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

1992년 12월 韓國品質管理學會誌 제20권 제2호

생산공정의 형태가 AOQ에 미치는 영향
(The Effect on AOQ in CSP-1 by a Type of Production Process)

주 용 준*
강 경 식**
김 창 은**

Abstract

The sampling plan CSP-1 for continuous production was first proposed by Dodge in 1943. Continuous production refers to products which are flowing past the inspection station such as products moving on a conveyor belt. One important measure of the effectiveness of a CSP is the average outgoing quality(AOQ). A concept for a short run of production length time, denoted by AOQ(t), is provided.

The assumption of a s-independence in CSP-1 is unrealistic. It is possible to relax the assumption of a s-independence. The need for Markov model in a continuous production process can be discussed in this paper.

The Markov and renewal theory are used to describe the property of AOQ in CSP-1.

1. 서 론

콘베이어 벨트 생산방식처럼 연속적인 생산공정을 통하여 만들어지는 제품에 대한 품질관리에 적용할 수 있는 샘플링 검사방식이 H.F.Dodge(1943)에 의해 발표된 CSP-1(continuous sampling plan-1)이다.

이 검사방식은 검사를 받은 모든 제품을 良品과 不良品으로 분류하며, 시간이 경과하여도 생산공

* 중경공업전문대학
** 명지대학교

정에서 불량품이 발생할 확률이 변하지 않는다고 (s-independent)가정한다.

이후 Lieberman과 Solomon(1955)은 Dodge의 CSP-1을 확장하여 다수준 연속생산형 샘플링 검사방식 (MLP:multi-level continuous sampling plan)을 제안하였고, Derman, et.al.(1957)은 MLP에서 검사수준을 바꾸는 규칙을 변경하는 보다 엄격한 다수준 연속생산형 샘플링 검사방식(tightened multi-level continuous sampling plan:MLP-T)을 제안하였다.

연속생산형 검사방식에서는 검사전의 공정불량률이 어떤 값을 갖더라도 검사를 받고 나가는 제품들의 평균불량률이 지정된 평균출검품질한계(AOQL)를 보증하도록 연속양호품수 i와 검사비율 1/n이 결정된다.

그러므로, 이 검사방식을 이용하여 샘플링 검사를 할때 중요한 요소는 생산공정의 불량률과 평균출검품질(AOQ)이다. AOQ는 공정평균불량률의 함수이며, AOQL은 불량률의 변화에 따른 AOQ 값들 중에서 가장 큰 값이다.

연속생산형 샘플링검사방식에서 검사의 효율성 척도는 AOQ이며, AOQ는 오랜 기간 동안 생산공정을 운영하였을 때 검사에서 발견되지 않고, 통과되는 불량품의 비율에 대한 기대치로 정의된다 [Yang(1983)].

그러나, 연속생산공정의 불량률이 일정하게 유지된다는 가정은 매우 제한적이며, 비현실적이다. 생산된 순서에 따라 제품을 검사할 때, 어떤 하나의 제품이 불량품일 확률은 이 제품보다 먼저 생산된 제품이 양품인지 또는 불량품인지에 따라 어느 정도 영향을 받는다고 생각하는 것이 보다 현실적이며, 타당할 것으로 믿어진다.

연속생산형 샘플링 검사방식을 적용할 때의 또 하나의 문제점은 AOQ의 계산에 관한 것이다. 생산공정이 자주 중단되는 경우에는 AOQ를 샘플링 검사방식에 대한 효율성의 척도로 보는 것이 적절하지 못함은 오래 전부터 지적되어 왔으며[Yang (1983)], 더우기 AOQ정의에서 나타난 '오랜 기간 (long run)'이 확실히 어느 정도인지 분명하지 않다. 따라서 연속적인 생산공정의 운영기간이 짧을 때(short run)이 제품의 검사를 받고 난 후에 어떤 尺度가 필요하다. 여기서 생산공정의 운영기간이 t일 때, 검사에서 통과된 불량품의 비율인 AOQ(t)의 개념이 도입된다.

지금까지 서술한 바와 같이 CSP-1의 검사방식을 적용할 경우, 두가지 중요한 문제점에 대한 연구가 진행되어 왔다.

본 연구에서는 이러한 두 가지 문제점을 고려하여 Dodge의 CSP-1에 관해 고찰하고자 한다.

