

대용특성을 이용한 예방정비모형 Preventive Replacement Models Based on Substitutive Characteristics

구 자 항*
김 원 중**
장 중 순**

Abstract

This paper deals with preventive replacements models for the item whose failures are dependent on their wear level. When measuring the item wear level is very costly, it may be economical to use substitutive characteristics that are correlated with the item wear level and relatively inexpensive to measure. In this paper, replacement policies based on such substitutive characteristics are proposed. The optimal level of substitutive characteristic to replace the item, which minimizes total cost, is obtained. Some numerical examples are also given.

1. 서론

설비나 시스템 또는 부품등 모든 아이템은 사용기간이 경과함에 따라 성능상태가 점차 노후화 되거나 갑작스런 고장으로 인하여 정비를 필요로

하게 된다. 아이템 정비방식으로 적용될 수 있는 가장 기본적인 교체정책은 Barlow와 Proschan (1960)이 제시한 정책으로 아이템이 고장나거나 또는 고장이 발생하지 않았더라도 설치후 일정시간이 경과했을 때에는 아이템을 무조건 교체하는

* 대림전문대학 공업경영과
** 아주대학교 산업공학과

수명교체정책을 비롯하여 정기교체정책 및 일체 교체정책이 있는데, 이 모든 교체정책은 아이템의 고장으로부터 야기되는 비용과 예방교체에 소요되는 비용사이의 경제적 측면을 고려한 것이다.

이러한 교체정책을 기본으로 진행되어온 대부분의 연구는 아이템교체에 있어서 시간을 결정변수로 하였다. 그러나 아이템의 고장이 마모량이나 피로도 또는 부식등에 더 간접적인 관계를 갖고 있고 이들의 상태가 검사에 의해 측정 가능하다면 시간을 기준으로 하는 것 보다는 마모량등 아이템의 상태에 대한 정보를 이용하는 것이 보다 효율적인 예방정비정책이 될 수 있을 것이다.

이러한 개념을 근거로 Park[8]은 고장을 의미하는 마모한계(Break-down threshold)가 사전에 설정되어 있는 상황에서 마모의 상태가 이 마모한계를 넘어서거나 또는 주기적 검사하에서 마모가 어떤 마모수준을 벗어날 경우에 아이템의 교체를 시행하기 위한 최적 마모수준을 구하였다. 그후 Park[9]은 설비의 고장율이 마모에 종속되고 마모의 상태가 연속적으로 관측 가능하다는 가정하에서 아이템의 마모가 마모수준을 벗어나거나 또는 고장이 발생했을 때 아이템의 교체를 위한 최적 마모수준을 구하였다.

그러나 설비의 운용중 가동의 중단없이 아이템의 마모를 연속적으로 측정한다는 것은 용이한 일이 아니며, 실제로 아이템의 마모측정을 위해 설비의 가동을 중단했을 경우에는 많은 기회 비용이 발생하게 될 것이다. 그러므로 설비의 사용기간중 아이템의 마모를 직접 측정하기가 용이하지 않거나 또는 이의 측정비용이 상당히 클 경우에는 아이템의 마모량 대신 이와 높은 상관관계를 지니며 측정이 쉬운 대용특성(Substitutive Characteristics)을 선정하여 이로부터 아이템의 교체 여부를 결정하는 정책이 제시될 수 있을 것이다.

이러한 대용특성으로는 선반 세공작업에서 직접적인 마모의 측정 대신 작업시 발생하는 음향, 절삭온도, 전기적 저항, 작업물의 직경, 조도

(Roughness)등이 있고, 전기절연체의 마모 상태를 나타내는 전기적 잡음 및 중장비의 윤활오일의 오염정도 등을 그 예로 할 수 있다. Moriwaki[7]는 금속 절삭시 절삭공구의 마모정도에 따라 유향특성이 달라짐을 이용하여 음향을 이용한 마모측정을 연구하였고, Comayel와 Bregger[3]는 선반 작업시 공구의 마모진행에 따른 제작품의 직경변화를 이용하여 간접적으로 마모를 측정하였다. 또한 Zakaria와 El Gomayel[10]은 절삭온도를 측정하므로써 공구의 마모를 관측하였으며, Groover et al.[4] 등은 공구 사용시 발생하는 온도 와 마모사이의 관계를 일차 선형 관계식으로 표현하여 이를 실험으로 입증하였다.

