

가변추출간격을 이용한 c 관리도의 최적설계

- Optimal Design of c Control Chart using Variable Sampling Interval -

박주영 *

Park Joo Young

Abstract

Even though the ad hoc Shewhart methods remain controversial due to various mathematical flaws, there is little disagreement among researchers and practitioners when a set of process data has a skewness distribution.

In the context and language of process control, the error related to the process data shows that time to signal increases when a control parameter shifts to a skewness direction. In real-world industrial settings, however, quality practitioners often need to consider a skewness distribution. To address this situation, we developed an enhanced design method to utilize advantages of the traditional attribute control chart and to overcome its associated shortcomings.

The proposed design method minimizes bias, i.e., an average time to signal for the shift of process from the target value (ATS) curve, as well as it applies a variable sampling interval (VSI) method to an attribute control chart for detecting a process shift efficiently. The results of the factorial experiment obtained by various parameter circumstances show that the VSI c control chart using nearly unbiased ATS design provides the smallest decreasing rate in ATS among other charts for all experimental cases.

Keywords : control parameter, skewness distribution, VSI, ATS

* 울산과학기술대학교 산업경영학과

2007년 3월 접수; 2007년 4월 수정본 접수; 2007년 4월 게재확정

1. 서론

통계적 공정관리는 공정 수행도에 있어서의 변화를 감지하기 위하여 제조공정을 지속적으로 모니터하고, 공정의 품질과 제품의 품질을 개선하는데 유용하게 사용되었다.

그 중 관리도는 1924년 Shewhart에 의해서 소개된 이후 통계적 공정관리의 가장 중요한 도구로써 자리 잡고 있으며, 회계업무, 임상연구소, 토목건축산업, 교육계, 스포츠수행도 평가 등과 같은 제조업과 무관한 분야에도 적용이 되고 있다.

이러한 통계적 공정관리도들은 품질특성치의 종류에 따라서 계량치 관리도와 계수치 관리도로 크게 분류되며, 대표적인 계량치 관리도 1924년 W. A. Shewhart가 처음 소개한 \bar{X} 관리도로써 현재에도 산업현장에서 널리 사용되고 있다. 그 이후 1954년 Page가 소개한 CUSUM(cumulative sum chart) 관리도와 1959년 Roberts가 소개한 EWMA(exponentially weighted moving average) 관리도들이 계량치 품질특성치를 관리하기 위한 대표적인 관리도이다.

계수치 관리도는 많은 품질특성들을 수치적으로 편리하게 나타낼 수 없는 경우에 주로 사용되어지며 제품을 검사하여 품질특성치가 규격에 적합하든지 또는 부적합하든지로 분류되거나, 부적합품 또는 양품의 두 가지 등급으로 구분되어질 때 널리 사용된다. 계수치 관리도는 부적합품을 또는 부적합품수와 관련된 p , np 관리도와 부적합수 또는 단위당 부적합수에 대하여 c , u 관리도가 사용되고 있다. 품질특성치가 양적인 척도에 따라서 측정되어지는 경우에서의 관리도를 계수치 관리도라고 한다.

관리도의 산업현장 활용에 있어서 중요한 문제가 두 가지 존재하게 되는데, 첫째는 관리도의 종류를 선택하는 문제이고, 두 번째로는 선택된 관리도의 모수를 설정하는 방법이다. 관리도 종류의 선택문제는 공정에서 관리되어야 할 품질특성치를 기초로 하여 관리 목적에 합당한 관리도를 선택하면 된다. 관리모수 설정을 주로 관리도를 설계한다고 하고, 관리도의 관리하한과 관리상한, 샘플링 간격 시간 등을 결정하는 것이다.

관리도 설계의 가장 전통적인 대상은 Shewhart 관리도에 대한 방법으로 샘플링 간격시간을 일정하게 하고, 중앙선을 중심으로 관리상한과 하한을 대칭적으로 설정하게 한다. 그러나 전통적인 방법의 가장 큰 문제점은 공정의 품질특성치가 정규분포를 따른다는 가정을 한다는데 있고, 특히 계수치 관리도들은 정규근사에 의한 방법들을 적용함으로써 치우침을 가지는 계수형 데이터 분포에는 부적합하다는 것에 있다.

특히, 대부분 연구에 있어서 계수치 관리도는 관리하한을 고려하고 있지 않은 경우가 많다. 왜냐하면, 품질특성치는 부적합품, 부적합으로 대표할 수 있고 이러한 특성치들은 낮을수록 좋기 때문이다. 그러나 품질경영의 목표인 지속적 개선에 비추어 볼 때, 공정에 새로운 설계나 설비추가 등의 개선활동에 대한 효과를 확인하여, 이를 표준화시킨다는 것은 아주 중요한 문제이다. 따라서 치우침을 가지는 계수치의 분포에 전통적인 설계방법을 적용하게 되면, 공정개선에 대한 감지를 전혀 할 수 없는 문제점을 가지고 있는 것이다. 또한 고정된 샘플링 간격을 사용하는 것 보다 개선된 방법으로 타점되는 통계량의 위치에 따라서 샘플링 간격을 변화시키는 가변 샘플링 간격(

variable sample interval : VSI) 기법을 적용하는 것이 관리도의 수행도 개선에 효과적이라는 것이 많은 학자들의 연구에 의해서 알려져 있다.

따라서 본 연구는 이상상태를 감지하는데 보다 효과적인 VSI 기법을 c 관리도 전반에 활용하는데 그 중점을 두고 있다. 관리도 모수를 결정하기 위한 설계방법으로는 통계적 설계방법을 채택한다. 또한, 본 연구의 주요관점은 c 관리도로써 공정 개선에 대한 식별신호와 이상상태에 대한 신호를 주는 기능을 함께 가지는 관리도를 설계하는 것이다. 이러한 설계방법을 위하여 근사 비편향 ATS(nearly unbiased ATS : average time-to signal) 특성을 가지는 c 관리도의 설계방법을 제시한다. 또한, 본 연구에서 제시한 설계방법과 기존방법과의 수행도 측면에서 비교·평가함으로써 제시된 설계방법의 우수성을 증명하고자 한다.

2. 연구동향 및 이론적 고찰

2.1 연구동향

본 연구에서 고려하고자 하는 계수치 관리도의 장점은 데이터를 수집하는데 빠르며 경제적이라는 이유로 여전히 산업현장에서 많이 사용하고 있다. 이에 비하여 계수치 관리도의 수행도 개선을 위한 연구는 계량치 관리도에 비하여 아주 적은 편이다.

계수치 관리도에 관계된 연구로써, Soffer[1]는 다양한 샘플크기에서 각 부적합품률 p 를 전체 추정치 \hat{p} 로 간단히 설정하여 $k\sigma$ 관리한계와 합성한 새로운 y 관리도를 제시하여 기존 관리도와 비교하였으며, Rockel[2]는 i 번째 시점에서 조절된 부적합품률 p^{adj} 와 i 번째 시점에서 조절된 단위당 부적합수 u^{adj} 관리도를 제시하여 기존의 다양한 샘플크기를 가지는 경우의 관리도 모수설계시 비교적 단순한 계수치 관리도의 절차를 제시하고 있다.

