工業經營學會誌 第17卷 第32輯 1994年 11月 233

機會費用을 考慮한 劣化시스템의 保全限界更新政策
- Maintenance Limit Renewal Policy for Inferiority System based on Opportunity Cost -

朴 商 敏*
金 延 洙*

Abstract

This study deals with the derivative adverse minimum for inferiority system depends on continuose operating under infinite planning horizon. This planning will be accomplished by maintenance limit renewal policy in consideration of opportunity cost which affects system by failure during operation periods and expected cost under nomal operation states.

By the results, we will be expected incresing total efficiency for the system by optimal renewal policy.

Ⅰ. 序 論

기술혁신의 진행으로 모든 설비,장비 등 생산시스템의 자동화,성력화가 활발히 전개되고 있으며,이와함께 시스템 등의 구조와 기능은 복잡해 지고 있다.그러나 시스템의 성능과 기능면의 요구는 고도화 되고 있으나, 시스템의 복잡성의 증가는 신뢰성을 저하시키는 주요 원인이 되고있어 신뢰성의 확보는 중요한 과제가 된다.특히,시스템의 라이프 사이클 관점에서 시스템의 종합효율을 높이기 위한 체계적 접근으로 신뢰성,보전성 관리의 중요성은 매우 크다.즉,생산을 위한 시스템의 의존도는 점점 높아지고 있으나,설비의 고장이나 보전 때문에 발생하는 정지손실이 증가함에 따라 고장발생의 예방이나 보전기간의 단축에 대한 대책을 강구하여야 한다.설비를 포함한 생산 시스템은 설비외적인 환경의 변화로 인한 기능적 가치절하와 함께 사용하거나 시간이 경과함에 따른 물리적 상태의 변화로 인한 물리적 손상으로 조업비가 증가하고 서비스 가치가 저하하는 물리적 가치의 절하가 수반된다.즉,노후화등 자연적인 원인 혹은 사용효과및 시간효과 등으로 상태가 나빠져 성능이 저하되거나 기능이 저하되어 고장을 일으키게 된다.고장의 원인은 시스템의 내부결함일 경우도 있고 외적 요소로부터 발생하는 경우도 있다.고장이 일어나면 시스템 그 자체를 갱신 혹은 수리하는데 투자비용 혹은 유지및 수리 비용이 발생한다.이로인한 대안의 선정에서 생산및 서비스의 기회손실로 인한 기회비용이 발생할 수 있으며 생산시스템과 관련하여 설비의 정지및 작업자의 유휴로 인한 정지손실도 발생하게 된다.따라서 고장의 가능성을 최소화 하고 보전비용을 최소화하여 생산시스템의 종합효율을 높여야 한다.

본 연구는 사용하거나 시간이 경과함에 따라 열화하는 생산시스템의 비용함수를 정식화하여 보전비용을 최소화하는 모델의 알고리즘을 제시 하는데 목적이 있다.특히,본연구에서는 사용시간의 증가에 따라 열화하는 생산 시스템의 기대 보전 비용을 보전한계에 따라 변화하는 종합평균 균등 부담액으로 하였다.즉,생산시스템의 가동중 고장으로 인한 수리로 시스템에 부과되는 보전비용과 예방보전의 측면에서 갱신정책에 따른 갱신으로 시스템에 부과되는 갱신비용을 보전한계 갱신정책에 따라 산출한다.최적보전한계는 생산시스템의 운영을 무한가동계획을 가정하면 시간은 연속변수가 되므로 마아코프 과정의 특성을 이용하여 정상가동 상태하에서의 단위 기간당 평균기대비용을 최소로하는 사용기간에서 산출할 수 있다.

* 仁川大學校 産業工學科

II. 更新및 保全政策

II - I 更新政策

일반적으로 가동중에 발생하는 시스템의 고장은 큰 손실을 가져오거나 위험하다.만일 시스템의 고장률이 사용시간에 따라 증가한다면 노후화 되기전에 갱신하는 것이 유리한 경우가 많다.이 경우 총비용을 최소화하거나 유용도를 최대화하는 목적함수를 최적화하는 최적갱신정책이 필요하다.실용적 갱신정책에는 설치후 T시간이 경과하면 갱신하는 수명갱신및 고장여부와 무관하게 시점 kT (k=1,2,....n)에서 정기적으로 갱신하는 정기갱신과 같은 예방갱신과 고장발생후 교체하는 사후갱신이 있다.