Misra[6]는 전기 절연체의 마모에 따른 최적 교체 수준을 결정하기 위해 전기적 잡음을 대용특성으로 이용할 수 있음을 보였다. 그는 동일한 볼트나 열에 의한 스트레스를 절연체에 가했을 때 높은 전기적 잡음을 나타낼수록 고장율이 커진다는 결론을 얻어 전기적 잡음과 고장특성간에 높은 상관관계가 있음을 보였다.

한편 중장비의 아이템 교체를 위해서는 장비의 각 아이템이 마모됨에 따라 윤활오일에 금속성분이 증가한다는 성질을 이용하여 장비의 마모상태나 고장원인을 발견할 수 있는 오일 분석기법이 적용될 수 있다. 즉, 이 기법은 윤활오일을 표본 채취하여 이에 포함된 금속성분(구리, 철, 알루미늄, 실리콘등)을 분석하므로써 장비의 마모상태나 고장원인을 발견하기 위한 기법이다.

최근까지 아이템의 고장이 시간변수보다는 아이템의 마모량이나 피로도 또는 부식등에 더 직접적인 관계를 지니는 경우의 아이템 교체에 관한 많은 정책이 제시되었다. 그러나 이 정책들은 연속적으로 아이템의 마모가 측정가능하다는 것을 가정하였으나 대부분의 경우 설비의 운용중에 아이템의 마모측정을 위해서는 설비의 가동중단이 이루어져야 하고, 이는 많은 기회비용의 손실을 유발시키므로 현실적이지 못한 경우가 있을 수

있다. 따라서 본 연구에서는 이와 같이 아이템의 마모측정이 연속적으로 가능하지 않거나 또는 이의 직접적인 측정비용이 클 경우에 적용될 수 있는 대용특성을 이용한 아이템 교체에 관한 모델을 분석하고자 한다.

2. 모형의 가정 및 기호

본 논문에서 설정된 가정 및 사용 기호는 다음과 같다.

가 정

- (1) 설비의 마모는 직접적인 측정이 곤란하며 대용특성에 의한 간접적 추정이 가능하다.
- (2) 대용특성과 마모는 모두 아이템의 설치초기에 0으로부터 출발한다.
- (3) 대용특성은 누적적이며 이의 증분량(Increments)은 비음, 안정적, 독립적인 성질을 지닌다.
- (4) 대용특성은 연속적으로 관찰가능하다.
- (5) 대용특성에 대한 마모의 조건부 분포는 정규분포를 한다.
- (6) 아이템의 정상적 기능발휘가 가능한 이론적 마모한계가 사전에 설정되어 있다.

기 호

- $W(t)$: 시간 t 에서의 아이템 마모량
 W_0 : 아이템의 마모 한계
 $S(t)$: 시간 t 에서의 대용특성치
 $f_w(t) : S(t)(W | s)$: 확률변수 $S(t)$ 에 관한 $W(t)$ 의 조건부 분포 ; $N[a + bs, \sigma^2]$
 $\mu(s)$: $a + bs$, 단 $b > 0$

- μ : $E[S(1)]$
 $g_i(\cdot), G_i(\cdot)$: $S(t)$ 의 pdf, cdf
 $q(s)$: 대용특성치의 변화에 따른 아이템의 고장 확률밀도 함수
 $Q(s)$: $q(s)$ 의 분포함수
 $\bar{Q}(s)$: $1-Q(s)$
 $h(s)$: $q(s)$ 의 순간 고장율(hazard rate)
 $R(s)$: 대용 특성치 s 에서 아이템교체시 발생하는 비용
 $T(s)$: 대용 특성치가 s 수준에 당도하는데 소요되는 시간
 $f_s(\cdot), F(\cdot)$: $T(s)$ 의 밀도함수, 분포함수
 s^* : 대용 특성의 최적 교체한계
 μf : $\int_0^\infty \bar{Q}(s) ds$
 a, b : 상수
 C_1 : 아이템 교체시 마모량이 W_0 이하일 경우에 발생하는 손실비용
 C_2 : 아이템 교체시 마모량이 W_0 이상일 경우에 발생하는 손실비용
 C_3 : 아이템의 교체비용
 C_4 : 아이템의 고장으로부터 발생한 손실비용
 $C(s)$: 아이템 교체 주기당 총 평균 비용
 $L(s)$: 아이템 교체 주기당 평균 시간
 $] (s)$: 단위 시간당 평균 비용