Ryan과 Schwertman[3]은 계수치 관리도가 꼬리영역에서 정규분포에 근사시 좋지 못한 결과를 보여주고 있으므로, 이에 따른 대안으로 이항분포 데이터에 대한 역사인 변환(arcasin transformation)과 포아송 분포 데이터에 대한 평방 제곱 변환(square root transformation)을 이용한 최적한계설계를 제시하였다.

Pignatiello[4]는 모든 관리도의 가장 이상적인 특성으로서 ARL의 비편향성을 기술하였다, 즉 ARL 곡선이 관리상태의 모수값에서 멀어짐에 따라서 감소하는 경향을 보이는 관리도로써 비편향 ARL 설계를 제시하였다.

Acosta-Mejia[5]가 np 관리도에 대한 비편향 ARL 개념에 대해서 소개하였다. 그는 비편향 ARL 수행도를 가지는 관리하한과 상한의 조합을 비편향성을 가지는 수행도 선(unbiased performance line : UPL)로서 표현하였고 공정이 안정상태인 경우 ARL 값을 같은 값으로 가지는 관리한계조합을 iso-ARL 곡선으로 표시하였다. 품질특성치가 계수치인 경우에는 일반적으로 정확하게 비편향성을 가지는 ARL 설계가 어려우

므로, UPL과 iso-ARL 곡선이 만나는 점을 이용하여 근사적인 비편향 수행도를 가지는 관리도 설계를 제안하였다.

Champ[6]는 R 관리도에 대한 비편향 ARL 설계에 관하여 제시하였고, Zhang[7]은 S² 관리도에 대한 최적설계를 제안하면서 ARL 곡선과 극한 ARL 곡선과의 영역을 최소화(SAC)하는 것을 제안하였다. 뿐만아니라 SAC가 비편향 ARL 설계와 Shewhart S² 관리도 보다 최적설계라는 것을 제시하였다.

가변샘플링 간격을 이용한 관리도에 대한 연구는 처음으로 Arnold[8]는 수질오염 수준을 모니터링하기 위하여 VSI 관리도의 특성을 사용하여, 이 분야에서 최초의 연구가 시작되었다. 이 이후로 Costa[9]는 다양한 샘플 크기(VSS)를 갖는 \bar{X} 관리도를 개발하여 수행도 평가를 통해서 우수성을 입증하였으며, 그 후 Reynolds, Amin, Arnold 와 Nachlas[10]는 다양한 샘플 구간을 가지는 \bar{X} 관리도의 특성을 논하였다.

Cui와 Reynolds[11]는 런 규칙을 적용한 다양한 샘플 구간을 가지는 \bar{X} 관리도를 논하였다.

Costa[12]은 다양한 샘플 구간과 샘플 크기를 가지는 VSSI(Variable Sample Size and Interval) \bar{X} 관리도의 특성을 평가하는 절차로 마코브 연쇄를 사용하였다. Reynolds와 Amin[13]은 다양한 샘플 구간과 샘플 크기를 가지는 CUSUM 구성을 논하였고, Prabhu, Montgomery와 Runger[14]는 다양한 샘플 구간과 샘플 크기를 가지는 \bar{X} 관리도를 논하였다.

본 연구는 c 관리도를 설계하는데 있어서 Acosta-Mejia(1999)의 비편향 ARL 설계의 개념을 이용하고 있으며, 보다 빠른 공정변화의 감지를 위하여 VSI 기법을 c 관리도의 샘플링 방법으로 사용하게 된다.

2.2 c 관리도의 근사비편향 ARL 설계

공정 모수의 증가와 감소를 모니터링하기 위한 몇 개의 관리도의 수행도는 런 길이(run length : RL) 분포를 기초로 분석된다. 런 길이는 이상원인이 관리도에 신호로 발생되기까지의 하위 그룹 수로써 정의되어진다. 단일 관리도의 이상원인이 하나이고, 한 쌍의 관리한계를 가지는 Shewhart 유형의 관리도의 런 길이 분포는 기하분포를 따른다. 관리상한과 관리하한을 각각 U와 L로 둔다. 만약 공정의 모수 값 θ 를 알고 있다면, 관리도에 신호가 발생하는 확률을 계산하는 $\alpha(\theta)$ 함수는 식 (1)과 같다.

$$\alpha(\theta) = 1 - P(L \leq X \leq U | \theta) \quad (1)$$

안정상태의 모수의 값을 θ_0 라 둔다면, 공정의 모수가 실제로 안정상태에 있을 때, 관리도에 신호가 발생할 확률은 $\alpha(\theta_0)$ 가 된다. 이때 α 값의 확률을 허위 경보률이라

고 한다. 하위그룹 $t=1, 2, \dots$ 에 대한 런 길이 분포는 식 (2)와 같다.

$$P(RL = t | \theta) = (1 - a(\theta))^{t-1} \times a(\theta) \quad (2)$$

런 길이 분포의 확률 구조를 살펴보면 데이터 분포의 모수를 포함한다는 것을 알 수 있다. 이러한 이유 때문에, 런 길이 분포는 데이터 분포에 매우 의존적이다. 평균 런 길이 ARL은 런 길이의 기대값으로 정의되고 다음과 같다.

$$ARL(\theta) = E(RL | \theta) = \frac{1}{a(\theta)} \quad (3)$$

안정상태의 ARL, 즉 ARL_0 는 허위경보율이 작게 발생하기 위하여 가능한 큰 것이 좋다. 주로 관리도의 수행도를 측정하는 데는 이상상태 ARL인 ARL_1 을 사용하고, 안정상태의 모수에서 공정 변화에 의해 모수가 변화하게 되면 ARL_0 보다 작은 것이 바람직하다.

X 를 결점수라고 하고, 평균 λ 를 가지는 포아송 분포를 따른다고 가정한다. X 의 평균인 λ 값의 모니터링을 통하여, 현재 공정이 안정상태에 있는지 이상상태에 있는지를 쉽게 알 수가 있다. 공정이 안정상태에 있을 때의 값을 λ_0 라고 한다. 이론적인 정의를 위하여 포아송 분포와 감마 분포의 관계를 이용하면 편리하다. Y 는 감마 분포 $\Gamma(x+1, 1) = \chi^2_{2(x+1)}$ 을 따른다. 여기서 x 는 양의 정수이고 X 는 평균 λ 를 가지는 포아송 분포를 따른다. 포아송 분포와 감마 분포의 관계는 식 (4)와 같다.

$$P(X \leq x | \lambda) = P(Y \geq \lambda | x) \quad (4)$$

비편향 ARL 설계는 $\lambda = \lambda_0$ 에서 최대의 ARL 값을 가지도록 $[L, U: a^*]$ 를 설계하는 것이다. λ 에 따른 ARL은 식 (5)와 같다.

$$ARL(\lambda; L, U) = \frac{1}{1 - g(\lambda; L, U)} \quad (5)$$

식 (5)에서 $g(\lambda; L, U)$ 는 식 (6)과 같고, 포아송 분포의 누적분포함수 $F_\lambda(x)$ 는 식 (7)과 같다.

