〈研究論文〉

引導期間을 갖는 세가지 形態의 檢査·注文政策

(Three Types of Inspection-Ordering Policies with Lead Times)

金 浩 均*

李 昶 勳*

요 약

본 연구에서는 세가지 형태의 검사주문정책이 제시되었다. 부품 주문시 원래부품의 상태가 가동상태, 퇴화상태, 고장상태인가에 따라 보통주문, 특별주문, 긴급주문으로 분류되고, 각 주문형태는 각기 다른 인도기간으로 특정지워진다. 정책 I 은 대체부품이 도착되면 원래부품이 가동중이라도 대체시키는 경우이고 정책 II 는 도착된 대체부품을 원래부품의 고장발생때까지 재고시켜 두는 것이다. 정책 III 은 대체부품이 도착되면 가동중인 원래부품에 검사를 한번 더 시행하여, 이것이 가동상태에 있으면 퇴화가 발생되는 평균시간까지 더 사용하고 난뒤 대체시키고, 퇴화상태에 있으면 대체부품과 즉시 대체시키는 것이다. 이와 같은 세가지 정책하에서 비용유효성 함수가 제시되고, 퇴화밀도함수와 고장밀도함수가 각각 Weibull 과 지수분포를 따르는 경우 적정검사주문 시간을 구 하고, 고장비용에 대한 부품가격과 고장비용에 대한 검사 비용의 변화에 따른 정책 변화가 분석되었다.

ABSTRACT

Three inspection-ordering policies of a part with three types of lead times, i. e., expedited lead time, special lead time and regular lead time are considered. Policy I : The original part is replaced by a spare immediately after delivery, even if the original part is still operating. Policy II : The delivered spare is put into inventory until the original part failes. Policy III : The original part is inspected once again immediately after the delivery of the spare. If it is in a good state, the original part is used up to its mean degration time, then replaced. If it is in a degradation state, the original part is replaced by a spare.

A cost effectiveness for each policy is analyzed. Optimal inspection-ordering policy which maximizes a cost effectiveness is obtained. Time to degradation distribution and time to failure distribution are assumed to be Weibull and exponential, respectively. Variations of policies are observed with respect to variations of associated costs.

* 서울大學校 産業工學科

I. 서 론

대체시기의 결정은 시스템의 운용비용의 절감과 요구되는 수준의 가용성 유지에 직결되는 문제로 적절한 대체정책의 선정은 매우 중요한 문제로 부각된다. 지금까지의 대체모형에서는 대체가 결정되면 재고시켜 두었던 대체부품이 즉시 공급되어 부품의 대체가 즉각적으로 이루어진다는 가정이 많았다〔2, 3, 6〕. 그러나 대체부품의 재고가 없어 대체가 결정되고 나서도 대체가 이루어질 때까지 지연(delay)이 발생될 수 있다〔1, 4, 5, 7〕. 그러면 이는 주문정책(ordering policy) 문제로 된다. 또 부품의 상태가 항상 탐지 가능하지 못한 경우 검사정책(inspection policy)이 필요하며 이렇게 되면 검사주문정책(inspection-ordering policy) 문제로 귀착된다.

Kaio와 Osaki〔5〕, Thomas와 Osaki〔7〕는 대체부품이 운반도착되는 인도기간(lead time)을 고려하여 대체부품의 주문정책으로 다음 두가지를 고려하였다.

정책 I : 대체부품이 인도기간 뒤에 운반도착되면 원래부품이 가동중이라도 예방대체를 한다.

정책 II : 운반도착된 대체부품을 원래부품의 고장발생때까지 재고시켜 둔다.

여기서는 부품의 상태가 항상 탐지가능한 것으로 간주되었다.

그러나 부품의 상태가 항상 탐지 가능하지 못한 경우에는 주문정책 이외에 검사정책이 필요하게 되며, 이를 〔5〕에서는 검사주문정책이라고 정의하였다. 여기서 검사주문정책은 부품을 검사하여 부품의 고장이 탐지되면 대체부품에 대한 주문을 긴급으로 한다. 이를 긴급주문(expedited order)이라 하며, 이 경우 대체부품은 긴급인도기간(expedited lead time) 뒤에 운반도착되어 대체된다. 반면에 검사결과 부품이 가동되고 있으면 보통으로 주문한다. 이를 보통주문(regular order)이라 하며, 이 경우 대체부품은 보통인도기간(regular lead time) 뒤에 운반도착되어 원래부품의 상태에 관계없이 무조건 대체된다. 물론, 인도기간이 무시되면 잘 알려진 Barlow와 Proschan의 검사정책〔2〕이 된다.

이와같은 선행연구〔4, 5, 7〕에서는 부품의 상태가 가동상태와 고장상태로 양분되고, 주문시 원래부품의 상태에 따라 주문형태가 보통주문과 긴급주문으로 양분되었다.