부품이 고장나기전에 예방갱신을 하는 두 가지 필요조건은

① 고장수명분포가 마모를 나타내거나

② 고장이 일어나기 전에 미리 갱신하는 예방갱신 비용이 고장후 갱신하는 사후갱신 비용보다 적어야 한다.

만일 고장이 일어난후 사후갱신비용이 상대적으로 높게 책정된다면 상대적으로 갱신기간이 짧아지고 시스템의 잔존가치와 수명을 낭비하게 된다.반면에 갱신비용이 너무 낮게 책정된다면 상대적으로 갱신기간이 길어지고 유지및 보전 비용이 증가한다.그러나 고장전에 갱신하는 예방갱신비용은 상대적으로 높게 책정된다면 상대적으로 갱신기간이 길어지고 유지및 보전비용이 증가하며,갱신비용이 낮게 책정된다면 갱신기간이 짧아지고 시스템의 잔존가치와 수명을 낭비하게 된다.

갱신의 필요성이 대두된 시각부터 완료된 시각까지의 시간은 비생산적인 기간이다. 이러한 시스템의 고장시간으로 인한 기회비용이란 고장이 아니었다면 얻게되는 생산활동 결과의 가치이다.그러나,사후갱신 비용은 기회비용을 포함하여 예방갱신 비용보다 일반적으로 크므로 예방갱신을 위해서는 시스템의 고장이 부품의 마모로부터 유발되며 따라서 증가하는 고장률함수를 갖는다고 가정한다.가동중 고장이나 예방갱신에 의한 갱신의 경우 단위 비가동기간당 기회비용은 알려져 있다고 가정하면 사후갱신 및 예방갱신에 소요되는 총비용은 다음과 같이 나타낼수 있다.

$$C_f=O_f*t_f+F_f \qquad \cdots\cdots (2\text{-}1)$$

여기에서 C_f : 사후갱신 총비용
O_f : 비가동 기간당 기회비용
t_f : 시스템 비가동 기간
F_f : 갱신비용(고정비)

$$Cp=Op*tp+Fp \qquad \cdots\cdots (2\text{-}2)$$

여기에서 Cp : 예방갱신 총비용
Op : 비가동 기간당 기회비용
tp : 시스템 비가동 기간
Fp : 갱신비용(고정비)

일반적으로 갱신정책에 관련한 문제는 갱신이론(Renewal Theory)에 의해서 규명할 수 있다.

II - II. 更新時間의 分布

시스템의 수명주기는 가동과 불가동 시간의 연속이기 때문에,고장 상태의 시스템을 수리하는 일련의 과정은 갱신이론의 관점에서 분석할 수 있다.즉,시스템은 가동하고,고장나며,보전되고 그리고 다시 이 상황이 반복되는 것이다.시스템이 수리 될 때마다 그 시스템은 반드시 갱신된 능력을 가지게 된다.이러한 가동과 불가동의 주기를 갱신과정(Renewal Process)이라고 하며 일련의 독립적이고 동일한 분포를 갖는 0 이 아닌

$\{\tau_1, \tau_2, \cdots \tau_i, \cdots\}$으로 표시되는 확률변수의 연속이다.

여기에서 $\tau_i = X_i + Y_i (i=1,2,\dots)$는 X_i는 i번째 가동에서 i번째 고장이 일어날때까지의 시간을 뜻하며,Yi는 i번째 고장으로부터 (i+1)번째 가동에 이르는 시간까지이다.n개의 부품을 가지고 시스템이 가동하는 시간 즉 n회의 갱신이 발생할때까지의 시간은

$$T(n) = \tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_n \qquad \cdots\cdots (2\text{-}3)$$

이며 이것은 n번째 부품고장이 발생하는 시점이다.

모든 갱신과정에서

N(t);시간 t까지의 갱신횟수
T(n);n번째 갱신까지의 시간

으로 두 확률변수를 정의하면 N(t)는 이산확률변수,T(n)은 연속확률변수가 되며,n번째 갱신이 시점 t 이전에 발생할 확률을 구하여 갱신부품의 예비 비축량을 산출할 수 있다. 즉,

$f_{\tau_i}(t)$; τ_i의 p.d.f. $\qquad (i=1,2,\cdots n)$
$f_{T(n)}(t)$; T(n)의 p.d.f.
$F_{T(n)}(t)$; T(n)의 c.d.f.