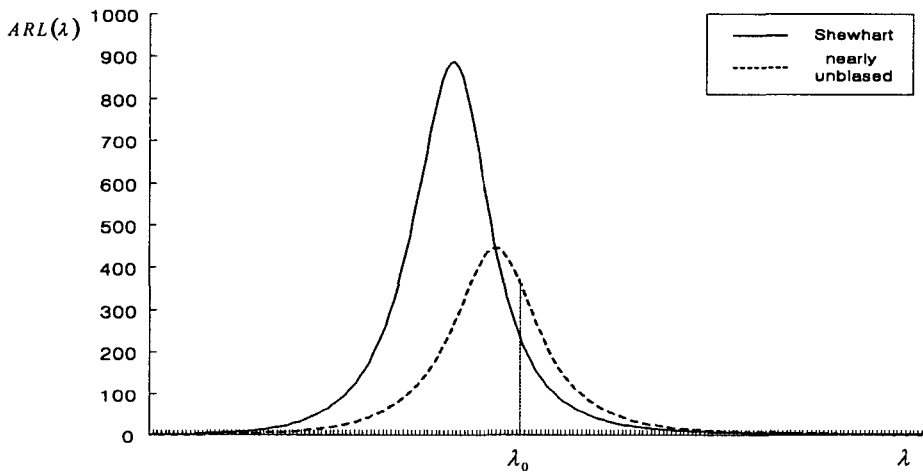
$$g(\lambda; L, U) = P(L \leq X \leq U | \lambda) = F_\lambda(U) - F_\lambda(L-1) \quad (6)$$

$$F_\lambda(x) = \sum_{j=0}^x \frac{\lambda^j e^{-\lambda}}{j!} = \frac{1}{\Gamma(x+1)} \int_\lambda^\infty y^x e^{-y} dy \quad (7)$$

비편향 ARL 설계를 위하여 $g(\lambda; L, U)$ 를 λ 에 대하여 미분하여 0이 되는 λ 값을 λ^* 라고 할 때, λ^* 는 식 (8)과 같이 정의될 수 있다.

$$g'(\lambda; L, U) = \frac{-\lambda^U e^{-\lambda}}{\Gamma(U+1)} - \frac{-\lambda^{L-1} e^{-\lambda}}{\Gamma(L)} = 0$$

$$\lambda^* = \left(\frac{\Gamma(U+1)}{\Gamma(L)} \right)^{\frac{1}{U-L+1}} \quad (8)$$



<그림 1> ARL curves for c chart with 3-sigma and nearly unbiased ARL criterion($\lambda_0 = 11.56$)

np 관리도의 경우와 유사한 방법으로 근사 비편향 ARL 관리한계를 구할 수 있다. 임의의 정수 L 과 U 에 대하여($0 \leq L < U \leq n$), $df_2(L, U; \lambda_0)$ 는 비편향 ARL 특성을 유지하는 모수값 λ^* 와 안정상태의 모수값 λ_0 와 차이의 절대값을 최소화하는 설계를 근사비편향 ARL 설계라고 한다.

<그림 1>은 $\lambda_0 = 11.56$ 인 경우, 3σ 관리한계를 사용하는 c 관리도와 근사 비편향 ARL 설계에 의한 c 관리도의 ARL 곡선을 그림으로 나타낸 것이다. <그림 1>의 결과에서 알 수 있듯이 3σ 관리한계를 사용하는 Shewhart 관리도는 안정상태의 공정모수 λ_0 에 대하여 ARL 곡선이 크게 편의를 가지고 있다. 따라서 공정의 개선을 의미하는 공정모수의 하향 이동에 대해서는 Shewhart c 관리도가 감지할 수 없다는 것을 의미한다. 그러나 근사 비편향 ARL 설계에 의한 c 관리도는 상당히 편향성이 줄어들어 공정모수의 상향이동과 하향이동을 동시에 잘 감지할 수 있는 특징을 가지고 있다.

2.3 VSI 관리도

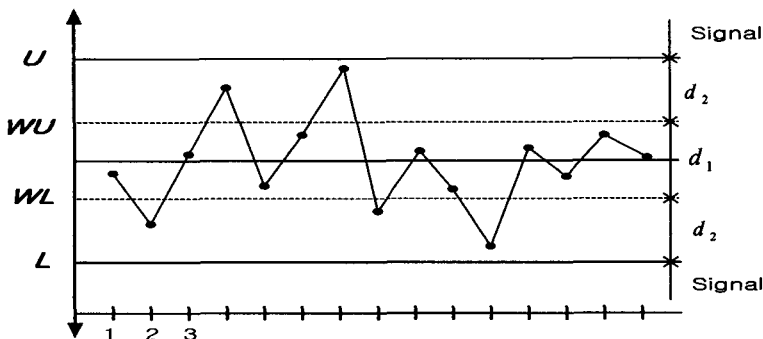
공정을 감시하기 위하여 현장에서 많이 사용되고 있는 전통적인 관리도는 공정으로부터 모든 시간에 대하여 고정된 시간의 샘플링 간격에서 샘플을 취하는 FSI관리도를 사용한다. 본 연구에서는 샘플링 간격 또는 샘플 사이의 시간이 고정되어 있지 않으며, 다음 샘플링 간격이 이전의 타점 샘플점에 매우 의존하는 VSI관리도의 개념을 도입하고자 한다.

VSI관리도의 기법은 만약 샘플 점들이 관리한계선 밖이 아닌 관리한계선 가까이 있다면 공정이 이상상태로 될 가능성이 높기 때문에 샘플링 간격을 짧게 하여 가능한 빨리 신호를 발생시켜 조치를 취하도록 하고, 반면에 샘플 점이 중심선 가까이 있다면, 공정이 안정상태에 있다고 할 수 있기 때문에 샘플링 간격을 길게 하여 가능한 한 허위경보가 발생하지 않도록 하여 불필요한 공정의 중지를 막고자 하는 것이다.

VSI관리도는 유한개의 구간 길이 $d_1, d_2, \dots, d_n (d_1 < d_2 < \dots < d_n)$ 를 사용한다. 그리고 이와 같은 구간 길이들은 $l_1 \leq d_i \leq l_2$ 를 만족하도록 선택되어지며, l_1 은 최소 구간 길이이고, l_2 는 최대 구간길이를 말한다. 샘플링 간격 함수는 $d(x)$ 로 식 (9)와 같이 나타내며, 샘플 점이 $(\mu_0 - \gamma\sigma/\sqrt{n}, \mu_0 + \gamma\sigma/\sqrt{n})$ 을 η 로 나눈 구간 I_1, I_2, \dots, I_n 에 있을 때 사용되는 구간 길이를 말한다.

$$d(x) = d_j, \quad X \in I_j \quad (9)$$

VSI관리도의 일반적인 개념을 <그림 2>에 나타낼 수 있다. <그림 2>에서 U와 L은 관리 상한선과 하한선을 나타내며, WU와 WL은 주로 경고 상한선과 하한선을 나타낸다. 그리고 d_1 은 샘플 점이 I_1 구간에 있을 때 사용하는 샘플링 간격이고, d_2 는 샘플 점이 I_2 구간에 있을 때 사용하는 샘플링 간격($d_1 < d_2$)이 된다.