3. 대용특성을 이용한 아이템 교체정책

설비의 기능저하가 아이템의 마모나 피로, 부

식등에 직접적인 관계를 갖게 되는 경우에는 이들의 상태를 측정하여 아이템의 교체여부를 결정하는 것이 보다 효율적이다. 그러나 아이템의 마모가 직접적 또는 연속적으로 측정 가능하지 않을 때에는 마모와 깊은 상관관계를 지니며 측정이 용이한 대용특성을 선정하고, 이를 측정하므로써 아이템의 교체를 결정하는 정책이 제시될 수 있다. 본 연구에서는 대용특성을 이용한 교체정책으로 아이템의 이론적 마모한계가 설정되었을 때 아이템의 마모(Random aging, degradation)만이 진행되는 경우 그리고 아이템의 마모와 더불어 설비 운용의 일시 정지상태를 유발시키는 파국고장(Break-down)이 발생하는 경우에 관한 두가지 교체정책을 제시한다.

3. 1 마모만 진행되는 경우

설비의 기능을 일시 정지시키는 아이템의 파국고장은 발생하지 않고, 점진적으로 마모만 진행되어 설비가 충분히 제기능을 발휘하지 못하는 경우이다. 이러한 예로는 자동차의 브레이크 라이닝이나 클러치 디스크, 음료용기의 표면에 무늬를 연속적으로 인쇄하는데 이용되는 브랭킷트 그리고 암모니아 공장에서의 리포어튜브등을 들 수 있다. 이와같이 마모만 진행되는 아이템들의 교체는 정확히 아이템의 수명이라 할 수 있는 마모한계까지만 사용한 후에 교체를 시행하는 것이 가장 효율적이라 할 수 있지만, 아이템의 마모가 이론적 마모한계에 도달했는지를 연속적으로 측정하기가 쉽지 않은 경우에는 대용특성의 값을 이용한 교체정책이 사용될 수 있을 것이다. 본 연구에서는 대용특성이 누적적이고 이의 증분량은 비음, 안정적, 독립적인 성질을 지니는 것으로 가정하였으므로, 최적의 교체수준인 s^* 를 구하기 위해 아이템 교체시 마모량이 마모한계(W_0) 이하이면 실제 마모량과 마모한계의 차에 선형적으로 비례하여 손실비용 C_1 이 발생하고, 만일 교체수

준을 벗어나 마모량이 마모한계 이상일 경우에는 설비나 다른 아이템에 해로운 영향을 끼쳐 발생하는 손실비용 C_2 등의 두 가지 형태로 구성된 비용함수를 설정하였다. 이때 손실비용함수 $R(s)$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 R(s) &= \int_{-\infty}^{W_0} C_1(W_0 - W) f(G | w) dw \\
 &+ \int_{W_0}^{\infty} C_2 f(w | s) dw \\
 &= C_1 W_0 \Phi[(W_0 - \mu(s)) / \sigma] \\
 &+ C_2 [1 - \Phi((W_0 - \mu(s)) / \sigma)] \\
 &+ C_1 \sigma \phi[(W_0 - \mu(s)) / \sigma] \\
 &- C_1 \mu(s) \Phi[(W_0 - \mu(s)) / \sigma]. \dots\dots\dots(1)
 \end{aligned}$$

단 $\phi(z)$ 는 표준화된 정규분포이며,

$$\Phi(z) = \int_{-\infty}^z \phi(z) dz \text{를 나타낸다.}$$

$R(s)$ 를 최소화하는 최적의 s^* 를 구하기 위해 (1) 식을 미분하면

$$\begin{aligned}
 \frac{d}{ds} R(s) &= -C_1 W_0 \left[\frac{b}{\sigma} \right] \phi \left[\frac{W_0 - u(s)}{\sigma} \right] \\
 &+ C_2 \left[\frac{b}{\sigma} \right] \Phi \left[\frac{W_0 - u(s)}{\sigma} \right] \\
 &+ C_1 \left[\frac{b}{\sigma} \right] (W_0 - u(s)) \phi \left[\frac{W_0 - u(s)}{\sigma} \right] \\
 &- C_1 b \Phi \left[\frac{W_0 - u(s)}{\sigma} \right] \\
 &+ C_1 \left[\frac{b}{\sigma} \right] u(s) \phi \left[\frac{W_0 - u(s)}{\sigma} \right] \\
 &= C_1 \left[\frac{b}{\sigma} \right] \phi \left[\frac{W_0 - u(s)}{\sigma} \right] C_1 b \Phi \left[\frac{W_0 - u(s)}{\sigma} \right] \\
 &\dots\dots\dots(2)
 \end{aligned}$$

가 된다.