본 논문에서는 부품의 상태를 가동상태, 퇴화상태, 고장상태로 확장하고 주문시 원래부품의 상태에 따라 주문형태를 보통주문, 특별주문, 긴급주문으로 3등분 하였으며 각 주문형태는 보통인도기간, 특별인도기간, 긴급인도기간으로 각각 특정지워진다. 아울러 가동상태와 퇴화상태가 검사에 의해서만 탐지 가능할 때 기존의 검사주문정책 I과 II〔4, 7〕 이외에 다음과 같은 정책 III을 추가 고려하고자 한다. 즉,

정책 III : 대체부품이 운반도착되면 가동중인 원래부품을 한번 더 검사한다. 원래부품의 상태가 가동상태에 있으면 퇴화가 발생되는 평균시간까지 더 사용하고 난 뒤에 대체시키고, 퇴화상태에 있으면 운반도착된 대체부품과 즉시 대체시킨다.

아울러 세가지 정책하에서 가용성과 단위시간당 기대비용의 비(rate)로 정의되는 비용유효성(cost effectiveness)함수를 제시하고, 퇴화밀도함수와 고장밀도함수가 각각 Weibull 과 지수분포를 따르는 경우 적정검사 주문시간을 구하고, 고장비용에 대한 부품가격과 고장비용에 대한 검사비용의 변화에 따른 정책변화를 분석해 보고자 한다.

II. 세가지 형태의 검사주문 정책

II-1. 기호설명, 가정과 검사주문형태

기호설명

$F(t)$, $f(t)$: 부품의 퇴화 분포 함수, 퇴화확률 밀도 함수.

$G(s)$, $g(s)$: 부품의 고장 분포 함수, 고장확률 밀도 함수.

L_e, L_s, L_r : 긴급주문, 특별주문, 보통주문시 대체 부품이 운반 도착되는데 소요되는 인도기간. ($L_e < L_s < L_r$)

C_e, C_s, C_r : 긴급주문 비용, 특별주문 비용, 보통주문 비용.

C_d, C_f : 부품이 퇴화상태, 고장상태에 있을 때 발생되는 단위 시간당 비용. ($0 < C_d < C_f$)

C_p, C_h : 부품가격, 부품의 단위 시간당 재고비용.

C_I : 검사 비용

T_o : 대체사이의 시간간격

t_o , t_o^* : 검사주문시간, 최적검사주문시간

가 정

1. 부품의 상태중에서 고장상태만이 고장발생 즉시 발견되며 가동상태와 퇴화상태는 검사에 의해서만 탐지된다.

2. $F(t)$와 $G(s)$는 연속함수이고 미분 가능하며 유한한 평균치 U_t, U_s를 갖는다.

3. 부품의 대체시간과 검사시간은 무시될 수 있다.

4. 미사용 부품은 고장 또는 퇴화가 발생하지 않는다.

5. 확률변수 T, S는 서로 독립적이다.

6. 단위 시간당 재고비용 C_h 는 부품가격 C_P의 일정율로 주어진다.

검사주문형태

검사주문시간 t_o 까지 고장이 발생되지 않고 가동되고 있을때 t_o에서 검사결과 부품이 가동상태에 있으면 고장발생 때까지 여유가 있으므로, t_o에서 주문이 보통으로 이루어진다(보통주문). 대체부품이 보통인도기간 L_r 뒤에 운반도착되면, 원래 부품이 가동상태에 그대로 있을 수 있고 (경우1), 퇴화상태에 있을 수도 있다 (경우2). 물론 대체부품이 운반도착되기 전에 고장이 발생할 경우도 있다(경우3). 또 t_o에서 검사결과 부품이 퇴화상태에 있을 경우는 보통주문보다 인도기간이 짧은 특별주문을 한다. 대체부품이 특별인도기간 L_s 뒤에 운반도착되면, 원래 부품이 그대로 퇴화상태에 있을 수 있고(경우4) 고장이 난 상태에 있을수도 있다(경우5). 한편 검사시간 t_o 전에 고장이 발생했다면 고장발생 즉시 대체부품을 긴급주문하게 되고, 긴급인도기간 L_e 뒤에도 그대로 고장상태에 머물러 있게 된다(경우6).

그림 1에는 시간변화에 대해 발생가능한 6가지 경우에 관한 설명이 흐름도 형식으로 나와있다.

Ⅰ-2. 정책 Ⅰ

정책 Ⅰ은 대체부품이 운반도착되었을 때 원래부품이 가동상태에 있는 경우(경우1)와 퇴화상태에 있는 경우(경우2와 경우4)에도 도착 즉시 대체시키는 정책이다. 물론 원래부품이 고장상태에 있는 경우(경우3, 5, 6)에는 대체부품을 도착 즉시 대체시키게 된다.

