Journal of the KSQC
Vol. 20, No. 2, Dec. 1992

1992년 12월 韓國品質管理學會誌 제20권 제2호

대용특성을 이용한 예방정비모형 : 주기적으로 관측하는 경우

Preventive Replacement Model Based on Substitutive Characteristics : the case of periodic observation

구 자 황*
장 중 순**
김 원 중**

Abstract

Items are assumed to fail by degradation. An appropriate stochastic model of such item is a cumulative process in which an item can fail only when the total amount of wear exceeds a prespecified failure level. This paper presents replacement policy in which an item is replaced at a certain level of wear before failure or at failure, whichever occurs first. Yet, when measuring the item wear level is very expensive, destructive or time-consuming, it may be economical to use substitutive characteristics that are correlated with the item wear level and relatively inexpensive to measure. The item's wear level could usually be estimated by monitoring such substitutive characteristics only except for a breakdown, which may be observed immediately at its occurrence. The purpose of this paper is to find an potimal periodic replacement policy based on such substitutive characteristics that balance the cost of replacement with the cost of failure and result in a minimum total long-run average cost per unit time. The optimal level of substitutive characteristics to replace the item is obtained. Numerical example illustrate how the model can be used to determine the optimal replacement policy.

* 대림전문대학 공업경영과
** 아주대학교 산업공학과

Ⅰ. 서　론

아이템은 사용이나 수명이 경과함에 따라 마모가 진행되는데 아이템의 운용도중 발생되는 고장이 위험을 초래하거나 또는 이로인한 비용이 클 경우 아이템의 신뢰도를 높게 유지하기 위한 방편의 하나로 정비문제가 큰 비중을 차지하게 되었다. 아이템의 정비 방식으로 적용될 수 있는 가장 기본적인 교체 정책은 Barlow와 Proschan[1]이 제시한 수명 교체 정책을 비롯하여 정기 교체 정책, 일제 교체 정책이 있는데, 이러한 교체 정책을 기본으로 한 대부분의 연구는 아이템의 수명시간을 결정 변수로 하였다. 그러나 아이템의 고장이 마모량이나 피로도, 충격에 의한 손상 또는 화학적인 부식등에 더 깊은 관계를 갖고 있고 이들의 상태가 검사에 의해 측정 가능하다면 시간을 기준으로 하는것보다는 아이템 상태에 관한 정보를 이용하는 상태 관측 교체 정책(Condition Based Replacement)이 보다 효율적인 예방 정비 정책이 될 수 있을 것이다.

Geurts[4]는 아이템 고장이 마모의 변수로 표시되는 과정에 있어서 수명 교체 정책과 마모수준에 의한 교체정책 사이의 경제적 우열성을 비교하여 두 가지 정책이 같은 비율의 예방교체를 시행할 경우에는 마모수준에 의한 교체정책이 수명 교체 정책에 비하여 경제적으로 우수한 정책임을 보였으며, Sivazilian[9]은 아이템의 마모가 진행됨에 따라 운용 비용이 증가하는 경우 정기적으로 각 기간말에서 마모의 양을 측정하여 만일 누적된 마모량이 일정 수준을 초과하면 즉각 교체를 시행하고, 이 수준을 초과하지 않았으면 또 다시 다음 기간 말 까지 아이템 운영을 지속하는 경우의 최적 교체를 위한 마모수준을 구하였다. 또한 Sherwin[8]은 발전소의 휘드 펌프 고장이 발생하기 전의 온도 상승 또는 터어빈에 연결된 샤프트의 진동 등의 현상으로 고장 발생의 임박했음을 경고하는 발전 설비의 예를 들어 아이템 고장 발생의 징후(self-announcing)가 나타날 때 검사를 시행하여 고장 발생 직전 아이템의 기능을 회복시키기 위한 예방 보전(On-Condition Preventive Maintenance)에 관한 최적 검사 계획을 제시하였다. Nakagawa[6], Taylor[11]는 포아손분포에 따라 아이템에 타격이 도래하고 각 타격이 도래할 때마다 확률적 마모량이 발생하는 경우의 교체정책을 연구하였다. 그는 누적된 마모량은 항상 관측 가능하다는 조건하에서 타격에 의한 고장확률이 마모량의 함수로서 증가 함수의 형태일때 아이템교체를 위한 최적 교체수준을 구하였다. 그러나 아이템의 운용중 가동의 중단없이 마모를 연속적으로 측정한다는 것은 용이한 일이 아니며 실제로 아이템의 마모 측정을 위해 가동을 중단했을 경우에는 많은 기회 비용이 발생하게 될 것이다. 그러므로 아이템 사용기간 중 마모를 직접 측정하기가 용이하지 않거나 또는 이의 측정비용이 상당히 클 경우에는 아이템의 마모

