▩ 연구논문

지니(Gini)의 평균차이를 이용한 산포관리도
A Control Chart of the Deviation Based on the Gini's Mean Difference

남 호수[1)]
Nam, Ho Soo
강 중철[2)]
Kang, Jung Cheol

Abstract

The efficiency and robustness of the scale estimator based on the Gini's mean difference are well known in Nam et al.(2000). In this paper we propose use of robust control limits based on the Gini's mean difference for the control of the process deviation. To compare the performances of the proposed control chart with the existing R-chart or S-chart, some Monte Carlo simulations are performed. The simulation results show that the use of the Gini's mean difference in construction of the control limits has good performance.

1. 서 론

일반적으로 통계적 공정관리(SPC)에 있어서 중요한 관리요소중의 하나가 공정특성에 대한 공정평균(process mean)과 공정산포(process deviation)의 올바르고 적절한 관리라고 할 수 있겠다. 이 중 공정평균의 관리를 목적으로 하는 로버스트 관리도(Rocke(1989), Langenberg and Iglewicz(1986), 등)에 관한 연구는 다양하게 이루어져 왔으나, 공정산포의 관리를 위한 관리도는 다소 그 연구의 폭이 넓지 못한 측면이 있는 것으로 생각된다.

본 논문에서는 공정산포를 관리하기 위한 관리도로서 기존의 S-관리도 및 R-관리도에서 관리한계선의 로버스트 추정법을 통하여 관리도의 오류율 및 탐지력을 향상시킨 산포관리도를 제안하고자 한다.

제안된 관리도는 기존의 공정산포를 관리하기 위한 관리도, S-관리도 및 R-관리도와 성능을 비교해 보기 위하여 공정특성의 다양한 분포에서 시뮬레이션을 실시할 것이며, 이를 통하여 제안된 관리도의 우수성을 입증하고자 한다.

1) 동서대학교 정보시스템공학부
2) 동서대학교 e-비즈니스학부

2. 공정산포의 추정

일반적인 공정관리에서 공정특성치(process characteristics)를 확률변수 X라 하면 다음과 같은 모형을 고려해 볼 수 있겠다.

$$X = \mu + \varepsilon$$

즉, 특성치의 평균을 μ라 할 때, 공정특성은 평균을 중심으로 대칭적으로 또는 비대칭적으로 변동을 하게 마련인 것이다. 여기서 공정특성치의 변동을 공정산포라 하고, 이를 σ라 하면 σ는 다음과 같이 표현할 수 있겠다.

$$\sigma = \sqrt{Var(\varepsilon)} = \sqrt{Var(X)}$$

여기서 ε은 오차항(error term)으로서 확률적으로 변화하는 확률변수이다.

하나의 모집단에서 표본(sample)을 이용하여 공정산포(σ)의 추정방법을 논하기 위하여 다음과 같은 표본을 고려해 보자.

$$x_i = \mu + \varepsilon_i, \qquad i = 1, 2, \cdots, n.$$

여기서 n은 표본의 크기이며, 오차항(ε_i)들은 서로 독립이라 가정한다.

우선 공정산포의 추정량들 가운데, 표준편차(standard deviation), 범위(range) 및 지니(Gini)의 평균차이(Gini's mean difference, Gini(1912))를 간략하게 소개하면 다음과 같다.

2.1 표본표준편차(sample standard deviation)에 의한 추정

표본표준편차에 기초한 σ의 추정은 다음과 같이 할 수 있으며,

$$\widehat{\sigma_S} = \frac{s}{c_4(n)} = \frac{1}{c_4(n)}\sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}$$

여기서 s는 흔히 쓰이는 표본표준편차이고, $c_4(n)$은 데이터가 정규분포에서의 표본일 때 $E(\widehat{\sigma_s}) = \sigma$, 즉 불편성(unbiasedness)을 갖게 해 주는 상수로서 n의 함수로 표현되며, $c_4(n)$은 다음과 같다(Montgomery(1991), pp. 231~234).

$$c_4(n) = \sqrt{\frac{2}{n-1}}\frac{\Gamma(n/2)}{\Gamma[(n-1)/2]}$$

$c_4(n)$의 값은 1보다 작으나 표본의 크기 n이 커짐에 따라 1에 가까워지며, 대부분의 경우 표본표준편차 s를 간편하게 산포 σ의 추정치로 쓴다. 그러나 표본의 크기가 작을 경우에는 $E(s) < \sigma$으로 s는 σ를 과소추정(under estimate)하게되는 경향이 있다.

