

# VSI 런-규칙 관리도의 경제적-통계적 설계

강분규·임태진<sup>†</sup>

승실대학교 산업·정보시스템공학과

## Economic-Statistical Design of VSI Run Rules Charts

Bun-Kyu Kang·Tae-Jin Lim<sup>†</sup>

Dept. of Industrial & Information Systems Engineering, Soongsil University

Key Words : ATS, Economic Design, Run Rules, VSI Chart

### Abstract

This research proposes a method for designing VSI (Variable Sampling Interval) control charts with supplementary run rules. The basic idea is to apply various run rules and the VSI scheme to a control chart in order to increase the sensitivity. The sampling process of the VSI run rules chart is constructed by Markov chain approach. A procedure for designing the VSI run rules chart is proposed based on Lorenzen and Vance's model. Sensitivity study shows that the VSI run rules charts outperform the FSI (Fixed Sampling Interval) run rules charts for wide range of process mean shifts. A major advantage of the VSI run rules chart over other charts such as CUSUM, EWMA, and adaptive charts is its simplicity in implementation. Some useful guidelines are proposed based on the sensitivity study.

## 1. 서 론

통계적 공정관리의 주목적은 공정에 이상원인(assignable cause) 발생으로 인한 공정평균의 이동을 빠르게 감지하여 다량의 불량품이 발생하기 전에 적절한 조치를 취함으로써 공정의 생산 능력을 높이고자 하는 것이다.

현장에서 많이 사용되는 Shewhart  $\bar{X}$  관리도는 표본의 크기 및 샘플링간격을 일정하게 유지하여 표본을 추출하는 방법(Fixed Sample Size and Sampling Interval: FSSI)을 사용한다. Shewhart 관리도는 실제 공정에 구현하기 간단하며, 이상원인에 의한 공정 평균의 이동폭이 큰 경우에 이상원인의 발생유무를 빨리 감지할 수 있다는 장점이 있지만, 공정 평균의 이동폭이 작은 경우에 민감도가 상대적으로 떨어진다는 단점 또한 존재한다 [Montgomery, 2001]. 이러한 단점을 보완

하기 위해 누적합(CUMulative SUM: CUSUM) 관리도, 지수이동평균(Exponentially Weighted Moving Average: EWMA) 관리도, 적응형(adaptive) 관리도 등 다양한 방법들이 연구되어 왔으나, 배경 이론이 복잡하고 실제 운영상 어려운 점들이 있기 때문에 생산현장에서의 활용도는 그리 높지 않은 편이다.

Shewhart  $\bar{X}$  관리도의 민감도를 향상시키기 위한 다른 방법으로 런-규칙(run rules)에 대한 연구들도 진행되었다 [Champ and Woodal, 1987]. 런-규칙은 기존의 Shewhart 관리도에 부가적으로 사용되기 때문에, 다른 관리도들에 비해 실제 공정에 구현하여 사용하기가 수월하며, 새로운 관리도로 전환하는 비용이 거의 발생하지 않는다는 장점이 존재한다.

적응형 관리도는 통계량의 위치에 따라 표본의 크기나 샘플링 간격을 변화시키는 방법을 사용한다. 이는 크게 VSS (Variable Sample Size), VSI (Variable Sampling Interval), VSSI (Variable Sample Size and Sampling Interval) 등으로 나눌 수 있다. 다수의 공정에서 표본크기를 바꾸면 합리적 부분군(rational subgroup)의

<sup>†</sup> 교신저자 tjlim@ssu.ac.kr

※ 본 연구는 2009년도 승실대학교 연구비 지원으로 수행되었음

유지가 어려워지기 때문에 VSS 관리도나 VSSI 관리도의 사용은 제한적이다. 반면 VSI 관리도의 경우에는 샘플링간격만을 변화시키기 때문에 VSS 및 VSSI 관리도와 비교하였을 때 실제 문제에 적용 가능성이 가장 높다.

본 연구에서는 Shewhart  $\bar{X}$  관리도의 민감도를 향상시키기 위한 방법으로 런-규칙과 VSI 개념을 적용한 VSI-RR 관리도를 제안하고 그 특성을 분석하고자 한다. 통계적 성능 척도로는 이상원인 발생 후 이상신호 발생까지의 평균 런 길이(Average Run Length: ARL) 및 평균 소요시간(Average Time to Signal: ATS)등을 고려한다. 또한 Lorezen and Vance(1986) 모형에 기초하여 경제적-통계적 설계 절차를 구현하고, 그 경제성을 기존의 Shewhart  $\bar{X}$  관리도와 런-규칙을 적용한 FSSI 관리도와 비교한다.

런-규칙에 연구는 Page(1962)에 의해 시작되었으며, Champ & Woodall(1987)은 마코프 연쇄를 이용하여 최초로 ARL 계산 알고리즘을 제안하였다. Parkhideh and Parkhideh(1996)는 AT&T 런-규칙을 고려하여  $\bar{X}$  관리도를 Duncan(1956)의 비용모형으로 분석하여 경제적 측면에서도 이익이 발생된다는 결과를 보였다. Klein(2000)은 2 중 2 런-규칙과 2 중 3 런-규칙을 사용하는 관리도의 ARL 식을 도출하였다. 또한 런-규칙을 전환 규칙(switching rules)으로서 사용하는 VSI 관리도를 Amin and Letsinger(1991)가 제안하였다. Khoo and Ariffin(2006)과 Acosta-Mejia(2007)는 런-규칙의 적용을 위한 관리한계와 Shewhart 방법의 적용을 위한 관리한계, 즉 2개의 관리한계를 가지는 관리도의 통계적 성능을 분석하였다. 런-규칙을 사용하는 관리도의 경제적 분석은 많이 수행되지 않은 편인데, 최근 Kim et al.(2009)은 2 중 2 런-규칙과 2 중 3 런-규칙을 사용하는 관리도의 경제적 설계를 수행하였다.

VSI 관리도는 Reynolds et al.(1988), Das et al.(1997) 등에 의해 연구되었으며, 표본크기를 변화시키는 VSS 관리도에 대한 연구로는 Prabhu et al.(1993), Costa(1994) 등이 있다. 표본크기 및 샘플링간격을 동시에 변화시켜 그 성능을 높이는데 목적이 있는 VSSI 관리도는 Prabhu et al.(1994), Costa(1997), Prabhu et al.(1997) 등에 의해 연구되었고, Tagaras(1998)은 적응형 관리도의 설계에 대한 종합적인 비교연구를 수행하였다.

2절에서는 VSI 관리도와 런-규칙의 운영절차를 설명하고, 3절에서는 이들을 모두 적용한 VSI-RR 관리도를 설명하고, ARL 및 ATS 계산 방법을 제안하고,

VSI-RR 관리도의 경제적-통계적 설계 절차를 제시한다. 4절에서는 민감도 분석을 통한 VSI-RR 관리도의 성능을 고찰하고, 5절에서는 결론 및 가이드라인을 제시한다.