량 대신 이와 높은 상관 관계를 지니며 측정이 손쉬운 대용특성(Substitutive Characteristics)을 선정하여 이로부터 아이템의 교체여부를 결정하는 정책이 제시될 수 있을 것이다.

대용 특성의 예로서 선반 세공 작업에서 직접적인 마모의 측정대신 작업시 발생되는 음향, 절삭온도, 전기적 저항, 작업물의 직경 변화, 공구의 공구대의 진동, 표면조도(surface roughness), 중장비의 윤활 오일의 오염정도(금속성분 또는 조각), 전기기기에서 절연체의 마모상태를 나타내는 전기적 잡음(Electrical Noise), 무선 주파수(Radio Frequency)등을 들 수 있다.

Tapiero[10]은 아이템의 마모가 직접적으로 관찰될 수 없는 경우 아이템의 상태와 관련된 변수의 측정을 통해 간접적으로 마모를 추정하는 예방교체 모델로서 마모의 상태가 시간이라는 변수보다 생산된 제품 갯수를 함수로 표현되는 생산시스템에 관한 최적 교체정책을 제시하였다. El Gomayel와 Bregger[3]는 아이템의 마모가 증가함에 따라 제작물의 직경이 증가할 때 전자기 방식(Electromagnetic Method)을 이용하여 발생된 전압을 측정함으로서 아이템의 마모를 추정할 수 있음을 보였고 Harrold와 Emery[5]는 운용중인 전기기기내에서 마모로부터 발생되는 비정상 상태와 관련되어 무선 주파수가 변화된다는 성질을 이용, 이 무선 주파수의 관측으로 전기 기기의 정비계획을 향상 시킬 수 있음을 보였다.

본 연구에서는 아이템의 마모측정이 곤란하거나 많은 비용을 유발하는 경우 아이템의 마모와 관련이 있는 대용특성치를 이용하여 교체정책을 결정하는 문제를 다룬다. 대용특성치의 확률분포함수가 주어져 있고, 주어진 대용특성치에 대해서 마모량의 조건확률분포가 알려져 있을 경우에 대해서 대용특성치를 주기적으로 관측할 때의 최적예방교체 정책을 결정한다.

Ⅱ. 가정 및 기호

본 논문에서 설정된 가정 및 기호는 다음과 같다.

가 정

1.아이템의 마모는 직접적인 측정이 곤란하며, 이와 상관관계있는 대용특성치가 있다.
2.대용특성은 아이템의 사용시간에 따라 누적적이며, 이의 증분은 비음(nonnegative), 안정적(stationary), 독립적(independent)인 성질을 가진다.
3.대용특성치는 주기적으로 관측되며, 한주기를 단위시간으로 한다.
4.아이템의 정상적 기능발휘가 가능한 이론적 마모한계가 사전에 설정되어 있다.
5.주어진 대용특성치에 대해서 마모량의 조건부 확률분포가 알려져 있다.

기 호

W　마모량

S(i)　i번째 관측시점에서의 대용특성치

ΔSi　i번째와 i-1번째 관측시점 사이의 증분량

η　고장을 유발하는 마모량의 한계(breakdown wear threshold)