한편, S-관리도를 위한 $\widehat{\sigma_S}$의 표준오차(standard error)는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$S.E.(\widehat{\sigma_S}) = \sqrt{Var(\widehat{\sigma_S})} = \sigma\sqrt{1 - c_4^2(n)} \,/\, c_4(n) \tag{2.1}$$

2.2 범위를 이용한 추정

범위(range)를 이용한 산포의 추정은 다음과 같이 할 수 있으며,

$$\widehat{\sigma_R} = \frac{R}{d_2(n)}$$

여기서 $R = \max\{x_i\} - \min\{x_i\}$이고, $d_2(n)$는 데이터가 정규분포에서의 표본일 때 $E(\widehat{\sigma_R}) = \sigma$, 즉 범위에 기초한 추정량이 불편성을 갖게 해 주는 상수로서 n의 함수로 표현된다.

범위에 기초한 추정량은 관리도 또는 공정능력 평가에 가장 널리 사용되고 있는 산포의 추

정량이다. 이는 Montgomery(1991)에 의하면 소표본일 경우 표본표준편차에 근접하는 상대효율(relative efficiency)을 보여주고 있다. 그러나 표본크기가 커지면 범위에 기초한 추정량의 효율은 상당히 떨어지는 것으로 알려져 있다.

한편, R-관리도를 위한 $\widehat{\sigma_R}$의 표준오차(standard error)는 다음과 같다.

$$S.E.(\widehat{\sigma_R}) = \sqrt{Var(\widehat{\sigma_R})} = \sigma \cdot d_3(n) \big/ d_2(n) \tag{2.2}$$

여기서 $d_3(n)$은 데이터가 정규분포에서의 표본일 때 계산되어지는 값으로서 n의 함수로 나타내어진다(Montgomery(1991), pp. 203~206).

2.3 Gini의 평균차이(mean difference)에 기초한 산포의 추정

Gini의 평균차이(Gini's mean difference)는 지니(Gini(1912))에 의하여 제안된 산포의 추정방법으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$\widehat{\sigma_G}$는 척도(σ)의 로버스트 추정량으로서,

$$\widehat{\sigma_G} = \frac{x}{{}_nC_2} \sum_{i=2}^{n} \sum_{j=1}^{i-1} |x_j - x_i| \tag{2.3}$$

여기서 $x = \sqrt{\pi}/2$를 주로 쓰며, 이는 데이터가 정규분포에서의 표본일 경우 추정량의 불편성을 담보한다. 일반적으로 분포함수 $F(x)$를 갖는 연속확률변수 X에 대한 평균차이 Δ_R은 다음과 같이 표현될 수 있으며,

$$\Delta_R = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} |x - y| \, dF(x) \, dF(y)$$

Δ_R의 적률방식에 의한 추정량(method of moment estimator)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\widehat{\Delta_R} = \frac{1}{{}_nC_2} \sum_{i=2}^{n} \sum_{j=1}^{i-1} |x_j - x_i|$$

즉, 지니(Gini)의 평균차이는 이에 기초한 산포의 추정량으로서, 표본의 크기가 작을 때 데이터의 재사용(reuse) 또는 반복사용을 통한 정보활용도를 높여 산포를 추정하기 때문에 추정의 정도(precision) 또는 효율성을 높일 수 있으며, 이상점(outliers)에 덜 민감하여 산포 σ에 대한 로버스트 추정법으로 고려될 수 있다.

