

Design of Expected Loss Control Chart Considering Economic Loss

Dong-Hyuk Kim · Young-Bae Chung[†]

Department of Industrial Management Engineering, Incheon National University

경제적 손실을 고려한 기대손실 관리도의 설계

김동혁 · 정영배[†]

인천대학교 산업경영공학과

Control chart is representative tool of Statistical Process Control (SPC). But, it is not given information about the economic loss that occurs when a product is produced characteristic value does not match the target value of the process. In order to manage the process, we should consider not only stability of the variation also produce products with a high degree of matching the target value that is most ideal quality characteristics. There is a need for process control in consideration of economic loss. In this paper, we design a new control chart using the quadratic loss function of Taguchi. And we demonstrate effectiveness of new control chart by compare its ARL with $\bar{x}-R$ control chart.

Keywords : EL Control Chart, Expected Loss, Quadratic Loss Function

1. 서 론

기업이 경쟁력을 가지기 위해서는 좋은 품질의 제품을 생산하는 것이 경쟁사들에 비하여 우위를 점할 수 있도록 하는 필수적인 요건이 되었다. 기업이 고품질의 제품을 생산하기 위해서는 공정이 가지는 산포를 적절하게 관리해야 할 필요성이 생기게 된다. 이러한 필요성을 충족시키기 위해서는 과학적인 공정관리 기법, 즉 통계적 공정관리(Statistical Process Control)를 채택하여 활용하여야 하며 그 대표적인 도구가 관리도이다.

관리도(Control Chart)는 공정의 상태를 나타내는 특성값에 관하여 그린 그래프로 공정을 관리 상태로 유지하거나, 공정의 관리상태 유무를 조사하기 위해 이용되는 통계적 기법이며 많은 산업 분야에서 활용하고 있는 대표적인 SPC 도구이다[1]. 관리도의 시작은 1920년대 Shewhart에

의해 고안된 3σ 법 관리도로, 이는 현재까지도 대부분의 기업에서 사용하고 있다. 이러한 관리도의 목적은 공정에 존재하는 산포를 관리하는 것이다. 공정에는 현 기술수준에서 가능한 통제를 모두 하여도 발생하는 우연원인(불가피 원인)과 관리 소홀에 의해 발생하는 이상원인(가피 원인)이 존재 한다. 관리도는 공정에 이상 원인이 침투하였을 때 가능한 조기에 탐지하여 관리자에게 신호를 보내고 신호를 받은 관리자는 이상 원인에 대한 원인 파악 및 조치를 통해 공정에 우연원인에 의한 산포만 존재하게 하는 것이 그 목적이라 할 수 있다. 전통적인 관리도는 이름 그대로 3σ , 즉 공정의 산포를 근거로 공정을 관리하는 도구이다. 가장 대표적으로 쓰이는 관리도로 $\bar{x}-R$ 관리도가 있다. 이는 공정의 산포의 변화를 범위 R로 감시하고, 공정 중심의 변화를 \bar{x} 관리도로 감시하는 관리도이다.

이러한 전통적인 관리도는 공정의 산포와 중심위치로 공정의 관리 상태를 감시한다. 이 경우 타점되는 품질특성치가 관리한계 내에 존재하는지에 대한 여부로 공정을 관리하고, 이는 생산된 제품 특성치가 공정 목표치와 일

치하지 않았을 경우에 발생하는 경제적 손실에 대한 정보는 주지 못한다. 그러므로 공정을 관리함에 있어 관리한계로 산포의 안정성만 고려할 것이 아니라, 가장 이상적인 품질특성치인 목표치에 높은 일치성을 갖는 제품을 생산할 수 있도록 관리할 필요가 있으며 이를 고려한 공정관리가 필요하다.

따라서 본 논문에서는 첫째, Taguchi의 손실함수를 이용한 새로운 관리도를 설계하고 둘째, 기존에 사용되던 전통적인 관리도인 $\bar{x}-R$ 관리도와의 성능을 비교함으로써 설계한 관리도의 효과를 입증하고자 한다.