즉, 연속생산공정에서 어떤 하나의 제품이 불량품일 확률은 이 제품보다 전에 생산된 제품들의 상태에 따라 어느 정도 영향을 받는다는 가정과 생산운영기간이 t일 때 CSP-1의 AOQ(t)에 대하여 분석하고자 한다.

본 연구를 위하여 Markov chain이론과 renewal 이론이 이용된다.

2. 계수 연속생산형 검사와 AOQ

2.1 계수 연속생산형 검사의 발전과정

Dodge(1943)는 연속생산형태를 위한 샘플링 검사방식을 고안한 CSP-1을 발표하였다. 그는 생산형태가 S-독립(s-independent)이라고 가정하였고, 검사받은 제품은 良品과 不良品의 두 가지로 분류하였다. 여기서 S-독립이란 불량품이 나올 확률은 전체 생산시간 중에는 변화하지 않는다는 것을 의미한다.

한국공업규격의 계수 연속생산형 샘플링 KSA 3106은 CSP-1을 기초로 하여 규정한 것이다.

그 후 Dodge와 Torrey(1943, 1951)는 CSP-1을 다소 수정한 CSP-2와 CSP-3를 발표하였다. 또한 Derman, et. al.(1959)이 발표한 CSP-4와 CSP-5가 있다.

Lieberman과 Solomon(1955)은 각개검사(100% screen)에서 일부 검사(fractional inspection), 또는 일부검사에서 각개검사로 넘어갈 때에 발생하는 검사량의 급격한 변화를 완화시키기 위하여, 일부 검사의 水準(level)을 여러가지로 만들어 다수준 연속생산형, 즉 MLP(multilevel continuous sampling Plan)를 제안하였다.

Derman, Littauer그리고 Solomon(1957)은 Dodge의 CSP-1을 확장한 MLP-T(Tightened Multilevel Continnous Sampling plan)을 제안하고 있다. 이 방법은 단 한개의 샘플링 수준이 허용된다면, CSP-1으로 축소시킬 수 있다.

이와같이 여러가지 Dodge형 연속생산형 샘플링 검사방식중 가장 기본이 되는 검사방식이 CSP-1이다.

본 연구에서는 CSP-1을 기초로 하여 생산공정의 형태와 생산기간에 따른 AOQ의 변화에 대하여 분석하고자 한다.

2.2 생산공정형태와 AOQ

계수 연속생산형 샘플링 검사의 대부분은 생산공정의 형태가 S-독립이라고 가정한다. 그러나, S-독립이라는 가정은 제한적이며, 비현실적이다. 왜냐하면 어떤 형태 또는 종속적(dependent)이라고 생각하는 것이 더욱 합당할 것이다.

Blackwell(1953)은 연속생산형 샘플링 검사에서 S-독립이란 가정은 비현실적이지만, CSP에서 발생할 수 있는 어떤 문제점에 대한 해결의 실마리를 제공할 수 있다고 보고하였다.

S-독립의 가정을 완전히 완화시킬 수 있다. Lieberman[9]의 연구에서 불량률이 생산기간에 관계없이 일정하게 유지된다는 가정은 다소 완화되었다. 이 연구에서 그는 각개검사에서는 양품만이 생산되고, 일부 검사에서는 불량품만이 생산되는 최악의 공정상태를 관찰하였다.

연속생산형 샘플링 검사방식에서 불량품 발생구조에 대한 Markov chain모형을 적용하는 필요성이 여러 학자들에 의해 연구되었다. Broadbent(1958)는 양품과 불량품의 유리벽을 생산하는 공정에서 양품과 불량품의 두개의 상태(state)를 갖는 Markov모형을 제시하였다.

생산공정에서 검사를 받기 위해 제출되는 연속적인 제품의 상태가 two-state time-homogeneous Markov chain모형을 따른다고 가정할때 두개의 수준을 갖는 MLP-T에 대하여 AOQ를 구하려 한다.