hi(・)　S(i)의 확률분포함수

G(・/・) 주어진 대용특성치 대한 마모량의 조건부 누적분포함수

u*　대용특성치에의한아이템의최적교체수준

C_I　대용특성치의 관측비용

C_R　아이템의 교체비용

C_B　아이템의운용중고장발생으로인한손실비용

TC(u)　교체주기당 평균비용

TL(u)　교체주기의 평균길이

TUC(u) 단위시간당 총 평균비용

Ⅲ. 대용특성의 주기적관측에 의한 아이템 교체정책

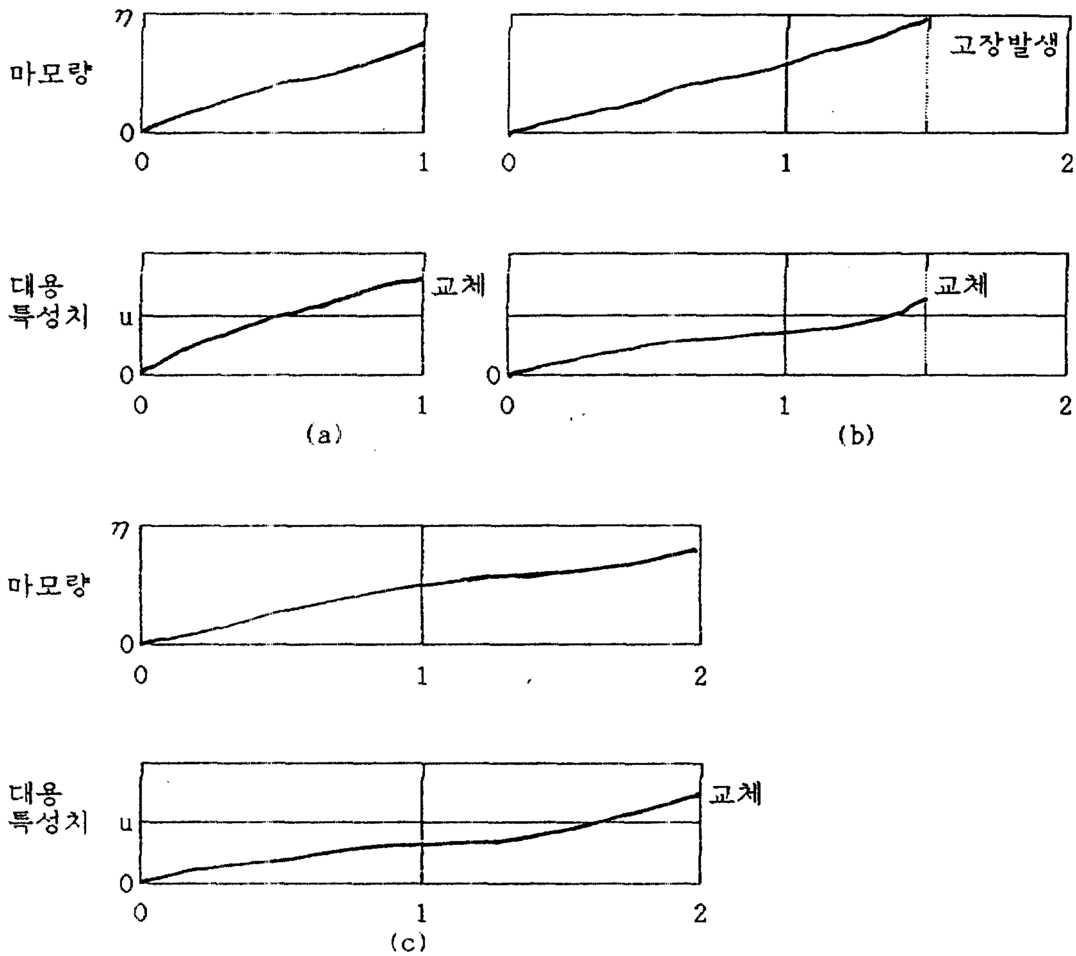
아이템의 고장을 나타내는 마모량의 이론적 한계가 주어져 있고 대용특성을 주기적으로 관측하는 경우의 최적교체정책은 다음과 같다.

1. 모 형

대용특성치를 이용하여 교체여부를 결정하는 모형으로서 다음의 의사결정정책을 생각할 수 있다. 아이템의 가동후 한 단위시간이 경과하면 비용 C_I가 들어가는 검사를 행사여 측정된 대용특성치의 값이 교체수준을 넘어서면 고장이 발생하지 않았어도 교체를 시행하나 검사기간중 측정된 대용특성치의 값이 교체수준에 미치지 못했으면 아이템을 그냥 더 계속 사용하고 다음 단위 시간이 경과한 후 다시 대용특성치에 대한 검사를 시행한다. 만일, 대용특성치의 측정결과가 교체수준과 위험수준 사이에 있으면 다음 검사기간까지 사용도중 고장날 염려가 있으므로 교체한다. 즉, 어떤 관측시점에서 대용특성치의 이 일정한 값이 u이상이면 아이템을 교체하고 아니면 아이템을 계속 사용하는 것이다. 여기서 고려되어야 하는 것은 마모량을 직접 관측하지 않기 때문에 주어진 대용특성치에 대해서 마모량은 확률변수라는 것이다.

