Journal of the KSQC
Vol. 18, No. 2, Nov. 1990

1990년 11월 韓國品質管理學會誌 제18권 제2호

故障形態를 고려한 多部品裝備의 保全模型
Maintenance Model for Multi-Component System Considering Failure Types

鄭 永 培*

ABSTRACT

This paper proposes the maintenance model of multi-component system when the failure characteristics and types of components are considered.

In this model, it is assumed that a system is composed of a critical component, a major component and a minor component. Also, failure types is classified into major failure and minor failure.

If major failure occurs to critical component before system age replacement time, the system is renewed. If major failure does not occur until its age replacement time, preventive maintenance is performed at age replacement time T. Minimal repairs are carried out after each minor failure. Major component is minimal-repaired if any failure is discoverd during operation. Minor component should be replaced as soon as any failure is found.

This paper determines the optimal replacement time of the system which minimizes total maintenance cost.

Numerical example illustrates these results.

* 仁川大學校 產業工學科

1. 序　論

오늘날 생산시스템의 機械化, 自動化가 이루어짐에 따라 생산장비의 부분적인 고장은 전체 생산공장의 操業中斷이란 커다란 손실을 초래하게 됨으로써 생산장비의 保全活動이 중요한 문제로 대두되고 있다.

생산장비의 효과적인 보전활동을 위해서는 事後保全(breakdown maintenance)과 豫防保全(preventive maintenance)의 경제적인 면을 고려해야 한다. 즉, 장비의 고장이 발생한 시점에서 장비를 보전하는 사후보전은 고장으로 인한 시스템의 정지로 관련인원 및 장비의 遊休費用, 생산의 機會損失費用, 장비自體의 保全費用을 유발하고, 장비의 고장이 발생하기 전에 임의의 시점에서 장비를 보전하는 예방보전은 장비自體의 保全費用은 들지만 시스템의 遊休費用과 機會費用으로 인한 損失은 막을 수 있다는 두 보전활동사이의 경제적인 면을 고려해야 한다.

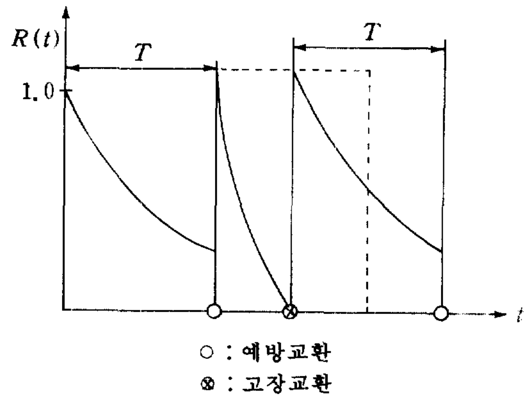
지금까지 이러한 사후보전과 예방보전사이의 경제적인 면을 고려하여 保全方針을 결정하는 문제에 대한 많은 연구가 이루어져 왔다.

Barlow와 Proschan(1960)은 壽命交換方針(age replacement policy)과 定期交換方針(periodic replacement policy)을 제시하였다. 수명교환방침은 시스템 설치후 고장없이 交換壽命 T에 이르면 교환하고 交換壽命 以前에 고장이 발생하면 시스템을 즉시 교환해 주는 방침이고, 정기교환방침은 시스템이 고장이나 교환을 해주었거나, 혹은 고장이 나지 않았더라도 시점 kT $(k=1, 2, 3, \cdots)$에서 시스템을 정기적으로 교환해 준다. (그림 1., 그림 2.)

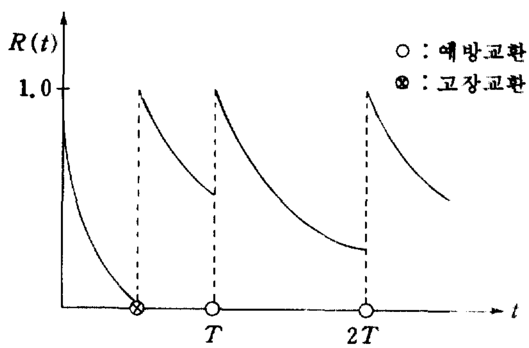
Barlow와 Hunter(1960)는 시스템이 사용중에 고장이 발생하였다고 그 시스템을 교환하기보다는 修理를 하면서 사용하다가 交換時點 T가 되면 교환하는 應急處理(minimal repair) 개념을 方針II로서 발표하였다.