<그림 2> Example of VSI control chart

<그림 2>에서의 구간 I_1 과 구간 I_2 는 식 (10)과 같이 나타내어진다.

$$I_1 = (\mu_0 - \gamma(\sigma/\sqrt{n}), \mu_0 - \gamma'(\sigma/\sqrt{n})] \\ \cup [\mu_0 + \gamma'(\sigma/\sqrt{n}), \mu_0 + \gamma(\sigma/\sqrt{n})] \\ I_2 = (\mu_0 - \gamma'(\sigma/\sqrt{n}), \mu_0 + \gamma'(\sigma/\sqrt{n})) \quad (10)$$

여기서 $0 < \gamma' < \gamma$ 이고 Reynolds와 Arnold, Reynolds와 Arnold는 VSI Shewhart 관리도와 VSI CUSUM 관리도에서 단지 두 개의 샘플링 간격을 사용하는 것이 최적임을 보여주었다. 그리고 그들은 공정의 목표값으로부터 적절한 크기의 이동을 감지하기 위해서는 짧은 샘플링 간격은 가능한 한 짧게 만들어져야 하고, 반면에 긴 샘플링 간격은 가능한 한 길게 만들어져야 한다는 것을 보여주었다.

3. VSI c 관리도의 근사 비편향 ATS 설계

본 연구에서 제시하는 계수치 관리도의 기본적인 설계개념은 관리도의 비편향 ARL 설계방법을 기초로 한 것이다. 즉 관리도의 수행도 평가의 기준이 되는 ARL은 VSI 관리도에서는 일정한 샘플링 간격을 사용하는 것이 아니므로 ATS개념으로 바꾸어 적용하는 것이다. 본 연구의 설계모수는 다음과 같다.

L : 관리하한	U : 관리상한
WL : 경고하한	WU : 경고상한
d_1 : 짧은 샘플링 간격	d_2 : 긴 샘플링 간격

관리하고자 하는 공정모수를 θ 라고 가정하고, 안정상태의 공정모수를 θ_0 라 가정한다. 일반적으로 두개의 샘플링 간격을 가지는 VSI 관리도는 다음과 같은 샘플링 구간으로 나눌 수 있다.

$$I_1 = [L, WL) \cup (WU, U] \quad I_2 = [L, U] \\ L = \theta_0 - k\sigma_\theta \quad WL = \theta_0 - k'\sigma_\theta \\ U = \theta_0 + k\sigma_\theta \quad WU = \theta_0 + k'\sigma_\theta$$

X 를 어떠한 형태의 결점수라고 하면, 평균 λ 를 가지는 포아송 분포를 따른다고 가정한다. X 의 평균인 λ 값의 모니터를 통하여, 현재 공정이 안정상태에 있는지 이상

상태에 있는지를 쉽게 알 수가 있다. 공정이 안정상태에 있을 때의 값을 λ_0 라고 한다. 이때 근사 비편향 ATS 설계는 모수값에서 멀어짐에 따라서 감소하는 경향을 보이는 $[L, WL, WU, U, d_1, d_2: \alpha^*]$ 모수를 구하는 것이다. 대부분 최적설계는 실질적으로 trial-and-error 접근방법으로 설계를 한다. 본 연구에서 제안하는 최적설계의 목적은 관리도의 운영자가 공정의 이상상태를 보다 빠르게 감지할 수 있을 뿐 아니라, 공정의 품질의 개선을 감지 할 수 있는 VSI c 관리도를 체계적으로 설계하게 하는 것에 있다. 통계적 공정관리에서 제공하고 있는 대부분의 최적화와 같이, 전체적(global) 최적해는 아니지만, 상대적으로 유도하기 편리하고 현실에 적용하기 편하도록 국부적(local) 최적화에 그 초점을 두고 있다. VSI c 관리도의 최적 설계를 위하여, 다음과 같이 기호들을 정의한다.

λ_0 : 안정상태의 공정의 단위당 부적합수

n : 샘플크기 d_{\min} : 허용되는 최소의 샘플링 간격

τ : 허용되는 안정상태의 ATS_0

λ_0 값은 일반적으로 과거의 데이터나 관찰된 데이터에 의해서 추정된다. d 는 고정된 샘플링 간격을 사용하는 경우에 샘플링 간격을 의미한다. 이 값을 정하는 문제는 그다지 중요하지 않다. 그리고 n 와 d_{\min} 은 현실 적용에 고려되어 결정되어야 하는데, 예를 들면 d_{\min} 은 최소한 일정한 샘플크기 n 을 검사할 수 가능한 최소 시간과 같은 것이다. τ 값은 허용할 수 있는 오보확률로서 정의되어지고, $d=1$ 인 경우, $1/\alpha^*$ 와 같은 값을 의미한다. 결과적으로 안정상태의 ATS_0 는 반드시 τ 보다 크거나 같아야 된다.

바람직한 관리도는 반드시 공정이동을 감지하기 위한 이상상태의 ATS_1 은 가능한 짧아야 하며, 동시에 작은 오보확률 즉 큰 τ 값을 가지고 있으면 좋다. 그러므로 전체적인 수리적 모형은 다음과 같이 정식화 할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{Min } dv_2 = |\lambda^* - \lambda_0| \\ & (L, WL, WU, U) \\ & \text{s.t.} \\ & \text{ATS}_0(\lambda_0; L, WL, WU, U) \geq \tau \text{ (st1)} \\ & E[d(X) | \lambda_0]_{VSI} = d \text{ (st2)} \end{aligned}$$

여기서 p_0 는 안정상태에서의 공정모수이고, λ^* 는 ATS_0 를 λ 에 대하여 미분하여 0를 만족시키는 λ 값이다. 공정은 대부분의 시간에 안정상태인 것으로 가정하고,

샘플링 간격함수 $d(X)$ 는 식 (11)과 같다.

$$d(X) = \begin{cases} d_2, & \text{if } LW \leq X \leq UW \\ d_1, & \text{if } L \leq X < LW \text{ and } UW < X \leq U \end{cases} \quad (11)$$

여기서 $X \sim P(\lambda)$ 이다.

본 연구에서의 목적함수의 의미는 $\lambda = \lambda_0$ 인 경우, ATS_0 를 최대값으로 가지는 설계모수를 찾는 것이다. 그렇지만 목적함수만 고려하게 되면 관리도의 비편향성은 극대화시킬 수 있으나 수행도 측면에서 우수하지 못한 결과가 생길 수가 있다. 일반적으로 수행도 측면에서의 최적 설계는 오보확률에 관한 제약식 (st1)을 만족하는 최소의 ATS_0 를 가지도록 하는 것이다. 즉, $ATS_0 = \tau$ 인 경우에 관리도의 수행도는 가장 우수하게 나오게 된다. 그러므로, 제약식 (st2)를 최대한 만족시키는 실행가능 해의 영역에서 가장 비편향성을 가지게 하는 설계모수를 구하는 것이 비편향성과 수행도의 trade-off 점이 되고, 이때의 설계모수를 최적설계 모수로 선정하게 된다. 그리고 계수치 데이터의 특성으로 인하여 최적모수로 결정된 ATS_0 는 τ 보다 조금 큰 값을 가지게 된다.