확률변수 Yu를 다음과 같이 정의한다.

$$Y_u=\begin{cases}0 : u\text{번째 제품이 양품일 때}\\ 1 : u\text{번째 제품이 불량품일 때}\end{cases}$$

단, u=0, 1, 2, 3…

가정(assumptions) :

(1) 과정 $\{Y_i, i\geq 0\}$는 two-state time-homogeneous Markov chain이며, 초기분포는

$$\Pr\{Y_0=1\}=1 \quad \cdots\cdots(2.1)$$

(2) 전이행렬(transition probability matrix)은 다음과 같다.

$$P=\begin{array}{c} \\ 0 \\ 1 \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{cc} 0 & 1 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 1-\alpha & \alpha \\ \beta & 1-\beta \end{bmatrix} \end{array} \quad 0<\alpha,\beta<1 \quad \cdots\cdots(2.2)$$

(3) 주기(cycle)이란 일부검사를 시작해서 각개검사로 넘어가는 순간까지의 기간을 말하며, 검사에서 발견되는 불량품은 수리하거나, 양품으로 교환된다.

(4) 0번째 제품은 AOQ의 계산에 포함되지 않는다.

가정 (2)에서 n-단계 전이행렬을 구할 수 있다.

$$P^n=\left[P_{ij}^{(n)}\right]=\begin{bmatrix} q & p \\ p & q \end{bmatrix}+(1-\delta)^n\begin{bmatrix} p & -p \\ -q & q \end{bmatrix}$$

$$n=1,2,3 \quad \cdots\cdots(2.3)$$

여기서 $\delta=\alpha+\beta$, $p=1-q=\alpha/\delta$

매개변수 p는 오랜기간(long-run)동안의 불량률을 의미하며, $\phi=(1-\delta)$를 Markov chain$\{Y_u, u\geq 0\}$의 연속상관계수(serial correlation coefficient)라고 한다.

특히, $\delta=1$이면 S-독립모형을 의미한다.

일부검사를 실시할 때, n개의 제품 중에 한개를 추출하는 여러가지 방법 중에서 n개의 제품중 n번째 제품마다 검사하는 계통 샘플링(systematic sampling)을 시행한다고 가정하고, m-수준의 MLP-T에 대한 AOQ를 구한다.[Lieberman(1953), Yang(1983)]

$$AOQ=\frac{E[S_1]}{E[U_1+i]+E[V_1]} \qquad \cdots\cdots (2.4)$$

$$=\frac{\sum_{k=1}^{m}(T_k/B_k)(1-A_k^i)\left(\prod_{t=0}^{k-1}A_t^i\right)}{(1-G)/(PG\delta)+\sum_{k=1}^{m}(n^k/B_k)(1-A_k^i)\left(\prod_{t=0}^{k-1}A_t^i\right)}$$

$$\cdots\cdots (2.5)$$

여기서, $j=1, 2,\cdots$에 대하여

$\{S_j\}$: 주기 j에서 일부검사를 받지 않고 통과된 불량품의 수

$\{U_j\}$: $(j-1)$번째 주기의 끝에서 부터, 길이 i인 양품의 런이 시작되기 직전까지 각개검사를 받은 제품수

$\{V_j\}$: 주기 j의 계통샘플링에서 (검사를 받았던, 받지 않았던 간에)통과된 제품수

이며, 확률변수 $\{S_j\}$, $\{U_j\}$, 그리고 $\{V_j\}$는 i. i. d.이다. 또한 일부 검사 수준의 갯수 $k=1, 2,\cdots m$에 대하여

$$A_0^i=1,\ A_m^i=0,\ A_k=P_{00}^{(n^k)},\ B_k=1-A_k$$

$$T_k=\sum_{h=1}^{n^k-1}P_{01}^{(h)},\ G=q(1-p\delta)^{i-1}$$이다.

α와 β가 모두 미지일때 AOQ를 다음과 같이 정의한다.

$$AOQL=\sup_{0<\alpha,\ \beta<1} AOQ \qquad \cdots\cdots (2.6)$$

또한, Markov chain의 연속상관계수 ϕ가 알려져 있을 때

$$AOQL=\sup_{p} AOQ \qquad \cdots\cdots (2.7)$$

로 정의된다.

α, β가 모두 미지일때 식(2.6)의 값을 구하는 것은 불가능하다. 그러나, m=2 즉 2-수준의 경우 Digital Computer를 이용하여 AOQL 값을 구할 수 있다.