Muth(1977)는 交換時點 T까지는 응급수리하여 사용하고 時點T가 지난 후 첫번째 고장 발생시 교환해 주는 保全方針을 제시하였다.

Beichelt와 Fischer(1980)는 單一部品으로 이루어진 시스템에서 고장의 發生形態를 두가지로 구분하여 고장발생시 응급수리하는 경우와 교환하는 경우를 고려한 最適交換壽命을 결정하였다.



〈그림 1〉 수명교환방침



〈그림 2〉 정기교환방침

Chung(1988, 1989)은 單一部品으로 구성된 시스템이 아닌 多部品裝備의 保全模型을 제시하였다. 즉, 多部品으로 구성된 시스템에서는 각 부품의 故障特性이 시스템에 미치는 영향이 다르다는 점에 착안하여 시스템을 구성하는 부품을 致命部品(critical component), 重部品(major component), 經部品(minor component)으로 분류하여 각 부품이 각기 다른 保全方針을 가질 때의 다부품장비의 보전방침을 연구하였다.

本 硏究에서는 部品의 故障特性에 따라 致命部品, 重部品, 輕部品으로 분류한 多部品裝備에서 치명부품의 고장발생형태를 重故障(major failure), 輕故障(minor failure)으로 분류하여, 部品特性과 故障形態를 고려한 서로 다른 각 부품의 보전방침에 대해 전체 시스템운영의 總費用을 최소화하는 保全模型을 제시하고자 한다. 즉, 치명부품의 고장발생시 곧바로 시스템을 교환하지 않고, 치명부품에 輕故障이 발생하면 응급수리하여 사용하고, 重故障일 때만 시스템을 교환하는 치명부품의 故障發生形態를 고려했다는 점이 두 연구(1988, 1989)와의 차이점이다.

2. 模型의 設定및 記號說明

2.1 模型의 設定

本 硏究에서는 多部品裝備를 구성하고 있는 부품을 그 특성에 따라 치명부품, 중부품, 경부품으로 분류하고, 치명부품에 故障形態를 고려한 다음과 같은 保全模型을 제시한다.

1) 致命部品

시스템전체의 성능에 치명적인 영향을 주는 매우 중요한 부품이며, 故障形態에 따라 重故障, 輕故障으로 나눈다. 重故障이 발생하면 시스템전체를 교환하고 輕故障이 발생하면 이 부품만을 應急修理하여 사용한다.

2) 重部品

시스템전체의 성능에는 치명적인 영향을 미치지는 않지만 이 부품의 고장이 발생하면 시스템의 운용상에 문제점이 발생한다. 시스템의 交換前까지 이 부품의 고장이 발생하면 應急修理를 하여 사용한다.

3) 輕部品

시스템전체의 성능에 거의 영향을 주지않을 뿐만 아니라 價格도 저렴해서 修理를 하는 것보다는 고장이 발생할 때마다 部品을 交換한다.

模型 : 시스템의 壽命交換時點 以前에 致命部品에 重故障이 발생하면 시스템을 교환해 주고, 輕故障이 발생하면 致命部品을 應急修理해 준다. 시스템의 壽命交換時點까지 重故障이 발생하지 않았으면 시스템을 수명교환시점에서 豫防保全한다.