많은 학자들에 의해 제안되고 있는 것은 d_1 를 d_{\min} 으로 고정시키는 것이다. 본 연구의 수치실험으로부터 나온 결과, 또한 $d_1 = d_{\min}$ 이 대부분의 경우에 있어서 ATS 를 최소화시킨다는 것을 보여주고 있다. 결론적으로, 본 연구의 전체적인 최적 설계의 편의성을 위하여 d_1 을 d_{\min} 으로 고정한다. 그리고 $E_0[d(X) | \lambda = \lambda_0] = d$ 의 제약식에 의해서 d , d_1 , d_2 는 식 (12)와 같은 관계가 만족된다.

$$d[P\{X \in I_1 | \lambda\} + P\{X \in I_2 | \lambda\}] = d_1 P\{X \in I_1 | \lambda\} + d_2 P\{X \in I_2 | \lambda\} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \text{여기서 } P\{X \in I_1 | \lambda\} &= P(L \leq X < LW | \lambda) + P(UW < X \leq U | \lambda) \\ &= F_\lambda(U) - F_\lambda(UW) + F_\lambda(LW - 1) - F_\lambda(L - 1) \end{aligned}$$

$$P\{X \in I_2 | \lambda\} = P(LW \leq X \leq UW | \lambda) = F_\lambda(UW) - F_\lambda(LW - 1)$$

일반적인 VSI 계량치 관리도에서는 $d=1$ 로 가정하고, d_2 값을 구하게 된다. 그렇지만 계수치 관리도에서는 계수치 데이터의 특성으로 인하여 최적모수인 경우, 관계식에 의한 d_2 값은 현실에 벗어난 값을 가지는 경우가 많다. 그러므로 본 연구에서는 긴 샘플링 간격 d_2 은 미리 결정하여 d 값이 근사적으로 1이 되는 관리모수를 설정하게 된다. 이제 4개의 결정변수 L, WL, WU, U 은 다음과 같은 절차로 결정되게 된다.

[step 1] L, WL, WU, U 가 가질 수 있는 범위를 설정한다.

L 과 U 의 범위는 α^* 를 만족하는 계수치 관리도의 설계방법을 사용한다. α^* 를 만족하는 L 과 U 의 범위를 찾는 절차는 다음과 같다.

- ① L^* 는 다음을 만족하는 음이 아닌 정수 l 의 최대값이다.

$$P(W < l | \theta = \theta_0) \leq \alpha^*$$

- ② U_L 는 다음을 만족하는 양의 정수 u 의 최소값이다.

$$1 - P(L^* < X \leq u | \theta = \theta_0) \leq \alpha^*$$

- ③ U^* 는 다음을 만족하는 양의 정수 u 의 최소값이다.

$$P(W > u | \theta = \theta_0) \leq \alpha^*$$

- ④ L_U 는 다음을 만족하는 음이 아닌 정수 l 의 최대값이다.

$$1 - P(l \leq X \leq U^* | \theta = \theta_0) \leq \alpha^*$$

이렇게 결정된 구간은 $0 \leq L_U \leq L \leq L^* < U^* \leq U \leq U_L$ 을 만족한다. 즉 관리하
 한 L 의 탐색범위는 L_U 와 L^* 사이가 되고 U 의 탐색범위는 U^* 에서 U_L 까지 이
 다. 그리고 WL 과 WU 는 $L \leq WL < WU \leq U$ 의 관계가 성립하므로, WL 의 탐색범위는
 탐색되는 L 부터 $WU - 1$ 까지 WU 는 $WL + 1$ 부터 U 까지 탐색하게 된다.

[step 2] ATS곡선의 극대점을 찾기 위하여 목적함수의 ATS_0 식을 λ 에 관하여 미분
 하면 식 (13)과 같다.

$$\begin{aligned} ATS(\lambda_0; L, WL, WU, U) &= \frac{d_1 P[X \in I_1 | \lambda_0] + d_2 P[X \in I_2 | \lambda_0]}{q(1-q)} \\ &= \frac{d_2 P(WL \leq X \leq WU) + d_1 [P(WU < X \leq U) + P(L \leq X < WL)]}{[1 - P(L \leq X \leq U)] P(L \leq X \leq U)} \\ &= \frac{d_2 [F(WL) - F(WU - 1)] + d_1 [F(U) - F(WU) + F(WL - 1) - F(L - 1)]}{[1 - F(U) + F(L - 1)][F(U) - F(L - 1)]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P[X \in I_1 | \lambda_0] &= P(L \leq X < LW | \lambda_0) + P(UW < X \leq U | \lambda_0) \\ &= F_{\lambda_0}(U) - F_{\lambda_0}(UW) + F_{\lambda_0}(LW - 1) - F_{\lambda_0}(L - 1) \end{aligned}$$

여기서 $P[X \in I_2 | \lambda_0] = P(LW \leq X \leq UW | \lambda_0) = F_{\lambda_0}(UW) - F_{\lambda_0}(LW - 1)$

$$q = 1 - (P[X \in I_1 | \lambda_0] + P[X \in I_2 | \lambda_0])$$

$$X \sim P(\lambda)$$

$$ATS'(p; L, WL, WU, U) = \frac{R'Q - RQ'}{Q^2} \quad (13)$$

$$R = d_2 [F(WL) - F(WU - 1)] + d_1 [F(U) - F(WU) + F(WL - 1) - F(L - 1)]$$

$$Q = [1 - F(U) + F(L - 1)][F(U) - F(L - 1)]$$

$$R' = d_2[F'(WL) - F'(WU-1)] + d_1[F'(U) - F'(WU) + F'(WL-1) - F'(L-1)]$$

$$Q' = [-F'(U) + F'(L-1)][F(U) - F(L-1)] + [1 - F(U) + F(L-1)][F'(U) - F'(L-1)]$$

이다. X 는 포아송 분포를 따르므로 누적 분포함수 $F(X)$ 는 식(7)과 같고, $F'(X)$ 는 식 (14)와 같다.

$$F'(X) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^X}{\Gamma(X+1)} \quad (14)$$

극대점은 $ATS'(\lambda; L, WL, WU, U)$ 가 0이 되는 λ 값이 된다.

$$ATS'(\lambda; L, WL, WU, U) = \frac{R'Q - RQ'}{Q^2} = 0$$

$$R'Q = RQ' \quad (15)$$

[step 3] 식 (15)를 만족하는 λ 를 λ^* 라고 할 때, λ^* 의 식은 완전한 형태의 식으로 는 유도되지 않는다. 즉 (1)에서 구한 탐색범위 내에서 결정하고자 하는 모수 L, WL, WU, U 이 정수인 특징을 이용하여 순차적으로 탐색해 나가면서 (15)를 만족하는 λ 값 구하게 된다.