보조정리. 비용함수 $R(s)$ 를 최소화하는 s^* 는

$$= \left[\frac{C_1}{C_2} \right] \sigma \dots\dots\dots(3)$$

$\frac{d}{ds} R(s)=0$ 를 만족하는 값으로 이는 유한하고 유일한 해이다.

를 만족하는 유일한 최적 교체수준이다.

(증명) 식(2)로부터 $\frac{d}{ds} R(s)$ 를 0으로 놓고 정리하면

<예 1>

$$C_2 \left[\frac{b}{\sigma} \right] \Phi \left[\frac{W_0 - u(s)}{\sigma} \right] - \left[\frac{W_0 - u(s)}{\sigma} \right] \Phi \left[\frac{W_0 - u(s)}{\sigma} \right] \\ \div \Phi \left[\frac{W_0 - u(s)}{\sigma} \right] - [C_1 / C_2] \sigma \\ = C_2 \left[\frac{b}{\sigma} \right] \Phi \left[\frac{W_0 - u(s)}{\sigma} \right] l(s) = 0$$

중장비 트랙터에서 캄샤프트 베어링의 마모는 푸시로드나 로커암등의 아이템에 영향을 미쳐 엔진기능의 저하를 가져온다. 그러므로 이의 최적 교체를 위해서는 베어링의 마모가 진행됨에 따라 윤활오일에 남의 함유량(ppm)이 증가한다는 특성을 이용하여 마모를 추정할 수 있다. 여기서 캄샤프트 베어링의 이론적 마모한계는 $W_0=5.0$ 으로 주어졌고 오일내의 남 함유량과 이에 대응되는 캄샤프트 베어링 마모분포의 모수는 각각 $\sigma=0.435$, $a=-10.0$, $b=4.5$ 라고 한다.

이 된다. 단, 여기서

캄샤프트 베어링 교체시 발생하는 비용으로 베어링의 실제 마모수준이 마모한계(W_0) 미만일 때는 비용 $C_1=2.0$ 이 발생하고, 마모한계(W_0) 이상일 때에는 비용 $C_2=4.0$ 가 발생하는 것으로 하면 이에 관한 비용의 변화는 그림 1과 같다.

$$l(s) = \Phi \left[\frac{W_0 - u(s)}{\sigma} \right] - \Phi \left[\frac{W_0 - u(s)}{\sigma} \right] - [C_1 / C_2] \sigma$$

이다. 그런데 정규분포의 순간교장을 $\phi(z) / \Phi(z)$ 는 증가함수이므로 $k(z) = \phi(z) / \Phi(z)$ 는 감소함수로서 $dk(z) / dz < 0$ 이 된다.

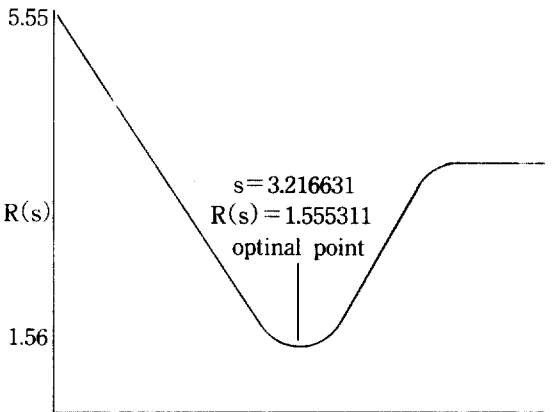
여기서 $z = (W_0 - u(s)) / \sigma$ 라 하면

$$\frac{d}{ds} l(s) = \frac{dk(z)}{dz} \cdot \frac{dz}{ds} > 0$$

이므로 $l(s)$ 는 s 에 관해 증가함수이다. 그리고

$$\lim_{s \rightarrow \infty} l(s) = \infty \text{이고, } \lim_{s \rightarrow -\infty} l(s) < 0 \text{이므로 이들로부터}$$

$\frac{d}{ds} R(s)=0$ 을 만족시키는 s 의 값은 유한하고 유일한 해임을 알 수 있다.