한편, 식(2.3)의 추정량은 다음과 같이 표현할 수 있는데,

$$\widehat{\sigma_G} = \frac{x}{n(n-1)} \sum_{i=1}^{n} (2i - n - 1) X_{(i)} \tag{2.4}$$

여기서 $X_{(i)}$는 순서통계량(order statistics)으로서 다음이 성립한다.

$$X_{(1)} \le X_{(2)} \le \cdots\cdots \le X_{(n)}$$

식 (2.4)를 이용하여 보다 간편하게 추정량을 계산할 수 있으며, 또한 이에 기초하여 데이터가 정규모집단에서의 표본일 때, Gini의 평균차이에 기초한 산포추정량에 대한 표준오차는 다음과 같이 계산되어질 수 있다.(David(1968), Lomnicki(1952), Nair(1936))

$$S.E.(\widehat{\sigma_G}) = \sigma \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \left\{ n(\pi/3 + 2\sqrt{3} - 4) + (6 - 4\sqrt{3} + \pi/3) \right\}}$$

이는 $c_4(n)$ 또는 $d_2(n)$과 같은 복잡한 형태의 계산식을 필요로 하지 않으며, 또한 이를 위한 계산표(table)도 필요하지 않은 분명한 형태로 표현된다.

한편, 지니의 평균차이에 기초한 산포의 추정법은 그 동안 계산의 번거로움 때문에 기피되어 온 면이 없지 않다. 그러나 오늘날과 같이 컴퓨터의 사용 및 사용자의 인터페이스가 강화된 프

로그램 환경에서 계산알고리즘의 복잡성 또는 번거로움은 더 이상 설득력을 얻기 힘들 것으로 생각된다.

3. 공정산포를 관리하기 위한 관리도

본 절에서는 앞에서 기술된 공정산포의 추정량에 기초한 산포관리도를 소개하고자 한다. 우선 표준편차에 기초한 관리도(S-관리도)와 범위에 기초한 관리도(R-관리도)는 널리 사용되는 기존의 관리도라 할 수 있으며 이에 대하여는 간단히 소개하고, 본 논문에서 제안하고자하는 Gini의 평균차이를 이용한 산포관리도에 대하여 중점적으로 설명하고자 한다.

일반적으로 Schewhart 형태의 관리도는 타점통계량의 평균을 중심선으로 하고, 중심선에서 타점통계량의 표준오차(표준오차의 추정량)의 3배 떨어진 값을 관리상한선 및 하한선으로 설계를 한다.

공정산포를 관리하기 위한 관리도에 관한 이론을 다루기 위하여 우선 다음과 같은 모형을 고려해 보자.

$$x_{ij} = \mu_0 + \varepsilon_{ij}\ ,\ i=1,2,\cdots,k\ ;\ \ j=1,2,\cdots,n \tag{3.1}$$

여기서 k는 부분군(subgroup)의 개수이고 n은 부분군의 크기(subgroup size)이며 μ_0는 공정의 목표치(target value) 또는 공정평균(process mean)을 의미한다. x_{ij}는 i번째 부분군에서 얻어진 j번째 데이터이며, ε_{ij}는 오차항(error term)으로 서로 독립이고 기대값은 0, 분산은 σ^2인 분포를 따른다. 만약 ε_{ij}가 $N(0, \sigma^2)$을 따른다면 표본표준편차에 기초한 산포의 추정량 $\widehat{\sigma_S}$는 가장 효율적인 공정산포의 추정량이 될 것이며, 이 경우 기존의 $\widehat{\sigma_S}$에 기초한 산포관리도는 성능이 뛰어난 관리도가 될 수 있을 것이다. 그러나 일반적으로 오차항이 정규분포를 따른다는 가정이 무리일 경우가 빈번하며, 이 경우 $\widehat{\sigma_S}$는 데이터에 포함되어 있을 수 있는 이상점 또는 긴 꼬리분포(long-tailed distribution)의 영향을 받아 치우침(bias)이 있는 값을 공정의 산포로 추측하는 경우가 생길 수 있다. 이는 표준편차에 기초한 추정량이든, 범위에 기초한 추정량이든 공통적으로 발생할 수 있는 현상이다. 따라서 이들 산포추정량에 기초한 관리도는 공정의 산포가 클 경우, 또는 대형오차(gross-errors) 등으로 이상점이 발생할 때 공정산포의 변화를 제대로 탐지해내지 못하게되는 단점이 있다.