2. 이론적 고찰

2.1 $\bar{x}-R$ 관리도

2.1.1 \bar{x} 관리도

\bar{x} 관리도는 부분군에서 계산된 \bar{x} 들을 타점하여 공정의 중심이 변화되고 있는가를 감시하는 관리도이다. \bar{x} 관리도의 중심선(CL)은 $E(\bar{x}) = \mu$, 관리한계선은 중심선을 기준으로 \bar{x} 의 편차인 $D(\bar{x}) = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ 의 3배 거리에 위치하고 있다. 공정 표준값이 정해진 경우는 μ_0, σ_0 를 사용하고 그렇지 않은 경우는 각각의 모수를 추정하여 계산하며 그 식은 다음 (1)과 같다.

$$\begin{aligned} CL &= \hat{\mu} = \bar{\bar{x}} \\ UCL &= \hat{\mu} + 3 \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R} \\ LCL &= \hat{\mu} - 3 \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R} \end{aligned} \quad (1)$$

여기에서 $\bar{\bar{x}} = \frac{\sum_{i=1}^k x_i}{k}$, $\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^k R_i}{k}$ 이고 A_2, d_2 는 군의 크기 n 에 의해서 구해지는 관리계수이다.

2.1.2 R 관리도

R 관리도는 각 부분군에서 계산된 R을 타점한 후 공정의 산포가 변화되고 있는가를 감시하는 관리도로서 공정의 우연변동에 해당되는 군내산포를 감시하는 관리도이다. R 관리도의 중심선(CL)은 $E(R) = d_2 \sigma$ 로 이루어지고 관리한계선은 중심선을 기준으로 R의 편차인 $D(R) = d_3 \sigma$ 의 3배 거리에 위치하고 있다. 이 역시 표준값이 정해지지 않은 경우 σ 를 추정하여 사용하며 그 식은 다음 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned} CL &= d_2 \hat{\sigma} = d_2 \frac{\bar{R}}{d_2} \\ UCL &= (d_2 + 3d_3) \hat{\sigma} = D_4 \bar{R} \\ LCL &= (d_2 - 3d_3) \hat{\sigma} = D_3 \bar{R} \end{aligned} \quad (2)$$

D_3, D_4 는 n 에 의해 정해지는 관리계수이며 그 식은 각각 $D_4 = 1 + 3 \frac{d_3}{d_2}$, $D_3 = 1 - 3 \frac{d_3}{d_2}$ 이다.

2.2 Taguchi의 이차손실함수

Taguchi의 손실함수 개념은 성능특성치가 목표치와 일치할 때는 손실이 발생하지 않으며 목표치로부터 멀어짐에 따라 손실이 크게 발생한다는 가정에서 이차식으로 근사화한 손실함수(QLF : Quadratic Loss Function) $L(x)$ 로 나타내며 그 기대치를 $E[L(x)]$ 로 나타낸다[2].

Taguchi의 이차손실함수와 기대손실은 품질특성치의 종류에 따라 다음과 같이 구하게 된다.

2.2.1 망목특성인 경우

Taguchi의 손실함수는 기본적으로 ‘특성치의 값이 목표치로부터 편차가 크면 클수록 손실이 커지며 이 편차가 0이면 손실이 없다’라는 가정하에 다음 식 (3)과 같은 2차식으로 근사화한다고 제안하였다[5].

$$L(x) = k(x - T)^2 \quad (3)$$

여기서 k 는 발생한 손실을 화폐 단위로 환산해주는 비용 상수로 허용차($\pm \Delta$)를 벗어날 경우 소비자가 제품을 수리하거나 폐기처분하는데 A의 비용이 든다고 했을 경우 $k = \frac{A}{\Delta^2}$ 로 구하여 진다. x 는 제품 특성치이며 T 는 목표치이다.

