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

1990년 11월 韓國品質管理學會誌 제18권 제2호

豫備品 在庫管理를 위한 定量發注模型
A FOQ Model for Spare-Part Inventory Control

鄭 相 逸*
辛 周 恒**
朴 永 宅*

ABSTRACT

This paper deals with a FOQ(; fixed-order quantity) model for spare-part inventory control. In a spare-part inventory problem, stock depletion arises not from external market demand but from internal demand resulting from failures of parts in use. The problem differs from the classical inventory problem in that the demand for a failed part never arises more during stockout period, since the unit remains inoperative when stockout occurs until the failed part is replaced by new one.

In the problem under consideration, n identical units are operating simultaneously and failed one is replaced immediately by new one if on-hand spares remain. In order to replenish spares, an order with quantity Q is placed whenever the number of on-hand spares falls to level s. The average annual cost of operating the spare-part inventory system is derived under the assumption that both lifetime of a part and replenishment lead-time distributions are exponential.

1. 서 론

과학기술의 급속한 발전에 의하여 우리가 사용하는 장비나 기계들이 점차 복잡해짐에 따라, 이러한 장비들의 원활한 작동을 위해서는 설계 및 제작기술 못지않게 사용단계에서의 정비 및

* 成均館大學校 產業工學科
**國防科學研究所

보수문제도 중요한 관심사로 대두되게 되었다. 정비 및 보수를 위해서는 필수적으로 예비품(spare-part)이 필요하게 되는데, 이에 수반되는 재고문제를 일반적으로 예비품 재고(spare-part inventory)문제라 부른다. 이러한 예비품 재고문제는 제2차 세계대전 중 복잡해진 군용장비의 운용효율성을 재고할 필요성 때문에 연구되기 시작했으며, 특히 오늘날 산업계에 있어서 자동화의 진전에 따라 설비의존도가 높아짐에 따라 설비운용과 관련된 예비품 재고 문제의 중요성도 갈수록 커지고 있다.

일반적인 재고문제에서의 제품에 대한 수요는 외부시장수요(external market demand)이므로, 수요는 재고수준과는 상관없이 일정한 형태(; state-independent)를 취하게 된다. 따라서 품절이 발생하더라도 재고보충이 이루어 지기까지 계속적인 수요가 발생하며 재고보충 후 품절된 수요를 채워주면 부재고(backorder), 그렇지 않으면 유실판매(lost sales)의 경우가 된다. 그러나 예비품 재고문제에서 예비품에 대한 수요는 사용중인 기계의 고장으로부터 발생하는 내부수요(internal demand)가 되며, 품절시 기계가 작동불능상태로 방치되기 때문에 예비품의 재고보충 후 고장난 부품이 교체되어 재가동되기 전까지는 고장난 기계에 대한 추가적인 예비품 수요는 없다. 따라서 작동기계댓수가 유한할 경우(; finite calling population), 예비품에 대한 수요는 품절 유무에 따라 변하게 된다. 이와 같이 예비품 재고문제에는 수요의 형태가 재고수준에 의존(; state-dependent)하게 된다.

본 연구에서는 상호 독립적으로 작동하는 여러대의 동일한 장비들이 동시에 가동되고 있을 경우에 발생하는 예비품 재고문제를 고려하였다. 본 연구에서 고려된 재고관리는 연속조사(continuous review) (s, S)방식인데, 이 방식하에서는 재고수준을 계속 검토하다가 재고수준이 재주문점(order level) s로 떨어지는 순간 일정량 Q 만큼을 보충해 주게 된다. 본 연구에서는 이러한 정량발주방식의 예비품 재고관리 문제를 각 부품의 수명과 주문조달기간(replenishment lead-time)의 분포가 모두 지수분포를 따른다는 가정하에서, 이와 관련된 단위시간당 총비용을 도출하여 최적재고 정책을 찾는데 도움을 주고자 하였다.