2.3 생산기간과 AOQ(t)

생산공정이 자주 중단되는 경우 AOQ를 연속생산형 샘플링 검사방식의 효율성 척도로서 이용하는 것은 적절하지 못하다. 이러한 문제점은 해결하기 위하여 Blackwell(1977)은 CSP-1의 두 매개변수(parameter) i와 n에 새로운 매개변수로서 생산기준을 추가하여 CSP-F를 발표하였다. CSP-F의 적용절차는 CSP-1과 같고, 다만 생산기간이 매개변수로서 생산기간을 추가하여 CSP-F를 발표하였다. CSP-F의 적용절차는 CSP-1과 같고, 다만 생산기간이 매개변수로 추가된 것이다.

생산기간이 무한하다는(infinite production runs) 가정이 없을 때, CSP-1에 대하여 AOQL에 맞는 검사방식을 결정하기 위한 검사특성곡선(operating charateristic curve)을 제공할 수 없게 된다.

Blackwell(1977)은 생산기간이 유한할 때(finite production runs) CSP-1의 형태를 Markov chain으로

형으로 수식화하여, 평균검사비율(average fraction insfected : AFI)을 산출하여 AOQ=p(1−AFI)의 식으로 부터 AOQ를 구하는 분석적 접근방법을 시도하였다.

Yang(1983)은 한가지 수학적 모델을 이용하여, Dodge형 연속생산형 샘플링 검사방식에 대하여, 생산기간이 무한하다는 가정하에서의 AOQ와 생산기간이 t일 때의 AOQ(t)에 관하여 연구하였다.

s-독립을 가정하면 식(2.3)에서 $\phi=1-\delta=0$이므로, Yu=0, 1, 2…는 독립이며 같은 분포를 갖는 확률변수(i. i. d. random variable)이다.

$$Pr[Yu=0]=q$$

$$Pr[Yu=1]=p, \quad q+p=1 \quad 0<q,p<1 \quad \cdots\cdots(3.1)$$

여기서 u는 u번째 제품이 생산될 때의 시간으로 생각하면 편리하다.

그러므로, 확률과정 {Yu, u=1, 2,…}을 연속생산형 샘플링 검사에서의 제품의 검사결과로 생각할 수 있고, 이산형 renewal 과정으로 모형화할 수 있다.

이 때, renewal 주기(cycle)는 하나의 각개 검사와 일부검사가 끝나는 것과 일치하고, renewal 구간의 길이(length of a renewal interval)는 한 주기 동안에 생산된 제품의 수로 생각할 수 있다.

CSP-1의 검사방식을 나타내는 연속양호품수를 i, 일부검사에서의 검사비율을 1/n이라고 할때, s-독립인 생산공정에 대한 CSP-1을 renewal과정으로 모형화 하고자 한다.

확률변수 Yu, u=0, 1, 2…는 앞의 정의와 같고, 2.2절의 4가지 가정에 다음 2가지 가정을 추가한다.

(5) 일부검사에서 샘플링 검사방식은 계통샘플링 검사로 한다.

(6) 검사를 하는 과정에서 검사자의 오류는 없다. (perfect inspection)

확률과정 {Yu, u=−, 1, 2…}의 정적분포(stationary distribution) V(j)는 다음 두식에 의해 구할 수 있다.

$$V(j)=\sum_{i} V(i)\, P(i,j), \qquad i=0,1.$$

$$\sum_{j} V(j)=1, \qquad i=0,1. \quad \cdots\cdots\cdots(3.2)$$

$$V(0)=\beta(\alpha+\beta),\ V(1)=\alpha/(\alpha+\beta)$$

식(2.9)에서 P(i, j)=Pr[Yu+1=j/Yu=i]를 의미한다. 그러므로, 생산공정이 무한대일 경우, 평균공정불량률 p는

$$p=V(1)=\alpha/(\alpha+\beta) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(3.3)$$

이다. 식을 간편하게 하기 위하여 $q=1-p$, $\delta=\alpha+\beta$ 라고 하자.