으로 정의하면

$$\begin{aligned} P_r\{N(t) < n\} &= P_r\{T(n) > t\} \\ &= 1 - P_r\{T(n) \le t\} \\ &= 1 - F_{T(n)}(t) \end{aligned} \qquad \cdots\cdots (2\text{-}4)$$

이므로

$$\begin{aligned} P_r\{N(t)=n\} &= P_r\{N(t) < n+1\} - P_r\{N(t) < n\} \\ &= F_{T(n)}(t) - F_{T(n+1)}(t) \end{aligned} \qquad \cdots\cdots (2\text{-}5)$$

또한 독립확률 변수의 합의 분포는 개별적인 밀도함수 $f_{T(n)}(t)$로 부터 합성(Convaluation)에 의해 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} f_{T(n)}(t) &= \int f_{T(n-1)}(x) f_{T(1)}(t-x)\, dx \\ &= f_{\tau_1}(t) * f_{\tau_2}(t) * \cdots\cdots\cdots f_{\tau_n}(t) \end{aligned} \qquad \cdots\cdots (2\text{-}6)$$

여기에서 $f_{\tau_1}(t) = f(t)$, $i=1,2,\cdots,n$ 로 하면 부품의 고장밀도 함수가 동일하므로 Laplace 변환을 사용하면

$$f^*_{T(1)}(s) = \pounds\{f_{T(1)}(t)\}$$
$$f^*_{T(n)}(s) = \pounds\{f_{T(n)}(t)\}$$

이므로

$$f^*_{T(n)}(s) = [f^*_{T(1)}(s)]^n \qquad \cdots\cdots (2\text{-}7)$$

이다.

n번째 갱신까지의 기대시간과 평균갱신횟수를 구하면

$$E[T(n)] = \sum_{i=1}^{n} E(\tau_i) \qquad \cdots\cdots (2\text{-}8)$$

$$E[N(t)] = \sum_{n=1}^{+\infty} F_{T(n)}(t) \qquad \cdots\cdots (2\text{-}9)$$

$$E[x_i] = MTBF, \quad E[y_i] = MTTR$$ 이므로

$$E[T(n)] = n(MTBF + MTTR) \qquad \cdots\cdots (2\text{-}10)$$

평균 갱신횟수 $E[N(t)]$ 를 갱신함수(Renewal Function) $M(t)$로 하면

$$M(t) = E[N(t)] = \sum_{n=0}^{+\infty} P_r\{N(t)=n\}$$

$$= E[N(t)] = \sum_{n=0}^{+\infty} n\{F_{T(n)}(t) - F_{T(n+1)}(t)\}$$

$$= \sum_{n=1}^{+\infty} F_{T(n)}(t) \qquad \cdots\cdots (2\text{-}11)$$

이다.

$f_{\tau_i}(t) = f(t)$ 로 하면 $F_{T(n)}(t) = \int_0^t f^{(n)}(x)dx$ 이 되며 이를 $M^*(s) = \mathcal{L}\{M(t)\}$로 하여 Laplace 변환을 하면

$$M^*(s) = \sum_{n=1}^{+\infty} F_{T(n)}{}^*(s)$$

$$= \frac{1}{s} \sum_{n=1}^{+\infty} f_{T(n)}{}^*(s)$$

$$= \frac{1}{s} \left[\frac{f^*(s)}{1-f^*(s)} \right] \qquad \cdots\cdots (2\text{-}12)$$

이다.

또한 n번째 갱신시간의 확률밀도함수는 식(2-7)을 역변환하여, 그리고 시간의 함수로 표시되는 n회 갱신확률은 식(2-5)로 부터 구할 수 있고, 갱신횟수의 기대치는 식(2-11)을 역변환하여 구할 수 있다.

II－III. 保全政策

시스템의 보전에 소요되는 시간과 비용이 시스템의 갱신시간과 비용보다 경제적이면,즉 고장난 시스템이 빨리 보전되어 정상 가동상태로 회복된다면 고장으로부터 발생하는 악영향을 최소화 할수 있다.

시스템의 고장으로부터 보전까지 고려할 때 시스템의 유효성의 척도로 시스템이 기간[0,t]에서 계속적으로 가동할 확률 신뢰도와 고장난 시스템이 일정한 시간 내에 수리될 수 있는 확률 보전도를 함께 고려해 주는 유용도를 사용할 수 있다.