그림 1은 대용특성치를 이용한 교체모형으로 대용특성치와 이에 대응하는 마모량을 나타낸 것이다. (a)는 시작시점으로부터 첫번째 관측시점 사이에서 고장이 발생하지 않고 이 시점에서 대용특성치의 값이 u보다 큰 경우로서 이 시점에서 아이템을 교체하는 것을 나타낸다. 또한 (b)는 첫번째 관측시점에서 대용특성치의 값이 u보다 작으므로 교체를 하지 않고 아이템을 계속 사용하였으나 두번째 관측시점 이전에 마모량이 η에 도달하여 아이템이 고장나는 경우로서 이 아이템의 고장시점에서 교체를 한다. 그리고 (c)는 첫번째 관측시점에

서 대용특성치의 값이 u보다 작으므로 아이템을 계속 사용하여 두번째 관측시점에서의 대용특성치의 값이 u보다 작으면 계속 사용하고 u보다 크면 아이템을 교체한다. 여기서는 대용특성치를 이용하여 아이템의 교체여부를 결정하는 값 u의 최적값을 구한다.



<그림 1> 대용특성치를 주기적으로 관측하는 경우의 아이템 교체모형

2. 한교체 주기당 평균비용

아이템의 예방정비에 관계되는 비용으로 대용특성치를 관측하는데 소요되는 비용(C_I), 아이템의 교체비용(C_R), 그리고 고장이 발생하였을 때의 손실비용(C_B)를 고려한다. 이때 한 교체주기 동안의 총평균비용은 아이템의 교체여부를 결정하는 값 u의 함수로 표현할 수 있으며 이는 아이템의 고장이 발생하지 않은 경우와 아이템의 고장이 발생되는 경우로 나누어 표시된다.

총 평균비용 TC(u)은

$$TC(u)=C_R+C_I\sum_{i=1}^{\infty} i\cdot Pr(\text{i번째 관측시점에서 아이템 교체})+\sum_{i=1}^{\infty}\{(i-1)\cdot C_I+C_B\}\cdot Pr\{\text{(i-1)번째 관측시점과 i번째 관측시점사이에서 아이템의 고장발생}\}$$

$$=C_R+C_I\sum_{i=1}^{\infty} i\cdot Pr\{S(i-1)\le u,\ S(i)\rangle u,\ W\le\eta\}+\sum_{i=1}^{\infty}\{(i-1)\cdot C_I+C_B\}\cdot Pr\{S(i-1)\le u, W\rangle\eta\}\quad\cdots\cdots(1)$$

이다. 식(1)에서

• Pr{i번째 관측시점에서 아이템교체}

$$=Pr\{S(i-1)\le u, S(i)\rangle u, W\le\eta\}$$
$$=Pr\{W\le\eta, S(i)\rangle u, S(i)-S(i-1)\ge S(i)-u\}$$
$$=Pr\{W\le\eta, S(i)\rangle u, \triangle Si\ge S(i)-u\}$$
$$=Pr\{W\le\eta/S(i)\rangle u,\ \triangle Si\ge S(i)-u\}\cdot\{S(i)\rangle u,\ \triangle Si\ge S(i)-u\}$$
$$=Pr\{W\le\eta/S(i)\le u-\triangle Si\}\cdot\{u\langle S(i)\le u+\triangle Si\}$$
$$=\int_0^{\infty}Pr\{W\le\eta/u\langle S(i)\le u+\triangle Si\}\cdot Pr\{u\langle S(i)\le u+\triangle Si/\triangle Si=v\}\cdot Pr\{\triangle Si=v\}dv$$
$$=\int_0^{\infty}\int_u^{u+v}Pr\{W\le\eta/S(i)=s\}\cdot Pr\{S(i)=s\}\cdot Pr\{\triangle Si=v\}dsdv$$
$$=\int_0^{\infty}h_1(v)\int_u^{u+v}G(\eta/s)\cdot hi(s)dsdv$$