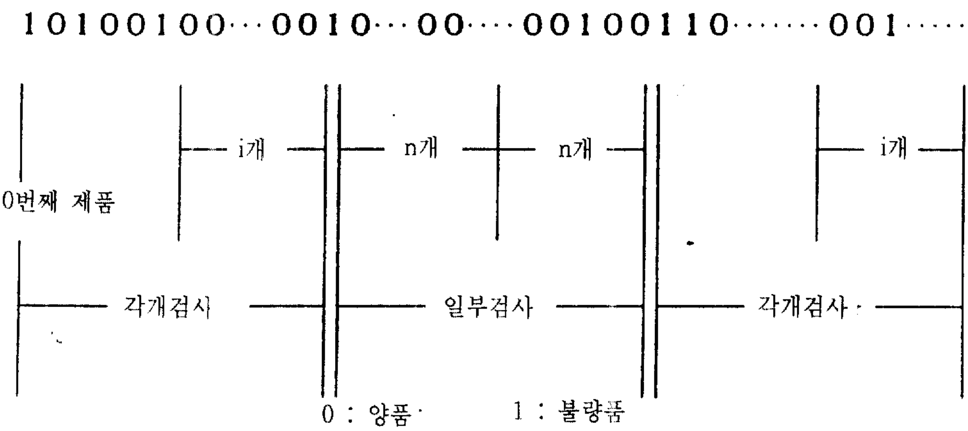
$$\max[0, 1-\delta^{-1}] < p < \min[\delta^{-1}, 1] \cdots\cdots\cdots(3.4)$$

확률변수 {Yu}의 n−단계 전이행렬은 식(2.3)과

같이 구해진다.

여기서 δ는 생산공정에 생산된 제품의 상태(양품 또는 불량품)가, 그 제품보다 먼저 생산된 제품의 상태와 관련된 정도를 나타내는 매개변수로 생각할 수 있다. $\phi=1-\delta$는 Markov chain의 연속상관계수이다.

CSP-1의 검사절차는 그림(3.1)과 같이 나타낼 수 있다.



(그림 3.1) CSP-1의 검사절차.

CSP-1을 시행하였을 때 검사작업은 베르누이 시행(Bernoulli trial)으로 볼 수 있으며, 이 시행의 검사를 나타내는 확률변수 Yu들의 확률과정 {Yu}는 Markov chain이 된다.

CSP-1에서는 로트를 형성하지 않고, 연속적으로 생산된 제품을 검사하므로, 아랫첨자 u를 u번째 제품을 생산된 시간으로 생각할 수 있다.

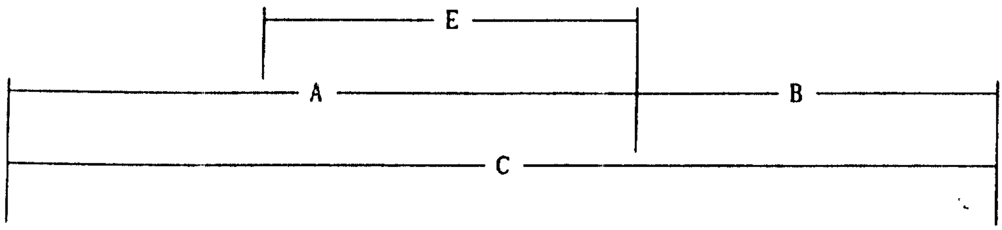
이산형 renewal process로 모형화하기 위하여, 우선 각개검사기간 동안에 만들어진 제품들만을 고려해 보자.

이들 제품의 상태를 나타내는 확률변수 Zj, i=1, 2,…를 다음과 같이 정의한다.

$$Z_j=\begin{cases} 0 : \text{각개검사기간 중 j번째 제품이 양품일 때} \\ 1 : \text{각개검사기간 중 j번째 제품이 불량품일 때} \end{cases}$$

CSP-1의 검사 특성상, 각개검사는 일부검사에서 불량품이 발생한 직후에 시작되므로 Markov chain {Zj, j=1, 2,…}은 길이 i인 양품의 런(run)이 발생한 직후의 상태가 항상 1이 되는 특성이 있다. 다음과 같은 연속적인 시행의 결과 C를 생각한다.

$$Z_1=z_1,\ \ Z_2=z_2,\ \cdots\cdots,\ Z_{t-i+1}=0,\ z_{t-i+2}=0,\ \cdots\cdots\ Z_t=0,\ Z_{t+1}=z_{t+1},\ \cdots\cdots,\ Z_{t+s}=z_{t+s} \quad \cdots\cdots(3.5)$$