유용도 함수를 $A(t)$로 하면 $A(t)$는 시점 t에서 시스템이 가동할 확률로 정의 할 수 있다.시스템의 보전이 허용되지 않는다면 $A(t)=R(t)$이나 보전이 허용된다면 시스템의 직렬구조에서는 $A(t) > R(t)$이다.그러나 시스템이 중복구조인 경우 보전이 허용되면 보전으로 $R(t)$ 및 $A(t)$ 모두를 증가시킨다.

신뢰도는 시스템의 평균수명(MTBF)이 클수록 그리고 고장률이 작을수록 높아지며,보전도는 평균수리시간(MTTR)이 작을수록 그리고 보전율이 클수록 높아진다.보전이 허용되는 시스템의 반복되는 각 보전기간 전후의 가동기간과 각 보전기간은 상호 독립적인 분포를 갖는다고 가정한다.

이러한 시스템의 가동-고장 과정은 두개의 갱신과정이 중첩된 것이며 고장횟수의 분포와 주어진 기간중에 시스템이 특정한 상태에 머무르는 시간의 분포는 교체갱신(Alternating Renewal) 이론의 관점에서 분석할 수있다.

고장과 보전이 반복되는 과정은

t_i ; 동일한 분포를 갖는 가동시간
T_i ; 동일한 분포를 갖는 보전시간
τ_i; 시스템의 수명시간

이라하면

$$\tau_i = \sum_{i=1}^{n} t_i + \sum_{i=1}^{n} T_i \qquad \cdots\cdots (2\text{-}14)$$

으로 나타낼수 있다.

$f_1(t)$; 고장 밀도함수
$M(t)$; 보전도
$m(t)$; 보전 밀도함수 라하면

$$\mathcal{L}\{ f\ \tau_n(t) \} = f\ \tau_n^*(s) = [f^*(s) \cdot m^*(s)]^n \qquad \cdots\cdots (2\text{-}15)$$

으로 나타낼 수 있다.

여기에서 n회째의 보전완료까지의 시간은 식(3-2)를 역변환하여, 그리고 고장 발생 까지의 시간을 구하기 위해서는 마지막 보전을 식(3-2)에서 제외해야 하므로 $f^*\tau_n(s)/m^*(s)$를 사용하여 구할 수 있다. 시스템의 고장상태를 j=0,가동상태를 j=1,$P_j(t)$를 시점 t에서 시스템이 상태 j에 있을 확률이라고 하고 N(t)를 시간 t까지의 보전횟수,D(t)를 고장횟수로 하면

$$D(t) - N(t) = \begin{cases} 0, & \text{시점 } t\text{에서 시스템 가동중.} \\ 1, & \text{시점 } t\text{에서 시스템 보전중.} \end{cases}$$

이므로 보전중일 확률 $P_0(t) = E[D(t) - N(t)]$

가동중일 확률 $P_1(t)$는

$$P_1(t) = 1 - P_0(t)$$

이 되며 유용도는 시점 t에서 시스템이 가동할 확률이므로 $A(t) = P_1(t)$가 된다.

II - IV. Markov 保全 模型

시스템의 평균 보전 비용은 시간과 비용의 측면에서 처음 시스템을 도입하는 비용에 포함되므로 시스템의 보전은 중요하다.

만일 시스템이 정확한 시기에 보전될 수 있다면, 고장으로 인해 발생되는 비용을 최소화 할 수 있다. 시스템의 특성을 분석하기 위하여는 시스템의 신뢰성과 함께 일정기간 동안의 고장간격, 보전횟수,고장횟수,가동시간 등이 고려되어야 한다. 고장과 보전시간의 확률밀도함수가 지수분포에 따른다면 즉 부품x_1이 고장률 λ이나 보전율μ를 따를때 Markov수리모형을 가정할 수 있다.