이 경우 기대손실은 다음 식 (4)와 같다.

$$E[L(x)] = E[k(x - T)^2] = k[\sigma^2 + (\mu - T)^2] \quad (4)$$

망목특성치의 기대손실 식 (4)에서 볼 수 있듯이 기대손실이 최소가 되려면 공정평균 μ 가 목표치 T 와 일치해야 하고, 공정산포 σ^2 이 작아야 한다는 것을 알 수 있다.

2.2.2 망소특성인 경우

망소특성의 경우 망목특성치의 경우에서 목표치 T 를 0으로 대입한 경우이다. 따라서 이 경우의 손실함수와 기대손실은 다음 식 (5)와 같다.

$$\begin{aligned} L(x) &= k(x-0)^2 = kx^2 \\ E[L(x)] &= E[kx^2] = k(\sigma^2 + \mu^2) \end{aligned} \quad (5)$$

식 (5)에서 망소특성의 경우 기대손실 값을 최소화 하기 위해서는 공정평균 μ 와 공정산포 σ 가 모두 작아져야 한다는 것을 알 수 있다.

2.2.3 망대특성의 경우

망대특성치의 경우는 제품 특성치 x 를 $x' = \frac{1}{x}$ 로 변환하여 x' 을 망소특성의 경우처럼 취급하여 구하며 그 손실함수와 기대손실은 다음 식 (6)과 같다.

$$\begin{aligned} L(x) &= k(x'-0)^2 = \frac{k}{x^2} \\ E[L(x)] &= E\left[\frac{k}{x^2}\right] = k\left[\frac{1}{\mu^2}\left(\frac{3\sigma^2}{\mu^2} + 1\right)\right] \end{aligned} \quad (6)$$

식 (6)에서 망대특성의 경우 기대손실이 최소가 되려면 공정평균 μ 가 커야하고, 공정산포 σ^2 이 작아야 한다는 것을 알 수 있다.

3. 기대손실 관리도 설계

손실함수는 품질특성치에 따라 망목, 망소, 망대 특성으로 나뉘어진다. 본 논문에서는 망목특성의 경우에 대하여 기대손실 관리도(Expected Loss Control Chart : EL 관리도)를 설계하도록 한다.

EL 관리도의 기본 바탕은 전통적인 관리도에서와 같이 타점하는 품질특성치의 기대손실의 평균값을 중심선으로 설정하고 이를 기준으로 기대손실 편차의 3배 거리를 관리한계로 설정한다. 따라서 각 군의 EL_i 는 정규분포를 따른다는 가정하에 관리도를 설계하였다. 관리선 설정 후 망목특성일 경우의 각 군에 대한 기대손실 EL_i 를 타점하여 목표치로부터 편차에 의하여 생기는 경제적 손실비용을 확인하여 이를 통한 공정을 관리하고자 한다.

3.1 손실함수 편차

Taguchi의 이차손실함수(망목특성)의 근사식과 기대값은 앞서 식 (3), 식 (4)에서 언급한 바 있으므로 손실한계를 설정하는데 필요한 이차손실함수의 편차를 다음 식 (7)과 같이 전개하여 도출한다.

$$\begin{aligned} V[L(x)] &= E[L(x) - E\{L(x)\}]^2 \\ &= E[k(x-T)^2] - k(\sigma^2 + (\mu-T)^2)^2 \\ &= k^2\sigma^2[2(\sigma^2 + 2(\mu-T)^2)] \\ \therefore D[L(x)] &= \sqrt{k^2\sigma^2[2(\sigma^2 + 2(\mu-T)^2)]} \\ &= k\sigma\sqrt{2(\sigma^2 + 2(\mu-T)^2)} \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 $D[L(x)]$ 는 개별 측정치를 타점했을 경우에 대한 편차이고 본 논문에서는 각 군이 갖는 기대손실을 타점할 것이므로 관리선 설정에 사용되는 편차는 식 (8)과 같다.

$$\frac{D[L(x)]}{\sqrt{n}} = \frac{k\sigma\sqrt{2(\sigma^2 + 2(\mu-T)^2)}}{\sqrt{n}} \quad (8)$$

3.2 관리선 설정

3.2.1 관리한계선

기대손실을 타점하는 EL 관리도는 공정손실의 기대값인 기대손실을 그 중심선, 즉 기대손실의 평균값(\overline{EL})으로 한다.

$$CL = \overline{EL} \quad (9)$$

여기에서 $\overline{EL} = \frac{EL_i}{k}$ 이다.