• Pr{(i-1)번째와 i번째 관측시점 사이에서 고장발생}

$$=Pr\{W\rangle\eta, S(i-1)\le u\}$$
$$=Pr\{W\rangle\eta, S(i)-S(i-1)\ge S(i)-u\}$$
$$=Pr\{W\rangle\eta, \triangle Si\ge S(i)-u\}$$
$$=Pr\{W\rangle\eta\mid S(i)\le\triangle Si+u\}\cdot Pr\{S(i)\le\triangle Si+u\}$$
$$=\int_0^{\infty}Pr\{W\rangle\eta/S(i)\le\triangle Si+u\}\cdot Pr\{S(i)\le\triangle Si+u/\triangle Si=v\}\cdot Pr\{\triangle Si=v\}dv$$
$$=\int_0^{\infty}\int_0^{u+v}Pr\{W\rangle\eta/S(i)=s\}\cdot Pr\{S(i)=s\}\cdot Pr\{\triangle Si=v\}dsdv$$
$$=\int_0^{\infty}h_1(v)\int_0^{u+v}[1-G(\eta/s)]\cdot h_1(s)dsdv$$

따라서 식(1)은 다음과 같다.

$$TC(u)=C_R+C_I\sum_{i=1}^{\infty}i\int_0^{\infty}h_1(v)\int_u^{u+v}G(\eta/s)hi(s)dsdv+\sum_{i=1}^{\infty}[(i-1)C_I+C_B]\cdot\int_0^{\infty}h_1(v)\int_0^{u+v}[1-G(\eta/s)]hi(s)dsdv\cdots(2)$$

3. 한교체 주기의 평균길이

한교체주기당 평균길이 TL(u)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$TL(u)=\sum_{i=1}^{\infty}i\cdot Pr\{\text{i번째 관측시점에서 주기가 끝남}\}$$

$$+\sum_{i=1}^{\infty} E\{(i-1)\text{번째와 } i\text{번째 관측시점사이에서 고장이 발생했을 때 아이템의 고장시간}\} \cdots\cdots (3)$$

식(3)에서 i번째 관측시점에서 한교체주기가 끝날 확률은 i번째 관측시점에서 아이템을 교체할 확률과 동일하므로

$$\Pr\{i\text{번째 관측시점에서 주기가 끝남}\} = \int_0^{\infty} h_1(v) \int_u^{u+v} G(\eta/s) h_i(s)\, ds\, dv$$

이다. 한편 식(3)의 두번째항은 다음과 같이 구한다. $T_i(\eta)$를 (i−1)번째와 i번째 관측시점사이에서 고장이 발생할 때까지의 시간이라 하면, 이의 평균적인 값은

$$E[T_i] = E[T_i(\eta)] = \int_0^1 \Pr[T_i(\eta) \le t]\, dt$$

$$= \int_0^S \Pr[S(i-1)=u] \int_0^1 \Pr[T_i(\eta) \le t / S(i-1)=u]\, dt\, du$$

그러나 이의 정확한 값을 구하기가 쉽지 않으므로 Ti의 평균적인 값을 대략 두 관측시점의 중간시점으로 근사화 시킬 수 있는데, Schneeweiss[7]는 이에 대한 이론적 증명을 하였다. 한 관측주기의 길이는 1단위이므로 Ti의 기대치는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E[T_i] = [(i-1)+1/2] \cdot \Pr\{(i-1)\text{번째 관측시점과 } i\text{번째 관측시점사이에서 고장발생}\}$$

$$= (i-1/2) \int_0^{\infty} h_1(v) \int_0^{u+v} [1-G(\eta/s)] h_i(s)\, ds\, dv \cdots\cdots (4)$$

따라서 식(3)은 다음과 같다.

$$TL(u) = \sum_{i=1}^{\infty} i \int_0^{\infty} h_1(v) \int_u^{u+v} G(\eta/s) h_i(s)\, ds\, dv + \sum_{i=1}^{\infty} (i-1/2) \int_0^{\infty} h_1(v) \int_0^{u+v} [1-G(\eta/s)] h_i(s)\, ds\, dv \cdots\cdots (5)$$