단일 부품 시스템의 신뢰도함수는 다음과 같이 유도된다.

$$P_{s0} = -\lambda P_{s0}$$
$$P_{s1} = -\lambda P_{s0}$$
$$P_{s0}(0) = 1\ ,\quad P_{s1}(0) = 0 \qquad \cdots\cdots (2\text{-}16)$$

이고 신뢰도 $R(t) = P_{s0}(t) = 1 - P_{s1}(t) = e^{-\lambda t}$ $\cdots\cdots$ (2-17)

또한 보전 가능한 단일부품 시스템의 유용도 함수는 다음과 같이 유도된다.

$$\left.\begin{aligned} P_{s0} &= -\lambda PS_0 + \mu P_{s1} \\ P_{s1} &= \lambda PS_0 - \mu P_{s1} \\ P_{s0}(0) &= 1\ ,\quad P_{s1}(0) = 0 \end{aligned}\right] \qquad \cdots\cdots (2\text{-}18)$$

이고 해를 구하면

$$\left.\begin{aligned} P_{s0}(t) &= \frac{\mu}{\lambda+\mu} + \frac{\lambda}{\lambda+\mu} e^{-(\lambda+\mu)t} \\ P_{s1}(t) &= \frac{\lambda}{\lambda+\mu} - \frac{\lambda}{\lambda+\mu} e^{-(\lambda+\mu)t} \end{aligned}\right] \qquad \cdots\cdots (2\text{-}19)$$

여기에서 유용도 A(t)는 작동할 확률 $P_{s0}(t)$ 이므로

$$A(t) = P_{s0}(t) = \frac{\mu}{\lambda+\mu} + \frac{\lambda}{\lambda+\mu} e^{-(\lambda+\mu)t}$$ 이다.

이로부터 신뢰도와 유용도의 차이는 정상상태의 차이에 있음을 알 수 있다. 즉 시간 t가 커짐에 따라 $R(t) \rightarrow 0$ 이나 A(t)는 어떤 일정한 정상치에 수렴하게 된다.

즉

$$A(\infty) = \lim_{t\rightarrow\infty} A(t) = \frac{\mu}{\lambda+\mu}$$ 이다.

한편,다부품 시스템의 신뢰도와 유용도도 보전에 의해 영향을 받는다.

보전공이 k명인 경우 병렬시스템과 대기시스템의 Markov보전모형을 이용하고, $\lambda' = 2\lambda$ 병렬시스템, $\lambda' = \lambda$ 대기시스템, $\mu' = k\mu$ 수리공이 k명이라고 가정하자.

$$\left.\begin{aligned} P_{s0}(t) &= -\lambda P_{s0}(t) + \mu' P_{s1}(t) \\ P_{s1}(t) &= -(\lambda+\mu')P_{s1}(t) + \lambda' P_{s0}(t) \\ P_{s2}(t) &= \lambda P_{s1}(t) \\ P_{s0}(0) &= 1,\ P_{s1}(0) = P_{s2}(0) = 0 \end{aligned}\right] \qquad \cdots\cdots (2\text{-}20)$$

Laplace변환을 하면

$$\left.\begin{aligned} (S+\lambda')P_{s0}(s) - \mu' P_{s1}(s) + 0P_{s2}(s) &= 1 \\ -\lambda' P_{s0}(s) + (S+\mu'+\lambda)P_{s1}(s) + 0P_{s2}(s) &= 0 \\ 0P_{s0}(s) - \lambda P_{s1}(s) + (s)P_{s2}(s) &= 0 \end{aligned}\right] \qquad \cdots\cdots (\ 2\text{-}21)$$

Cramer의 법칙에 의해 해를 구하면

$$P_{s0}(s) = \frac{S+\lambda+\mu'}{S^2+(\lambda+\lambda'+\mu')S+\lambda\lambda'}$$

$$P_{s1}(s) = \frac{\lambda'}{S^2+(\lambda+\lambda'+\mu')S+\lambda\lambda'}$$

$$P_{s2}(s) = \frac{\lambda\lambda'}{S\,[S^2+(\lambda+\lambda'+\mu')S+\lambda\lambda']}$$

이므로

$$P_{s0}(s)+P_{s1}(s)+P_{s2}(s) = \frac{1}{S}$$

이된다. 따라서 역변환을 취하면

$$P_{S0}(t)+P_{S1}(t)+P_{S2}(t) = 1$$ 이 되고

이 조건을 $t=\infty$ 로 하여 해를 구하면 유용도는

$$A(\infty) = P_{S0}(\infty)+P_{S1}(\infty) = 1-\frac{\lambda\lambda'}{\lambda\lambda'+\lambda\mu''+\mu'\mu''} \quad \cdots\cdots (2\text{-}24)$$

가 된다.

III. 最適保全限界

시스템의 보전을 위한 보전비용을 지출하여 시스템을 만족한 상태로 유지하였다면 발생하지 않았을 생산상의 손실을 기회비용이라 한다. 따라서 보전비용과 기회비용의 합계가 최소가 되도록 하여야 한다. 일반적으로 단위시간당 열화손실은 사용시간에 따라 증가하고 단위시간당 보전비용은 보전시간 간격을 크게 하면 감소한다. 따라서 두 비용의 합계가 최소가 되는 주기를 경제적 보전주기라 할 수 있다.