## 2. VSI 관리도와 런-규칙의 운영절차

본 연구에서 사용하는 기호는 다음과 같다.

$\Phi(\cdot)$  표준정규 누적분포함수

$\bar{X}_i$   $i$ 번째 표본 군의 표본평균

$Z_i$   $i$ 번째 표본 군의 표준화된 표본평균

### 설계모수(design parameters)

$w$  VSI-RR 관리도의 표준화된 임계한계

$k$  VSI-RR 관리도의 표준화된 관리한계

$h_1$  VSI-RR 관리도의 최소 샘플링 간격

$h_2$  VSI-RR 관리도의 최대 샘플링 간격

$n_0$  관리도의 고정 표본크기

### 공정모수(process parameters)

$\lambda$  이상원인 발생률

$\delta$  이상원인에 의한 공정평균의 이동폭,  $\mu_1 = \mu_0 + \delta\sigma$

$\gamma_1$  지시변수(이상원인을 조사하는 동안 공정이 멈추면 0, 아니면1)

$\gamma_2$  지시변수(공정을 수리하는 동안 공정이 멈추면 0, 아니면1)

### 비용모수(cost parameters)

$a$  고정 샘플링비용

$b$  단위당 가변 샘플링비용

$C_0$  관리상태에서 시간당 소요되는 비용

$C_1$  이상상태에서 시간당 소요되는 비용

$Y$  오류신호 한 건당 비용

$W$  이상원인의 조사 및 제거 비용

### 시간모수(time parameters)

$T_0$  오정보 조사에 소요되는 평균시간

$T_1$  이상원인에 대한 평균 조사시간

$T_2$  이상원인 제거에 소요되는 평균시간

$e$  하나의 관측치를 샘플링하고 검사 및 기록하는데 소요되는 평균시간

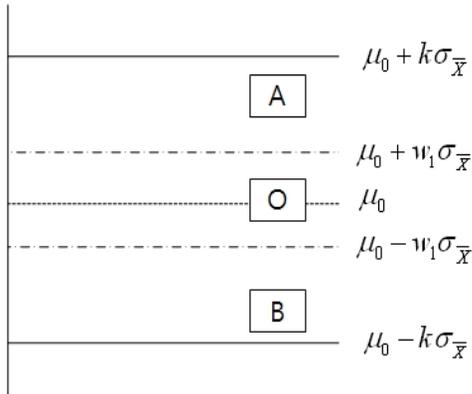


계한계선을 사용하면 관리도의 운용이 복잡해지므로, 본 연구에서는 가장 낮은 임계한계를 기준으로 VSI 방법을 적용한다. 즉, 현재의 점이 <그림 2>에서의 영역 O에 속하면 최대 샘플링간격  $h_2$ 를 적용하고 영역 O를 벗어나면 최소 샘플링간격  $h_1$ 을 적용한다.

### 3.1 ARL 및 ATS 계산

본 논문에서는 관리도에서 점들이 위치한 영역의 이력(history)을 벡터로 표시하여 마코프연쇄의 상태를 정의하고 상태간의 전이확률을 구하여 ARL 및 ATS를 계산한다.

런-규칙  $C_{13}$ 을 예로 들면 관리도의 영역은 <그림 2>와 같이 구성할 수 있다.



<그림 2> 런-규칙  $C_{13}$  적용 시 관리도

규칙  $C_3$ 에서 연속 5개의 점 중 네 개 이상의 점들이 영역 O를 벗어나는지 확인해야 하므로 <표 1>과 같이 최근 4개 점들의 위치 이력을 벡터로 표시하여 상태를 정의한다. 일례로써 상태 14(ABAO)는 최근 4개 점들의 위치가  $A \leftarrow B \leftarrow A \leftarrow O$ 였음을 나타내며, 다음 점이 영역 O, A, B 등에 위치하면 각각 (OABA), (AABA), (BABA)로 전이한다(1단계). 이와 같이 상태를 정의하면 총  $3^4 = 81$ 개의 상태가 필요하지만, 다음의 전이를 고려하면 (OABA)는 (OAOO), (AABA)는 (AAOA), (BABA)는 (BABO)와 차이가 없다. 이와 같이 상태들을 병합하면, <표 1>에 나타난 바와 같이 29개의 과도상태만으로 마코프 연쇄를 구성할 수 있다(2단계). 3단계에서는 다음 점이 영역 O, A, B 등에 위치할 때, 각각 다음 전이하는 상태의 번호를 할당한다.

다. 일례로써 상태 14(ABAO)로부터의 전이확률은 다음과 같다.

$$P_{14,4} = p_O(\delta) = \Phi(w_1 - \delta\sqrt{n}) - \Phi(-w_1 - \delta\sqrt{n}),$$

$$P_{14,20} = p_A(\delta) = \Phi(k - \delta\sqrt{n}) - \Phi(w_1 - \delta\sqrt{n}),$$

$$P_{14,15} = p_B(\delta) = \Phi(-w_1 - \delta\sqrt{n}) - \Phi(-k - \delta\sqrt{n}),$$

$$P_{14,j} = 0, \quad \forall j \neq 4, 15, 20$$

이와 같이 구성된 과도상태의 전이행렬을  $Q_\delta = ((P_{i,j}))$ 라 하면, 마코프 연쇄의 특성에 따라  $(I - Q_\delta)^{-1}$ 의  $(i,j)$  원소는 상태  $i$ 에서 시작하여 상태  $j$ 로 보낸 회수의 기댓값이 된다. 따라서 정상(stationary) 상태에서 이상원인이 발생 후 이상신호 발생까지의 기대회수는 다음과 같다.

$$ARL_\delta = b^T(I - Q_\delta)^{-1}1 \tag{6}$$

단,  $I$ 는 런-규칙의 흡수상태를 제외한 전이행렬의 상태정의 개수( $s$ )에 따른  $s \times s$  단위행렬이며,  $1$ 은  $s \times 1$  단위 열벡터를 나타낸다. VSI 방법을 적용하면, 마지막 타점이 찍힌 영역에 따라 다음 샘플링 간격을 결정한다.

$$h_{(i+1)} = \begin{cases} h_1 & \text{if } k < Z_i < w_1 \\ h_2 & \text{if } -w_1 < Z_i < w_1 \\ h_1 & \text{if } -k < Z_i < -w_1 \end{cases} \tag{7}$$

각 상태에서 취하는 샘플링 간격을 벡터로 나타내면  $h^T = (h_2, h_1, h_1, h_2, h_2, h_1, \dots, h_1)$ 와 같고, 이상신호가 발생하기까지의 평균시간은 다음과 같다.

$$ATS_\delta = b^T(I - Q_\delta)^{-1}h^T \tag{8}$$

위 식은 마코프 연쇄의 특성에서 비롯된 것으로 이상원인의 개수와는 무관하게 적용된다. 초기상태 확률벡터  $b$ 는 관리상태가 지속된 정상상태를 가정하였으므로 다음과 같이 계산한다.

$$b^T = b^T Q_{0,C}, \tag{9}$$

단,  $Q_{0,C}$ 는 전이행렬  $Q_\delta$ 에서  $\delta = 0$ 이고, 각 행의 합이 1이 되도록 (즉, 흡수상태로 전이하지 않도록) 정규화시킨 조건부 행렬을 나타낸다.