4. 근사해의 결정

식(2)와 (5)로부터 단위시간당 총평균비용 TUC(u)는 Renewal-Reward정리로부터

$$TUC(u) = \text{한교체주기당 평균비용}/\text{한교체주기의 평균길이} = TC(u)/TL(u) \cdots\cdots (6)$$

이다. 따라서 최적교체정책은 식(6)을 최소화하는 u*를 결정하면 얻을 수 있다. 식(6)은 u에 대해 연속이므로 u에 대해서 미분하면

$$dUC(u)/du = [1/TL(u)]^2 / [TL(u) \cdot dTC(u)/du - TC(c) \cdot dTL(u)/du]$$

이다.

$dUC(u)/du = 0$이라 두면 $TL(u) \neq 0$이므로

$$TL(u) \cdot TC'(u) = TC(u) \cdot TL'(u) \cdots\cdots (7)$$

를 만족하는 u*가 최적근사해 값이다. 여기서 TC'(u)와 TL(u)은 각각 다음과 같다.

$$TC'(u)=(C_I-C_B)\sum_{i=1}^{\infty}\int_0^{\infty}h_1(v)h_i(u+v)G(\eta/u+v)dv$$
$$+\sum_{i=1}^{\infty}[(i-1)C_I+C_B][\int_0^{\infty}h_1(v)h_i(u+v)dv$$
$$-C_I\,G(\eta/u)\sum_{i=1}^{\infty}i\,h_i(u)]\cdots\cdots(8)$$

$$TL'(u)=(1-2)\sum_{i=1}^{\infty}\int_0^{\infty}h_1(v)h_i(u+v)G(\eta/u+v)dv+$$
$$\sum_{i=1}^{\infty}[(i-1/2)\cdot\int_0^{\infty}h_1(v)h_i(u+v)dv-G(\eta/$$
$$u)\sum_{i=1}^{\infty}i\,h_i(u)]\cdots\cdots(9)$$

식(7)은 TC'(u)/TC(u)=TL'(u)/TL(u)과 동일하며, 이를 만족하는 u*는 수치적방법으로 구할 수 있다. 즉, u값의 변화에 따른 TC'(u)/TC(u)값과 TL'(u)/TL(u) 값을 구하여 이들 값이 일치하는 u의 값이 우리가 구하고자 하는 값이다.

4. 대용특성치에 의한 마모량이 감마분포를 따르는 경우의 근사해

대용 특성치와 마모량의 분포가 감마분포인 경우의 최적 예방교체 정책은 다음과 같이 결정된다. 관측시점 i에서 대용특성치가 $S(i)\sim G(\lambda,\alpha_0+\alpha_1\cdot i)$인 분포를 따르고 주어진 대용특성치 u에 대해서 마모량은 $W\sim G(\lambda,\beta_0+\beta_1\cdot u)$인 분포를 따른다고 할때 증분 ΔS_i, S(i)의 확률분포 함수와 마모량의 조건부 누적분포함수는 각각

$$h_1(v)=\frac{1}{\Gamma(\lambda)(\alpha_0+\alpha_1)}\left[\frac{v}{\alpha_0+\alpha_1}\right]^{\lambda-1}\exp\left[-\frac{v}{\alpha_0+\alpha_1}\right]$$

$$h_i(s)=\frac{1}{\Gamma(\lambda)(\alpha_0+\alpha_1\cdot i)}\left[\frac{s}{\alpha_0+\alpha_1\cdot i}\right]^{\lambda-1}$$
$$\exp\left[-\frac{s}{\alpha_0+\alpha_1\cdot i}\right]$$

$$G(\eta/s)=\int_0^{\omega}\frac{x^{\lambda-1}e^{-x}}{\Gamma(\lambda)}dx=I(\lambda,\omega).\ 단,\omega=\frac{\eta}{\beta_0+\beta_1\cdot s}$$