물리적으로 가동이 가능하다 해도 경제적으로 최소비용점까지 시스템의 열화가 도달하면 보전의 한계가 왔다고 할 수 있다. 보전한계를 지난 시스템의 설비열화상태는 시스템의 가동이 중지되지 않았더라도 고장으로 간주하며 보전 또는 갱신하여야 한다.

이와같은 전제와 가정아래 보전한계 갱신정책에 관련하여 많은 기존의 연구가 있어왔다. Nakagawa와 Osaki등은 무한한 계획기간에서 단위시간당 기대비용을 최소화하는 최적보전한계를 구하여 보전한계 갱신정책을 발표하였으며, 이후 단위체의 기대이익을 최대로 하는 연구, 간헐적인 충격에 의존하는 단위체에 대한 연구, 갱신시 리드타임(Lead Time)이 있는 경우의 연구가 있었다.

Chan은 예방보전과 보전한계 갱신정책을 통합하는 연구를 발표하였으며, Naguyen등은 보전한 단위부품이 불완전한 보전으로 인해 단위부품보다 평균수명이 작다라는 가정으로 연구하였다. 또한 Drinkwater와 Hastings은 위의 연구에서 보전한계시간에 대한 함수와는 다른 양상으로 보전한계비용에 대한 함수로 보전한계갱신정책에 대해 연구하였다.

위의 연구에서 Drinkwater등은 한 단위체가 보전이 필요할 때 그 단위체는 검사되고 보전비용은 즉시 측정되며, 만일 보전비용이 책정된 예산을 초과한다면 보전하지 않고 갱신한다는 가정으로 보전과 갱신이라는 2개의 대안에 대한 단위기간당 평균기대비용을 최소화하는 최적보전한계 비용을 각 사용시간에 구하는 연구를 수행하였다.

Drinkwater 등이 제시한 보전한계 갱신정책의 모델에서와 같이 고장으로 인해 필수적으로 보전 또는 갱신하는 2개의 대안에 대한 기대비용이외에 주요한 요인의 하나인 고장에 의해 시스템에 미치는 기회비용에 대한 기대비용을 고려하여 보전시 시스템이 고장 날 때까지의 순간고장률은 변하지 않도록 보전한다는 가정으로 단위시간당 평균기대비용을 최소화하는 최적보전한계와 종합최소부담액을 산출하여 최소보전비용으로 열화하는 시스템의 보전한계갱신정책이 필요하다.

일반적으로 보전한계함수로 종합평균균등부담액인 총비용곡선은 볼록함수(Convex function)로 나타난다. 여기에서 보전한계를 너무 작게 설정하면 그림 3-1에서와 같이 갱신비용의 부담이 크며 반면에 보전한계를 너무 크게 설정하면 보전비용이 증가함을 알 수 있다. 위와 같은 결과로서 총비용곡선에서 종합평균균등부담액을 최소화하는 종합최소부담액으로부터 경제적수명(Economic Life)에 의한 최적보전한계가 존재함을 알 수 있다.

즉, 시스템의 열화에 따라 단위기간당 열화 손실비는 증가하며 단위기간당 보전비는 감소함으로 이로부터 최소비용점인 종합최소부담액을 찾을 수 있으며 또한 최적 보전주기를 구할 수 있었으나, 본 연구에서는 임의의 시스템 가동기간에서 고장으로 인해 시스템에 미치는 기회비용과 시스템의 고장시 보전하는 보전비용을 고려하여 최적 보전한계를 구함으로써 단위기간당 총비용의 최소화 방안을 제시하고자 한다.