따라서 정책 Ⅰ하에서 한주기의 기대시간 $E_I(T_o)$는 다음과 같다.

$$E_I(T_o) = (t_o + L_r)\,\bar{F}(t_o) + (t_o + L_s)\int_0^{t_o} \bar{G}(t_o - t)\cdot f(t)\,dt + \int_0^{t_o}\int_0^{t_o - t} (t + s + L_e)\,g(s)\,ds\cdot f(t)\,dt \quad \cdots\cdots (1)$$

여기서 $\bar{F}(\cdot)$와 $\bar{G}(\cdot)$는 각각 $1-F(\cdot)$와 $1-G(\cdot)$을 의미한다.

$E_I(T)$ 동안의 기대가동시간 $E_I(o)$는 다음과 같다.

$$E_i(O) = (t_o + L_r)\,\bar{F}(t_o + L_r) + (t_o + L_r)\int_{t_o}^{t_o + L_r} \bar{G}(t_o + L_r - t)\cdot f(t)\,dt + \int_0^{t_o + L_r}\int_0^{t_o + L_r - t} (t+s)\,g(s)\,ds f(t)\,dt + (t_o + L_s)\int_0^{t_o} \bar{G}(t_o + L_s - t)\,f(t)\,dt + \int_0^{t_o}\int_{t_o - t}^{t_o + L_s - t} (t+s)\,g(s)\,ds\cdot f(t)\,dt + \int_0^{t_o}\int_0^{t_o - t} (t+s)\,g(s)\,ds\, f(t)\,dt \quad \cdots\cdots (2)$$

따라서 정상상태에서의 가용성 $A_I(t_o)$는 다음과 같다.

$$A_I(t_o) = E_I(o) \,/\, E_I(T_o) \quad \cdots\cdots (3)$$

정책 Ⅰ하에서 한 주기당 총기대비용은 다음과 같은 4가지 기대 비용으로 구성된다.

(i) 기대고장비용 : $E_I(C_F)$

$$E_I(C_F) = C_f\Big[\int_{t_o}^{t_o + L_r - t} (t_o + L_r - t - s)\,g(s)\,ds f(t)\,dt + \int_0^{t_o}\int_{t_o - t}^{t_o + L_s - t} (t_o + L_s - t - s)\,g(s)\,ds f(t)\,dt + L_e\int_0^{t_o} G(t_o - t)\,f(t)\,dt\Big] \cdots (4)$$

(ii) 기대검사주문비용 : $E_I(C_{IP})$

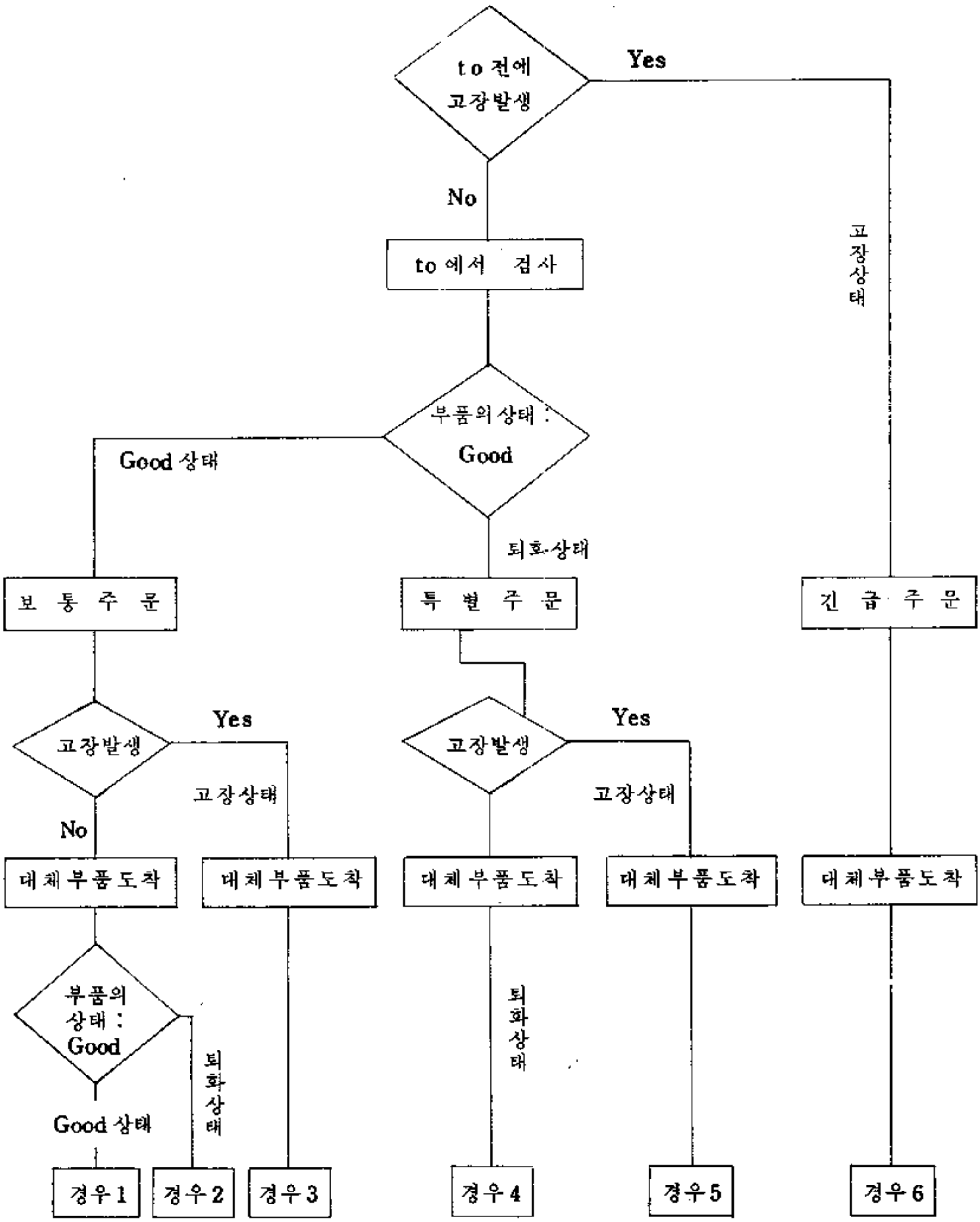
$$E(C_{IP}) = (C_I + C_r)\,\bar{F}(t_o) + (C_I + C_s)\int_0^{t_o} \bar{G}(t_o - t)\cdot f(t)\,dt + C_e\int_0^{t_o} G(t_o - t)\,f(t)\,dt \quad \cdots\cdots (5)$$