### 3.2 단위시간당 비용함수

본 연구에서는 단위시간당 기대비용을 경제적-통계적 성능의 척도로 사용하며, 이를 계산하기 위해서 기대 주기시간과 주기당 기대비용을 구한다.

<표 1>  $C_{13}$  런-규칙 관리도의 상태정의와 전이표

No	States	1 단계			2단계			3단계		
		O	A	B	O	A	B	O	A	B
1	OOOO	OOOO	AOOO	BOOO	OOOO	AOOO	BOOO	1	2	3
2	AOOO	OAOO	AAOO	BAOO	OAOO	AAOO	BAOO	4	8	7
3	BOOO	OBOO	ABOO	BBOO	OBOO	ABOO	BBOO	5	6	9
4	OAOO	OAOA	AOAO	BOAO	OOOO	AOAO	BOOO	1	10	3
5	OBOO	OBOB	AOBO	BOBO	OOOO	AOOO	BOBO	1	2	11
6	ABOO	OABO	AABO	BABO	OAOO	AAOO	BABO	4	8	15
7	BAOO	OBAO	ABAO	BBAO	OBOO	ABAO	BBOO	5	14	9
8	AAOO	OAAO	AAA O	BAAO	OAAO	AAA O	BAAO	12	18	16
9	BBOO	OBBO	ABBO	BBBO	OBBO	ABBO	BBBO	13	17	19
10	AOAO	OAOA	AAOA	BAOA	OAOO	AAOA	BAOO	4	20	7
11	BOBO	OBOB	ABOB	BBOB	OBOO	ABOO	BBOB	5	6	21
12	OAAO	OAAA	AOAA	BOAA	OOOO	AOAA	BOOO	1	22	3
13	OBBO	OBBB	AOBB	BOBB	OOOO	AOOO	BOBB	1	2	23
14	ABAO	OABA	AABA	BABA	OAOO	AAOA	BABO	4	20	15
15	BABO	OBAB	ABAB	BBAB	OBOO	ABAO	BBOB	5	14	21
16	BAAO	OBAA	ABAA	BBAA	OBOO	ABAA	BBOO	5	26	9
17	ABBO	OABB	AABB	BABB	OAOO	AAOO	BABB	4	8	27
18	AAAO	OAAA	AAAA	BAAA	OAAA	AAAA	BAAA	24	30	28
19	BBBO	OB BB	ABBB	BBBB	OB BB	ABBB	BBBB	25	29	30
20	AAOA	OAAO	AAAO	BAAO	OAAO	AAAO	BAAO	12	18	16
21	BBOB	OBBO	ABBO	BBBO	OBBO	ABBO	BBBO	13	17	19
22	AOAA	OAOA	AAOA	BAOA	OAOO	AAOA	BAOO	4	20	7
23	BOBB	OBOB	ABOB	BBOB	OBOO	ABOO	BBOB	5	6	21
24	OAAA	OAAA	AOAA	BOAA	OOOO	AOAA	BOOO	1	22	3
25	OBBB	OBBB	AOBB	BOBB	OOOO	AOOO	BOBB	1	2	23
26	ABAA	OABA	AABA	BABA	OAOO	AAOA	BABO	4	20	15
27	BABB	OBAB	ABAB	BBAB	OBOO	ABAO	BBOB	5	14	21
28	BAAA	OBAA	ABAA	BBAA	OBOO	ABAA	BBOO	5	26	9
29	ABBB	OABB	AABB	BABB	OAOO	AAOO	BABB	4	8	27
30	흡수상태									

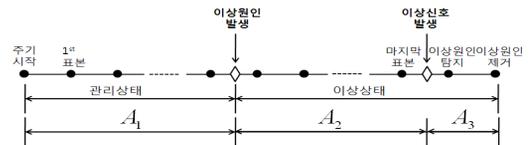
3.2.1 기대주기 계산

<그림 3>에 나타난 바와 같이 하나의 주기는 관리상태 지속시간, 이상신호 발생까지의 경과시간, 그리고 조사와 수리시간 등을 포함하며 Lorenzen and Vance (1986) 모형에 기초하여 다음과 같이 구성된다.

$$E[T_{cycle}] = A_1 + A_2 + A_3 \tag{10}$$

- ① 관리상태 지속시간( $A_1$ )
- ② 이상원인 방치시간( $A_2$ )

③ 이상원인 탐색 및 제거시간( $A_3$ )



<그림 3> 공정의 기대 주기

관리상태 지속시간( $A_1$ )은 이상원인 발생까지의 평균 시간  $1/\lambda$ 에 오류신호 발생 시 공정이 정지하는 경우의

이상원인 조사시간이 추가될 수 있으므로 다음과 같이 나타낸다.

$$A_1 = 1/\lambda + (1 - \gamma_1) T_0 E[FA] \quad (11)$$

단,  $E[FA]$ 는 평균 오류신호 발생횟수로 다음과 같다.

$$E[FA] = S_0 / ARL_0 \quad (12)$$

$S_0$ 는 관리상태에서 관측되는 표본의 기대회수이며 각각 샘플링 간격  $h_i$ 를 사용하는 표본의 비율을  $f_i (i=1, 2)$ 라고 하면 다음과 같다.

$$S_0 = \frac{\pi_1 e^{-\lambda h_1} + \pi_2 e^{-\lambda h_2}}{1 - [\pi_1 e^{-\lambda h_1} + \pi_2 e^{-\lambda h_2}]} \quad (13)$$

$$\text{단, } \pi_1 = \frac{\Pr(Z \in [-k, -w_1] \cup (w_1, k])}{\Pr(Z \in [-k, k])},$$

$$\pi_2 = \frac{\Pr(Z \in [-w_1, w_1])}{\Pr(Z \in [-k, k])}.$$

이상원인 방치시간( $A_2$ )은 이상원인 발생시점부터 이상신호 발생까지의 소요시간으로 다음과 같다.

$$A_2 = E_c[H - X] + E_\delta[H](ARL_\delta - 1), \quad (14)$$

$$\text{단, } E_c[H - X] = \frac{(h_1 - \tau_1)\pi_1 h_1 + (h_2 - \tau_2)\pi_2 h_2}{\pi_1 h_1 + \pi_2 h_2}$$

$$E_\delta[H] = \frac{b^T Q_\delta (I - Q_\delta)^{-1} h}{b^T Q_\delta (I - Q_\delta)^{-1} \mathbf{1}},$$

$$\tau_i = \frac{1 - (1 + \lambda h_i) e^{-\lambda h_i}}{\lambda (1 - e^{-\lambda h_i})}.$$