5

보조정리로부터 최적의 대응특성한계 s^* 는

그림 1. 마모만 진행되는 경우의 비용함수

$$\Phi \left[\frac{W_0 - u(s^*)}{\sigma} \right] - \Phi \left[\frac{W_0 - u(s^*)}{\sigma} \right]$$

그림 1은 s의 변화에 따라 비용함수 R(s)의 값이 하나의 최소값을 지니며, $s \rightarrow \infty$ 일때는 일정한 값으로 수렴하고 있음을 보이고 있다. 따라서 대용특성에 의한 아이템의 최적 교체주기 s^* 는 3.2166로서 오일내의 납 함유량이 3.2166ppm단위에 도달했을때 교체를 시행하는 것이 가장 경제적인임을 알 수 있다.

3. 2 파국고장이 발생하는 경우

앞 절에서는 아이템의 마모만 진행되나 이 상태가 사전에 설정된 이론적 마모한계까지 도달했는가의 여부를 연속적으로 관측한다는 것이 용이하지 않은 경우에 대용특성을 이용한 최적 교체수준을 구하였다. 그러나 어떠한 경우에는 아이템의 마모가 진행됨에 따라 기능의 일시정지를 유발시키는 고장이 발생되어 상당히 큰 비용이나 위험을 유발시킬 수 있다. 이러한 예로는 연속생산공정이나 화학공정에서의 유출 브레이크 실린더, 전화국의 중앙 전환교환기(Switching machines), 통신망(Communication network), 군사장비, 비행기의 랜딩기어 등을 들 수 있다.

이와같이 마모진행과 더불어 파국고장이 발생하는 경우에는 이들의 마모상태가 아이템 교체에 직접적인 정보가 될 수 있을 것이다. 그러나 아이템의 마모측정이 직접적·연속적으로 측정가능하지 않을 때에는 이 경우 역시 대용특성을 이용하여 교체수준을 결정할 수 있다. 본 연구에서는 교체정책으로 대용특성의 값이 교체수준 s에 도달하거나 또는 s에 도달하기전, 고장이 발생했을 경우에 아이템의 교체를 시행하는 것이다.

이 방침에 있어서 최적 교체수준은 단위시간당 평균비용을 최소화하는 대용특성의 수준이다. 이 모델에서 고려된 비용으로는 대용특성치가 s에 도달하기전 아이템의 고장이 발생했을 경우, 이 아이템을 교체하기 위한 교체비용 C_3 와 아이템 고장으로부터 발생된 손실비용 C_4 를 가정하였

다.

한편 고장이 발생되지는 않았으나 대용특성치가 s에 도달하여 아이템을 교체하려는 경우에는 아이템의 교체비용 C_3 그리고 교체하려는 아이템의 실제 마모량이 마모한계(W_0) 미만일 때 이들 간의 차에 선형적으로 비례하여 발생하는 비용 C_1 과 W_0 이상일 때 발생하는 비용 C_2 를 고려할 수 있다. 그런데 이 경우는 아이템의 운용시작으로부터 고장발생이나 또는 예방교체까지가 한 주기의 재생과정이므로 최적의 교체수준은 단위 시간당 비용을 최소화함으로써 얻어질 수 있다. 따라서 교체주기당 총 평균비용을 구하면 다음과 같다.

$$C(s) = (C_3 + C_4)P_r[\text{대용특성치 } s \text{에 도달하기전 부품의 고장발생}] + [C_3 + R(s)] P_r[\text{대용특성치가 } s \text{에 도달}] = (C_3 + C_4)Q(s) + [C_3 + R_s] \bar{Q}(s) \dots\dots\dots(4)$$

한편 확률변수 S(t)는 이의 진행과정이 안정적이고 독립적인 증분량을 갖기 때문에 $E[S(t)] = t \cdot \mu_1$, $E[T(s)] = s \cdot E[T(1)] = s / \mu_1$ 이다. 그리고 S(t)와 T(s)의 관계는 $\{S(t) < s\} = \{T(s) > t\}$ 이므로

$$\begin{aligned} \text{pdf}[t \text{시간 이전 대용특성치 } s \text{에서 아이템 고장 발생}] &= P_r[S(t) > s]q(s) \\ &= [1 - G_r(s)]q(s) \\ &= P_r[T(s) \leq t]q(s) = F_s(t) q(s) \end{aligned}$$

가 성립한다.