이제 2절에서 기술된 표준오차를 이용하여 기존의 Shewhart 형태의 산포관리도 및 Gini의 평균차이를 이용한 관리도에 관하여, 즉 중심선(CL; Center Line), 관리상한선(UCL; Upper Control Limit) 및 관리하한선(LCL; Lower Control Limit)에 대하여 설명하면 다음과 같다.

3.1 표본표준편차를 이용한 산포관리도(S-관리도)

표본표준편차에 기초한 공정산포의 관리도에서 중심선(CL) 및 관리상한선(UCL), 관리하한선(LCL)은 다음과 같이 계산되어질 수 있다.

$$CL = \overline{\widehat{\sigma_S}} = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k}\widehat{\sigma_{S_i}}$$

여기서 k는 부분군(subgroup)의 개수를 의미하고, $\widehat{\sigma_{S_i}}$는 i번째 부분군에서 얻어진 산포의 추정량(각 부분군에서 얻어진 표본표준편차)이고, 중심선은 이들 추정량의 평균이다. 또한 관리한계선은 다음과 같이 주어지는데,

$$UCL = CL + 3\times \overline{\widehat{\sigma_S}} \times \sqrt{1-c_4^2(n)} \,/\, c_4(n)$$
$$LCL = CL - 3\times \overline{\widehat{\sigma_S}} \times \sqrt{1-c_4^2(n)} \,/\, c_4(n)$$

이는 식 (2.1)에서 얻어진 표준오차의 추정값을 이용한 것이다.

3.2 범위를 이용한 산포관리도(R-관리도)

범위에 기초한 공정산포의 관리도에서 중심선 및 관리상한선(UCL), 관리하한선(LCL)은 다음과 같이 계산되어질 수 있으며,

$$CL = \overline{\widehat{\sigma_R}} = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k}\widehat{\sigma_{R_i}}$$
$$UCL = CL + 3\times \overline{\widehat{\sigma_R}} \times d_3(n) \,/\, d_2(n)$$
$$UCL = CL - 3\times \overline{\widehat{\sigma_R}} \times d_3(n) \,/\, d_2(n)$$

여기서 $\widehat{\sigma_{R_i}}$는 i번째 부분군에서 얻어진 산포의 추정량(각 부분군에서 얻어진 범위에 기초한 σ의 추정량)이고, 중심선(CL)은 이들 추정량의 평균이다.

3.3 Gini의 평균차이(mean difference)를 이용한 산포관리도

기존의 S-관리도 및 R-관리도에서 관리한계선은 타점통계량의 표준오차의 추정량에 의하여 결정된다. 본 논문에서는 S-관리도 또는 R-관리도에서 타점통계량의 표준오차의 추정량으로서 Gini의 평균차이에 기초한 추정량을 사용한 관리도를 제안하고자 한다.

Gini의 평균차이에 기초한 추정량은 전술한 바와 같이 산포의 로버스트한 추정량으로서 이에 기초한 관리한계선의 설정은 기존의 S-관리도 또는 R-관리도에 비하여 산포관리도의 탐지력 및 오류율을 개선할 수 있을 것으로 고려된다.

제안하고자 하는 관리도의 형태는 S-관리도 및 R-관리도에서 각각 다음과 같은 관리한계선을 가지게 된다. 우선 S-관리도에서 관리한계선을 Gini의 평균차이에 기초한 추정량을 사용할 경우(SG-관리도), 중심선(CL)은 S-관리도와 같고, 관리상한선(UCL), 관리하한선(LCL)은 다음과 같이 계산되어질 수 있으며,

$$UCL = CL + 3\times \overline{\widehat{\sigma_G}} \times \sqrt{1-c_4^2(n)} \,/\, c_4(n)$$
$$LCL = CL - 3\times \overline{\widehat{\sigma_G}} \times \sqrt{1-c_4^2(n)} \,/\, c_4(n)$$