(그림 3.2) CSP-1의 사건들

$$\begin{aligned} P[C/Z_0=1] &= P[Z_1=z_1,\ Z_2=z_2,\ Z_{t+s}=z_{t+s} 1 Z=1] \\ &= P(1,z_1)P(z_1,z_2)\cdots P(z_{t-i},0)P(0,0)\cdots P(0,0)P \\ &\quad (1,z_{t+1})\cdots P(z_{t+s-i},z_{t+s}) \\ &= P[Z_1=z_1,\cdots,\ Z_{t-i+1}=0,\cdots,Z_t=0 1 Z_0=1] \\ &\quad \cdot P[Z_{t+1}=z_{t+1},\cdots,\ Z_{t+s}=z_{t+s} 1 Z_t=1] \\ &= P[A \mid Z_0=1]\cdot P[B \mid Z_t=1] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(3.6) \end{aligned}$$

여기서 $P(i,\ j)=P[Z_{m+1}=j/Z_m=i],\ \ m=0,1,2\cdots$이고, A는 E의 발생으로 인하여 끝나는 연속적인 시행의 결과를 말하며, B는 A의 바로 다음에 발생하는 연속적인 시행의 결과이다. 그리고 E는 길이 i인 양품런의 발생이라고 볼 수 있다.

$E_r(r=1,\ 2,\cdots)$을 E의 r번째 발생이라고 하고, 앞에서 정의된 기호를 사용하면,

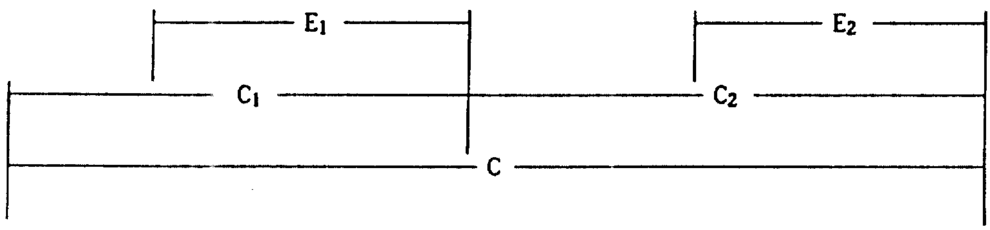
$$P[C \mid 1]=P[C_1 \mid 1]\ P[C_2 \mid 1]\cdots \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(3.7)$$

이다. 그러므로 최초의 상태 '1'을 갖는 연속적인 시행의 결과들 C_r $r=1,\ 2,\cdots$ 은 서로 독립인 사건들이다.

식(3.7)으로 부터 사건 E의 반복시간들(recurrent time)는 독립이며 같은 분포를 가짐을 알 수 있다.[Lloyd(1981)]

결국, '길이 i인 양품런'은 E는 CSP-1의 각개검사기간 동안의 i개의 양품이 연속적으로 발생한 것으로 생각할 수 있으므로, CSP-1의 각개검사기간 동안에 생산된 제품수의 분포역시 독립이며 같은 분포를 갖게 된다.

$$Z_1 = z_1, \cdots\cdots, \; Z_{t1-i+1} = 0 \; \cdots\cdots, \; Z_{t1} = 0, \; Z_{t1+1} = Z', \; \cdots\cdots, \; Z_{t2-i+1} = 0, \; \cdots\cdots, \; Z_{t2} = 0$$



C_1=첫번째 각개검사 C_2=두번째 각개검사

(그림 3.3) CSP-1의 각개검사

다음으로 일부검사기간 동안에 생산된 제품들의 분포에 대하여 생각해 보자. CSP-1을 적용하였을 때, 일부검사를 시작하기 바로 전에 검사받은 제품은 반드시 양품이어야 한다. 따라서 확률변수 X를 첫번째 일부검사에서 검사받은 제품의 갯수라고 하면,

X=x(x=1, 2, …)일 확률은 표(3.1)과 같다.

