으로 구성된 多部品裝備가 壽命交換方針을 따를 때 시스템의 總整備費用을 最小로 하는 시스템의 最適交換壽命 $T^*$와 重部品의 最適定期交換週期 $T_m^*$를 구함과 동시에 輕部品에 대해서는 $T^*$ 내에서 故障回數의 平均과 標準偏差를 구하여 시스템의 運用初期에 보유해 두어야 할 輕部品의 初期準備量을 결정한다.

### 3.1 시스템의 費用分析

1회의 整備週期가 $T$인 시스템의 期待費用은 致命部品으로 인한 期待費用, 重部品으로 인한

期待費用, 輕部品으로 인한 期待費用의 合으로 구한다.

致命部品으로 인한 期待費用은 致命部品의 고장으로 인한 시스템의 고장정비비용과 시스템의 交換壽命까지 致命部品의 고장이 발생하지 않았을 때의 시스템의 예방교환비용의 合으로써

$$C_1(T)=c_1F_1(T)+c_2\bar{F}_1(T),$$

$$\bar{F}_1(T)=1-F_1(T) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.1)$$

이다. 重部品으로 인한 期待費用은 시스템의 交換壽命내에서 重部品의 응급수리비용과 정기교환비용의 合으로써 구한다.

정기교환주기내에서 重部品의 응급수리비용이 수리회수가 증가함에 따라 線型으로 증가하면 다음 式(3.2)와 같다.

$$c_{3j}=c_{30}+jc,\ \ c_{30}>0,\ \ c\geq,\ \ 0\cdots\cdots\cdots (3.2)$$

式(3.2)는 重部品의 追加修理費用이 수리회수가 1회씩 증가함에 따라 $c$단위가 더 소요되고, $c=0$일 때는 수리회수에 관계없이 응급수리비용이 일정함을 나타낸다. 또 重部品의 정기교환주기 $T_m\in(0,T]$라 하면 重部品의 정기교환이 $T_m$, $2T_m$, $3T_m$,…에서 발생하므로

$$T/k\leq T_m,\ k=1,2,3,\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.3)$$

인 $k$가 존재하고, 시스템의 交換壽命 $T$를

$$T=(k-1)\ \ T_m+y,\ \ 0<y\leq T_m\ \cdots\cdots (3.4)$$

의 형태로 나타낼 수 있다.

따라서 重部品의 $[0,T]$사이의 期待費用은

$$C_2(T_m)=(k-1)c_4-k\textstyle\sum_{j=1}^{\infty}(H_2^j(T_m)/j!)$$

$$\exp(-H_2(T_m))c_{3j}^*,\ \ y=T_m$$

$$(k-1)c_4+(k-1)$$

$$\textstyle\sum_{j=1}^{\infty}(H_2^j(T_m)/j!)$$

$$\exp(-H_2(T_m))c_{3j}^*$$

$$+\textstyle\sum_{j=1}^{\infty}(H_2^j(T-(k-1)T_m/j!)$$

$$\exp(-H_2(T-(k-1)T_m))c_{3j}^*,$$

$$y<T_m \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.5)$$

이고, 式(3.5)를 오른쪽으로 부터 $T_m\to T/k$로 접근시켜보면

$$C_2(T_m)=(k-1)c_4+(k-1)\textstyle\sum_{j=1}^{\infty}(H_2^j$$

$$(T_m)/j!)\exp(-H_2(T_m))c_{3j}^*$$

$$+\textstyle\sum_{j=1}^{\infty}(H_2^j(T-(k-1)T_m)/j!)$$

$$\exp(-H_2(T-(k-1)T_m))c_{3j}^*$$

$$\to(k-1)c_4+k\textstyle\sum_{j=1}^{\infty}(H_2^j(T/k)/j!$$

$$=C_2(T/k) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.6)$$

이기 때문에 $C_2(T_m)$은 오른쪽으로 연속이고 $H_2(T_m)$이 연속이므로 $T, T/2, T/3,\cdots$를 제외한 나머지 구간에서는 연속이다.