같은 방법으로 R-관리도에서 Gini의 평균차이에 기초한 추정량을 사용할 경우(RG-관리도)에도 중심선(CL)은 R-관리도와 같은 방법으로 계산되어지고, 관리상한선(UCL) 및 관리하한선(LCL)은 아래와 같이 표현될 수 있다.

$$UCL = CL + 3\times \overline{\widehat{\sigma_G}} \times d_3(n) \,/\, d_2(n)$$
$$UCL = CL - 3\times \overline{\widehat{\sigma_G}} \times d_3(n) \,/\, d_2(n)$$

여기서 $\overline{\widehat{\sigma_G}} = (1/k)\sum_{i=1}^{k}\widehat{\sigma_{G_i}}$ 이고, $\widehat{\sigma_{G_i}}$는 i번째 부분군에서 얻어진 산포의 추정량으로서 식 (2.4)에 기초하여 추정된 것이다. 즉, $\widehat{\sigma_{G_i}}$는 i번째 부분군에서 얻어진 Gini의 평균차이에 기초한 공정산포의 추정량이며, $\overline{\widehat{\sigma_G}}$는 이들의 평균이다. 또한, 공정특성치가 정규분포를 따를 때 $\overline{\widehat{\sigma_G}}$는 공정산포 σ의 불편추정량(unbiased estimator)이 된다.

4. 몬테칼로 모의실험을 통한 비교

3절에서 제안된 Gini의 평균차이에 기초한 공정산포의 관리도를 기존의 R-관리도 또는 S-관리도와 성능을 비교해 보기 위하여 다양한 상황에서 몬테칼로(Monte Carlo) 모의실험을 실시하였으며, 모의실험에서 고려한 모형은 다음과 같다.

$$x_{ij} \;=\; 10.0 + \varepsilon_{ij} \;\;;\;\; j=1,2,\cdots,5,\quad i=1,2,\cdots,10000$$

여기서 각 부분군의 크기(n)는 5개이며, 부분군의 개수는 10,000개이다.

한편, 공정산포가 변화할 때 관리도가 이를 얼마나 제대로 탐지해 내는가를 살펴보기 위하여 다음과 같이 5개의 수준(δ)을 두어 모의실험을 해 보고자 한다. 우선 δ가 0일 때 공정산포는 1($\sigma=1$)이라 가정하자. 이를 위하여 오차항의 분포는 표준정규분포로 가정한다.

다음으로 공정산포의 변화는 표준정규분포에 이상점(outlier)을 발생시키는 형태로 주려고 한다. 즉, δ의 수준이 높아질수록 오염된 정규분포(contaminated normal distribution; $CN(\varkappa,\ \gamma)$)에서 오염비율(contaminated rate)은 증가하며, 따라서 산포가 커지게 된다. 여기서 오염된 정규분포의 분포함수는 다음과 같이 정의될 수 있다. 즉, $\varkappa$를 표준정규분포에서의 오염비율(contaminated rate)이라 하고, $\Phi(x)$를 표준정규분포의 분포함수라 하면 표준정규분포에 표준편차가 γ인 정규분포가 α의 비율로 오염되는 분포의 분포함수 $F(x)$는

$$F(x) \;=\; (1-\varkappa)\Phi(x) \;+\; \varkappa\,\Phi(x/\gamma)$$

으로 나타낼 수 있다.