따라서 평균 교체주기는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} L(s) &= \int_0^\infty t \left[\int_0^s fr(t)q(r)dr + fs(t)\bar{Q}(s) \right] dt \\ &= \int_0^s q(r)E[T(r)]dr + \bar{Q}(s)E[T(s)] \\ &= \int_0^s Q(r)dr/u_1 \dots\dots\dots(5) \end{aligned}$$

식 (4), (5)로부터 단위 시간당 평균비용은

$$\begin{aligned}
 \$ (s) &= \frac{C(s)}{L(s)} = \frac{(C_3 + C_4)Q(s) + [C_3 + R(s)]Q(s)}{\int_0^s Q(r)dr/u_1} \\
 \dots\dots\dots (6)
 \end{aligned}$$

이 된다. 이 식은 전형적인 수명교환 정책의 비용함수 [2]와 유사하며, 이의 극한값은

$$\lim_{s \rightarrow \infty} \$ (s) = \frac{\mu_1(C_3 + C_4)}{\mu_1}, \quad \lim_{s \rightarrow 0} \$ (s) = \infty$$

임을 알 수 있다.

최소의 비용을 만족시키는 s*의 값을 구하기 위해 식(6)을 미분하고, 이를 0으로 놓으면

$$\begin{aligned}
 &[(C_3 + C_4)q(s) - C_3q(s) + R'(s)Q(s) \\
 &- R(s)q(s)] \int_0^s Q(r)dr \\
 &- [(C_3 + C_4)Q(s) + C_3Q(s) + R(s)Q(s)]Q(s) = 0
 \end{aligned}$$

이므로

$$\begin{aligned}
 &[(C_3 + C_4)q(s) - C_3h(s) + R'(s) - R(s)q(s)] \\
 &\int_0^s Q(r)dr \\
 &- (C_3 + C_4)Q(s) + C_3Q(s) + R(s)Q(s) = 0
 \end{aligned}$$

이다. 이를 정리하면

$$\begin{aligned}
 &[C_4 - R(s)]h(s) + R'(s) \int_0^s Q(r)dr - R(s) \\
 &- [C_4 - R(s)]Q(s) = C_3 \dots\dots\dots (7)
 \end{aligned}$$

이 된다. 식(7)의 좌변을 V(s)라고 하면

$$\lim_{s \rightarrow \infty} V(s) = \infty, \quad \lim_{s \rightarrow 0} V(s) = -\infty$$

이 성립되기 때문에 (7)식을 만족하는 s는 반드시 존재한다. 그런데 (7)식을 만족하는 해가 유일하다는 것은 수리적으로 증명하기가 쉽지 않다. 그러나 현실적으로는 하나의 최적해가 존재할 것으로 기대된다. 이때 식(7)을 만족시키는 최적해 s*에 대해서는

$$\$ (s^*) = u_1 \{ [C_4 - R(s)]h(s) + R'(s) \}$$

이 성립한다.

<예 2>

중장비 트랙터에서 피스톤 링의 마모나 파국고장은 장비운용에 있어서 출력의 급격한 저하를 초래하거나 또는 모든 기능의 일시정지 상태를 유발시킨다.

피스톤 링의 마모가 증가함에 따라 장비의 유효일내에는 대응특성장치로서 크롬의 함유량(ppm)이 증가하는 특성을 이용하여 최적 교체수준인 대응특성치의 크롬 함유량을 구하려고 한다.

대응특성치의 변화에 따른 아이템의 고장확률 밀도함수 q(s)는 모수가 α=0.5 β=1.5인 와이볼 분포를 한다고 하며, 대응특성치의 단위시간당 평균 기대누적량은 μ₁=2로 한다.

고려될 비용으로는 마모수준이 마모한계미만일 때에는 비용 C₁=2.0 마모한계이상일 때에는 비용 C₂=4.0이 발생한다. 그리고 파국고장 발생시에 이의 교체를 위한 교체비용 C₃=10 그리고 고장으로부터 발생된 손실비용 C₄=5.0이라 할 때 대응특성치 s의 변화에 따른 비용변화는 그림2와 같다.