EL 관리도의 관리한계는 CL인 \overline{EL} 를 중심으로 기대손실 편차의 3배 거리에 관리한계선을 설정한다. 이때 관리상한은 품질특성치가 목표치보다 큰 경우에 발생하는 손실의 한계이며 관리하한은 그 반대의 경우이고 이들을 구하는 식은 다음 식 (10)과 같다.

$$\begin{aligned} UCL &= \overline{EL} + 3\frac{D[L(x)]}{\sqrt{n}} \\ &= \overline{EL} + 3\frac{k\sigma\sqrt{2(\sigma^2 + 2(\mu-T)^2)}}{\sqrt{n}} \\ LCL &= \overline{EL} - 3\frac{D[L(x)]}{\sqrt{n}} \\ &= \overline{EL} - 3\frac{k\sigma\sqrt{2(\sigma^2 + 2(\mu-T)^2)}}{\sqrt{n}} \end{aligned} \quad (10)$$

하지만 EL 관리도의 경우 기대손실은 0보다 작아질 수 없고, 손실비용이므로 망소특성의 개념으로 접근하여 관리하한선은 고려하지 않도록 한다.

전통적 관리도와 마찬가지로 표준값이 존재하는 경우 μ 와 σ 에 표준값 μ_0, σ_0 를 대입하여 값을 산출한다. 표준값이 정해지지 않은 경우라면 각각의 추정치 $\hat{\mu}, \hat{\sigma}$ 를 구해서 값을 산출한다.

3.3 관리도의 성능

관리도의 성능은 타점되는 품질특성치가 관리한계선을 벗어날 확률인 p 와 관측치가 처음으로 관리한계를 벗어날 때까지의 타점 수(RL : Run Length)의 평균인 평균 런 길이(ARL : Average Run Length)에 의해 평가된다. 공정에 변화가 생겼을 경우 관리도의 ARL 값은 작을수록 변화의 탐지능력이 좋은 것이라 할 수 있다. 본 논문에서는 EL 관리도와 전통적 관리도 중 $\bar{x}-R$ 관리도를 비교하여 각각의 ARL 값의 비교를 통해 설계한 관리도의 효과를 입증해 보일 것이다.

4. 시뮬레이션

4.1 시뮬레이션 설계

F_i 를 타점한 특성치가 관리한계를 벗어날 사건이라 할 때 그에 대한 확률을 $P(F_i) = p$ 라고 정의한다. 타점한 점이 처음으로 관리한계를 벗어날 때까지의 타점수를 RL이라 하고 이는 모수 p 와 함께 기하분포를 따른다. $\hat{\mu}, \hat{\sigma}$ 가 주어지면, 런 길이는 $E(P(F_i | \hat{\mu}, \hat{\sigma}))$, 평균 런 길이 $ARL = E\left(\frac{1}{P(F_i | \hat{\mu}, \hat{\sigma})}\right)$ 로 구해진다.

본 논문에서는 각 관리도가 나타내는 성능을 확인하기 위하여 다음과 같이 공정에 이질적 데이터가 침투된 세 가지 상황을 고려하고자 한다.