모의실험에서 δ는 공정산포의 변화를 의미하는 값으로서 6개의 수준을 가지며, δ의 값이 0일 경우에 관리한계선을 벗어나는 점들의 비율은 가설검정에서 유의수준(significance level)과 같은 의미로 해석될 수 있겠다. 즉, 공정산포가 1.0일 때 산포가 관리상태하에 있지 않다고 잘못 판단(제 1종 오류)하는 회수를 의미한다. 이 때 산포관리도의 오류율(경험적 유의수준(α))은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\text{오류율}(\alpha) \;=\; \frac{\text{관리한계선을 벗어난 점들의 수}}{\text{모든 점들의 수}}$$

이 때 평균런길이(ARL; Average Run Length)는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$ARL \;=\; 1/\alpha.$$

한편, δ의 수준이 증가할수록 공정산포는 원래의 산포 σ보다 커지게 되며, 이 때 산포관리도의 탐지력은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\text{탐지력}(1-\beta) = \frac{\text{관리한계선을 이탈하는 점들의 수}}{\text{모든 점들의 수}}$$

이 경우, 즉 공정이 관리상태를 벗어났을 때 관리도가 공정의 산포가 관리상태하에 있다고 잘못 판단(제 2종 오류)할 가능성을 β라고 한다면, 이 때의 평균런길이(ARL; Average Run Length)는 다음과 같이 표현될 수 있다(Montgomery(1991), pp. 229).

$$ARL \;=\; 1/(1-\beta).$$

즉, ARL과 탐지력(오류율)은 동일한 척도의 다른 표현으로 볼 수 있으며, 본 논문에서는 ARL 보다는 오류율 및 탐지력으로 관리도의 성능을 비교하는 척도로 삼기로 한다.

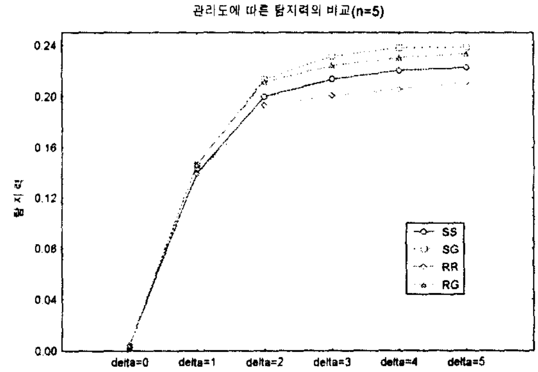
모의실험의 모든 계산은 S-PLUS (Statistical Science(1994))를 이용하여 이루어 졌으며, [표 4.1]은 다양한 오차항의 분포에서 주어진 수준 δ에 대하여 관리도가 공정산포의 변화를 탐지해낼 가능성을 관리한계선을 이탈하는 점들의 비율(탐지력)로 나타낸 값이며, [그림 4.1]은 [표 4.1]의 결과를 도표로서 나타낸 결과이다. [표 4.1]에서 볼 수 있듯이 공정산포가 목표값 σ_0 (=1; 중심선(CL))에서 δ수준만큼(수준이 높을수록 목표값에서 많이 벗어남) 벗어날 때, 산포관리도의 탐지력을 나타낸 것이다. 오차항의 분포가 표준정규분포(δ=0)일 경우에는 Gini의 평균

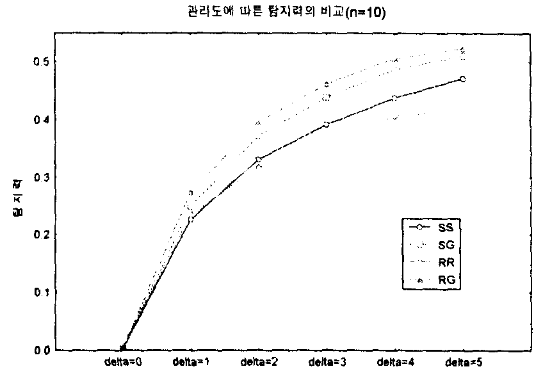
차이를 이용한 산포관리도(SG, RG)는 표본표준편차에 기초한 산포관리도(S) 또는 범위에 기초한 산포관리도(R)에 비하여 관리도의 성능(오류율)에 큰 차이가 없어 보이며, 다만 범위에 기초한 관리도(RR, RG)의 오류율이 표준편차에 기초한 관리도(SS, SG)에 비하여 다소 높게 나타난다. 또한, 부분군의 크기(n)이 5일 때에는 S와 R은 관리도의 성능이 모든 고려된 분포에서 비슷하게 나타남을 알 수 있다. 반면, n이 10일 경우에는 R-관리도의 오류율은 높은데 비하여 탐지력은 다른 관리도에 비하여 떨어짐을 알 수 있다.