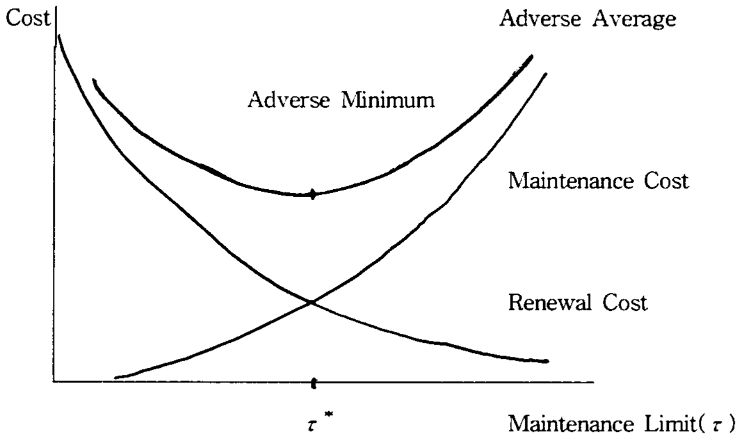

Fig.3-1 Optimal Maintence Limit by Economic Life

Ⅳ.機會費用과 保全費用

임의의 시스템 가동기간 t에서 고장으로 인해 시스템에 즉시 기대되는 총비용은 다음의 두 비용 요소로 생각할 수 있다. 즉 시스템의 보전비용을 지출하여 시스템을 만족한 상태로 유지하였다면 발생하지 않았을 생산상의 손실인 기회비용과 시스템의 고장으로 인한 보전비용으로 구분한다.

보전비용을 x라 하고,임의의 가동기간 t에서 보전비용의 확률밀도함수를 $g_t(x)$라 하면 보전비용이 보전한계를 초과할 확률 $G_t(X)$는

$$G_t(X) = 1 - \int_0^X g_t(x)dx$$
$$= \int_X^\infty g_t(x)dx \qquad \cdots\cdots (3\text{-}1)$$

이다.

t에서의 평균비용을 m_t로 하면 임의의 가동기간 t에서 수리한계를 초과하지 않을 때의 기대보전비용 Mt(X)는

$$Mt(X) = m_t\{1-G_t(X)\}$$
$$= \int_0^X x\cdot g_t(x)dx \qquad \cdots\cdots (3\text{-}2)$$

이다.

t = 0 으로부터 경과한 시간 T에서 시스템의 갱신률을 r(Tt), 갱신횟수를 k,t에서의 고장확률밀도함수를 f(Tt)라 하면

$$r(Tt) = \sum_{k=1}^{\infty} f_k(Tt)$$
$$= f_1(Tt) + \int_0^T r(T_t)f_1(T_t-t)dt \qquad \cdots\cdots (3\text{-}3)$$

이다.

갱신의 경우 시스템의 고장시 보전비용은 보전한계비용보다는 적어야 하며, 보전비용과 고장율과는 독립적이므로 시간 T_t에서 의 고장밀도를 $h(T_t)$라 하면

$$h(T_t) = rT(t)$$

의 관계가 성립한다.

가동기간 t에서의 평균고장률을 λ_t로 하고 식(3-3),(3-4)에서 Laplace 변환을 하면

$$L^{-1}\{h(S_t)\} = \lambda_t e^{-G_t(X)\lambda_t T_t} \quad \cdots\cdots (3\text{-}5)$$

가 된다.

시스템의 고장으로 인한 생산상의 손실인 기회비용은 시스템을 구입하거나 갱신하여 최대한 가동할 수 있을 때 까지의 기간을 열화정도에 따라 일정하게 나눈 한개의 구간을 단위기간으로 하여, 여기에서 임의의 단위기간에서의 평균갱신횟수를 Rt로 하면

$$\begin{aligned} Rt &= \int_0^1 h(Tt)dt \\ &= \int_0^1 \lambda_t e^{-G_t(X)\lambda_t T_t} dt \\ &= \frac{1}{G_t(X)}\{1 - e^{-G_t(X)\lambda_t T_t}\} \end{aligned} \quad \cdots\cdots (3\text{-}6)$$

이다.

따라서 시스템의 고장시 시스템에 미치는 기회비용을 Oc 라 하고 기대비용을 Et라 하면

$$Et = O_c \frac{1}{G_t(X)}\{1 - e^{-G_t(X)\lambda_t}\} \quad \cdots\cdots (3\text{-}7)$$

이다.

시스템의 고장시 정상상태로 회복하기 위한 보전기대 비용에서 임의의 가동기간 t 에서 보전밀도를 $m(T_t)$, 갱신밀도를 $n(T_t)$ 로 하면

$$m(T_t) = \{1-G_t(X)\}\lambda_t e^{-G_t(X)\lambda_t T_t} \quad \cdots\cdots (3\text{-}8)$$

$$n(T_t) = G_t(X)\lambda_t e^{-G_t(X)\lambda_t T_t} \quad \cdots\cdots (3\text{-}9)$$

이다.