그림 2.는 s의 변화에 따라 비용함수 \$(s)의 값이 하나의 최적값을 지니며 s가 증가함에 따라 일정한 값으로 수렴하고 있음을 보이고 있다. 따라서 중장비 아이템의 최적교체를 위하여 오일내의 크롬함유량을 대응특성으로 선정했을 때 최적의 교체수준은 s*=2.466임을 알 수 있다.

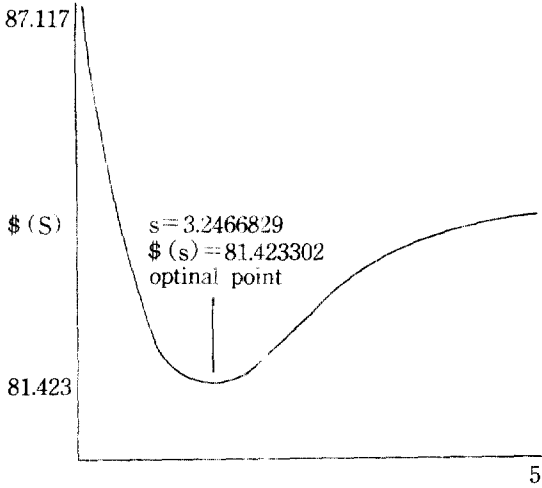


그림 2. 마모와 파국고장에 관한 비용함수

4. 결 론

아이템의 고장이 사용시간보다는 마모량이나

피로도 또는 부식등에 직접적인 영향을 받게 되는 경우에 이들의 마모량이나 피로도등의 상태는 아이템의 교체여부를 결정하는 데 중요한 기즈가 된다. 본 연구에서는 아이템의 마모가 고장에 직접적인 영향을 미치지만 그 측정이 직접적 연속적으로 가능하지 않거나 또는 측정비용이 상당할 경우 마모의 대용특성을 이용한 아이템 교체정책을 제시하였다. 교체정책으로는 아이템의 마모만 진행되는 경우 그리고 마모진행과 더불어 아이템의 파국고장이 발생하는 경우에 적용될 수 있는 두 가지 교체정책을 제시하였다.

본 연구에서는 대용특성을 연속적으로 측정하여 아이템의 최적 교체정책을 수립하였으나 일정한 간마다 주기적으로 대용특성 특성치를 측정하여 교체정책을 수립하는 것이 현실적 문제로 접근 가능할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Barlow, R. E. and Hunter, L. C. (1960), "Optimum Preventive Maintenance Policies", *Opns. Res.*, Vol. 8, No. 1, pp 90~100.
2. Barlow, R. E. and Proschan, F. (1965), *Mathematical Theory of Reliability*, John Wiley & Sons, New York.
3. El Gomayel, J. I. and Brögger, K. D. (1986), "On-Line Tool Wear Sensing for Turning Operation", *ASME J. Engng Ind.*, Vol. 108, pp 44~47.
4. Groover, M. P., Karpovich, R. J. and Levy, E. K. (1977), "A Study of the Relationship between Remote Thermocouple Temperatures and Tool Wear in Machining", *Int. J. Pro. Res.*, Vol. 2, pp 129~141.
5. Hitomi, K., Nakamura, N. and Inoue, S. (1979), "Reliability Analysis of Cutting Tools", *ASME J. Engng Ind.*, Vol. 101, pp 185~190.
6. Misra, R., Pandey, S. and Sundaresan, V. (1991), "Reliability Prediction of Solid Dielectrics Using Electrical Noise as a Screening Parameter", *IEEE Trans. Rel.*, Vol. R-40, No. 1, pp 113~116.
7. Moriwaki, T. (1983), "Application of Acoustic Emission Measurement to Sensing of wear and Breakage of Cutting Tool", *Bull. Japan Soc. of Prec. Engg.*, Vol. 17, No. 3, pp 154~160.
8. Park, K. S. (1988), "Optimal Continuous-Wear Limit Replacement Under Periodic Inspection", *IEEE Trans. Rel.*, Vol. R-37, No. 1, pp 97~102.
9. Park, K. S. (1988), "Optimal Wear-Limit Replacement With Wear-dependent Failures", *IEEE Trans. Rel.*, Vol. R-37, No. 3, pp 293~294.
10. Zakaria, A. A. and El Gomayel, J. I. (1975), "On the Reliability of the Cutting Temperature for Monitoring Tool Wear", *Int. J. Mach. Tool Des. Res.*, Vol. 15, pp 195~208.