한편, Gini의 평균차이를 이용한 산포관리도(SG, RG)는 오류율은 각각 S 또는 R 관리도와 거의 일치하며, 반면 탐지력은 모든 δ의 수준에서 S, R-관리도에 비하여 뛰어남을 알 수 있다. 이러한 결과에 근거해 볼 때, 산포관리도에서 Gini의 평균차이를 이용하여 관리한계선을 설정하는 방식이 기존의 표준편차 또는 범위에 기초한 관리한계선보다 비슷한 오류율에 비하여 탐지력은 우수하며, 이러한 측면에서 효율적인 관리도라 할 수 있겠다.

[표 4.1 관리도에 따른 탐지력의 비교]

관리도		δ(level)					
		0 N(0, 1)	1 CN(0.1, 5)	2 CN(0.2, 5)	3 CN(0.3, 5)	4 CN(0.4, 5)	5 CN(0.5, 5)
n=5	SS	0.0036	0.1399	0.1998	0.2133	0.2203	0.2225
	SG	0.0036	0.1464	0.2132	0.2312	0.2381	0.2385
	RR	0.0041	0.1393	0.1931	0.2007	0.2057	0.2111
	RG	0.0040	0.1468	0.2113	0.2239	0.2302	0.2333
n=10	SS	0.0027	0.2266	0.3314	0.3919	0.4382	0.4720
	SG	0.0027	0.2493	0.3727	0.4391	0.4868	0.5108
	RR	0.0042	0.2357	0.3176	0.3664	0.4062	0.4195
	RG	0.0041	0.2741	0.3964	0.4619	0.5061	0.5231





[그림 4.1 관리도에 따른 탐지력의 비교]

5. 결 론

본 논문에서는 공정산포를 관리하기 위한 관리도로서 기존의 범위(R) 또는 표준편차(S)에 기초한 관리도를 개량하기 위한 방법으로서 관리한계선의 효율적인 설정에 관하여 논하였다. 기존의 R 또는 S-관리도에서 사용한 타점통계량의 표준오차의 추정문제에서 Gini의 평균차이를 이용한 공정산포의 추정량을 사용하여 관리한계선을 설정함으로서 보다 탐지력이 높은 로버스트 관리도를 제안하였다.

제안된 관리도는 시뮬레이션을 실시해 본 결과 기존의 범위(R) 또는 표준편차(S)에 기초한 관리도에 비하여 오류율은 거의 동일하면서도 탐지력은 높은 산포관리도임을 알 수 있었다.

참고문헌

[1] David, H. A.(1968). "Gini's mean difference rediscovered", *Biometrika*, 55, 573-575.

[2] Gini, C.(1912). Variabilita e mutabilita, contributo allo studio delle distribuzioni e delle relazioni statistiche. *Studi Economico-Giuridici della R. Universita di Cagliari.* 3, part 2, 3-159.

[3] Langenberg, P. and Iglewicz, B. (1986). Trimmed Mean $\overline{X}$ and R Charts, *Journal of Quality Technology*, Vol. 18, 152-161.

[4] Lomnicki, Z. A.(1952). "The Standard Error of Gini's Mean Difference", *Annals of Mathematical Statistics*, Vol. 23, 635-637.

[5] Montgomery, D. C.(1991). *Introduction to Statistical Quality Control*, Wieley.

[6] Nair, U. S.(1936). "The Standard Error of Gini's Mean Difference", *Biometrika*, 28, 428-436.

[7] Rocke, D.M. (1989). Robust Control Charts, *Technometrics*, Vol. 31, 173-184.

[8] Statistical Sciences(1994). *S_PLUS for Windows User's Manual*, Siattle: Statistical Sciences.

[9] 남 호수, 이 병근, 정 현석(2000). "지니(Gini)의 평균차이를 이용한 공정산포 추정", 산업경영시스템학회지, Vol. 23, No. 58, pp 113-118.