이상원인 탐색 및 제거시간에는 마지막 표본의 분석 시간과 이상원인의 조사시간 및 제거시간 등이 포함되므로 다음과 같이 나타낸다.

$$A_3 = en + T_1 + T_2 \quad (15)$$

### 3.2.2 주기당 기대비용

공정의 주기당 기대비용은 위에서 계산한 시간요소들과 각 요소에 해당되는 기대비용의 곱으로 나타낼 수 있다. 비용함수에서 고려해야 할 비용요소는 다음과 같다.

$$E[C_{cycle}] = B_1 + B_2 + B_3 + W \quad (16)$$

① 공정운영비용( $B_1$ )

② 샘플링 비용( $B_2$ )

③ 오류신호 비용( $B_3$ )

④ 이상원인 조치비용( $W$ )

공정이 관리상태에 있는 동안 불량품생산에 의해 소요되는 시간당 기대비용은  $C_0$ 이고, 이상상태동안 불량품생산으로 인해 소요되는 시간당 기대비용은  $C_1$ 으로 나타낸다. 이처럼 불량품에 따른 주기당 공정운영비용은 관리상태와 이상상태로 구분하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$B_1 = C_0/\lambda + C_1 (E[A_2] + E[A'_3]) \quad (17)$$

단,  $E[A'_3] = en + \gamma_1 T_1 + \gamma_2 T_2$  이다.

샘플링비용 또한 관리상태와 이상상태로 나누어 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$B_2 = (a + bn)s + (a + bn)(AATS_\delta + E[A'_3])/E_\delta[H] \quad (18)$$

마지막으로 오류신호에 대한 기대비용은 다음과 같다.

$$B_3 = E[FA]Y \quad (19)$$

### 3.3 경제적-통계적 설계

런-규칙을 고려한 VSI-RR 관리도에 대한 최적 설계모수는 다음과 같은 통계적 제약 하에서 비용함수를 최소화하여 구할 수 있다.

$$\text{Minimize } E[C_{hr}] = E[C_{cycle}]/E[T_{cycle}] \quad (20)$$

$$\text{Subject to } ATS_0 > lb, \quad ATS_\delta < ub$$

단,  $lb$ 는 관리상태일 때  $ATS_0$ 의 하한을,  $ub$ 는 이상상태일 때의  $ATS_\delta$ 의 상한을 나타낸다.

식 (20)으로부터 VSI-RR 관리도의 최적 설계모수  $n^*, h_1^*, h_2^*, w_1^*, w_2^*, k^*$ 를 구한다.

## 4. 민감도 분석

VSI-RR 관리도의 경제적-통계적 성능을 평가하기 위하여 시간당 기대 비용 및 비용 감소율 등을 FSSI 관리도 및 런-규칙을 고려한 FSSI (FSSI-RR) 관리도와 비교·분석하였다.

분석에 사용된 각종모수는 <표 2>와 <표 3>에 나타내었다. <표 2>는 공통적으로 사용된 고정 모수의 값이

고, <표 3>은 공정모수와 비용모수로서  $\lambda, C_0, C_1, W, a, b, Y, \delta$  등 8개의 인자에 대해 2개 수준을 이용하여 16회 일부실시 실험을 계획한 것이다. 본 연구에서는 식 (20)을 최적화하기 위하여 MATLAB 7.6.0(R2008a) 소프트웨어를 사용하였다.

<표 2> 고정 모수

고정모수	값
$\gamma_1$	1
$\gamma_2$	0
$T_0$	5.5
$T_1$	3.5
$T_2$	8.0
$e$	0.275
$ub$	8
$lb$	500

<표 3> 공정모수와 비용모수

No	$\delta$	$\lambda$	$C_0$	$C_1$	$W$	$a$	$b$	$Y$
1	0.5	0.01	100	250	150	1	0.2	200
2	1	0.05	100	250	150	1	0.6	500
3	1	0.01	200	250	150	2	0.2	500
4	0.5	0.05	200	250	150	2	0.6	200
5	0.5	0.01	100	500	150	2	0.6	500
6	1	0.05	100	500	150	2	0.2	200
7	1	0.01	200	500	150	1	0.6	200
8	0.5	0.05	200	500	150	1	0.2	500
9	1	0.01	100	250	300	2	0.6	200
10	0.5	0.05	100	250	300	2	0.2	500
11	0.5	0.01	200	250	300	1	0.6	500
12	1	0.05	200	250	300	1	0.2	200
13	1	0.01	100	500	300	1	0.2	500
14	0.5	0.05	100	500	300	1	0.6	200
15	0.5	0.01	200	500	300	2	0.2	200
16	1	0.05	200	500	300	2	0.6	500

<표 2>와 <표 3>의 입력 모수를 바탕으로 FSSI 관리도, FSSI-RR 관리도, VSI-RR 관리도 등의 최소 비용 및 최적 설계모수를 계산하여 이를 <표 4> ~ <표 13>

에 나타내었다. 각 표의 마지막 두 열은 FSSI 관리도 및 FSSI-RR 관리도의 최적 비용에 대한 감소량을 나타낸다. 모든 경우에 있어서 VSI 방법을 적용한 관리도가 더 우수한 결과를 보이고 있다.

<표 4> ~ <표 13>에 나타난 바와 같이 VSI-RR 관리도는 FSSI 관리도에 비해  $14 > 8 > 5$ 의 순으로 높은 비용 감소율을 보이고 있어, 공정평균의 이동폭( $\delta$ )이 상대적으로 작고, 이상원인 발생률( $\lambda$ )이 크며, 관리상태에서의 운용비용( $C_0$ )이 작고, 이상상태에서의 운용비용( $C_1$ )이 큰 경우에 효율적임을 알 수 있다.