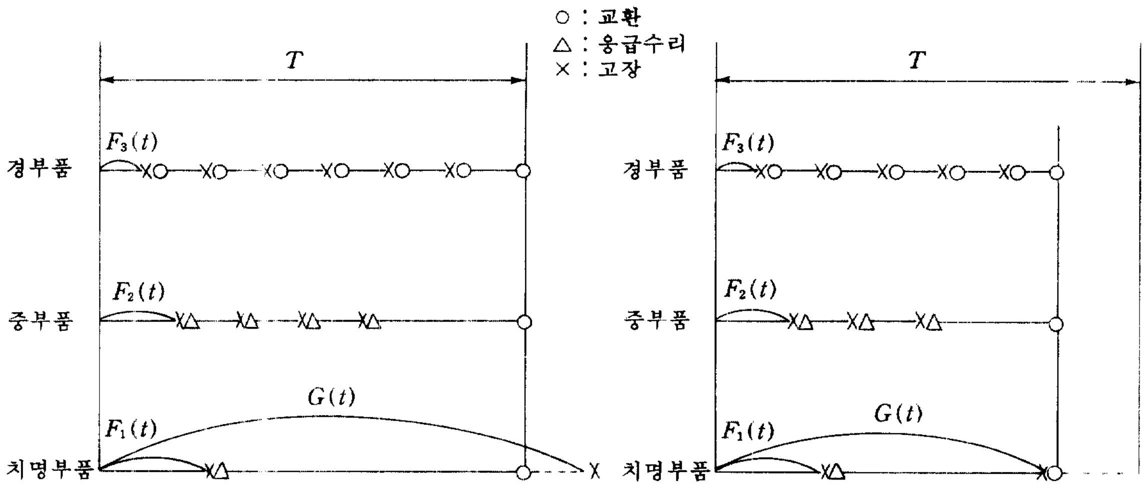
重部品은 시스템의 운용기간내에서 고장이 발생하면 應急修理를 해주고 輕部品은 시스템의 운용기간 내에서 고장이 발생할 때마다 교환해 준다.

本 硏究에서 제시한 保全模型을 그림으로 나타내면 그림 3과 같다.

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 부품의 고장은 확률적으로 獨立이다.
3) 保全에 소요되는 시간은 무시할 수 있을 만큼 작다.
4) 應急修理는 故障率을 변화시키지 않는다.
5) 순간고장율함수와 치명부품의 重故障發生



a) 시스템의 교환수명에 이를 때까지 치명 부품에 중고장이 발생하지 않은 경우

b) 시스템의 교환수명에 이르기 전에 치명 부품에 중고장이 발생하는 경우

〈그림 3〉 다부품장비의 보전모형

率函數는 單調增加하고 연속이다.

2.2.2 記號說明

i : 부품의 종류($i=1$: 치명부품, $i=2$: 중부품, $i=3$: 경부품)

$F_i(\cdot)$: 부품 i의 고장시간의 분포함수

$f_i(\cdot)$: 부품 i의 고장밀도함수

$H_i(\cdot)$: 부품 i의 누적순간고장률함수

$h_i(\cdot)$: 부품 i의 순간고장률

$M_i(\cdot)$: 부품 i의 평균재생함수

$m_i(\cdot)$: 부품 i의 재생밀도함수

X : 시스템의 수명

X_k : 치명부품에 중고장이 발생하지 않을 때까지 경고장이 k번 일어난 시간

P_k : $[0, t]$사이에 중고장이 발생하지 않고 경고장이 k번 발생할 확률

T : 시스템의 교환수명

T^* : 시스템의 최적교환수명

Y : 치명부품에서 중고장이 처음으로 발생할 때의 시간

$G(\cdot)$: Y의 분포함수

$P(\cdot)$: 치명부품에서 중고장발생률함수

$\overline{P}(\cdot)$: 치명부품에서 경고장발생률함수

Z_T : 구간$[0, \min\{T, Y\}]$사이에서 치명부품의 응급수리횟수

$\overline{\mu}(T)$: 교환수명이 T인 시스템의 평균수명, $\int_0^T \overline{G}(t)\,dt$

c_1 : 치명부품의 중고장으로 인한 시스템의 사후보전비용

c_2 : 시스템의 예방보전비용

c_3 : 중부품의 단위당 응급수리비용

c_4 : 경부품의 단위당 교환비용

c_5 : 치명부품의 단위당 응급수리비용, $c_1 > c_2 > c_3$

$C_i(T)$: i부품으로 인한 $[0, T]$ 사이의 기대

비용

$C_s(T)$: $[0, T]$사이의 시스템의 기대비용

$\bar{C}_s(T)$: 1회의 보전주기가 T인 시스템을 무한시간동안 사용할 때의 단위시간당 평균비용

$\bar{C}_s(\infty)$: 예방보전을 하지 않을 때의 단위시간당 평균비용

3. 最適保全方針의 決定

本 章에서는 치명부품, 중부품, 경부품의 部品特性과 치명부품의 故障形態에 따른 保全費用要因을 분석하여 本 硏究에서 제시한 多部品裝備의 保全模型에 대해 시스템의 總保全費用을 최소로 하는 시스템의 最適交換壽命 T^*를 구한다.