이다. $h_1(v)$, $h_i(s)$, $G(\eta/s)$를 식 (2),(5),(8),(9)에 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$TC(u)=C_R+C_I\sum_{i=1}^{\infty}i\,A_i(u)+\sum_{i=1}^{\infty}[(i-1)C_I+C_R]B_i(u)$$
$$\cdots\cdots(10)$$

$$TL(u)=\sum_{i=1}^{\infty}i\,A_i(u)+\sum_{i=1}^{\infty}(i-1/2)B_i(u)\cdots\cdots(11)$$

$$TC'(u)=(C_R-C_I)\sum_{i=1}^{\infty}C_i(u)+\sum_{i=1}^{\infty}[(i-1)C_I+C_R]$$
$$D_i(u)-C_I(\lambda,\omega)\sum_{i=1}^{\infty}i\cdot z(i)\left[\frac{u}{\alpha_0+\alpha_1\cdot i}\right]^{\lambda-1}$$
$$\exp\left[-\frac{u}{\alpha_0+\alpha_1\cdot i}\right]\cdots\cdots(12)$$

$$TL'(u)=\sum_{i=1}^{\infty}C_i(u)/2+\sum_{i=1}^{\infty}[(i-1/2)D_i(u)-I(\lambda,\omega)\sum_{i=1}^{\infty}i$$
$$z(i)\left[\frac{u}{\alpha_0+\alpha_1\cdot i}\right]^{\lambda-1}\exp\left[-\frac{u}{\alpha_0+\alpha_1\cdot i}\right]\ (13)$$

이다. 여기서

$$Ai(u) = \int_0^{\infty} z(1)\left[\frac{v}{\alpha_0+\alpha_1}\right]^{\lambda-1} \exp\left[-\frac{v}{\alpha_0+\alpha_1}\right] \times$$

$$\int_u^{u+v} I(\lambda,\omega)\cdot z(i)\left[\frac{s}{\alpha_0+\alpha_1\cdot i}\right]^{\lambda-1} \exp\left[-\frac{s}{\alpha_0+\alpha_1\cdot i}\right] ds\,dv$$

$$Bi(u) = \int_0^{\infty} z(1)\left[\frac{v}{\alpha_0+\alpha_1}\right]^{\lambda-1} \exp\left[\frac{v}{\alpha_0+\alpha_1}\right] \times$$

$$\int_u^{u+v} z(i)\left[\frac{s}{\alpha_0+\alpha_1\cdot i}\right]^{\lambda-1} \exp\left[-\frac{s}{\alpha_0+\alpha_1\cdot i}\right]$$

$$[1-I(\lambda,\omega)]\,ds\,dv$$

$$Ci(u) = \int_0^{\infty} z(1)\left[\frac{v}{\alpha_0+\alpha_1}\right]^{\lambda-1} \exp\left[-\frac{v}{\alpha_0+\alpha_1}\right] \times Z(i)\left[\frac{u+v}{\alpha_0+\alpha_1\cdot i}\right]^{\lambda-1} \exp\left[-\frac{u+v}{\alpha_0+\alpha_1\cdot i}\right] I[\lambda,\eta \mid \{\beta_0+\beta_1(u+v)\}]\,dv$$

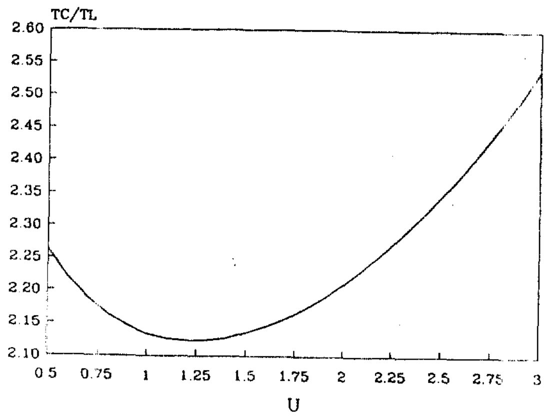
$$Di(u) = \int_0^{\infty} z(1)\left[\frac{v}{\alpha_0+\alpha_1}\right]^{\lambda-1} \exp\left[-\frac{v}{\alpha_0+\alpha_1}\right] \times Z(i)\left[\frac{u+v}{\alpha_0+\alpha_1\cdot i}\right]^{\lambda-1} \exp\left[-\frac{u+v}{\alpha_0+\alpha_1\cdot i}\right] dv$$

$$z(i) = \frac{1}{\Gamma(\lambda)(\alpha_0+\alpha_1\cdot i)}$$

이다. 비용모수 C_I, C_R, C_B의 값과 마모한계 η의 값 그리고 마모량과 대용특성치의 확률분포에 관계된 모수 λ, α_0, α_1, β_0, β_1의 추정치를 알면 식(10)-(13)을 이용하여 예방교체정책을 결정하는 대용특성치의 값 u*를 수치적 방법으로 구할 수 있다.