<표 4>  $C_{12}$  VSI-RR 관리도의 설계 ( $h_1 = 0.1$ )

No	$n_0$	$h_2$	$w$	$k$	$ATS_0$	$ATS$	Cost	FSSI	RR
1	15	1.55	1.92	3.76	500.0	3.6	111.73	-4.32	-1.78
2	5	0.84	2.06	3.74	500.0	1.6	114.31	-4.96	-2.29
3	8	3.18	2.09	3.62	2010.7	2.9	192.71	-0.83	-0.70
4	14	1.93	1.88	3.55	500.0	4.6	184.53	-5.93	-2.49
5	14	1.46	1.93	3.79	500.0	3.9	140.51	-11.51	-4.72
6	5	0.40	2.21	3.97	500.0	1.0	157.23	-9.74	-2.86
7	6	1.46	1.94	3.63	500.1	1.7	209.02	-3.86	-2.39
8	12	0.33	2.24	4.18	500.0	2.3	244.00	-18.85	-2.50
9	6	2.44	1.84	3.41	500.0	2.5	108.47	-1.97	-1.57
10	14	0.82	2.06	3.87	500.0	2.8	132.93	-9.16	-2.37
11	15	4.90	1.67	3.31	500.0	7.4	198.70	-2.88	-1.42
12	5	0.79	2.08	3.77	500.0	1.5	174.11	-2.47	-1.15
13	5	0.69	2.10	3.92	500.0	1.4	121.35	-3.99	-1.95
14	12	0.54	2.14	4.05	500.0	3.0	203.90	-24.40	-4.88
15	14	1.06	2.00	3.88	500.0	3.2	220.80	-7.91	-2.82
16	5	0.63	2.12	3.84	500.0	1.3	224.24	-9.13	-3.61

<표 5>  $C_{13}$  VSI-RR 관리도의 설계 ( $h_1 = 0.1$ )

No	$n_0$	$h_2$	$w$	$k$	$ATS_0$	$ATS_\delta$	Cost	FSSI	RR
1	9	1.14	1.14	3.73	500.0	3.9	110.63	-5.41	-2.38
2	4	0.86	1.25	3.43	500.0	1.5	113.38	-5.89	-3.28
3	6	3.13	1.36	3.37	2312.0	3.1	192.66	-0.89	-0.86
4	7	1.08	1.14	3.84	500.0	5.6	184.26	-6.20	-2.23
5	9	1.15	1.14	3.72	500.0	4.0	137.40	-14.62	-6.29
6	4	0.43	1.32	3.70	500.0	1.0	154.97	-12.01	-4.28
7	4	1.23	1.19	3.37	500.0	1.9	208.28	-4.60	-3.69
8	9	0.32	1.32	4.22	500.0	2.1	235.97	-26.87	-3.09
9	5	2.53	1.21	2.97	500.0	2.5	108.34	-2.10	-2.01
10	10	0.75	1.21	3.78	500.0	2.7	129.70	-12.39	-3.39
11	12	4.66	1.04	3.01	624.4	7.3	198.48	-3.10	-1.94
12	4	0.83	1.25	3.45	500.0	1.5	173.72	-2.86	-1.78
13	4	0.73	1.25	3.58	508.9	1.4	120.43	-4.92	-3.02
14	9	0.50	1.26	4.03	500.0	2.5	193.83	-34.48	-6.28
15	11	1.11	1.16	3.62	500.0	2.9	218.32	-10.39	-4.15
16	4	0.65	1.28	3.55	500.0	1.3	222.34	-11.02	-5.27

<표 7>  $C_{15}$  VSI-RR 관리도의 설계 ( $h_1 = 0.1$ )

No	$n_0$	$h_2$	$w$	$k$	$ATS_0$	$ATS_\delta$	Cost	FSSI	RR
1	15	1.66	1.77	3.60	500.0	3.6	111.69	-4.36	-2.09
2	5	0.90	1.92	3.63	500.0	1.6	114.30	-4.98	-2.54
3	7	3.09	1.91	3.57	1581.9	3.0	192.67	-0.87	-0.72
4	14	2.09	1.74	3.41	500.0	4.7	184.59	-5.87	-2.78
5	15	1.72	1.77	3.59	500.0	3.7	140.40	-11.62	-5.57
6	5	0.43	2.07	3.85	500.0	1.1	157.47	-9.51	-3.43
7	6	1.55	1.80	3.50	500.0	1.7	208.87	-4.01	-2.63
8	13	0.40	2.08	3.97	500.0	2.3	245.24	-17.61	-3.32
9	6	2.57	1.70	3.28	500.0	2.4	108.37	-2.07	-1.64
10	14	0.88	1.92	3.72	500.0	2.9	133.21	-8.88	-2.90
11	15	5.00	1.53	3.16	500.0	7.1	198.62	-2.96	-2.01
12	5	0.84	1.94	3.65	500.0	1.5	174.11	-2.48	-1.25
13	6	0.88	1.92	3.68	500.0	1.2	121.25	-4.09	-2.19
14	13	0.65	1.98	3.83	500.0	2.9	204.99	-23.31	-6.29
15	15	1.23	1.84	3.68	500.0	3.1	220.80	-7.91	-3.37
16	5	0.67	1.98	3.72	500.0	1.4	224.31	-9.06	-4.13

<표 6>  $C_{14}$  VSI-RR 관리도의 설계 ( $h_1 = 0.1$ )

No	$n_0$	$h_2$	$w$	$k$	$ATS_0$	$ATS_\delta$	Cost	FSSI	RR
1	12	2.44	0.55	3.09	500.0	3.8	111.7	-4.36	-3.13
2	5	1.34	1.00	3.11	500.0	1.7	115.4	-3.88	-3.73
3	8	3.71	1.55	3.11	1766.9	2.9	192.8	-0.72	-0.72
4	13	3.22	0.79	2.90	500.0	5.1	186.5	-4.01	-3.66
5	12	2.49	0.56	3.08	500.0	3.9	140.4	-11.66	-8.11
6	4	0.67	0.56	3.48	500.0	1.3	158.5	-8.50	-5.56
7	5	1.81	0.92	3.04	500.0	1.9	209.1	-3.77	-3.77
8	8	0.47	0.40	4.09	500.0	2.6	239.8	-23.09	-2.86
9	6	2.96	1.24	2.83	500.0	2.6	108.7	-1.76	-1.76
10	9	1.28	0.38	3.50	500.0	3.2	132.8	-9.25	-3.64
11	15	5.00	1.11	2.68	500.0	7.0	199.2	-2.36	-1.54
12	5	1.27	0.98	3.14	500.0	1.6	174.7	-1.91	-1.82
13	5	1.16	0.81	3.21	500.0	1.4	121.3	-4.08	-3.88
14	8	0.81	0.37	3.83	500.0	3.0	199.7	-28.62	-6.28
15	12	1.95	0.52	3.18	500.3	3.2	220.3	-8.37	-5.19
16	4	0.98	0.63	3.33	500.0	1.5	225.9	-7.48	-6.66

<표 8>  $C_{16}$  VSI-RR 관리도의 설계 ( $h_1 = 0.1$ )