3. 1 費用分析

1) 치명부품

(1) 사후보전비용(breakdown maintenance cost) : 시스템의 예방보전시점 以前에 치명부품에 重故障이 발생했을 때의 시스템의 機會損失費用과 交換費用의 合

(2) 예방보전비용(preventive maintenance cost) : 예방보전시점까지 이 부품에 重故障이 발생하지 않았을 때 시스템을 豫防交換하는 費用

(3) 응급수리비용(minimal repair cost) : 구간 $[0, \min\{T, Y\}]$ 사이에서 이 부품에 輕故障이 발생했을 때 응급수리비용

2) 중부품

(1) 응급수리비용 : 시스템의 운용기간동안 이 부품에 고장이 발생했을 때의 응급수리비용

3) 경부품

(1) 고장교환비용(failure replacement cost) : 시스템의 운용기간동안 이 부품에 고장이 발생했을 때의 部品交換費用

보전주기(maintenance cycle)가 T인 시스템의 期待費用은 치명부품의 중고장 발생시 시스템의 사후보전비용, 경고장 발생시 치명부품의 응급수리비용, 시스템의 예방교환 비용, 중부품의 응급수리비용과 경부품의 고장교환비용의 合으로서 구할 수 있다.

또한,

$$P_k(t) = \bar{F}_1(t) \int_0^t \int_0^{x_k} \cdots$$

$$\int_0^{x_3} \int_0^{x_2} \prod_{i=1}^{k} \bar{P}(x_i)\, h_1(x_i)\, dx_i$$

$$= (\bar{F}_1(t)/k\,!\,)\,[\int_0^t \bar{P}(x)$$

$$h_1(x)\, dx]^k \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

$$\bar{G}(t) = \sum_{k=0}^{\infty} P_k(t)$$

$$= \bar{F}_1(t) \sum_{k=0}^{\infty} [\int_0^t \bar{P}(x)$$

$$h_1(x)\, dx]^k / k\,!$$

$$= \bar{F}_1(t) \cdot \exp[\int_0^t \bar{P}(x)\, h_1(x)\, dx]$$

$$= \exp[-\int_0^t \bar{P}(x)\, h_1(x)\, dx] \cdots (2)$$

이다.

따라서 $[0, Y]$에서 치명부품의 평균응급수리횟수는

$$E[Z_T | Y < T] = [\sum_{k=0}^{\infty} k P_r\{(Z_T = k)$$

$$\cap (Y < T)\}] / G(T)$$

$$= [\int_0^T \int_0^t \bar{P}(x) h_1(x)\, dx dG(t)] / G(T) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

이고, $[0, T]$에서 치명부품의 평균응급수리횟수는

$$E[Z_T | Y \geq T] = [\sum_{k=0}^{\infty} k P_r\{(Z_T = k) \cap (Y \geq T)\}] / \bar{G}(T) = \int_0^T \bar{P}(x) h_1(x)\, dx \cdots\cdots (4)$$

이다.

치명부품에 관련된 $[0, T]$ 사이의 期待費用은

$$C_1(T) = [c_1 + c_5 E\{Z_T | Y < T\}] G(T) + [c_2 + c_5\ E\{Z_T | Y \geq T\}] \bar{G}(T) = (c_1 - c_5) G(T) + c_5 \int_0^T \bar{G}(t)\, dH_1(t) + c_2 \bar{G}(T) \quad \cdots\cdots\cdots (5)$$

이다. 중부품의 $[0, T]$ 사이의 期待費用은

$$C_2(T) = c_3 [\int_0^T H_2(t)\, dG(t) + H_2(T) \bar{G}(T)] = c_3 \int_0^T \bar{G}(t)\, dH_2(t) \quad \cdots\cdots\cdots (6)$$

이고, 경부품의 $[0, T]$ 사이의 期待費用은

$$C_3(T) = c_4 [\int_0^T M_3(t)\, dG(t) + M_3(T) \bar{G}(T)] = c_4 \int_0^T \bar{G}(t)\, dM_3(t) \quad \cdots\cdots\cdots (7)$$

이다.