- (1) 데이터 구성이 $N(0, 1)$ 80%, $N(0+\delta_\mu, 1)$ 20%의 경우로 공정평균에 영향을 주는 요소가 투입되었을 경우이며 이질적 데이터는 각 군에 하나씩 영향을 준다. 이때 $\delta_\mu = 2, 3$ 으로 변화를 주었다.
- (2) 데이터 구성이 $N(0, 1)$ 80%, $N(0, 1\delta_\sigma)$ 20%의 경우로 공정산포에 영향을 주는 요소가 투입되었을 경우이며 이질적 데이터는 각 군에 하나씩 영향을 준다. 이때 $\delta_\sigma = 2, 3$ 으로 변화를 주었다.
- (3) 데이터 구성이 $N(0, 1)$ 80%, $N(0+\delta_\mu, 1\delta_\sigma)$ 20%의 경우로 공정산포와 평균 모두에 영향을 주는 요소가 투입되었을 경우이며 이질적 데이터는 각 군에 하나씩 영향을 준다. 이때 $\delta_\mu, \delta_\sigma = 2, 3$ 으로 변화를 주었다.

이때 $\bar{x}-R$ 관리도의 경우 군의 크기 $n = 5$, 군의 수 $k = 25$ 로 설정하여 타점하도록 설계한다.

또한 EL 관리도를 위한 비용상수를 구하기 위하여 단위당 손실비용 $A = 100$, 규격은 ± 3 으로 설정하여 타점되는 EL_i 를 계산하였다. 따라서 비용상수 $k = \frac{A}{\Delta^2} = \frac{100}{3^2} = 11.111$ 로 적용시켰다.

EL 관리도의 경우 세로축 데이터 값은 손실비용이 된다.

4.2 수치 예

본 논문의 경우 시뮬레이션에서 사용한 기존 관리도를 위한 관리도용 계수를 정리하면 다음 <Table 1>과 같다.