No	$n_0$	$h_2$	$w$	$k$	$ATS_0$	$ATS_\delta$	Cost	FSSI	RR
1	10	1.83	0.69	3.17	500.0	3.6	110.61	-5.43	-3.29
2	4	1.09	0.90	3.19	500.0	1.6	113.90	-5.37	-4.06
3	7	3.59	1.35	3.19	2319.7	3.0	192.75	-0.79	-0.78
4	10	2.37	0.73	3.00	500.0	4.4	183.67	-6.79	-4.38
5	10	1.86	0.69	3.16	500.0	3.6	137.42	-14.61	-8.76
6	4	0.56	0.89	3.45	500.0	1.1	155.54	-11.43	-5.92
7	4	1.53	0.85	3.09	500.0	1.9	208.44	-4.44	-4.12
8	9	0.43	0.82	3.85	500.0	2.2	236.77	-26.08	-5.36
9	5	2.76	1.06	2.83	500.0	2.6	108.49	-1.95	-1.91
10	10	1.07	0.75	3.38	500.0	2.7	130.19	-11.91	-4.85
11	12	5.00	0.83	2.83	771.9	7.2	198.84	-2.74	-1.77
12	4	1.05	0.89	3.20	500.0	1.5	173.98	-2.61	-2.06
13	4	0.91	0.86	3.40	655.7	1.4	120.66	-4.68	-3.61
14	9	0.70	0.77	3.63	500.0	2.6	194.42	-33.88	-10.34
15	11	1.55	0.72	3.21	500.0	2.9	218.43	-10.28	-5.61
16	4	0.84	0.88	3.29	500.0	1.3	223.03	-10.34	-6.84

<표 9>  $C_{123}$  VSI-RR 관리도의 설계 ( $h_1 = 0.1$ )

No	$n_0$	$h_2$	$w_1$	$w_2$	$k$	$ATS_0$	$ATS_\delta$	Cost	FSSI	RR
1	10	1.42	1.12	2.12	4.24	500.6	3.3	109.95	-6.10	-2.52
2	4	0.92	1.28	2.16	3.62	500.0	1.4	112.57	-6.70	-3.07
3	6	3.16	1.43	2.26	3.69	3192.0	2.9	192.49	-1.06	-0.91
4	10	1.84	1.12	2.04	3.55	500.0	4.0	181.84	-8.62	-3.63
5	10	1.44	1.13	2.12	3.80	500.0	3.4	135.63	-16.40	-6.69
6	4	0.47	1.34	2.32	3.90	500.0	0.9	153.44	-13.53	-4.35
7	4	1.31	1.19	2.06	5.45	501.2	1.7	207.73	-5.15	-3.32
8	9	0.35	1.31	2.48	4.34	500.0	1.9	234.26	-28.59	-3.96
9	5	2.55	1.27	1.95	3.23	588.1	2.3	108.03	-2.41	-1.97
10	10	0.82	1.21	2.25	3.94	500.0	2.5	128.53	-13.56	-3.67
11	12	4.76	1.10	1.91	3.40	856.0	6.9	198.13	-3.45	-1.81
12	4	0.89	1.28	2.17	3.64	500.0	1.4	173.26	-3.33	-1.65
13	4	0.76	1.29	2.28	3.91	636.1	1.3	119.92	-5.42	-2.78
14	9	0.55	1.25	2.37	4.16	500.0	2.3	190.99	-37.31	-7.64
15	11	1.22	1.16	2.16	3.82	500.0	2.7	217.37	-11.35	-4.22
16	4	0.70	1.30	2.22	3.74	500.0	1.2	220.86	-12.51	-5.09

<표 11>  $C_{156}$  VSI-RR 관리도의 설계 ( $h_1 = 0.1$ )

No	$n_0$	$h_2$	$w_1$	$w_2$	$k$	$ATS_0$	$ATS_\delta$	Cost	FSSI	RR
1	9	1.74	0.73	1.86	3.52	500.0	3.4	109.97	-6.08	-2.97
2	3	0.87	0.85	2.01	3.65	502.9	1.6	112.90	-6.37	-3.33
3	6	3.36	1.31	2.08	3.55	3010.0	2.9	192.53	-1.01	-0.86
4	9	2.15	0.78	1.80	3.35	500.0	4.1	182.06	-8.40	-4.18
5	10	1.92	0.76	1.82	3.44	500.0	3.2	135.61	-16.41	-8.02
6	4	0.58	0.95	2.09	3.67	500.0	0.9	153.46	-13.51	-5.51
7	4	1.52	0.95	1.86	3.37	500.0	1.7	207.70	-5.18	-3.59
8	9	0.48	0.84	2.20	4.02	500.0	1.9	234.17	-28.68	-6.24
9	5	2.65	1.21	1.76	3.11	516.8	2.4	108.08	-2.36	-1.91
10	9	1.01	0.78	2.00	3.70	500.0	2.6	128.56	-13.53	-4.82
11	12	5.00	0.94	1.70	3.20	880.3	6.7	198.29	-3.29	-1.74
12	4	1.05	1.01	1.95	3.43	500.1	1.4	173.38	-3.21	-1.74
13	4	0.92	0.93	2.09	3.74	820.0	1.3	119.91	-5.43	-3.11
14	8	0.64	0.80	2.14	3.96	500.0	2.5	190.53	-37.77	-11.19
15	10	1.49	0.76	1.89	3.54	500.0	2.7	217.20	-11.51	-5.25
16	4	0.85	0.98	2.00	3.52	500.0	1.2	221.10	-12.27	-5.98

<표 10>  $C_{134}$  VSI-RR 관리도의 설계 ( $h_1 = 0.1$ )

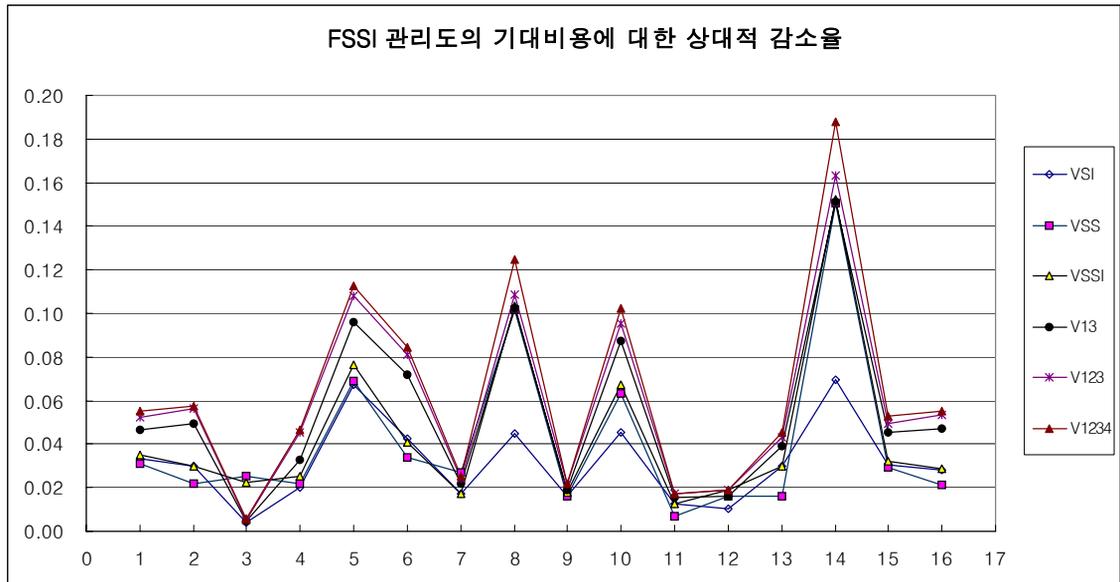
No	$n_0$	$h_2$	$w_1$	$w_2$	$k$	$ATS_0$	$ATS_\delta$	Cost	FSSI	RR
1	9	1.70	0.70	1.09	3.33	500.0	3.4	110.05	-5.99	-2.65
2	3	0.86	0.79	1.21	3.45	500.0	1.6	113.07	-6.21	-3.39
3	6	3.26	1.28	1.42	3.36	2983.4	3.0	192.65	-0.90	-0.87
4	9	1.82	0.89	1.08	3.29	500.0	4.3	182.48	-7.98	-3.54
5	8	1.62	0.63	1.08	3.40	501.2	3.6	135.92	-16.10	-6.91
6	3	0.53	0.63	1.28	3.63	500.0	1.1	153.79	-13.18	-5.12
7	4	1.45	0.94	1.21	3.15	500.0	1.7	208.03	-4.85	-3.84
8	7	0.50	0.43	1.27	4.02	500.0	1.9	230.92	-31.92	-5.53
9	5	2.80	1.07	2.77	2.77	500.0	2.7	108.65	-1.79	-1.70
10	8	1.02	0.59	1.15	3.58	500.0	2.6	128.26	-13.83	-3.97
11	11	4.64	0.91	1.06	3.05	855.7	7.4	198.46	-3.12	-1.93
12	4	0.96	1.05	1.26	3.29	500.0	1.4	173.60	-2.99	-1.82
13	4	0.94	0.81	1.34	3.60	1153.9	1.3	120.08	-5.26	-3.25
14	6	0.66	0.40	1.23	3.99	500.0	2.5	186.52	-41.78	-10.16
15	9	1.41	0.66	1.11	3.40	500.8	2.9	217.32	-11.40	-4.62
16	3	0.71	0.73	1.24	3.52	500.0	1.4	221.58	-11.79	-5.74