$h_2(t)$가 IFR(increasing failure rate)이고 $j$번째 應急修理費用이 式(3.2)와 같을 때 $C_2(T_m)$이 $\{T,\ T/2,\ T/3,\ \cdots\}$의 점중 한 점에서 최소임을 보이기 위해 $\{T, T/2, T/3,\cdots\}$를 제외한 곳에서 $dC_2(T_m)/\ dT_m$을 구하면

$$C_2'(T_m)=(k-1)(c_{30}+c)(h_2(T_m)$$

$$-h_2(T-(k-1)(T_m))$$

$$+(k-1)c(h_2(T_m)H_2(T_m)$$

$$-h_2(T-(k-1)T_m)H_2(T-$$

$$(k-1)(T_m)) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(3.7)$$

이다. $h_2(t)$가 IFR이고 $H_2(t)$는 비감소이므로

$$h_2(T_m)-h_2(T-(k-1)T_m)\geq 0$$

$$h_2(T_m)H_2(T_m)-h_2(T-(k-1)T_m)$$

$$H_2(T-(k-1)T_m)\geq 0$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(3.8)$$

이다. 따라서 $C_2'(T_m)$은 구간 $(0, T]$에서 점 $\{T, T/2, T/3, \cdots\}$를 제외하고는 $C_2'(T_m)\geq 0$이고, 式(3.6)에서 $k\to\infty$에 접근함에 따라 $(k-1)c_4\to\infty$에 접근하고

$$C_2(T/k)\geq(k-1)c_4 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(3.9)$$

이므로 구간 $(0, T]$에서 $C_2(T_m)$의 最小値는 존재하며 점$\{T, T/2, T/3, \cdots\}$중 한 점에서 발생한다. 重部品의 $j$번째 수리까지의 총응급수리비용이

$$c_{3j}^*=c_{31}+c_{32}+\cdots+c_{3j} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(3.10)$$

이므로 交換壽命 $T$에서의 重部品의 期待費用은 式(3.6)에 의해

$$C_2(T/k)=(k-1)c_4+(c_{30}+c)kH_2(T/k)+k(c/2)H_2^2(T/k),$$

$$k=1, 2, 3, \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(3.11)$$

이다. 따라서 시스템이 壽命交換方針을 따를 때 重部品의 期待費用은

$$C_2(T, k)=(k-1)c_4+k(c_{30}+c)\int_0^T \bar{F}_1(t)\,dH_2(t/k)$$

$$+k(c/2)\int_0^T \bar{F}_1(t)\,dH_2^2(t/k),$$

$$k=1, 2, 3, \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(3.12)$$

이다. 輕部品으로 인한 期待費用은 $(0, T)$사이의 輕部品의 期待故障交換費用으로서

$$C_3(T)=c_5\int_0^T \bar{F}_1(t)\,dM_3(t) \quad \cdots\cdots(3.13)$$

이므로 시스템의 期待費用은 式(3.1), (3.12), (3.13)의 合으로써

$$C_S(T, k)=c_1F_1(T)+c_2\bar{F}_1(T)+(k-1)c_4$$

$$+k(c_{30}+c)\int_0^T \bar{F}_1(t)\,dH_2(t/k)$$

$$+k(c/2)\int_0^T \bar{F}_1(t)\,dH_2^2(t/k)$$

$$+c_5\int_0^T \bar{F}_1(t)\,dM_3(t) \quad \cdots(3.14)$$

이다.

시스템의 平均壽命은

$$\bar{\mu}(T)=\int_0^T \bar{F}_1(t)\,dt \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(3.15)$$

이므로 1회의 整備週期가 $T$인 시스템의 單位時間當 平均費用은

$$\bar{C}_s(T, k) = (c_1 F_1(T) + c_2 \bar{F}_1(T) + (k-1)c_4 + k(c_{30}+c) \int_0^T \bar{F}_1(t)\,dH_2(t/k) + k(c/2)\int_0^T \bar{F}_1(t)\,dH_2{}^2(t/k) + c_5\int_0^T \bar{F}_1(t)\,dM_3(t)) / \int_0^T \bar{F}_1(t)\,dt \quad \cdots\cdots (3.16)$$

이다. 또 시스템의 豫防交換을 하지 않을 때의 單位時間當 平均費用은

$$\bar{C}_s(\infty, k) = \Big\{ (c_1 + (k-1)c_4 + k(c_{30}+c)\int_0^\infty \bar{F}_1(t)\,dH_2(t/k) + k(c/2)\int_0^\infty \bar{F}_1(t)\,dH_2{}^2(t/k) + c_5\int_0^\infty \bar{F}_1(t)\,dM_3(t)\Big\}/\mu_1 \quad \cdots\cdots (3.17)$$

이다.