(iii) 기대퇴화비용 : $E_I(C_D)$

$$E_I(C_D) = C_d\Big[\int_{t_o}^{t_o + L_r}\int_{t_o + L_r - t}^{\infty} (t_o + L_r - t)\,g(s)\,ds f(t)\,dt + \int_{t_o}^{t_o + L_r}\int_0^{t_o + L_r - t} s\,g(s)\,ds f(t)\,dt + \int_0^{t_o}\int_{t_o + L_s - t}^{\infty} (t_o + L_s - t)\,g(s)\,ds f(t)\,dt + \int_0^{t_o}\int_0^{t_o + L_s - t} s\,g(s)\,ds\cdot f(t)\,dt\Big] \cdots\cdots (6)$$

(iv) 부품가격 : C_P

따라서 정책 Ⅰ하에서 한 주기당 총기대비용 $E_I(TC)$는 다음과 같다.



(그림 1) 발생가능한 6가지 경우

$$E_{\mathrm{I}}(TC) = E_{\mathrm{I}}(C_F) + E_{\mathrm{I}}(C_{IP}) + E_{\mathrm{I}}(C_D) + C_P \cdots\cdots (7)$$

Ⅱ-3. 정책 Ⅱ

대체부품이 운반도착되었을 때 원래부품이 가동되고 있는 경우에 무조건 대체시키는 정책 Ⅰ은 더 사용할 수 있는 부품을 폐기시키는 결과가 된다. 이와같은 경우 대체부품을 재고시켜 두었다가 고장이 발생되는 즉시 대체시켜 주는 정책 Ⅱ를 생각할 수 있다. 정책 Ⅱ는 정책 Ⅰ과 비교할때 다른 경우는 대체부품의 도착시 원래 부품이 여전히 가동되고 있는 경우 1, 경우 2 및 경우 4로서 이 경우에는 원래부품이 고장날 때까지 대체부품을 재고시켜 두었다가 원래부품의 고장발생 즉시 대체시키게 된다.