<표 12>  $C_{1234}$  VSI-RR 관리도의 설계 ( $h_1 = 0.1$ )

No	$n_0$	$h_2$	$w_1$	$w_2$	$w_3$	$k$	$ATS_0$	$ATS_\delta$	Cost	FSSI	RR
1	9	1.71	0.75	1.13	2.04	3.66	500.0	3.2	109.67	-2.60	-0.42
2	3	0.86	0.87	1.26	2.18	3.74	500.0	1.5	112.39	-3.15	-0.59
3	6	3.24	1.38	1.49	2.26	3.68	3523.0	2.9	192.48	-0.92	-0.05
4	9	1.85	0.94	1.12	2.03	3.57	500.0	4.0	181.58	-3.61	-1.15
5	9	1.73	0.76	1.13	2.04	3.65	500.3	3.2	134.87	-6.89	-1.17
6	4	0.58	0.96	1.36	2.24	3.74	500.0	0.9	152.86	-4.70	-0.86
7	4	1.46	1.01	1.27	2.02	3.48	500.0	1.6	207.55	-3.48	-0.23
8	7	0.52	0.45	1.29	2.39	4.21	500.1	1.8	230.03	-6.21	-2.35
9	4	2.36	1.08	1.22	1.92	3.32	517.3	2.5	108.02	-1.98	-0.06
10	8	1.02	0.65	1.19	2.19	3.85	500.0	2.5	127.54	-4.03	-1.48
11	11	4.71	0.96	1.12	1.92	3.43	928.6	7.0	198.11	-1.80	-0.22
12	4	0.96	1.14	1.31	2.13	3.55	500.0	1.3	173.22	-1.67	-0.25
13	4	0.94	0.88	1.39	2.30	3.91	1135.2	1.2	119.64	-3.00	-0.41
14	7	0.76	0.49	1.23	2.28	4.03	500.1	2.2	185.37	<sup>-10.9</sup> <sub>8</sub>	-2.78
15	9	1.42	0.71	1.16	2.09	3.72	500.0	2.7	216.67	-4.56	-0.75
16	3	0.71	0.80	1.28	2.22	3.80	500.1	1.3	220.43	-5.33	-1.01

<표 13>  $C_{1456}$  VSI-RR 관리도의 설계 ( $h_1 = 0.1$ )

No	$n_0$	$h_2$	$w_1$	$w_2$	$w_3$	$k$	$ATS_0$	$ATS_5$	Cost	FSSI	RR
1	10	1.89	0.76	0.76	1.83	3.44	500.0	3.2	109.93	-6.12	-2.83
2	3	0.90	0.81	0.87	2.01	3.65	531.2	1.6	112.91	-6.36	-3.21
3	6	3.36	1.31	1.31	2.08	3.56	3007.9	2.9	192.53	-1.01	-0.86
4	9	2.10	0.78	0.78	1.87	3.47	645.8	4.3	182.52	-7.93	-3.48
5	10	1.92	0.76	0.76	1.82	3.44	500.0	3.2	135.61	-16.41	-7.47
6	4	0.60	0.91	0.97	2.08	3.66	500.0	0.9	153.42	-13.56	-5.19
7	4	1.52	0.95	0.95	1.86	3.37	500.0	1.7	207.70	-5.18	-3.57
8	7	0.54	0.41	0.89	2.18	4.03	500.1	1.9	231.38	-31.46	-7.08
9	5	2.66	1.21	1.21	1.76	3.11	517.2	2.4	108.08	-2.36	-1.91
10	9	1.11	0.69	0.79	1.97	3.64	500.0	2.5	128.40	-13.69	-4.29
11	12	5.00	0.94	0.94	1.70	3.20	880.4	6.7	198.29	-3.29	-1.73
12	4	1.05	1.01	1.01	1.95	3.43	500.0	1.4	173.38	-3.21	-1.71
13	4	0.97	0.85	0.98	2.10	3.74	948.7	1.3	119.90	-5.45	-3.09
14	7	0.81	0.44	0.82	2.07	3.84	500.0	2.3	187.08	-41.23	-12.77
15	10	1.52	0.74	0.77	1.89	3.53	500.0	2.7	217.18	-11.53	-5.07
16	4	0.85	0.98	0.98	2.00	3.52	500.0	1.2	221.10	-12.27	-5.69



<그림 4> FSSI 관리도에 대한 기대비용의 상대적 감소율

<표 14> FSSI 관리도에 대한 기대비용의 상대적 감소율 평균값

C12	V12	C13	V13	C14	V14	C15	V15	C16	V16	C123	V123	C124	V124	C134	V134	C156	V156	C1234	V1234	C1456	V1456
2.7 %	4.1 %	3.3 %	5.3 %	1.8 %	4.1 %	2.4 %	4.1 %	2.5 %	5.1 %	3.8%	5.9%	3.3%	5.9%	3.6%	5.9%	3.4%	5.9%	4.1%	6.3%	3.6%	6.0%

## 5. 결 론

Shewhart 관리도에 다양한 런-규칙과 더불어 VSI 방법을 적용하여 경제적-통계적 설계를 수행한 결과, <그림 4>에 나타난 바와 같이 기존의 적응형 관리도들과 비교할 만한 성능을 나타내었다. 런-규칙과 VSI 방법은 실제 공정에 구현하기 간단하며, 공정 평균의 이동폭이 작은 경우에도 상대적으로 빨리 이상신호를 발생하여 효율적이다.