### 3.2 시스템의 最適交換壽命決定

시스템의 最適交換壽命 $T^*$와 重部品의 最適定期交換週期 $T_m{}^*$를 구하기 위해 單位時間當 平均費用 $\bar{C}_s(T,k)$를 $T$로 微分하여 $d\bar{C}_s(T,k)/dT = D(T,k) = 0$으로 놓으면

$$D(T,k) = ((c_1-c_2)h_1(T) + (c_{30}+c)h_2(T/k) + cH_2(T/k)h_2(T/k) + c_5 m_3(T))\int_0^T \bar{F}_1(t)\,dt - ((c_1-c_2)F_1(T) + k(c_{30}+c)\int_0^T \bar{F}_1(t)\,dH_2(t/k) + k(c/2)\int_0^T \bar{F}_1(t)\,dH_2{}^2(t/k) + c_5\int_0^T \bar{F}_1(t)\,dM_3(t) = c_2 + (k-1)c_4 \quad \cdots\cdots (3.18)$$

이다. 따라서 $c_1 > c_2 > 0$, $c_{30} > c \geq 0$, $c_4 > 0$, $c_5 > 0$이고 $h_i(t)$, $i = 1, 2, 3$가 연속이고 單調增加하는 순간고장률일 때 각각의 $k$에 대해 式(3.18)을 만족하는 最適交換壽命 $T_k{}^*$, $k = 1, 2, 3, \cdots$가 존재하고 이때의 單位時間當 平均費用은

$$\bar{C}_s(T_k{}^*, k) = (c_1-c_2)h_1(T_k{}^*) + (c_{30}+c)h_2(T_k{}^*/k) + cH_2(T_k{}^*/k)h_2(T_k{}^*/k) + c_5 m_3(T_k{}^*), \quad k = 1, 2, 3, \quad \cdots\cdots (3.19)$$

이고 각각의 $k$에 대한 單位時間當 平均費用 $\bar{C}_s(T_k{}^*, k)$는

$$\bar{C}_s(T_k{}^*, k^*) = \min_k \bar{C}_s(T_k{}^*, k) \quad \cdots\cdots (3.20)$$

인 有限하고 唯一한 $1 \leq k^* < \infty$가 존재하며, $\bar{C}_s(T_k{}^*, k)$를 最小로 하는 $k^*$는

$$\Delta \bar{C}_s(T_k^*, k-1) < 0 < \Delta \bar{C}_s(T_k^*, k),$$

$$k=1,2,3, \quad \cdots\cdots\cdots(3.21)$$

를 만족하는 값이며 이때의 最適單位時間當 平均費用은

$$\bar{C}_s(T_k^*, k^*) = (c_1 - c_2)h_1(T_k^*) + (c_{30}+c)h_2(T_k^*/k^*) + cH_2(T_k^*/k^*)h_2(T_k^*/k^*) + c_5 m_3(T_k^*) \quad \cdots\cdots(3.22)$$

이다.

### 3.3 輕部品의 初期準備量決定

輕部品은 가격이 저렴하기 때문에 시스템의 交換壽命동안 輕部品의 고장발생시 교환해 줄 豫備品을 시스템 運用初期에 준비해 두면 시스템의 整備管理가 원활해 진다. 따라서 시스템의 最適交換壽命이 결정되면 이 교환수명 내에서 輕部品의 故障回收에 대한 平均과 分散을 구하여 輕部品의 初期準備量을 결정하고자 한다.

輕部品의 故障回收의 平均과 分散은

$$E[N_3(T^*)] = \int_0^{T^*} \bar{F}_1(t)\,dM_3(t) \quad \cdots\cdots(3.23)$$

$$V[N_3(T^*)] = E[N_3(T^*)] - E^2[N_3(T^*)] + 2\int_0^{T^*} \bar{F}_1(t)\left\{\int_0^t m_3(t-x)\,dM_3(x)\right\}dt \quad \cdots\cdots(3.24)$$

이다. 따라서 시스템 운용초기에 輕部品을

$$E[N_3(T^*)] + 3\sqrt{V[N_3(T^*)]} \quad \cdots\cdots(3.25)$$

개 만큼 준비한다면 故障回數가 正規分布를 할 경우 99.87%까지는 輕部品의 在庫의 부족을 방지하여 시스템을 원활히 관리할 수 있다.

## 4. 數値例

本 研究에서 제시한 部品의 特性을 고려한 多部品裝備의 整備模型의 數値例를 보이기 위해 다음과 같은 部品의 故障時間의 分布函數를 가정한다.

감마분포(gamma distribution)의 밀도 함수가

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t)(\lambda t)^{\alpha-1}/\Gamma(\alpha),$$

$$\alpha>0,\ \lambda>0,\ 0<t\le\infty \quad \cdots\cdots(4.1)$$

일 때 致命部品 : $\alpha=2$, $\lambda=1$, 重部品 : $\alpha=2$, $\lambda=8$, 輕部品 : $\alpha=2$, $\lambda=12$인 경우에서 $c_2=1.0$, $c_{30}=0.05$, $c=0.007$, $c_4=0.2$, $c_5=0.02$에 대해 $c_1=5,6,7,8,9,10,20,30,40,50,100$으로 증가시켜가면서 각각의 $c_1$에 대해 시스템의 最適交換壽命, 重部品의 最適定期交換週期, 最適單位時間當 平均費用, 시스템의 豫防整備效果, 輕部品의 平均과 標準偏差는 Table 1과 같다.