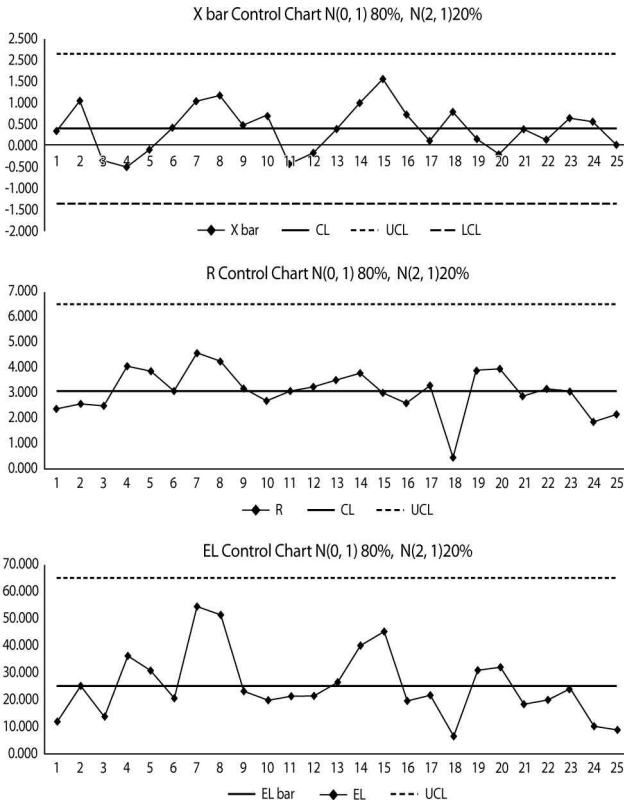
<Table 1> Coefficient of Control Chart

n=5				
A2	D4	\sqrt{n}	d2	d3
0.577	2.114	2.236	2.326	0.864

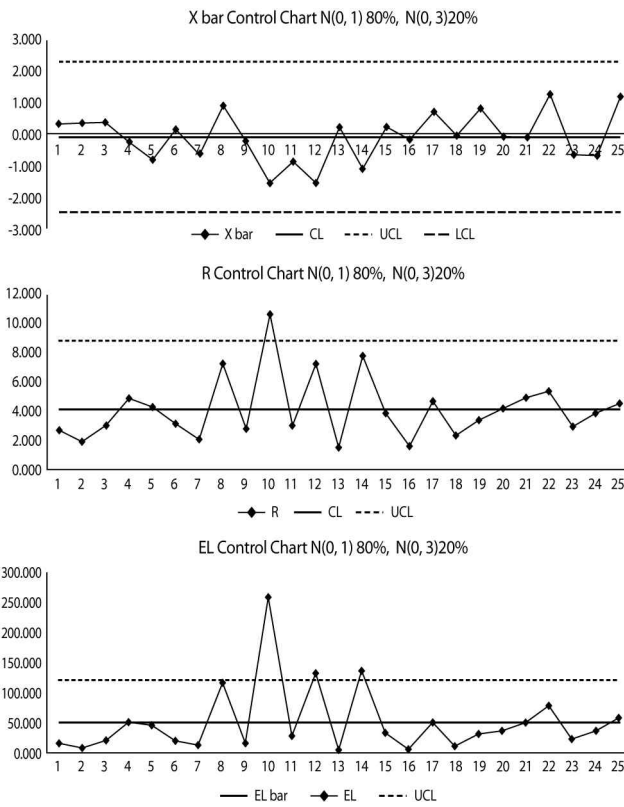
아래 <Table 2>는 평균 변화의 상황에서 산출한 EL_i 가 정규분포를 따르는지에 대한 Kolmogorov-Smirnov 검정 (이하 K-S 검정) 결과표이고 <Figure 1>, <Table 3>은 공정 평균에 변화가 생긴 경우로 데이터 구성이 $N(0, 1)$ 80%, $N(0+\delta_\mu, 1)$ 20%일 때의 결과를 나타낸다. <Table 4>는 산포 변화의 상황에서 산출한 EL_i 에 대한 K-S 검정 결과표이고 <Figure 2>, <Table 5>는 공정 산포에 변화가 생긴 경우 $N(0, 1)$ 80%, $N(0, 1\delta_\sigma)$ 20%의 결과를 나타낸다. <Table 6>은 산포와 평균 모두 변화된 상황에서 산출한 EL_i 에 대한 K-S 검정 결과표이며 <Figure 3>, <Table 7>은 공정 평균과 산포에 모두 변화가 생긴 경우 $N(0, 1)$ 80%, $N(0+\delta_\mu, 1\delta_\sigma)$ 20%를 나타낸다.

<Table 2> K-S Test to EL in Case of Mean Change

		EL N(2, 1)	EL N(3, 1)
N		25	25
Normal Parameter	25.5386	43.8983	51.4129
	12.43198	22.18538	56.82918
	.158	.115	.268
Maximum extreme difference	.158	.115	.268
	-.078	-.108	-.209
Kolmogorov-Smirnov's Z		.789	.574
Approximate significant probability (two-side)		.562	.897



<Figure 1> Comparison with $\bar{x}-R$, EL for $N(0, 1)$ and $N(2, 1)$



<Figure 2> Comparison with $\bar{x}-R$, EL for $N(0, 1)$ and $N(0, 3)$

<Table 3> p, ARL Values in $N(0, 1)$ 80%, $N(0+\delta_\mu, 1)$ 20%

		x bar	R	EL
p	$\delta_\mu = 2$	0.03	0.02	0.05
	$\delta_\mu = 3$	0.02	0.03	0.05
ARL	$\delta_\mu = 2$	30.04	59.18	19.02
	$\delta_\mu = 3$	48.68	39.89	20.82