정책 Ⅱ에서 한 주기의 기대시간 $E_{\mathrm{II}}(T_o)$는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} E_{\mathrm{II}}(T_o) = {} & \int_{t_o+Lr}^{\infty} (t+\mu s) f(t)\,dt + \int_{t_o}^{t_o+Lr} \int_{t_o+Lr-t}^{\infty} (t+s)\cdot g(s)\,ds f(t)\,dt + (to+Lr)\int_{t_o}^{t_o+Lr} G(to+Lr-t)\cdot f(t)\,dt \\ & + \int_0^{t_o}\int_{t_o+Ls-t}^{\infty} (t+s)g(s)\,ds f(t)\,dt + (to+Ls)\int_0^{t_o}\int_{t_o-t}^{t_o+Ls-t} g(s)\,ds\cdot f(t)\,dt \\ & + \int_0^{t_o}\int_0^{t_o-t} (t+s+Le)g(s)\,ds f(t)\,dt \quad (8) \end{aligned}$$

$E_{\mathrm{II}}(T_o)$ 동안의 기대가동시간 $E_{\mathrm{II}}(o)$는 다음과 같다.

$$E_{\mathrm{II}}(o) = \mu_S + \mu_t \cdots\cdots (9)$$

따라서 정상상태에서의 가용성 $A_{\mathrm{II}}(t_o)$는 다음과 같다.

$$A_{\mathrm{II}}(t_o) = E_{\mathrm{II}}(o) / E_{\mathrm{II}}(T_o) \cdots\cdots (10)$$

정책 Ⅱ하에서 한 주기당 총기대비용은 다음과 같은 5가지 기대비용으로 구성된다.

(i) 기대고장비용 : $E_{\mathrm{I}}(C_F)$
(ii) 기대검사주문비용 : $E_{\mathrm{I}}(C_{IP})$
(iii) 기대퇴화비용 : $E_{\mathrm{II}}(C_D)$

$$E_{\mathrm{II}}(C_D) = \mu_S \cdot C_d \cdots\cdots (11)$$

(iv) 부품가격 : C_P
(v) 기대재고비용 : $E_{\mathrm{II}}(C_H)$

$$\begin{aligned} E_{\mathrm{II}}(C_H) = C_h \Big[& \int_{t_o+Lr}^{\infty}\int_0^{\infty} (t+s-to-Lr) g(s)\,ds f(t)\,dt + \int_{t_o}^{t_o+Lr}\int_{t_o+Lr-t}^{\infty} (t+s-to-Lr) g(s)\,ds f(t)\,dt \\ & + \int_0^{t_o}\int_{t_o+Ls-t}^{\infty} (t+s-to-Ls) g(s)\,ds f(t)\,dt \Big] \cdots\cdots (12) \end{aligned}$$

따라서 정책 Ⅱ하에서 한 주기당 총기대비용 $E_{\mathrm{II}}(TC)$는 다음과 같다.

$$E_{\mathrm{II}}(TC) = E_{\mathrm{I}}(C_F) + E_{\mathrm{I}}(C_{IP}) + E_{\mathrm{II}}(C_D) + C_P + E_{\mathrm{II}}(C_H) \cdots\cdots (13)$$

Ⅱ-4. 정책 Ⅲ

대체부품이 운반도착되었을 때 원래부품이 가동되고 있다고 해서 원래부품의 고장발생때까지 재고시켜두면 퇴화비용과 재고비용을 초래하게 된다. 그러므로 가동중인 원래부품에 대하여 한번 더 검사를 실시하여 원래부품의 상태가 가동상태에 있고 운반도착 시간이 퇴화가 발생되는 평균시간 μ_t보다 작을 경우에는 μ_t까지 더 사용하고 난 뒤 대체시키고, 퇴화상태에 있으면 즉시 대체시킨다.

더 사용하는 시간U가 0이면 정책 Ⅰ이 되고 ∞이면 정책 Ⅱ가 된다.

대체부품이 도착하기 전에 이미 고장이 발생한 경우(경우 3, 5, 6)는 정책 Ⅰ, Ⅱ에서 취하는 행동과 같다. 검사주문 시간에 퇴화상태에 있고 대체부품이 도착되었을 때도 가동되는 경우 4에도 부품의 상태가 호전되지는 못하므로 정책 Ⅰ에서의 행동과 같다.

정책 Ⅲ하에서 경우 1은 다음과 같은 세가지 경우로 다시 세분화된다. 즉 경우 1-1은 μ_t까지 가동상태가 지속되는 경우이고 경우 1-2는 μ_t 전에 퇴화가 발생되어 μ_t에는 퇴화상태에 있는 경우이며 경우 1-3은 μ_t 전에 고장이 발생되어 고장 즉시 대체되는 경우이다. 경우 2는 검사주문시에는 가동상태이나 인도기간중에 퇴화가 발생되어 도착시에는 퇴화상태가 되어 대체되는 경우이다.