시스템의 期待費用은 式 (5), (6), (7)의 합으로서

$$C_s(T) = (c_1 - c_5) G(T) + c_5 \int_0^T \bar{G}(t)\, dH_1(t) + c_2 \bar{G}(T) + c_3 \int_0^T \bar{G}(t)\, dH_2(t) + c_4 \int_0^T \bar{G}(t)\, dM_2(t) \cdots\cdots\cdots (8)$$

이고, 시스템의 平均壽命은

$$\bar{\mu}(T) = \int_0^T \bar{G}(t)\, dt \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (9)$$

이다.

따라서 보전주기가 T인 시스템을 무한기간동안 사용할 때의 t시간 까지의 保全回數는

$$t / \int_0^T \bar{G}(w)\, dw$$

이므로 $[0, t]$ 사이의 시스템의 기대비용은

$$C_s(t) = t \cdot C_s(T) / \int_0^T \bar{G}(w)\, dw \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (10)$$

이고, 보전주기가 T인 시스템의 單位時間當平均費用은

$$\bar{C}_s(T) = \lim_{t \to \infty} C_s(t) / t = [(c_1 - c_5) G(T) + c_5 \int_0^T \bar{G}(t)\, dH_1(t) + c_2 \bar{G}(T) + c_3 \int_0^T \bar{G}(t)\, dH_2(t) + c_4 \int_0^T \bar{G}(t)\, dM_3(t)] /$$

$$\int_0^T \bar{G}(t)\,dt \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (11)$$

이다.

시스템의 보전주기가 무한일 때 즉, 예방보전을 하지 않을 때의 單位時間當 平均費用은 다음과 같다.

$$\bar{C}_s(\infty) = [(c_1 - c_5)G(\infty) + c_5\int_0^\infty \bar{G}(t)\,dH_1(t) + c_2\bar{G}(\infty) + c_3\int_0^\infty \bar{G}(t)\,dH_2(t) + c_4\int_0^\infty \bar{G}(t)\,dM_3(t)]/\mu \quad \cdots\cdots (12)$$

3.2 最適交換壽命의 決定

시스템의 최적교환수명 T^*를 구하기 위해 단위시간당평균비용 $\bar{C}_s(T)$를 T로 미분하여 $d\bar{C}_s(T)/dT = D(T) = 0$으로 놓으면

$$D(T) = [(c_1 - c_2 - c_5)P(T)h_1(T) + c_5 h_1(T) + c_1 h_2(T) + c_4 m_3(T)]\int_0^T \bar{G}(t)\,dt - [(c_1 - c_2 - c_5)G(T) + c_5\int_0^T \bar{G}(T)\,dH_1(t) + c_3\int_0^T \bar{G}(t)\,dH_2(t) + c_4\int_0^T \bar{G}(t)\,dM_3(t)] = c_2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (13)$$

이고 $c = c_5/(c_1 - c_2 - c_5)$로 놓으면

$$D(T) = \{c + P(T)\}h_1(T)\int_0^T \bar{G}(t)\,dt + (cc_3/c_5)h_2(T)\int_0^T \bar{G}(t)\,dt - (cc_4/c_5)m_3(T)\int_0^T \bar{G}(t)\,dt - G(T) - c\int_0^T \bar{G}(T)\,dH_1(t) - (cc_3/c_5)\int_0^T \bar{G}(t)\,dH_2(t) - (cc_4/c_5)\int_0^T \bar{G}(t)\,dM_3(t) = cc_2/c_5 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (14)$$

이다.

式(14)를 만족하는 有限하고 唯一한 最適交換壽命 T^*가 존재함을 보이기 위해 $D'(T) > 0$임을 증명한다.

$$D'(T) = [h_1(T)P'(T) + \{c + P(T)\}h'(T) + (cc_3/c_5)h_2'(T) + (cc_4/c_5)m_3'(T)]\int_0^T \bar{G}(t)\,dt \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (15)$$

각 부품의 순간고장률함수 $h_1(t)$, $h_2(t)$, $h_3(t)$와 치명부품의 중고장발생률함수가 單調增加하고 연속이므로 $h'(t) > 0$, $h_2'(t) > 0$, $P'(t) > 0$이고 밀도함수 $f_3(t)$는 미분가능하고 $f_3(0) = 0$이다. 따라서 $f_3(t)$는 PF_2(pōlya frequency function order 2)이다.