<Table 4> K-S Test to EL in Case of Variance Change

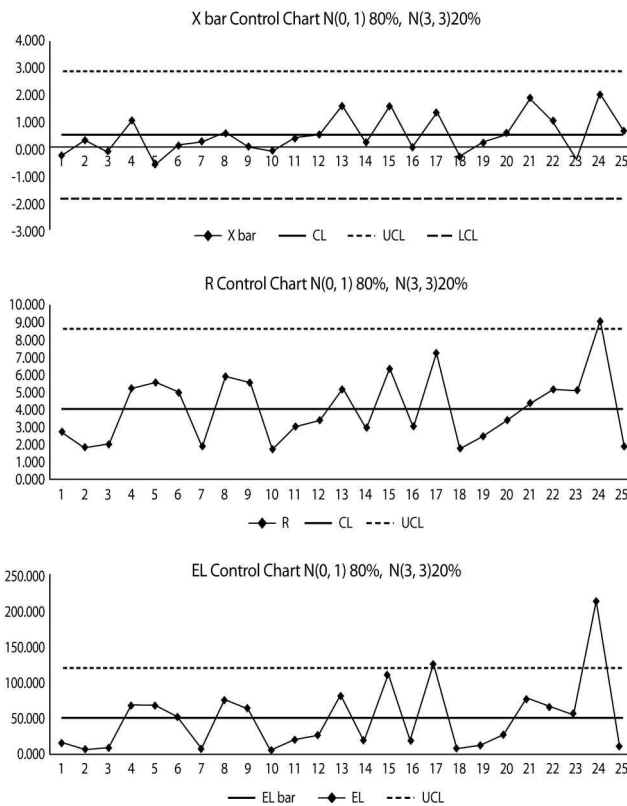
		EL $N(0, 2)$	EL $N(0, 3)$
N		25	25
Normal Parameter	Mean	20.0260	51.4129
	Standard deviation	9.57865	56.82918
	Absolute value	.112	.268
Maximum extreme difference	Positive value	.112	.268
	Negative value	-.098	-.209
Kolmogorov-Smirnov's Z		.558	1.342
Approximate significant probability (two-side)		.914	.054

<Table 5> p, ARL Values in $N(0, 1)$ 80%, $N(0, 1\delta_\sigma)$ 20%

		x bar	R	EL
p	$\delta_\sigma = 2$	0.02	0.02	0.05
	$\delta_\sigma = 3$	0.05	0.07	0.05
ARL	$\delta_\sigma = 2$	47.13	45.79	18.60
	$\delta_\sigma = 3$	19.01	14.96	9.21

<Table 6> K-S Test to EL in Case of Variance and Mean Change

		EL N(2, 2)	EL N(3, 3)
N		25	25
Normal Parameter	Mean	45.9810	49.9063
	Standard deviation	32.26855	48.45533
	Absolute value	.192	.201
Maximum extreme difference	Positive value	.192	.201
	Negative value	-.115	-.183
Kolmogorov-Smirnov's Z		.960	1.007
Approximate significant probability (two-side)		.316	.263



<Figure 3> Comparison with $\bar{x}-R$, EL for N(0, 1) and N(3, 3)

<Table 7> p, ARL Values in N(0, 1) 80%, N(0+ δ_μ , 1 δ_σ) 20%

		x bar	R	EL
p	$\delta_\mu, \delta_\sigma = 2$	0.04	0.05	0.10
	$\delta_\mu, \delta_\sigma = 3$	0.05	0.06	0.11
ARL	$\delta_\mu, \delta_\sigma = 2$	27.95	20.57	9.67
	$\delta_\mu, \delta_\sigma = 3$	20.96	17.14	9.08

4.3 시뮬레이션 결과

본 논문에서 설계한 EL 관리도와 기존에 사용되던 $\bar{x}-R$ 관리도의 성능 비교를 위하여 동일 데이터 세트를 가지고 각각의 관리도에 적용시켜 타점을 해보았으며 그에 의하여 산출되는 p 값과 ARL 값을 <Table 3>, <Table 5>, <Table 7>에서 비교하였다. 그리고 공정 변화에 따른 관리도의 타점 형태를 보이기 위하여 각각의 경우마다 한 가지씩 관리도를 그려서 <Figure 1>~<Figure 3>으로 나타내었다.

앞서 언급한 바 있듯이 공정에 변화가 생긴 경우 관리도가 가지는 p 값이 클수록, ARL 값이 작을수록 공정 변화를 탐지해 내는 능력이 우수한 것이라 할 수 있다.