정책 Ⅲ하에서 한 주기의 기대시간 $E_{\mathrm{III}}(T_o)$는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} E_{\mathrm{III}}(T_o) = {} & \int_{\mu t}^{\infty} \mu t\, f(t)\,dt + \int_{t_o+Lr}^{\mu t}\int_{\mu t-t}^{\infty} \mu t\, g(s)\,ds f(t)\,dt + \int_{t_o+Lr}^{\mu t}\int_0^{\mu t-t} (t+s)g(s)\,ds f(t)\,dt \\ & + (to+Lr)\cdot\int_{t_o}^{t_o+Lr} f(t)\,dt + (to+Ls)\int_0^{t_o}\int_{t_o-t}^{\infty} g(s)\,ds f(t)\,dt \\ & + \int_0^{t_o}\int_0^{t_o-t} (t+s+Le)g(s)\,ds f(t)\,dt \cdots\cdots (14) \end{aligned}$$

$E_{\mathrm{III}}(T_o)$ 동안의 기대가동시간 $E_{\mathrm{III}}(o)$는 다음과

같다.

$$E_{III}(o)=\int_{\mu_t}^{\infty}\mu_t f(t)\,dt+\int_{t_o+L_r}^{\mu_t}\int_{\mu_t-t}^{\infty}\mu_t g(s)\,ds f(t)\,dt+\int_{t_o+L_r}^{\mu_t}\int_{0}^{\mu_t-t}(t+s)\,g(s)\,ds f(t)\,dt+\int_{t_o}^{t_o+L_r}\int_{t_o+L_r-t}^{\infty}(t_o+L_r)\,g(s)\,ds f(t)\,dt+\int_{t_o}^{t_o+L_r}\int_{0}^{t_o+L_r-t}(t+s)\cdot g(s)\,ds f(t)\,dt+\int_{0}^{t_o}\int_{t_o+L_s-t}^{\infty}(t_o+L_s)\,g(s)\,ds f(t)\,dt+\int_{0}^{t_o}\int_{t_o-t}^{t_o+L_s-t}(t+s)\,g(s)\,ds f(t)\,dt+\int_{0}^{t_o}\int_{0}^{t_o-t}(t+s)\cdot g(s)\,ds f(t)\,dt \quad \cdots\cdots (15)$$

따라서 정상상태에서의 가용성 $A_{III}(t_o)$는 다음과 같다.

$$A_{III}(t_o)=E_{III}(o)/E_{III}(T_o) \quad \cdots\cdots (16)$$

정책 III하에서 한 주기당 총기대비용은 다음과 같은 5 가지 기대비용으로 구성된다.

i) 기대고장비용 : $E_I(C_P)$

ii) 기대검사주문비용 : $E_{III}(C_{IP})$

$$E_{III}(C_{IP})=E(C_{IP})+C_I\left[\bar{F}(t_o+L_r)+\int_{t_o}^{t_o+L_r}\bar{G}(t_o+L_r-t)\cdot f(t)\,dt\right] \quad \cdots\cdots (17)$$

iii) 기대퇴화비용 : $E_{III}(C_D)$

$$E_{III}(C_D)=C_D\left[\int_{t_o+L_r}^{\mu_t}\int_{\mu_t-t}^{\infty}(\mu_t-t)\,g(s)\,ds f(t)\,dt+\int_{t_o+L_r}^{\mu_t}\int_{0}^{\mu_t-t}s\cdot g(s)\,ds f(t)\,dt+\int_{t_o+L_r}^{\mu_t}\int_{0}^{\mu_t-t}s\cdot g(s)\,ds f(t)\,dt+\int_{t_o}^{t_o+L_r}\int_{t_o+L_r-t}^{\infty}(t_o+L_r-t)\,g(s)\,ds f(t)\,dt+\int_{t_o}^{t_o+L_r}\int_{0}^{t_o+L_r-t}s\cdot g(s)\,ds f(t)\,dt+\int_{0}^{t_o}\int_{t_o+L_s-t}^{\infty}(t_o+L_s-t)\,g(s)\,ds f(t)\,dt+\int_{0}^{t_o}\int_{0}^{t_o+L_s-t}s\cdot g(s)\,ds f(t)\,dt\right] \quad \cdots\cdots (18)$$

iv) 부품가격 : C_P

v) 기대재고비용 : $E_{III}(C_H)$

$$E_{III}(C_H)=C_h\left[\bar{F}(\mu_t)\cdot\{\mu_t-(t_o+L_r)\}+\int_{t_o+L_r}^{\mu_t}\int_{\mu_t-t}^{\infty}\{\mu_t-(t_o+L_r)\}\,g(s)\,ds f(t)\,dt+\int_{t_o+L_r}^{\mu_t}\int_{0}^{\mu_t-t}\{(t+s)-(t_o+L_r)\}\,g(s)\,ds f(t)\,dt\right] \quad \cdots\cdots (19)$$

따라서 정책 III하에서 한 주기당 총기대비용 $E_{III}(TC)$는 다음과 같다.

$$E_{III}(TC)=E_I(C_P)+E_{III}(C_{IP})+E_{III}(C_D)+C_P+E_{III}(C_H) \quad \cdots\cdots (20)$$