[step 4] 각 탐색 단계에서 나온 값에 대한 (st1), (st2)의 만족여부를 판단한다. 두 번째 제약조건 $E[d(X) | p_0]_{VSI} = d$ 는 계수치 품질특성치의 특성으로 인하여 $d=1$ 인 경우를 정확하게 만족시킬 수 없으므로, 고정된 L 과 U 에 대하여, WU 의 각 탐색과정에서 다음의 식 D 를 최소로 하는 모수조합을 선택하게 된다.

$$D = |E[d(X) | p_0]_{VSI} - d|$$

모든 조건을 만족하는 경우, λ^* 값을 구한다. 그렇지 않으면 [step 3]으로 돌아간다. 본 연구의 최적 설계과정의 ATS_1 은 정상상태를 기준으로 하고 있다. 정상상태에서는 공정의 변화는 언제든지 일어날 수 있다는 가정을 하게 되고, 초기상태(zero state)보다 현실적인 ATS 값을 제공한다. 정상상태 하에서는, 공정은 아주 긴 기간 동안 안정상태로 운영되고, 랜덤 시간에 λ 에서 변화가 일어나기 전에는 안정화된 상태를 유지해 가고 있는 것이다. 만약 공정이 안정화되어있고 안정상태라면, 안정화 상수 B 는 식 (16)과 같이 구할 수 있다.

$$B = \frac{F(WU) - F(WL-1)}{F(U) - F(L-1)} \quad (16)$$

샘플링 간격사이에서 공정이동이 발생할 기대시간은 식 (17)과 같다(56).

$$E[S_0] = 0.5d_2^2B + 0.5d_1^2(1-B) \quad (17)$$

그러므로 정상상태의 ATS 는 식 (18)과 같다.

$$ATS_1 = \frac{d_1P[X \in I_1 | \lambda_1] + d_2P[X \in I_2 | \lambda_1]}{q(1-q)} + E[S_0] \quad (18)$$

여기서
$$P[X \in I_1 | \lambda_1] = P(L \leq X < LW | \lambda) + P(UW < X \leq U | \lambda)$$

$$= F_{\lambda_1}(U) - F_{\lambda_1}(UW) + F_{\lambda_1}(LW - 1) - F_{\lambda_1}(L - 1)$$

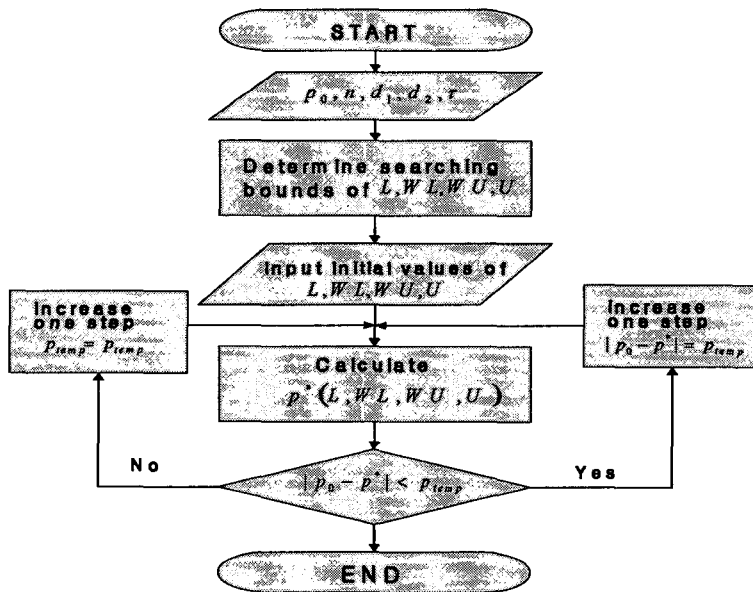
$$P[X \in I_2 | \lambda_1] = P(LW \leq X \leq UW | \lambda_1) = F_{\lambda_1}(UW) - F_{\lambda_1}(LW - 1)$$

$$q = 1 - (P[X \in I_1 | \lambda_1] + P[X \in I_2 | \lambda_1]), \quad X \sim P(\lambda)$$

이다.

[step 5] 구해진 모든 λ^* 값을 구하여 dv_1 이 최소가 되는 모수값을 최적 설계모수로 설정한다.

$$dv_1 = |\lambda^* - \lambda_0|$$



<그림 3> Flow chart for optimal design of attribute control charts

<그림 3>은 관리도 설계의 전체적인 최적화과정을 요약하여 흐름도로 나타내었다. <표 1>은 다양한 안정상태의 공정모수 p_0 에 대하여 근사 비편향 ATS 설계에 의한 np관리도의 관리한계를 구하여 Shewhart 관리도와 함께 나타낸 것이다. VSI np관리

도에서는 $d_1 = 0.1$, $d_2 = 1.9$ 인 경우 샘플링 간격을 사용하는 경우, L , WL , WU , U 를 설명한 알고리즘을 이용하여 구한 해를 나타내었다. 이때 오보확률 α^* 는 0.0027로 고정하였다.

<표 1> Control limits for different np charts ($n=1000$, $d_1=0.1$, $d_2=1.9$)

p_0	Criterion for control charts									
	3 σ criterion				ARL nearly unbiased criterion					
	L	WL	WU	U	L	WL	WU	U	d	dv_1
0.015	4	13	17	26	5	13	17	28	0.9733	0.0001439
0.016	5	14	18	27	6	14	18	29	0.9501	0.0000261
0.017	5	15	19	29	6	14	19	32	1.0297	0.0001557
0.018	6	16	20	30	7	17	22	31	0.9729	0.0003640
0.019	7	17	21	31	8	16	21	33	1.0288	0.0000327
0.020	7	18	22	33	8	18	23	35	0.9919	0.0001181
0.021	8	18	24	34	9	19	24	36	0.9746	0.0000293
0.022	9	19	25	35	10	19	24	37	0.9728	0.0000251
0.023	9	20	26	37	10	22	28	39	0.9791	0.0000061
0.024	10	21	27	38	11	22	28	40	1.0267	0.0000062
0.025	11	22	28	39	12	22	28	41	1.0276	0.0000042
0.026	11	23	29	41	13	21	27	43	0.9888	0.0003185
0.027	12	24	30	42	13	25	31	44	0.9849	0.0000022
0.028	13	25	31	43	14	25	31	45	0.9856	0.0000112
0.029	14	26	32	44	15	25	31	46	0.9823	0.0000307
0.030	14	27	33	46	15	28	35	48	1.0306	0.0000103
0.031	15	28	34	47	16	28	34	49	0.9599	0.0000329
0.032	16	29	35	48	17	29	36	50	1.0204	0.0000511
0.033	17	30	36	49	17	31	39	52	1.0086	0.0000143
0.034	17	31	37	51	18	31	39	53	1.0096	0.0000036
0.035	18	32	38	52	19	32	39	54	1.0100	0.0000211

4. 수치실험

4.1 수행도평가

본 연구에서 제시하는 VSI c 관리도의 수행도를 비교평가하기 위하여 두 수준에 대한 요인실험을 실시하였다. c 관리도는 6개의 결정된 파라미터 λ_0 , (d_1, d_2) , α^* 에 대하여 2^3 형 요인 실험이 수행된다. 비교대상 관리도는 4개의 관리도이다. 전통적

인 c 관리도, 정규근사 방법의 VSI c 관리도, 그리고 근사 비편향 설계 방법의 FSI, VSI c 관리도가 비교된다. 3개의 결정된 파라미터가 요인 실험에서 인자로 사용이 된다. 각각 2수준으로 변화되고, 8회 실험을 하게 된다. 각 요인의 저 수준과 높은 수준이 <표 2>에 나타나 있다.