VSI-RR 관리도는 공정평균의 이동폭( $\delta$ )이 상대적으로 작고, 이상원인 발생률( $\lambda$ )이 크며, 관리상태에서의 운용비용( $C_0$ )에 비해 이상상태에서의 운용비용( $C_1$ )이 큰 경우에 효율성이 더욱 증대된다.

현실적으로 산업종류와 공정의 성격에 따라서 잦은 설계모수 값의 변화를 요구하는 관리도를 적용하는 일이 어려운 경우가 있다. 특히 표본크기를 변화시키는 VSS 관리도, VSSI 관리도의 경우 합리적 부분군의 유지가 어려워질 수 있다. 따라서 본 연구에서는 보다 현실적인 상황을 반영하기 위하여 VSI 관리도의 경제적-통계적 설계절차를 제안하였다. 기존의 연구는 런-규칙  $C_{12}$ ,  $C_{123}$ 의 경우에 국한되었으나, 기존의 다양한 런-규칙 관리도를 모두 고려하여 경제적-통계적 설계를 수행하였다.

런-규칙을 사용하는 관리도에는 이미 경고한계선이 존재하므로 별도의 경고한계를 구하지 않고도 손쉽게 VSI 방법을 적용할 수 있다. 다양한 실험을 수행한 결과, 런-규칙 관리도는 모든 경우에 있어서 VSI 방법을 적용한 경우의 경제적-통계적 성능이 우수한 것으로 나타났다.

<표 14>에서 보는 바와 같이 두 개의 런-규칙을 사용하는 경우에는  $C_{13}$ 에 VSI 방법을 적용한  $V_{13}$ 가 가장 좋은 결과를 보이며, 세 개의 런-규칙을 사용하는 경우에는 거의 비슷한 결과를 나타내고, 네 개의 런-규칙을 사용하는 경우에는  $V_{1234}$ 가  $V_{1456}$ 보다 다소 우수하다. 런-규칙 두 개를 적용한 경우보다 세 개의 경우에, 또한 그보다 네 개를 고려한 경우 경제성이 더 우수한 것으로 나타났으나, 4개를 고려한 경우 미세한 차이만 나타났으므로, 세 개의 런-규칙을 사용하면 충분할 것으로 보인다.

## 참고문헌

[1] Acosta-Mejia, C. A.(2007), "Two Sets to Runs Rules for the Chart", *Quality Engineering*, Vol.19,

pp. 129-136.

- [2] Amin, R. W. and Letsinger W. C.(1991), "Improved switching rules in control procedures using variable sampling intervals", *Commun Stat Simul Comput*, Vol. 20, pp. 205-230.
- [3] Champ, C. W. and Woodall, W. H.(1987), "Exact Results for Shewhart Control Charts With Supplementary Runs Rules", *Technometrics*, Vol.29, No.4, pp. 393-399.
- [4] Costa, A. F. B.(1994), " $\bar{X}$  Charts with Variable Sample Size", *Journal of Quality Technology*, Vol. 26, No.3, pp.155-163.
- [5] Costa, A. F. B.(1997), " $\bar{X}$  Charts with Variable Sample Size and Sampling Intervals", *Journal of Quality Technology*, Vol. 29, No. 2, pp. 197-204.
- [6] Das T. K., Jain, V., and Gosavi, A.(1997), "Economic Design of Dual-Sampling-Interval Policies for  $\bar{X}$  Charts with and without Run Rules", *IIE Transactions*, Vol. 29, pp. 497-506.
- [7] Duncan, A. J.(1956), "The Economic Design of  $\bar{X}$  Charts Used to Maintain Current Control of a Process", *Journal of the American Statistical Association*, 51(274), pp. 228-242.
- [8] Khoo, M. B. C. and Ariffin, K. N. (2006), "Two Improved Runs rules for the Shewhart Control Chart", *Journal of Quality Technology*, Vol.32, pp. 427-431.
- [9] Kim, Y. B., Hong, J. S., and Lie, C. H.(2009), "Economic statistical design of 2-of-2 and 2-of-3 runs rule scheme", *Quality and Reliability Engineering International*, Vol. 25, pp. 215-228.
- [10] Klein, M.(2000), "Two alternatives to the Shewhart X control chart", *Journal of Quality Technology*, Vol. 32, pp. 427-431.
- [11] Lorenzen, T. J. and Vance, L. C.(1986), "The Economic Design of Control Charts: A Unified Approach", *Technometrics*, Vol. 28, No. 3, pp. 3-10.
- [12] Montgomery, D. C.(2001), *Introduction to Statistical Quality Control*(4th ed.), New York, NY: Wiley.
- [13] Page, E. S.(1962) "A modified control chart with warning lines", *Biometrika*, Vol. 49, pp. 171-176.
- [14] Parkhideh, S. and Parkhideh, B.(1996), "The economic design of a flexible zone chart with AT&T rules", *IIE Trans*. Vol. 28, Np. 3, pp. 261-266.
- [15] Parkhideh, S. and Parkhideh, B.(1998), "Design of a flexible zone individuals control chart.", *Jour. Prod, Econ*, Vol. 36, No. 8, pp. 2259-2267.

- [16] Prabhu, S. S., Runger, G. C., and Keats, J. B.(1993), “ $\bar{X}$  Chart with Adaptive Sample Sizes”, *International Journal of Production Research*, Vol. 31, pp. 2895-2909.
- [17] Prabhu, S. S., Montgomery, D. C., and Runger, G. C.(1994), “A Combined Adaptive Sample Size and Sampling Interval  $\bar{X}$  Control Chart Scheme”, *Journal of Quality Technology*, Vol. 26, No. 3, pp.164-176.
- [18] Prabhu, S. S., Montgomery, D. C., and Runger, G. C.(1997), “Economic- Statistical Design of Adaptive  $\bar{X}$  Chart”, *International Journal of Production Economics*, Vol. 49, No. 1, pp. 1-15.
- [19] Reynolds, M. R., Amin, R. W., Arnold, J. C., and Nachlas, J. A.(1988), “ $\bar{X}$  Charts with Variable Sampling Intervals”, *Technometrics*, Vol. 30, No. 2, pp. 181-192.
- [20] Tagaras, G.(1998), “A Survey of Recent Developments in the Design of Adaptive Control Charts” *Journal of Quality Technology*, Vol. 30, No. 3, pp. 212-231.

2010년 6월 9일 접수, 2010년 6월 16일 수정, 2010년 6월 23일 채택