**Table** Ⅰ. Optimum Maintenance Model of Multi−Component system as a Function of $c_1$

| $c_1$ | $T^*$ | $T_m^*$ | $\bar{C}_s(T^*, k^*)$ | Gain* (%) | Mean | Std. Dev. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 1.70 | 0.850 | 2.917 | 14.9 | 7.695 | 3.464 |
| 6 | 1.39 | 0.695 | 3.279 | 16.6 | 6.684 | 2.802 |
| 7 | 1.19 | 0.595 | 3.610 | 18.5 | 5.928 | 2.388 |
| 8 | 1.06 | 0.530 | 3.937 | 20.1 | 5.389 | 2.129 |
| 9 | 0.95 | 0.475 | 4.219 | 22.3 | 4.905 | 1.918 |
| 10 | 0.87 | 0.435 | 4.498 | 24.1 | 4.536 | 1.770 |
| 20 | 0.52 | 0.260 | 6.755 | 38.2 | 2.761 | 1.171 |
| 30 | 0.39 | 0.195 | 8.366 | 47.5 | 2.041 | 0.950 |
| 40 | 0.33 | 0.165 | 9.892 | 52.7 | 1.700 | 0.839 |
| 50 | 0.28 | 0.140 | 10.922 | 57.9 | 1.412 | 0.738 |
| 100 | 0.19 | 0.190 | 15.99 | 68.6 | 0.887 | 0.510 |

· $\text{Gain} = \{(\bar{C}_s(\infty, k) - \bar{C}_s(T^*, k^*))/\bar{C}_s(\infty, k^*)\} \times 100(\%)$

## 5. 結 論

本 硏究에서는 多部品裝備에 대해 그 部品特性을 고려한 部品整備方針을 가지고 있을 때 시스템의 總整備費用을 最小로 하는 整備模型을 提示하였다.

本 硏究에서는 多部品裝備를 구성하고 있는 部品들을 致命部品, 重部品, 輕部品으로 나누어 각 部品의 特性에 맞게 致命部品은 壽命交換方針을 따르고, 重部品은 應急修理後 定期交換方針을 고려하였고, 輕部品은 故障交換方針을 따를 때 裝備의 總整備費用을 最小로 하는 裝備의 最適交換壽命, 重部品의 最適定期交換週期, 輕部品의 初期準備量을 결정함으로써 보다 현실적인 多部品裝備의 整備模型을 제시하였다.

本 硏究에서 제시한 多部品裝備의 整備模型은 현실적인 模型으로서 다음과 같은 향후 많은 연구과제를 가지고 있다.

(1) 각 部品의 交換에 필요한 인도시간(lead time)을 고려한 方針을 고려할 수 있다.

(2) 重部品의 修理時間에 한계가 있어 그 한계를 넘으면 交換을 하는 경우를 고려할 수 있다.

(3) 修理및 交換에 드는 費用에 대한 한계를 두어 限界費用내에 새로운 交換方針을 수립할 수 있다.

(4) 檢査를 하여 裝備의 故障을 감지할 경우 檢査方針과 交換方針을 고려한 整備方針을 고려할 수 있다.

# 參 考 文 獻


1. Barlow, R.E., Hunter, L.C. (1960), *"Optimal Preventive Maintenance Policies,"* Operations Research, Vol.8, pp. 90–100.
2. ______, Proschan, F. (1965), Mathematical Theory of Reliability, John Wiley and Sons, Inc.
3. Beichelt, F., Fischer, K. (1980, Apr.), *"General Failure Model Applied to Preventive Maintenance Policies,"* IEEE Trans. Reliability, Vol. R–29, No. 1, pp 39–41.
4. Boland, P.J., Proschan, F. (1982, Nov–Dec.), *"Periodic Replacement with Increasing Minimal Repair Costs at Failure,"* Operations Research, Vol. 30, No. 6, pp. 1183–1189.
5. Duncan, A.J. (1974), Quality Control and Industrial Statistics, Richard D. Irwin, Inc.
6. Nakagawa, T., Kowada, M. (1983), *"Analysis of a System with Minimal Repair and Its Application to Replacement Policy,"* European Journal of Operations Research, 12, pp. 176–182.
7. Phelps, R.I. (1981), *"Replacement Policies under Minimal Repair,"* Journal of the Operational Research Society, Vol. 32, pp. 549–554.
8. Sherit, Y.S., Smith, M.L. (1981, Mar.), *"Optimal Maintenance Models for Systems Subject to Failure–A Review,"* Naval Research Logistics Quartely, Vol. 28, No. 1, pp. 47–74.