따라서 각 정책하에서 정상상태에서의 단위시간당 기대비용 $K_j(t_o)$는 다음과 같다.

$$K_j(t_o)=E_j(TC)/E_j(T_o), \quad j=\mathrm{I},\ \mathrm{II},\ \mathrm{III} \quad \cdots\cdots (21)$$

그러므로 각 정책하에서 비용유효성 $CE_j(t_o)$는 다음과 같다.

$$CE_j(t_o)=A_j(t_o)/K_j(t_o), \quad j=\mathrm{I},\ \mathrm{II},\ \mathrm{III} \quad \cdots\cdots (22)$$

III. 예 시

퇴화분포함수 $F(t)$와 고장분포함수 $G(s)$가 각각 다음과 같은 Weibull 분포와 지수분포를 따른다 하자.

$$F(t)=1-\exp(-mt^n) \quad \cdots\cdots (23)$$

$$G(s)=1-\exp(-\lambda s) \quad \cdots\cdots (24)$$

매개변수, 인도기간, 주문비용, 단위시간당 고장비용과 퇴화비용이 다음과 같이 주어진다.

$m=10^{-4}$, $n=1.5$, $\lambda=1/300$
$L_e=5$, $L_s=10$, $L_r=15$
$C_e=50$, $C_s=25$, $C_r=10$
$C_f=1$, $C_d=0.4\,C_f$

holding cost fraction은 연간 20%라 하자. 검사비용 C_I와 부품가격 C_P의 값이 주어진 경우, 각 정책하에서 적정검사주문시간과 비용유효성을 구하는 데는 Fibonacci 기법을 사용했다. 아울러 정책간의 최대비용유효성 값을 비교하여 최적검사주문정책을 결정하였으며, 이를 위한 컴퓨터 프로그램에 관한 설명은 [8]을 참조할 수 있다.

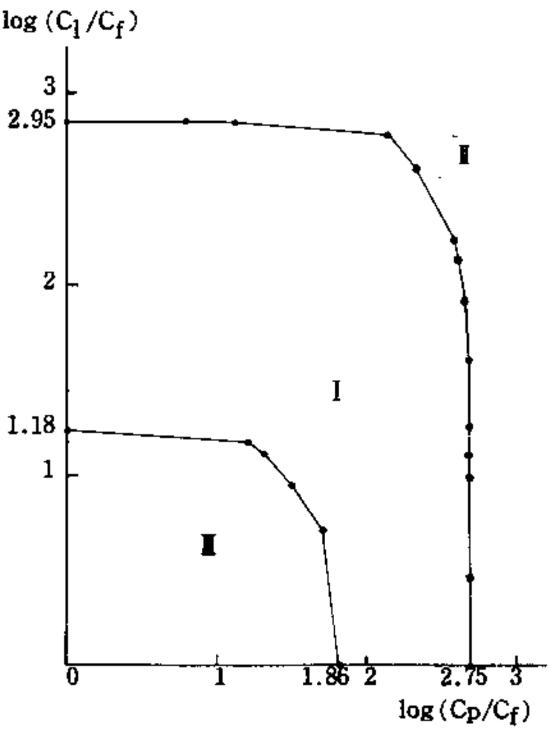
세가지 정책하에서 검사비용 C_I가 5일때 부품가격 C_P를 변화시켜 가면서 비용유효성을 구하여 정책변화를 알아 본 결과가 표 1에 요약되어 있다.

여기서는 우선 C_P를 100 간격으로 변화시켜 보고 정책변화가 일어나는 기점을 전후해서 C_P를 다시 10 간격으로 변화시켜 보았다.

표 1에서 보면, 검사비용 C_I가 5일때 부품가격 C_P가 50 이하일 경우는 정책 III이, C_P가 60이상 560 이하일 경우는 정책 I이, C_P가 570 이상일 때는 정책 II가 각각 적정정책임을

(표 1) C_P 변화에 따른 비용유효성($C_I = 5$)

부품가격 C_P	정 책 I	정 책 II	정 책 III
10	5.9325	2.8739	* 6.7052
20	4.9659	2.7544	* 5.5545
30	4.3561	2.6444	* 4.7422
40	3.9277	2.5429	* 4.1384
50	3.6058	2.4491	* 3.6724
60	* 3.3526	2.3617	3.3020
70	* 3.1465	2.2805	3.0012
80	* 2.9743	2.2046	2.9267
90	* 2.8264	2.1336	2.7822
100	* 2.6930	2.0670	2.6513
200	* 1.8294	1.5755	1.8031
400	* 1.1146	1.0676	1.0995
500	* 0.9324	0.9195	0.9207
550	* 0.8619	0.8598	0.8506
560	* 0.8491	0.8488	0.8379
570	0.8367	* 0.8380	0.8257
580	0.8246	* 0.8276	0.8137
590	0.8128	* 0.8174	0.8022
600	0.8014	* 0.8074	0.7909