2. 선행연구 고찰

Karlin(1962)은 작동기계가 1대일 경우 부품의 수명 및 조달기간의 분포가 모두 지수분포를 따른다는 가정하에서 (s, S) 방식의 재고 관련 비용을 유도하였으나, 이 식에서 약간의 오류가 포함되어 있었다. Park(1986)은 Karlin이 유도한 비용식들의 오류를 제거하고 최적 재고정책을 구할 수 있는 알고리즘을 제시 하였으며 그 후 Hur(1989)는 이 모형에서 조달기간의 분포를 감마분포로 일반화 시켰다.

작동기계댓수가 여러 대일 경우에 관한 연구는 Page와 Gondran(1986)에 의해 이루어졌다. Park(1981)은 부품의 수명과 조달기간의 분포가 지수분포를 따른다는 가정 하에서 (s, S) 방식의 특수한 경우 중 하나인 $(S-1, S)$방식의 최적 S값을 찾는 발견적(heuristic) 알고리즘을 개발하였다. $(S-1, S)$ 방식은 재주문점이 $S-1$, 재고보충 수준이 S이므로 주문량은 $S-(S-1)=1$로서 항상 1개가 된다. 따라서 $(S-1, S)$방식은 수요가 1개 발생할 때마다 재고보충도 1개씩만 해주는 방식으로서 수요가 비교적 작고 주문비용이 재고비용에 비해 작은 고가품목의 재고관리에 적용할 수 있다.

Page와 Gondran(1986)은 부품의 수명이 지수분포이고 조달기간이 상수일 경우의 (s, S) 방식의 예비품 재고문제를 다루었으나, 그들의 연구에서는 예비품의 수요는 품절이 일어나더라도 이전의 수요형태가 변하지 않고 계속 유지된다는 것을 전제로 하였다. 그러나 앞서 설명한 바와 같이 예비품 재고가 품절이 발생할 경우에는 재고보충 후 고장난 부품이 교환되어 정지된 기계가 재가동 되기까지는 고장상태로 방치되기 때문에, 가동이 정지된 기계에 필요한 예비품 수요는 더 이상 없게 된다. 따라서 이 경우 품절이 발생하면 예비품의 수요도 줄어들게 되며, Page와 Gondran의 모형을 적용할 경우 품절된 예비품의 총 수량은 언제나 과대평가(overestimate) 되게 된다.

본 연구에서는 부품수명이 지수분포를 따르는 여러대의 동일한 기계가 동시에 가동될 경우 예비품의 조달기간이 지수분포인 경우의 일반적인 정량발주모형을 다루었다.

3. 정량발주 예비품 재고모형

3.1 연구의 기본 가정 및 사용 기호

본 연구에서 다루어지는 모형은 예비품의 재고량이 재주문점 s가 될때, 일정량 Q만큼 보충하게 되는 정량발주방식이다.

여기서 거론되는 재고 보충 정책에서는, 하나의 주문이 도달하고부터 다음 주문이 도착될 때까지의 시간을 한 주기(cycle)로 하며, 부품의 수명은 지수분포를 가정한다. 이 경우 새로운 주기가 시작되면, 즉 주문이 도착되는 바로 그 시점에서, 사용중인 부품의 사용시간은 지수분포의 중요한 성질인 'memoryless property'에 의해 고래해 줄 필요가 없게 된다.

본 연구에서 사용한 기호와 가정은 다음과 같다 :

(1) 사용기호

s : 재주문점

Q : 1회 주문량

n : 사용기계 총댓수(; $n>1$)

λ : 부품고장율

$f(x)=\lambda \exp(-\lambda x)$: 부품의 수명분포

$F(x)=1-\exp(-\lambda x)$: 부품수명의 누적확률밀도함수

y : 조달기간을 나타내는 확률변수

$h(y)=\beta\exp(-\beta y)$: 조달기간의 확률밀도함수

$p(x;\lambda)=\lambda^x\exp(-\lambda)/x!$: 포아송 확률밀도함수

$g(x;\alpha,\beta)=\beta(\beta x)^{\alpha-1}\exp(-\beta x)/\Gamma(\alpha)$: 감마분포의 확률밀도함수