또 $f_3(t)$가 PF_2이면 $f_3(t)$는 unimodal 이므로 $f_3'(w_0) = 0$일 때 $w_0 < t < \infty$에 대해 $f_3'(t) < 0$이고, $0 < t < W_0$에 대해 $f_3'(t) > 0$이다.

기본적인 재생함수에서

$$M_3(t)=F_3(t)+\sum_{n=1}^{\infty}\int_0^t F_3^{(n)}(t-w)dF_3(w)$$

$$=F_3(t)+\int_0^t M_3(t-w)\,dF_3(w) \quad \cdots\cdots(16)$$

이고, $F_3(t)$가 밀도함수 $f_3(t)$를 갖는다면

$$m_3(t)=f_3(t)+\int_0^t m_3(t-w)f_3(w)\,dw$$

이므로 $f_3(t)$, $f_3(0)=0$가 미분가능하므로 $m_3(t)$를 t로 미분하면

$$m_3'(t)=f_3'(t)+\int_0^t m_3(t-w) f_3'(w)\,dw \quad \cdots\cdots(17)$$

이다. 따라서 $0<t\leq w_0$에 대해 $m_3'(t)=0$이다.

시스템의 **最適交換壽命** T^*는 $c_1>c_2>c_5>0$, $c_3>0$, $c_4>0$일 때 $0<t<\infty$에 대해서 $h_1(t)$, $h_2(t)$가 연속이며 단조증가하는 순간고장률함수이며, $P(t)$도 연속이며 단조증가하는 치명부품의 **重故障發生率函數**이고 $m_3'(t)>0$라 하자.

(1) $D(T)>cc_2/c_5$이면

式(14)를 만족하는 有限하고 唯一한 最適交換壽命 T^***가 존재하며 이때의 最適單位時間當平均費用은**

$$\bar{C}_s(T^*)=(c_1-c_2)P(T^*)h_1(T^*)+c_5\bar{P}(T^*)h_1(T^*)+c_3h_2(T^*)+c_4m_3(T^*) \quad \cdots\cdots(18)$$

이다.

(2) $D(T)\leq cc_2/c_5$이면 $T^*\to\infty$이다.

즉, 최적교환수명은 치명부품에 중고장이 발생할 때만 시스템을 교환해 주는 것이다.

치명부품의 **重故障發生率函數** $P(t)$에 대해 살펴보면

(1) $P=1$이면 시스템의 **交換壽命** T 이전에 치명부품에 중고장만 발생하는 경우로서, 고장이 발생하면 시스템을 교환해 주고 고장이 없으면 **交換壽命時點**에서 시스템을 **豫防保全**해 주는 chung(1988)이 제시한 **保全模型**과 일치한다.

(2) $P=0$이면 시스템의 **交換壽命** T 이전에 치명부품에 경고장만 발생하는 경우로서, 고장이 발생하면 치명부품을 **應急修理**해 사용하다가 시스템의 **交換壽命時點**에서 시스템을 **豫防保全**한다.

(3) $0<P<1$이면 시스템의 **交換壽命** T 이전에 치명부품에 경고장이 발생하면 **應急修理**해 주고, 중고장이 발생하면 시스템을 교환해 준다. 시스템의 **交換壽命** T까지 치명부품에 중고장이 발생하지 않으면 경고장발생시에 **應急修理**만 하여 사용하다가 시스템의 **交換壽命時點**에서 **豫防保全**한다. 이때의 시스템의 단위시간당 평균비용은 다음과 같다.

$$\bar{C}_s(T)=[\{c_1+c_5(1-P)/P\}G(T)+C_2\bar{G}(T)+C_3\int_0^T\bar{G}(t)\,dH_2(t)+c_4\int_0^T\bar{G}(t)\,dM_3(t)]\Big/\int_0^T\bar{G}(t)\,dt \quad \cdots\cdots(19)$$

4. 數値例

本 硏究에서 제시한 多部品裝備의 保全模型에

대한 수치예를 보이기 위해 다음과 같은 부품의 고장시간의 분포함수를 가정한다.