(표 3.1) P[X=x]

x	확률 P[X=x]
1	$P_{01}^{(n)}$
2	$P_{01}^{(n)}$, $P_{00}^{(n)}$
3	$P_{00}^{(n)}$, $P_{00}^{(n)}$, $P_{01}^{(n)}$
•	•
•	•
•	•

여기서, n은 일부검사에서의 검사비율의 역수이다. 따라서, 확률변수 X의 확률밀도함수(p, d, f) $f_x(x)$는

$$f_x(x) = [P_{00}^{(n)}]^{x-1} P_{01}^{(n)}, \; X = 1, 2, \cdots$$

가 된다. 일부검사에서 검사받은 제품의 갯수들 역시 서로 독립이며, 같은 분포인 기하분포를 갖는다.

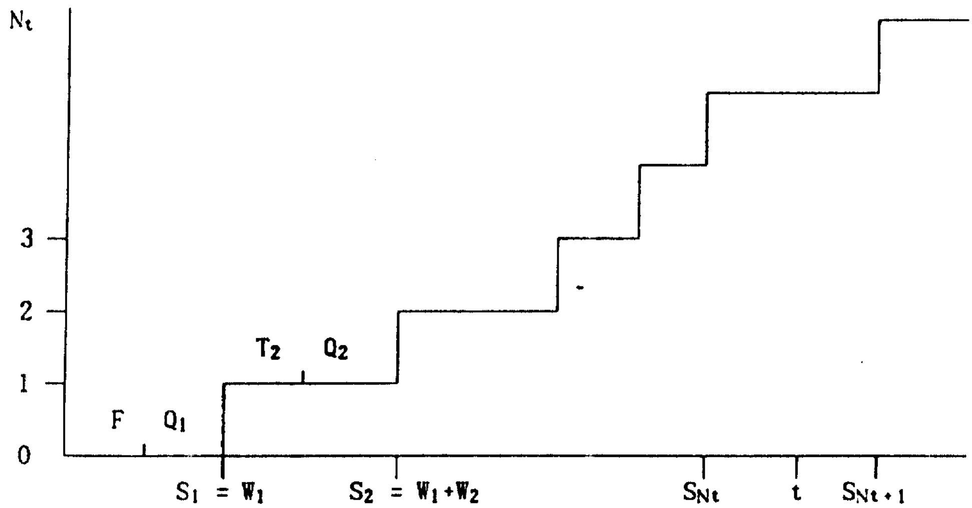
T_1을 첫번째 각개검사기간 동안에 생산된 제품의 수로, Q_1을 첫번째 일부검사기간 동안에 생산된 제품의 수로 정의한다.

$$T_1 = \min\{u \geq i, Y_{u-i+1} = \cdots = Yu = 0\}$$

Q_1은 첫번째 일부검사가 끝나는 시점으로 stopping time이 된다.[Ross(1983)] 그러므로 하나의 각개검사와 일부검사의 완결을 renewal 주기로, 이러한 주기 동안에 생산된 제품의 수를 renewal 구간으로 정의한다면 CSP-1의 적용결과로 발생하는 j번

째 renewal 주기 (j=1, 2, …)는 서로 독립이며, 같은 분포를 갖는 확률변수임을 알 수 있다.

j번째 renewal 주기의 마지막까지 생산된 제품의 총수를 $S_j=\sum_{k=1}^{j} W_k$로 정의하면, $S=\{S_n : n=1, 2, \dots\}$는 이산형 renewal과정이다.



(그림 3.4) CSP-1의 renewal 과정 모형

또는 생산기간 t일때 구간 [0,t]에서 완결된 renewal 주기의 수를 Nt라고 하면, $S_j \le t < S_{j+1}$일때 Nt=j이며, {Nt, t≥0)}역시 renewal 과정을 형성한다.[Feller(1971)] 그러므로 j번째 renewal 주기는 과정 {Yu}의 $u=S_{j-1}+1$번째 제품에서 시작되며, u=Sj번째 제품에서 끝난다.

이를 그림으로 표시하면 그림 (3.4)와 같다.

j번째 일부검사기간 동안에 검사받지 않고 통과한 불량품의 갯수를 Xj로, 같은 기간동안에 검사받은 제품의 수를 Mj로 표시하면 Xj와 {Yu}는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$X_j=\sum_{i} Y_i \quad \cdots\cdots (3.8)$$

식(3.8)에서 $\sum_{i}$는 구간 $[S_{j-1}+1, S_j]$에서 검사받지 않은 제품의 수인 (Qj−Mj)에 대하여 합한것이다.