(그림 2) C_I/C_f, C_p/C_f 변화에 따른 최적정책

알 수 있다. 정책 III은 대체부품이 운반도착될 때 한번 더 검사하여 가동상태에 있는 원래부품을 퇴화가 발생되는 평균시간까지 더 사용하므로 무조건 대체시키는 정책 I에 비해 재고비용이 발생되고 퇴화비용, 검사비용이 증가되므로 총기대비용이 증가된다. 그러나 부품가격 C_P가 50 이하일 경우에는 가동시간 증가율이 비용증가율보다 크므로 정책 III이 좋다는 것을 의미한다. 또 부품가격이 비싸질수록 고장날 때까지 대체부품을 재고시켜 두는 정책 II가 좋음을 알 수 있다. 이것은 재고비용과 퇴화비용에 비해 부품가격이 총기대비용에 차지하는 비중이 커지므로 정책 II가 좋다는 것을 의미한다.

다음에는 단위시간당 고장비용 C_f에 대한 부품가격 C_P와 C_f에 대한 검사비용 C_I의 변화에 대한 세 정책의 변화를 찾아본다. C_P/C_f 의 대수(log) 값을 x축으로 하고 C_I/C_f의 대수값을 y축으로 하여 적정정책을 선택하면 그림 2와 같은 블럭을 형성하게 된다. 그림 2에서 C_P/C_f, C_I/C_f 값이 증가될수록 적정정책이 정책 III→정책 I→정책 II임을 알 수 있다. 그리고 정책 I, 정책 II의 비교에서는 C_I/C_f 값이 결정적인 요인이 아님을 알 수 있다. 이것은 정책 I

과 Ⅱ에서는 검사비용은 같으므로 총기대비용에 별로 영향을 주지 않는다는 것을 의미한다.

Ⅳ. 결 론

검사주문정책에 따라 비용과 가용성이 변화되므로 적절한 검사주문정책의 선정은 중요한 문제로 등장된다. 선행연구에서는 부품의 상태를 가동상태와 고장상태로 양분하고 정책 Ⅰ과 정책 Ⅱ를 다룬바 있다. 본 연구에서는 부품의 상태를 가동상태, 퇴화상태, 고장상태로 확장하고, 새로운 정책 Ⅲ을 고려하여 비용변화에 대해 세 정책을 비교분석해 보았다. 적정정책선정기준으로는 가용성을 단위시간당 기대비용으로 나눈비용유효성을 사용하였고, 각 정책하에서 비용유효성함수를 제시하였다.

퇴화분포함수와 고장분포함수가 각각 Weibull 분포와 지수분포를 따르는 경우 적정검사주문정책을 구해 보았다. 아울러 부품가격, 검사비용, 고장비용의 변화에 따른 정책변화를 관찰해 본 결과, 한가지 정책하에서 대체를 시키는 것보다 비용변화에 따라 세가지 정책중 적정정책을 선정하는 것이 효율적임을 알 수 있다. 따라서 부품의 특성에 따라 유사한 정책비교가 가능하며, 이와 같은 분석은 부품의 효율적인 검사주문정책을 선정하는데 현실적인 지침이 될 수 있으리라 생각된다.

REFERENCES

1. Allen, S. G. and D. A. D'esopo, "An Ordering Policy for Stock Items when Delivery Can be Expedited," Opns. Res., Vol. 16, No. 4, pp880–883, 1968.
2. Barlow, R. E. and F. Proschan, Mathematical Theory of Reliability, Wiley, New York, 1965.
3. Jardine, A. K. S, Maintenance, Replacement, and Reliability, Pitman, London, 1973.
4. Kaio, N. and S. Osaki, "Optimum Ordering Policies with Lead Time for an Operating Unit in Preventive Maintenance," IEEE. Trans. Rel., Vol. R–27, No. 4, pp 270–271, Oct. 1978.
5. Kaio, N. and S. Osaki, "Optimum Inspection–Ordering Policies with Two Types of Lead Times," Proc. of the Pacific Conf. on Opns. Res., Seoul. pp 1084–1094. Apr. 1979.
6. Lie, C. H., C. L. Hwang and Tillman F. A., "Availability of Maintained Systems : A state–of–the–Art Survey," AIIE Trans. pp247–259. Sep. 1977.
7. Thomas. L. C. and S. Osaki, "A Note on Ordering Policy," IEEE Trans. Rel. Vol. R–27, No. 5, pp 380–381, Dec. 1978.
8. 김호균, "세가지 형태의 인도기간을 갖는 검사・주문 정책에 관한 연구," 석사학위논문, 서울대학교, 1981.