<표 2> The two levels of the factors for c charts

level factors	Low	High
λ_0	8.5	16.5
α^*	0.0027	0.01
(d_1, d_2)	(0.5, 1.5)	(0.1, 1.9)

각각의 실험에 대하여, 즉 λ_0 , (d_1, d_2) , α^* 의 실험조합에 대하여 다음과 같이 평가 단계가 취해진다.

① 근사 비편향 설계 기준을 이용하여 VSI, FSI np 관리도의 최적 설계를 하고, 정규근사 방법으로 VSI c 관리도의 최적설계를 한다. 각각 4개의 관리도는 각 실험에 대하여 서로 다른 모수들을 가지고 있다.

② 각 관리도에 대하여 이상상태의 ATS인 ATS_1 의 수준을 m 이라고 할 때 $m=8$ 개의 서로 다른 이상상태의 수준($0.2\lambda_0, 0.4\lambda_0, 0.6\lambda_0, 0.8\lambda_0, 1.2\lambda_0, 1.6\lambda_0, 1.8\lambda_0, 2.0\lambda_0$)에 대하여 계산한다. 각 c 관리도의 효율성을 비교하는데 용이하기 위하여 계산된 ATS_1 를 안정상태의 ATS에서의 비율 $DR(\rho_i\lambda_0)$ 로서 측정하고 식 (19)와 같이 나타낼 수 있다.

$$DR(\rho_i\lambda_0) = \frac{ATS_1(\rho_i\lambda_0)}{ATS_0} \quad (19)$$

$$\overline{DR}(\rho_i\lambda_0) = \left[\sum_{i=1}^m ATS_1(\rho_i\lambda_0) / ATS_0 \right] / m \quad i=1, \dots, m$$

즉, 주어진 λ 값에서 $DR(\rho_i\lambda_0)$ 는 $ATS_1(\rho_i\lambda_0)$ 를 안정상태에서 계산된 ATS_0 로 나눔으로써 계산할 수 있다. 결론적으로, 각각의 관리도에 대한 $\overline{DR}(\rho_i\lambda_0)$ 를 비교하게 될 때, 작은 값을 가지는 관리도가 수행도 측면에서 우수하다고 할 수 있다. 8가지 경우에 대하여 각 모수들의 구체적인 실험조합을 <표 3>에 나타내었고, 각 관리도의 $\overline{DR}(\lambda)$ 를 구한 결과를 <표 4>에 나타내었다.

<표 3> Cases study for various c charts

cases	parameters of control chart		
1	$d_1 = 0.1$ $d_2 = 1.9$	$\lambda_0 = 8.5$	$\alpha^* = 0.0027$
2	$d_1 = 0.1$ $d_2 = 1.9$	$\lambda_0 = 8.5$	$\alpha^* = 0.01$
3	$d_1 = 0.1$ $d_2 = 1.9$	$\lambda_0 = 16.5$	$\alpha^* = 0.0027$
4	$d_1 = 0.1$ $d_2 = 1.9$	$\lambda_0 = 16.5$	$\alpha^* = 0.01$
5	$d_1 = 0.5$ $d_2 = 1.5$	$\lambda_0 = 8.5$	$\alpha^* = 0.0027$
6	$d_1 = 0.5$ $d_2 = 1.5$	$\lambda_0 = 8.5$	$\alpha^* = 0.01$
7	$d_1 = 0.5$ $d_2 = 1.5$	$\lambda_0 = 16.5$	$\alpha^* = 0.0027$
8	$d_1 = 0.5$ $d_2 = 1.5$	$\lambda_0 = 16.5$	$\alpha^* = 0.01$

<표 4> Decreasing rate for various c charts

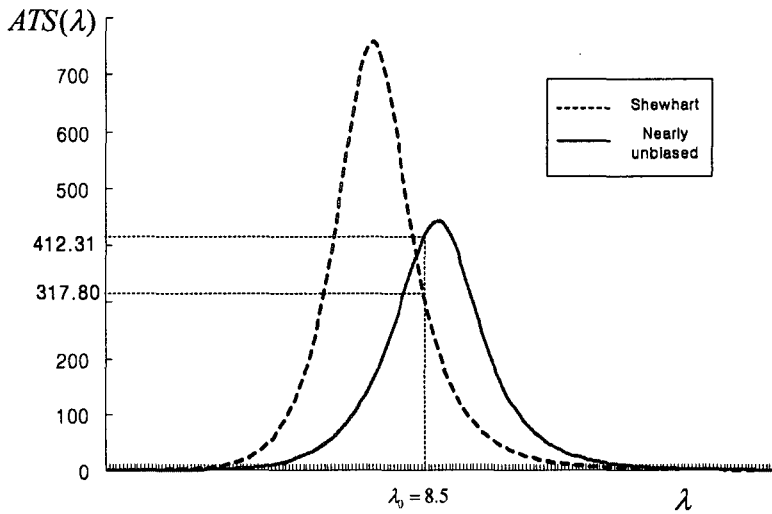
cases	$\overline{DR}(\lambda) = \left[\sum_{i=1}^8 \text{ATS}_i(\rho_i; \lambda_0) / \text{ATS}_0 \right] / 8$ (%)			
	VSI(shewhart)	FSI(shewhart)	VSI(unbiased)	FSI(unbiased)
1	31.891	40.734	10.798	13.607
2	51.805	68.151	9.722	12.377
3	12.290	17.381	4.026	5.511
4	8.971	13.297	5.136	7.253
5	35.764	40.734	12.013	13.606
6	58.954	68.151	10.861	12.376
7	14.430	17.381	4.642	5.509
8	10.686	13.297	6.013	7.250

요인 실험결과, 모든 실험조합에 대하여 본 연구에서 제안하고 있는 근사 비편향 VSI 관리도의 $\overline{DR}(\rho_i; \lambda_0)$ 가 가장 작게 나온다는 것을 알 수 있다. 즉 공정 모수 이동 수준에 관계없이 제안하고 있는 근사 비편향 VSI c 관리도가 가장 빠른 시간에 공정모수 이동을 감지한다는 것을 알 수 있다.

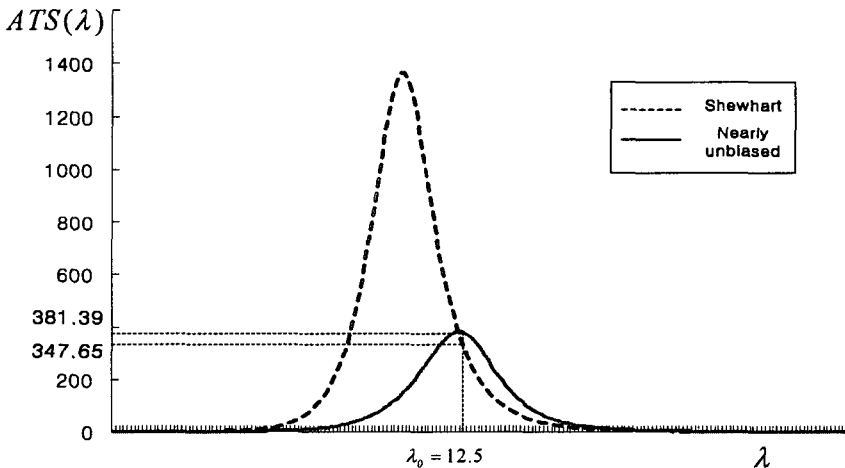
4.2 비편향성 평가

본 연구에서 제안된 c 관리도의 근사 비편향 ATS설계의 가장 중요한 점은 공정모수가 안정상태인 $\lambda = \lambda_0$ 에서 가장 큰 ATS를 가지도록 관리도를 설계하는 것에 있다. 그러나 계수치 데이터의 특성인 연속적인 데이터가 아니므로 완벽하게 비편향성을 가지는 ATS 곡선을 설계하는 것은 불가능하다. 비편향 ATS 설계에 “근사(nearly)”를 언급하는 것도 이러한 문제 때문이다.