$b(x;n,p)={}_nC_x\, p^x(1-p)^{n-x}$: 이항분포의 확률밀도함수

$b_n(j;n,\rho)=\dfrac{\Gamma(j+n)}{j!\Gamma(n)}\rho^n(1-\rho)^j$: 음이항분포의 확률밀도함수

$\pi(v)$: 주문 도착 직후 재고수준이 v개일 확률

C_0 : 주문당 발주 비용

C_h : 단위시간당 재고 유지 비용

C_s : 기계정지로 인한 단위시간당 품절비용

(2) 기본가정

i) 작동기계들은 상호 독립적으로 작용한다.

ii) 각 기계의 부품수명은 지수분포를 따른다.

iii) 고장난 부품의 교체시간은 가동시간에 비해 무시할 수 있을 정도로 작다.

iv) 재주문은 품절이 일어나기 전에 미리 발주한다(즉, $s \geq 0$).

v) 미도착 주문(outstanding order) 횟수는 한 주기에 한번을 초과할 수 없다(즉, $Q \geq s+n$).

3.2 비용 함수 계산

본 연구에서 고려한 재고모형에서는 예비부품의 재고량을 계속 검토하다가 재고수준이 발주점 s로 떨어지는 순간, 일정량 Q를 주문하게 된다. 여기서 재고수준(inventory position)은 사용중인 제품을 제외하고, 여분으로 보관하고 있는 수중의 재고(on-hand inventory)로 정의하기로 한다.

(s, S) 재고모형에서 주문시점의 재고수준은 항상 s가 되므로 주문시점은 하나의 재생점(renewal point)이 된다. 따라서 주문 사이 간격을 한 주기(cycle)로 잡아주면, 단위시간당 비용은 renewal reward 정리(1970)에 의해 주기당 비용과 주기길이로 부터 구할 수 있다.

주기당 기대비용은 주문비용(ordering cost), 재고유지비용(inventory carrying cost), 품절비용(shortage cost)으로 나누어 계산할 수 있다. 주문 간의 사이간격을 한 주기(cycle)로 정의해 주면 주기당 주문횟수는 한번이므로 주문비용은 C_0가 된다.

재고비용의 계산을 위하여 Hadley와 Whitin(1963)은 정량발주모형에서와 같이 한 주기(；주문사이간격)를 주문시점으로부터 주문도착시점까지의 기간 T_1(；주문조달기간 y)과 주문도착시점으로부터 다음 주문시점까지의 기간 T_2로 나누어 생각해 보기로 하자.

먼저 첫번째 기간 T_1 동안의 재고유지비용을 계산해 보기로 하자. 주문시점으로부터 어떤 시점 t(；$t \leq y$)까지의 고장개수를 k(；$k \leq s$)라 두면 t시점에서의 재고수준은 $(s-k)$가 된다. 시점 t까지의 고장개수 k가 기간초에 보유하고 있던 여분의 재고 s를 초과하지 않는다면 고장과정은 고장률 $n\lambda$의 포아송 과정(poisson process)을 따르게 되므로 이 기간동안에 발생하는 재고유지비용의 기대치는 다음과 같다.

$$C_h \int_0^\infty \int_0^y \sum_{k=0}^{s} (s-k)\, p(k\,;\, n\lambda t)\, h(y)\, dt\, dy$$

$$= \frac{C_h}{2n\lambda}\left\{ s(s+1) - \sum_{j=0}^{s} (s-j)(s-j+1)\right.$$

$$\left. b_n\left(j\,;\,1,\ \frac{\beta}{\beta+n\lambda}\right)\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots 1)$$

t시점까지의 고장개수 k가 s보다 크면 t시점에서는 품절이 발생하게 되므로 재고유지비용은 없다. 따라서 재고유지비용의 계산을 위해서는 k가 s보다 큰 경우는 고려하지 않아도 된다.