평균이 변화된 경우 δ_μ 값이 2, 3으로 변화 되었을 때 <Table 3>에서와 같이 두 가지 모두에서 기존 관리도 보다 EL 관리도가 우수함을 보였다. 산포가 변화된 경우 δ_σ 값이 2, 3으로 변화 되었을 때 <Table 5>에서와 같이 두 가지 모두에서 EL 관리도의 ARL 값이 더 작게 나왔다. 마지막 평균과 산포 모두에 변화가 생긴 경우에도 <Table 7> $\delta_\mu, \delta_\sigma$ 값이 각각 2, 3으로 변화된 경우에도 역시 EL 관리도의 ARL 값이 가장 작게 나왔다. 세 가지 경우의 공정 변화에 대하여 탐지해내는 능력이 EL 관리도가 $\bar{x}-R$ 보다 우수함을 확인 할 수 있다.

5. 결론

기존의 관리도는 공정을 관리함에 있어 공정이 가지는 특정치의 산포가 안정적인 것인지 아닌지 판단하여 관리 하였다. 하지만 본 논문에서는 더 나아가 공정 특정치의 산포만이 아니라 공정이 목표치로부터의 차이가 생김으로 해서 발생하게 되는 경제적 손실을 고려하여 손실 비용으로 공정을 관리하고자 하는 것이 그 목적이었다.

기업이 고품질의 제품을 생산하기 위해서는 공정의 산포만 고려한 관리로는 그에 대한 정보가 부족하다고 할 수 있다. 공정에서 생산되는 제품의 품질특성치가 목표치에 가까울수록 좋은 품질을 확보 할 수 있음은 당연할 것이다. 그러므로 이러한 정보를 포함하여 공정을 관리하는 공정관리도구가 필요하게 되었고 그 개념을 담은 것이 EL 관리도이다. 설계한 EL 관리도는 시뮬레이션을 통하여 기존 관리도와 성능을 비교함으로써 그 효과를 입증하였다.

본 연구에서 제시한 EL 관리도는 공정을 탐지하는 능력이 기존 관리도보다 우수하면서 타점하는 점 자체가 손실비용이기 때문에 출력되는 정보 또한 유용할 것이다. 관리도에 대한 상세한 사전 지식 없이도 보는 사람으

로 하여금 비용으로 수치화하여 공정에서 발생하는 손실 비용을 보여줌으로 해서 정보 요구자에게 공정의 상태를 좀 더 이해하기 쉽게 다가갈 수 있게 한다는 점 또한 EL 관리도의 장점이라 할 수 있다.

특히, 높은 정밀도를 요구하는 제조 산업의 경우 일수록 이러한 EL 관리도로 공정을 관리 하면 더 효과적인 관리가 가능할 것이다.

References

- [1] Chung, Y.B. and Yeom, G.C., *Statistical Quality Control*, Seongandang, 2010.
- [2] Mun, H.J. and Chung, Y.B., A Study on The Bivariate Process Capability Index using Quality Loss Function. *Korea Industrial and System Engineering fall conference*, 2001, p 329-342.
- [3] Kim, P.K. and Cho, J.J., Some Process Capability Indices Using Loss Function Under Contaminated Normal Process. *Journal of The Korean Society for Quality Management*, 1998, Vol. 26, No. 4, p 65-78.
- [4] Chung, Y.B., A Multivariate Process Capability Index using Expected Loss. *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2005, Vol. 28, No. 4, p 116-123.
- [5] Chung, Y.B. and Kim, Y.S., A Study on The Process Capability Index using Loss Function. *Journal of the Korean Institute of Plant Engineering*, 2011, Vol. 16, No. 3, p 99-106.
- [6] Park, S.H., *Design of Experiment*(revised ed), Seoul : MinYoungSa, 2009.
- [7] Ree, S.B., Analysis of Quality Loss Function(QLF) of Taguchi. *Journal of The Korean Society for Quality Management*, 1997, Vol. 25, No. 3, p 119-130.