감마분포(gamma distribution)의 밀도함수가

$$f(t)=\lambda(\lambda t)^{\alpha-1}\exp(-\lambda t)/P(\alpha),\ \alpha>0,$$

$$\lambda>0,\ 0>t\leq\infty \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(20)$$

일 때 치명부품 : $\alpha=2$, $\lambda=1$, 중부품 : $\alpha=2$, $\lambda=8$, 경부품 : $\alpha=2$, $\lambda=12$인 감마분포를 따르는 경우이다.

표1. c_1의 변화에 따른 최적교환수명, 최적단위시간당평균비용, 예방보전효과

c_1	T^*	$\bar{C}_s(T^*)$	Gain*(%)
5	0.990	2.204	42.3
6	0.870	2.404	43.8
7	0.780	2.560	45.9
8	0.720	2.717	47.7
9	0.670	2.847	49.6
10	0.640	3.012	50.7
20	0.450	3.957	63.0
30	0.380	4.698	69.2
40	0.330	5.111	74.3
50	0.310	5.788	76.3
100	0.230	7.228	84.7

$*\mathrm{Gain}=[\{\bar{C}_s(\infty)-\bar{C}_s(T)\}/\bar{C}_s(\infty)]\times100(\%)$

치명부품의 중고장발생률함수는

$$P(t)=1-\exp(-2t),\ t>0 \quad \cdots\cdots(21)$$

로 가정한다.

$c_2=1.0$, $c_3=0.05$, $c_4=0.02$, $c_5=0.2$에 대해 $c_1=5, 6, 7, 8, 9, 10, 20, 30, 40, 50, 100$ 으로 증가시켜 가면서 각각의 c_1에 대해 最適交換壽命 T^*, 最適單位時間當平均費用, 豫防保全效果를 구하면 표 1과 같다.

5. 結 論

本 硏究는 多部品裝備를 구성하고 있는 부품들을 致命部品, 重部品, 輕部品으로 나누어 치명부품은 故障形態에 따라 輕故障일때는 應急修理方針을, 重故障일 때는 壽命交換方針을 따르고, 重部品은 시스템을 교환할 때까지 고장이 발생하면 응급수리하는 방침, 輕部品은 시스템의 교환수명내에서 고장이 발생할 때마다 교환해 주는 고장교환방침을 따를 때 시스템의 總保全費用을 최소로 하는 시스템의 最適交換壽命을 구했다.

특히 本 硏究는 多部品裝備를 구성하고 있는 部品特性에 따라 각 部品이 각각 다른 保全方針을 가지고 있는 保全模型에 故障形態를 고려함으로써 보다 현실적인 보전모형을 제시하였다.

치명부품에 경고장이 전혀없는 $P=1$인 특수한 경우가 chung(1988)이 제시한 보전모형과 일치하므로서 더욱 더 확장된 보전모형이라 할 수 있다.

參 考 文 獻

1. Barlow, R.E., Proschan, F.(1960), Mathematical Theory of Reliability, John Wiley and sons, Inc.
2. ________, Hunter, L.C.(1960), *"Optimum Preventive Maintenance Policies"*, Operations Research, Vol.8, No.1, pp. 90-100.
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. Chung, Y.B.(1988), *"Optimal Age Replacement Policy of Multi-Component System"*, Journal to the Society of Korea Industrial and Systems Engineering, Vol. 11, No.18, pp.35-39.
5. ________, Hwang, E.C.(1989), *"Maintenance Model of Multi-Component System Considering characteristics of Component,"* Journal of the Korean Society for Quality Control, Vol.17, No.1, pp.1-10.
6. Muth, E.J.(1977, Aug.), *"An Optimal Decision Rule for Repair Vs Replacement"*, IEEE Trans. Reliability, Vol. R-26, No.3, pp.179-181.
7. 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.
8. Phelps, R.I.(1983), *"Optimal Policy for Minimal Repair"*, Journal of Operational Research Society, Vol.34, No.5, pp. 425-427.