따라서, 본 연구에서 설계된 관리도의 비편향성의 정도를 평가하기 위하여 오보확률의 상한 α^* 는 Shewhart 3시그마 한계와 동일하게 0.0027로 설정하고 모든 관리도를 평가한다. VSI c 관리도의 비편향성을 평가하기 위하여 공정이 안정상태인 경우 모수 λ_0 를 8.5, 12.5로 변화시켜서 실험하였다.



<그림 4> ATS curves for nearly unbiased c chart and Shewhart c chart($\lambda_0 = 8.5$)



<그림 5> ATS curves for nearly unbiased c chart and Shewhart c chart($\lambda_0 = 12.5$)

비편향성은 평균 부적합수 λ_0 값의 변화에 따라서 ATS 곡선의 변화가 안정상태의 공정모수 λ_0 를 중심으로 λ 의 증가와 감소에 대하여 낮아지는 경향을 보이는가를 살펴보면 된다. <그림 4>~<그림 5>는 각각의 실험모수에 대하여 ATS 곡선의 변화를 Shewhart 방법의 관리도와 비교하여 나타낸 것이다. 모든 실험 모수에 있어서 본 연구에서 제안하는 근사 비편향 설계방법이 공정모수의 상측, 하측 변화에 모두 민감하게 반응하는 관리도 설계방법이라는 것을 보여주고 있다.

5. 결론

본 연구는 기존의 계수치 관리도가 가지는 장점을 이용하고, 동시에 단점을 제거하는 설계방법을 제공함으로써 공정의 상태 변화에 민감한 관리도를 제시하는데 그 목적을 두고 있다. 특히, 품질경영의 목적인 지속적인 개선의 일환으로 항상 공정을 모니터링하여 개선된 공정모수에 대한 표준화 단계 및 바람직한 공정모수 설정에 대한 확인 단계에 본 연구에서 제시하는 관리도가 사용될 수 있다.

본 연구에서 제안된 관리도의 수치실험에서 다양한 모수조합에 따른 요인 실험 결과, 안정상태의 공정모수가 λ_0 라고 할 때, 모든 모수환경에서 근사 비편향 ATS 설계방법을 이용한 VSI 관리도가 모수변화에 따른 ATS 감소율 $\overline{DR}(\rho; \lambda_0)$ 가장 작게 나타났다. 즉, 모든 실험조합에 대하여 공정모수의 이동을 감지하는 수행도가 가장 우수하다는 것을 알 수 있었다.

또한 비편향성 평가에 있어서 VSI c 관리도에 Shewhart 설계방법으로 관리도의 모수를 설정한 결과, ATS 곡선은 아주 큰 편향성을 가지고 있었다. 이러한 비편향성은 샘플 크기 n 과 공정관리모수인 λ_0 를 증가시키면, 다소 개선될 수 있다. 그러나 현실적으로 샘플 크기를 무한히 증가시킨다는 것은 비용, 시간 등의 낭비를 가져오게 되므로 적합하지 않다. 그러나 본 연구에서 제안하는 근사 비편향 VSI 계수치 관리도의 설계방법은 n 의 크기와 관리모수 크기에 대하여 ATS 곡선의 비편향성의 변화가 둔감하다.

6. 참고 문헌

- [1] S. B. Soffer., "Transformed p Chart for Variable Sample Size." Journal of Quality Technology, Vol. 13, No. 3, pp. 189-191, 1981.
- [2] Rocke, D. M., "The adjusted p chart and u chart for varying sample sizes", Journal of Quality Technology, Vol. 22, No. 3, pp. 206-209, 1990.
- [3] Ryan, T. P. and Schwertman, N. C., "Optimal limits for attributes control charts", Journal of Quality Technology, Vol. 29, No. 1, pp. 86-98, 1997.

- [4] Pignatiello, J. J. Acosta, C. A. Rao, B. V., "Performance of Control Charts for Monitoring Process Dispersion", INDUSTRIAL ENGINEERING RESEARCH CONFERENCE PROCEEDINGS, Vol. 4 No. 1, pp. 256-355, 1995.
- [5] Acosta-Mejia, C. A., "Improved p charts to monitor process quality", IIE Transactions, Vol. 31, pp. 509-516, 1999.
- [6] Champ, C. W. and Woodall, W. H., "Exact results for Shewhart control charts with supplementary runs rules", Technometrics, Vol. 29, No. 4, pp. 393-399, 1987.
- [7] Zhang, L., Bebbington, M. S., Lai, C. D., and Govindaraju, K., On statistical design of the S^2 control chart, Submitted for publication, 2003.
- [8] Arnold, J. C., "A Markovian Sampling Policy Applied to Quality Monitoring of Streams," Biometrics, 26, pp. 739-747, 1970.
- [9] Costa, A. F. B., " \bar{X} Charts with Variable Sample Size," Journal of Quality Technology. Vol 26, No. 3, pp. 401-407, 1994.
- [10] Reynolds, M. R. and Amin, R. W. et al, " \bar{X} Charts with Variable Sampling Interval," Technometrics. Vol. 30, No. 2, pp. 181-191, 1988.
- [11] Cui R. and Reynolds. M. R. Jr, " \bar{X} Chart With Runs Rules and Variable Sampling Intervals," Technical Report 88-1, Virginia Polytechnic Institute and State University, Dept. of Statistics, 1988.
- [12] Costa, A. F. B, " \bar{X} Chart with Variable Sample Size and Sampling Intervals," Journal of Quality Technology. Vol. 29 No. 7, pp. 401-407, 1997.
- [13] Reynold, M. R. and Amin, R. W. et al, " CUSUM Charts with Variable Sampling Intervals," Technometrics, Vol. 32, No. 4, pp. 371-384, 1990.
- [14] Prabhu, S. S. and Montgomery, D. C, " A Combined Adaptive Sample Size and Sampling Interval \bar{X} Control Scheme," Journal of Quality Technology. Vol. 26, pp. 164-176, 1994.

저 자 소 개

박 주 영 : 현재 울산과학기술대학 산업경영과 교수를 재직중이며, 동아대학교에서 공학박사를 취득하였으며 주요 관심분야로서는 품질경영, 안전관리 등이다.

저 자 주 소

박 주 영 : 울산광역시 남구 무거2동 산 29번지 공업경영과