생산기간이 t일때 구간 [1,t]는 Nt개의 renewal 구간과 (Nt+1)번째의 불완전 nenewal 구간인 $[S_{N_t}+1, t]$로 나눌 수 있다. 따라서 검사 받지 않고 통과한 불량품의 총갯수는

$$\sum_{j=1}^{N_t} X_j+R_t \quad \cdots\cdots (3.9)$$

가 된다. 여기서 Rt는 마지막 구간 $[S_{Nt}+1,t]$에서 검사받지 않고 통과한 불량품의 갯수이다.

그러므로, 생산기간이 t일때의 AOQ(t)를 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$AOQ(t)=E[\sum_{j=1}^{Nt} Xj+Rt]/t,\ t=1,2,\ \cdots\cdots\cdots\cdots(3.10)$$

CSP-1의 검사방식에서 지적한 바와 같이 검사 도중에 발견되는 제품은 선별(수리 또는 교환)되므로, 공정불량률이 p일때 항상 AOQ(t)≤p의 관계가 성립한다. 식(3.10)의 AOQ(t)로 부터 생산기간 t가 무한할때의 AOQ를 구할 수 있다.

$$AOQ=\lim_{t\to\infty} AOQ(t)$$
$$=E[X]/E[W]$$

여기서 $E[X]=E[X_j]$이고, $E[W]=E[W_j]$를 의미한다.

3. 결 론

일반적으로 CSP-1의 검사방식에서 AOQ란 생산공정기간이 무한한 경우, 검사받은 제품의 총 갯수에 대한, 검사에서 발견되지 않고 통과된 불량품의 수의 비율을 말한다. 생산공정에서 불량품의 발생비율을 그 제품의 앞에서 생산된 제품의 상태(양품 또는 불량품)와는 무관하다(time independent)고 가정되어 왔다. 그러나, 본 연구에서는 이러한 두개의 가정을 일반화 하여, Markov-dependent 생산공정에서 Markov chain이론과 renewal이론을 이용한 CSP-1의 renewal모형을 개발하였다.

향후 생산공정기간이 유한하고, Markov-dependent인 상황에서 더욱 정확한 AOQ(t)를 구할 수 있는 해법의 개발이 기대된다.

참 고 문 헌

1. Blackwell, M.T.R.(1977). "The Effect of Short Production Runs on CSP-1" Technometrics 19, 259-263.
2. Broadbent, S.R.(1958), "The Inspection of a Markov Process" J. of the Royal Stat. Society 20, pp.111-119.
3. Derman, C., Littauer, S., and Solomon, H.(1957), "Tightened Multi-level Continuous Sampling Plan," Annals of Math Statistics, Vol. 28, No.2, pp.395-404.
4. Derman, C., Johns, M.V., and Lieberman, G.J. (1959), "Continuous Sampling Procedure without Control," Annals of Math, Stat. Vol.30, No.4, pp. 1175-1191.
5. Dodge, H.F.(1943), "A Sampling Inspection Plan for Continuous Production" Annals of Math Statistics, Vol.14, No.3, pp.264-279.
6. Dodge, H.F.(1943), and Torey, M.N.(1951), "Additional Continuous Sampling Inspection Plans" Industrial Quality Control. Vol.7, No.1, pp.7-12.
7. Feller, W.(1971), An Intro. to Probability Theory and Its Applications(Vol.Ⅲ, 2dn ed.), John Wiely, New York.
8. Lieberman, G.J. and Solomon, H.(1955), "Multi-level Continuous Sampling Plans" Annals of Math. Statistics, Vol.26,No.9, pp.685-704.
9. Lieberman, G.J.,(1953), "A Note on Dodge's Continuous Inspection Plan" Annals of Math. Stat. pp.480-484.
10. Lloyd, E.(1981). Handbook of Applicable Math. (Vol, Ⅱ : Probability), John Wiely, New York.
11. Ross, S.M.(1983). Stochastic Process, John Wiely, New York.
12. SampathKumar, V.S(1984). "A Tightened m-level Continuous Sampling Plan for Markov-Dependent Production Processes" IIE Transactions, Vol.16, No.3, pp.257-261.
13. Yang, G.L.(1983), "A Renewal Process Approach to Continuous Sampling Plans" Technometrcs, Vol.25, No.1, pp.59-67.