이제 두번째 기간 T_2 동안의 재고유지비용을 계산해 보자. 두번째 기간에서는 고장률 $n\lambda$가 변하지 않으므로, 두번째 기간초(즉, 주문도착 직후)의 재고수준을 v라 두면 기대재고비용은 다음과 같다.

$$C_h[v+(v-1)+(v-2)+\cdots\cdots\cdots$$

$$+(s+1)]/n\lambda$$

$$= C_h[v(v+1) - s(s+1)]/2n\lambda \cdots (2)$$

두번째 기간초의 재고수준이 v가 되기 위해서는 첫번째 기간(즉, 조달기간 y) 동안의 총 고장개수가 $(Q+s-v)$개가 되어야 한다. 만약 첫번째 기간에서 품절이 발생하지 않는다면(；$0 \leq Q+s-v \leq s$ 또는 $Q \leq v \leq Q+s$) 첫번째 기간에서의 고장율은 일정한 값 $n\lambda$를 갖게 된다. 또한

첫번째 기간에서 품절이 발생하였다면 ($s+1\leq Q+s-v\leq s+n$ 또는 $Q-n\leq v\leq Q-1$) 첫번째 기간내에 어떤 시점 $z(\,;\,z\leq y)$에서 기간초에 있던 여분의 재고 s개가 바닥이 나고, 그 이후의 $Q-v$개가 더 고장이 나야 한다. 따라서 기간초의 재고가 v개가 될 확률은 다음과 같다.

$$\pi(v)=\begin{cases}\int_0^\infty p(Q+s-v\,;\,n\lambda y)\,h(y)\,dy, & \text{if } Q\leq v\leq Q+s\\ \int_0^\infty\int_0^y g(z\,;\,s,n\lambda)\,b(Q-v\,;\,n,\; F(y-z))\,h(y)\,dzdy, & \text{if } Q-n\leq v\leq Q-1\end{cases}\quad\cdots\cdots(3)$$

(3) 식을 (2)에 대입하면 두번째 기간동안의 기대재고비용이 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}&C_h\sum_{v=Q}^{Q+s}\pi(v)[v(v+1)-s(s+1)]/2n\lambda\\ &=C_h\sum_{v=Q-n}^{Q-1}[v(v+1)-s(s+1)]\\ &\int_0^\infty\int_0^y g(z\,;\,s,n\lambda)\,b(Q-v\,;\,n,\\ &F(y-z))\,h(y)\,dzdy/2n\lambda\\ &+C_h\sum_{v=Q}^{Q+s}[v(v+1)-s(s+1)]\\ &\int_0^\infty p(Q+s-v\,;\,n\lambda y)\,h(y)\,dy/2n\lambda\\ &=C_h\sum_{v=Q-n}^{Q-1}\frac{[(v(v+1)-s(s+1)]}{2n\lambda}\\ &\left[\left[\binom{n}{Q-v}\sum_{r=0}^{Q-v-1}\binom{Q-v}{r}(-1)^r\right.\right.\\ &\left\{\frac{n}{Q-v-r}\right\}^s\left\{\left[\frac{\beta}{\beta+n\lambda+v\lambda+r\lambda-Q\lambda}\right]\right.\\ &\left.-\sum_{j=0}^{s-1}b_n\left(j\,;\,1,\frac{\beta}{\beta+n\lambda}\right)\left(\frac{Q-v-r}{n}\right)^j\right\}\\ &\left.+\binom{n}{Q-v}(-1)^{Q-v}b_n\left(s\,;\,1,\frac{\beta}{\beta+n\lambda}\right)\right]\\ &+C_h\sum_{v=Q}^{Q+s}\left\{\frac{v(v+1)-s(s+1))}{2n\lambda}\right\}\\ &b_n\left(Q+s-v\,;\,1,\ \frac{\beta}{\beta+n\lambda}\right)\cdots\cdots(4)\end{aligned}$$

주기당 품절비용을 구하기 위해서는 $s\geq 0$을 가정하였으므로 첫번째 기간 T_1만 고려해 주면 된다. 품절이 발생하기 위해서는 조달기간 동안의 고장갯수가 기간초에 있는 여분의 재고 s보다 커야한다. 따라서 조달기간 y이내에 여분의 재고가 바닥나는 시점 z가 존재하게 된다. 주문시점으로부터 어떤 시점 $t(\,;\,z\leq t\leq y)$까지의 고장갯수를 $k(\,;\,s\leq k\leq s+n)$라 두면 그 시점에서의 품절갯수는 $(k-s)$개가 된다. 또한 재고가 바닥나는 시점 z까지는 고장률이 $n\lambda$로 일정하게 유지되므로 품절비용의 기대치는 다음과 같다;

$$C_s\int_0^\infty\int_0^y\int_0^t\sum_{k=s}^{s+n}(k-s)\,g(z\,;\,s,n\lambda)\;b(k-s\,;\,n,F(t-z))\,h(y)\,dzdtdy\quad\cdots\cdots(5)$$