수치 예

중장비 트랙터에서 피스톤의 마모는 현저한 엔진출력의 저하를 가져온다. 피스톤의 마모량이 증가함에 따라 윤활오일내에 알루미늄의 함유량이 증가한다는 마모에 관한 대용특성을 이용하여 최적교체정책을 결정하려한다. 대용특성치인 윤활오일의 검사비용 $C_I=1.0$, 아이템의 교체비용 $C_R=10.0$ 그리고 고장발생에 의한 손실비용 $C_B=50$이라 하고 $\eta=5.0$, 추정된 모수들의 값은 $\alpha_0=1.5$, $\alpha_1=0.05$, $\beta_0=0.5$, $\beta_1=0.1$, $\lambda=2$라고 할때 교체시점인 u*의 값을 수치적인 방법으로 구하면 u*=1.225이다. 그림2는 u의 증가에 따른 총 비용에 관한 값을 나타내는데 u가 20이상의 큰 값으로부터는 총비용이 일정한 값에 수렴한다.



<그림 1> u에 관한 총비용함수

5. 결　　론

아이템의 고장이 사용시간보다는 마모량이나 피로도 또는 부식 등에 직접적인 영향을 받게되는 경우에 이들의 마모량이나 피로도 등의 상태는 아이템의 교체여부를 결정하는데 중요한 기초가 된다. 본 연구에서는 아이템의 마모가 고장에 직접적인 영향을 미치지만 그 측정이 직접적 연속적으로 가능하지 않거나 또는 측정비용이 상당히 클 경우의 대용특성을 이용한 아이템교체정책을 제시하였다. 대용 특성치를 각 기간 말에서 주기적으로 관측할 때, 교체정책은 관측기간중 아이템의 고장이 발생됐을 경우 또는 고장이 발생되지 않았더라도 관측시점에서 대용 측성치의 수준이 교체 수준을 초과했을 경우에 아이템 교체를 시행하는 것이다. 그러나 교체주기를 결정하는 문제에 있어서 아이템의 고장 발생 시점은 한 기간과 다음기간 사이의 중간점으로 근사화될 수 있다는 기존의 연구 결과를 이용하여 단위 시간당 총 평균 비용을 최소화하는 대용 특성치의 수준을 구하였다.

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 Bregger, K. D.(1986), "On-line Tool Wear Sensing for Turning Operation," *ASME J. Engng. Ind.*, vol. 108, pp. 44~47.
4. Geurts. J. H. J.(1983), "Optimal Age Replacement Versus Condition Based Replacement : Some Theorectical and Practical Considerations," *J. Quality Technology*, vol. 15, pp. 171~179.
5. Harrold, R. T. and Emery, F. T.(1986), "Radio Frequency Diagonostic Monitoring of Electrical Machines," *IEEE Elec. Ins. Mag.*, vol 2, pp. 18~24.
6. Nakagawa(1976), "On a Replacement Problem of a Cumulative Damage Model, *Journal of the Oper. Res. Soc.*, vol. 27, pp. 895~900.
7. Schneeweiss, W. G.(1976), "On the Mean Duration of Hidden Faults in Periodically Checked System," IEEE Tran. on Rel., vol. R-25, No.5, pp. 346~348.
8. Sherwin, D. J(1979), "Inspection Intervals for Condition-Maintained Items Which Fail in an Obvious Manner", *IEEE Trans. Rel.*, vol. R-28, No.1, pp. 85~89.
9. Sivazilian, B. D.(1989), "Optimum Scheduling of a New Maintenance Program Under Stochastic Degradation," *Microelectron. Rel.*, vol. 29, No.1, pp. 57~71.
10. Tapiero, C. S.(1980), "Continue Quality Production and Machine Maintnance," NRLQ, vol.33, pp. 489~499.
11. Taylor, H. M.(1975), "Optimal Replacement Under Additive Damage and Other Failure Models," NRLQ, vol.22, pp. 1~18.