평균 보전비용을 m_t ,시스템의 구입또는 갱신비용을 A라 하면 비용밀도는 $C(T_t)$ 는

$$C(T_t) = m_t \cdot m(T_t) + A \cdot n(T_t) \quad \cdots\cdots (3\text{-}10)$$

이다.

따라서 시스템의 고장시 갱신 또는 보전하는 경우의 기대보전비용을 $E_t{'}$ 로 하면

$$\begin{aligned} E_t{'} &= m_t \int_0^1 m(T_t)dt + A\int_0^1 n(T_t)dt \\ &= -\frac{\{1-G_t(X)\}\lambda_t \cdot m_t}{G_t(X)\cdot\lambda_t}\left[e^{-G_t(X)\lambda_t\cdot t}\right]_0^1 - \frac{G_t(X)\}\lambda_t \cdot A}{G_t(X)\cdot\lambda_t}\left[e^{-G_t(X)\lambda_t\cdot t}\right]_0^1 \\ &= \left[\frac{M_t(X)}{G_t(X)} + A\right]\{1 - e^{-G_t(X)\lambda_t}\} \end{aligned} \quad \cdots\cdots (3\text{-}11)$$

이다.

따라서 시스템의 임의의 가동기간에서 고장으로 인한 총기대비용 E(X)는 기회비용의 기대비용 E_t와 보전비용의 기대비용 $E_t{'}$ 의 두 비용요소의 합이 된다.

즉, $E(X) = E_t + E_t{'}$

$$= \left[\frac{M_t(X) + O_c}{G_t(X)} + A\right]\{1 - e^{-G_t(X)\lambda_t}\} \quad \cdots\cdots (3\text{-}12)$$

이다.

Ⅴ. 結論

생산을 위한 시스템의 의존도는 점점 높아지고 있으나, 시스템의 고장으로 인한 보전 또는 갱신의 문제로 발생하는 정지 손실이 증가함에 따라 고장 발생의 예방이나 보전기간의 단축에 대한 대책의 필요성과 비용 측면의 검토는 매우 중요하다.

본 연구에서 시스템을 무한 계획기간 가동한다는 가정으로 가동기간이 증가함에 따라 열화하는 시스템의 보전 또는 갱신비용을 최적 보전한계 정책을 이용하여 보전비용과 기회비용의 합인 총기대비용을 최소화하는 방안을 제시하고자 했다.

즉, 시스템의 고장으로 인하여 시스템 자체에 필수적으로 행하여야 할 보전 또는 갱신에 의한 기대비용과 시스템이 자동화 및 성력화됨에 따라 더욱 중요시 될 수 있는 시스템의 고장으로 시스템을 정상 상태로 유지하기 위한 보전비용을 지출하였으면 발생하지 않았을 기회비용을 고려하여 각 가동기간에서 최적 수리한계를 고려함으로써 보다 현실적인 시스템의 단위기간당 평균기대비용의 산출을 기대하였다.

參考文獻

1. Carmines,E.G.,and R.A.Zeller , Reliability and Validity Assessment, Sage Publications, Inc., 1979.
2. Chan, P.K.W., On the Modelling , Analysis and Optimization of System Reliability, University of Queensland, 1979.
3. Cox,D.R.,Renewal Theory, Methuen & Co., 1970.
4. Drinkwater,R.W., and N.A.S.Hastings,"An Economic Replacement Model", Operations Research, 18, 121-138, 1967.
5. Kapur,K., and L.Lamberson, Reliability in Engineering Design, John Wiley & Sons , Inc., 1977.
6. Nakagawa, T., and S.Osaki ,"The Optimum Repair Limit Replacement Policies", Operations Research, 25, 311-317, 1974.
7. Nguyem, D.G., and D.N.P.Murthy,"Optimal RePair Limit Replacement policies with Imperfect Repair",Operations Reseach, 32, 409-416, 1981.
8. O´Canner, P.D.T.,Reliability Engineering, Hemisphere Publishing Co., 1988.
9. Thuesen, G.J., and W.J. Fabrycky, Engineering Economy, Englewood Cliffs, 1993.
10. Shooman,M.L.,Probabilistic Reliability : an Engineering Approach, McGraw-Hill, Inc., 1968.
11. Walpole,R.E., and R.H.Myers,Probability and Statistics for Engineers and Scientists, Macmillan Publishing Co.,1989.