$k-s=j$로 두면 (5) 식은 다음과 같이 쓸 수 있다;

$$\begin{aligned}&C_s\int_0^\infty\int_0^y\int_0^t\sum_{j=1}^{n}j\;b(j\,;\,n,F(t-z))\\ &g(z\,;\,s,n\lambda)\,h(y)\,dzdtdy\\ &=C_s\int_0^\infty\int_0^y\int_0^t n\;F(t-z)\\ &g(z\,;\,s,n\lambda)\,h(y)\,dzdtdy\end{aligned}$$

$$= (C_s/\lambda)\Big[(n\lambda/\beta) - (s+n) + n(n/(n-1))^s(\beta/(\lambda+\beta)) + \sum_{j=0}^{s-1}\{s+n-j-n((n-1)/n)^{j-s}\} b_n(j\,;1,\ \beta/(\beta+n\lambda))\Big] \quad \cdots\cdots(6)$$

주기당 총기대비용은 주문비용 C_0, 재고유지비용 (1)식+(4)식, 품절비용 (6) 식을 합한 것이므로 다음과 같다:

$$C_0 + C_h\Big[\frac{s(s+1)}{2n\lambda} - \frac{1}{2n\lambda}\sum_{j=0}^{s}(s-j)(s-j+1)\,b_n(j\,;1,\frac{\beta}{\beta+n\lambda}) + \sum_{v=Q-n}^{Q-1}\frac{[v(v+1)-s(s+1)]}{2n\lambda}\Big[\Big[\binom{n}{Q-v}\sum_{r=0}^{Q-v-1}\binom{Q-v}{r}(-1)^r[n/(Q-v-r)]^s\{(\beta/(\beta+n\lambda+v\lambda+r\lambda-Q\lambda)) - \sum_{j=0}^{s-1}b_n(j\,;1,\ \beta/(\beta+n\lambda))((Q-v-r)/n)^j\} + \binom{n}{Q-v}(-1)^{Q-v}b_n(s\,;1,\ \frac{\beta}{\beta+n\lambda})\Big] + \sum_{v=Q}^{Q+s}[v(v+1)-s(s+1))/2n\lambda]\,b_n(Q+s-v\,;1,\beta/(\beta+n\lambda))\Big] + (C_s/\lambda)[(n\lambda/\beta)-(s+n) + n(n/(n-1))^s(\beta/(\lambda+\beta)) + \sum_{j=0}^{s-1}\{s+n-j-n((n-1)/n)^{j-s}\}\,b_n(j\,;1,(\beta/(\beta+n\lambda)))] \quad \cdots\cdots(7)$$

주기길이는 T_1과 T_2의 합이므로, 그 기대치는 다음과 같다.

$$\int_0^\infty yh(y)\,dy + \sum_{v=Q-n}^{Q+s}\pi(v)(v-s)/n\lambda$$
$$= \int_0^\infty yh(y)\,dy + \sum_{v=Q-n}^{Q-1}(v-s)\int_0^\infty\int_0^y g(z\,;s,n\lambda)\,b(Q-v\,;n,F(y-z))\,h(y)\,dzdy/n\lambda + \sum_{v=Q}^{Q+s}(v-s)\int_0^\infty p(Q+s-v\,;n/y)\,h(y)\ dy/n\lambda$$
$$= \frac{1}{\beta} + \sum_{v=Q-n}^{Q-1}\frac{(v-s)}{n\lambda}\Big[\Big[\binom{n}{Q-v}\sum_{r=0}^{Q-v-1}\binom{Q-v}{r}(-1)^r\{\frac{n}{Q-v-r}\}^s\Big\{\Big[\frac{\beta}{(\beta+n\lambda+v\lambda+r\lambda-Q\lambda)}\Big] - \sum_{j=0}^{s-1}b_n\Big(j\,;1,\frac{\beta}{\beta+n\lambda}\Big)\Big(\frac{Q-v-r}{n}\Big)^j\Big\} + \binom{n}{Q-v}(-1)^{Q-v}b_n(s;1,\frac{\beta}{\beta+n\lambda})\Big] + \sum_{v=Q}^{Q+s}\Big\{\frac{(v-s)}{n\lambda}\Big\}\ b_n(Q+s-v\,;1,\frac{\beta}{\beta+n\lambda}) \quad \cdots\cdots(8)$$

단위시간당 기대비용은 주기당 기대비용(7)식을 기대주기길이 (8)식으로 나누어 주면 되므로, 나음과 같이 표현된다:

$$\Big[C_0 + C_h\Big[\frac{s(s+1)}{2n\lambda} - \frac{1}{2n\lambda}\sum_{j=0}^{s}(s-j)$$

$(s-j+1)\,b_n(j:1,\ \frac{\beta}{\beta+n\lambda})$

$+\sum_{v=Q-n}^{Q-1}\frac{[v(v+1)-s(s+1)]}{2n\lambda}$

$\Big[\begin{bmatrix} n \\ Q-v\end{bmatrix}\sum_{r=0}^{Q-v-1}\begin{bmatrix} Q-v \\ r\end{bmatrix}(-1)^r[n/$

$(Q-v-r)]^s$

$\{(\beta/(\beta+n\lambda+v\lambda+r\lambda-Q\lambda))$

$-\sum_{j=0}^{s-1}b_n,(j\,;\,1,\beta/(\beta+n\lambda))$

$((Q-v-r)/n)^j\}$

$+\begin{bmatrix} n \\ Q-v\end{bmatrix}(-1)^{Q-v}\ b_n(s\,;\,1,\beta/$

$(\beta+n\lambda))\Big]+\sum_{v=Q}^{Q+s}[(v(v+1)$

$-s(s+1))/2n\lambda]$

$b_n(Q+s-v\,;\,1,\beta/(\beta+n\lambda))\Big]$

$+(C_s/\lambda)[(n\lambda/\beta)-(s+n)+n(n/$

$(n-1))^s(\beta/(\lambda+\beta))$

$+\sum_{j=0}^{s-1}\{s+n-j-n((n-1)/n)^{j-s}\}$

$b_n(j\,;\,1,(\beta/(\beta+n\lambda))]\Big]\Big/$

$\Big[\frac{1}{\beta}+\sum_{v=Q-n}^{Q-1}\frac{(v-s)}{n\lambda}\Big[\begin{bmatrix} n \\ Q-v\end{bmatrix}$

$\sum_{r=0}^{Q-v-1}\begin{bmatrix} Q-v \\ r\end{bmatrix}(-1)^r\left\{\frac{n}{Q-v-r}\right\}^s$

$\Big\{\Big[\frac{\beta}{(\beta+n\lambda+v\lambda+r\lambda-Q\lambda}\Big]$

$-\sum_{j=0}^{s-1}b_n\Big(j\,;\,1,\frac{\beta}{\beta+n\lambda}\Big)\Big(\frac{Q-v-r}{n}\Big)^j\Big\}$

$+\begin{bmatrix} n \\ Q-v\end{bmatrix}(-1)^{Q-v}\ b_n(s\,;\,1\frac{\beta}{\beta+n\lambda})\Big]$

$+\sum_{v=Q}^{Q+s}\Big\{\frac{(v-s)}{n\lambda}\Big\}\ b_n(Q+s-v\,;\,1,$

$\frac{\beta}{\beta+n\lambda})\Big]$ ....(9)

4. 수치예 분석

앞 절에서 유도한 단위시간당 비용을 분석하기 위해 다음과 같은 경우를 고려하여 보자 :

주문비용	$C_0=50$
재고유지비용	$C_h=5$
품절비용	$C_s=200$
작동기계댓수	$n\ =3$
고장률	$\lambda\ =1$
조달기간	$h(y)=h(y\,;\,\beta=2)$ $=2\exp(-2y)$

위의 경우 단위시간당 비용을 계산하면 다음의 표1과 같다. 이를 보면 단위시간당 총 비용은 1회 주문량 Q와 재주문점 s에 대해 오목(convex)한 형태가 나오는 것을 알 수 있다. 이는 주문비용, 재고유지비용, 품절비용 등이 재고 수준에 따라 비용증감이 서로 상반되는 조건을 갖게 되기 때문이다.

표2는 비용관련 모수(parameter)들의 변화에 따른 최적 1회 주문량 Q^*, 최적 재주문점 s^*, 최적 단위시간당 비용$C(Q^*,s^*)$을 요약한 것이다.

표2를 보면 다음과 같은 사실을 발견할 수 있다 :

i) 주문비용 C_0가 커지면 1회 주문량 Q가 커진다.

ii) 재고유지비용 C_h가 커지면 1회 주문량 Q 및 s가 작아진다.

Table 1. Total Cost per unit times as function of $C(Q, s)$
($C_0=50$, $C_h=5$, $C_s=200$, $n=3$, $\lambda=1$, $\beta=2$인 경우)

Q \ s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
6	68.33	62.18	60.34	—	—	—	—	—	—	—	—
7	63.63	58.87	57.91	59.30	—	—	—	—	—	—	—
8	60.66	56.98	56.69	58.50	61.59	—	—	—	—	—	—
9	58.87	56.05	56.29	58.43	61.71	65.68	—	—	—	—	—
10	57.91	55.79	56.46	58.86	62.30	66.37	70.82	—	—	—	—
11	57.57	56.02	57.06	59.67	63.25	67.39	71.89	76.58	—	—	—
12	57.68	56.63	57.96	60.76	64.45	68.66	73.19	77.19	82.75	—	—
13	58.16	57.52	59.11	62.07	65.85	70.12	74.68	74.42	84.27	89.17	—
14	58.92	58.64	60.46	63.54	67.40	71.72	76.31	81.07	85.93	90.84	9[illegible]9
15	59.90	59.94	61.95	65.16	69.08	73.44	78.06	82.84	87.70	92.62	97.[illegible]7
20	67.07	68.23	70.92	74.54	78.72	83.23	87.93	92.76	97.65	102.59	107.56

(주) (　　)는 최적비용을 나타냄

Table 2. Comparison of optimal policies.

$C_0, C_h, C_s, n, \lambda, \beta$	Q^*	s^*	$C(Q^*, s^*)$
50, 5, 200, 3, 1, 2	10	2	55.79
100, 5, 200, 3, 1, 2	13	2	68.90
50, 10, 200, 3, 1, 2	8	1	81.57
50, 5, 400, 3, 1, 2	10	4	62.73
50, 5, 200, 6, 1, 2	15	5	88.96
50, 5, 200, 3, 2, 2	15	4	83.81
50, 5, 200, 3, 1, 4	9	1	47.23

iii) 품절비용 C_s가 커지면 재주문점 s가 커진다.

iv) 작동기계댓수 n이 커지면 1회 주문량 Q 및 재주문점 s가 커진다.

v) 고장률 λ가 커지면 1회 주문량 Q및 재주문점 s가 커진다.

vi) 주문도착률 β가 커지면 재주문점 s가 작아진다.

이상의 결과들은 우리가 상식적으로 짐작할 수 있는 바와 일치함을 알 수 있다.

參 考 文 獻

1. Hadley, G. and Whitin, T.M.(1963), Analysis of Inventory System, Prentice-Hall, London.
2. Karlin, S.(1962), "*The application of Renewal Theory to the Study of Inventory Policies*", Chapter 15 in Studies in the Mathematical Theory of Inventory and Production, K.J., Arrow, D. Karlin, H. Scarf, eds., Stanford University Press, 270-297.
3. Page, A. and Gondran, M.(1986), System Reliability Evaluation & Prediction in Engineering, North Oxford Academic, 293-296.
4. Park, K.S.(1981), "*(S-1, S) Spare-Part Inventory Policy for Fleet Maintenance*", IEEE Transactions on Reliability, R-30, 481-483.
5. Park, Y.T.(1986), "*(s, S) Spare Part Inventory System*", Journal of the Korean Society of Quality Control, Vol.14, No. 2, 21-27.
6. Ross, S.M.(1970), Applied Probability Models with Optimization Application, Holden-Day, San-Francisco.
7. 허 준(1989), (s, S)예비품 재고모형, 성균관대학교 석사논문.