

▣ 연구논문

측정오차가 공정평균 관리도의 경제적 설계에 미치는 영향 - Effect of Measurement Error on the Economic Design of Control Charts for Controlling Process Means -

염 창 선*
Yum Chang Seon

Abstract

Past studies on economic control charts for controlling process means assumed that the measures of a quality characteristic do not have measurement error. In practice, however, this assumption is frequently violated. In this paper, the economic design models of three control charts(Xbar control chart, Xbar control chart with warning limits, and CUSUM control chart) for controlling process means are developed on the assumption that the measures can have measurement error. The effects of measurement error on the process control cost and design parameters of three economic control charts are examined. According to the experiments done in this study, when measurement error exists, the economic CUSUM control chart has lower process control cost in comparison with two other control charts. When measurement error becomes larger, both the sample size and the sampling interval increase while the control limits decrease.

1. 서론

공정 관리도를 사용하는 목적은 제품이나 서비스의 품질에 관한 데이터를 추출하고 분석하여 이로부터 얻은 품질정보를 토대로 생산공정을 효율적으로 관리 및 통제해 나가고자 하는데 있다. 그 동안 생산 현장의 필요에 의해 여러 종류의 계량형 공정 관리도가 개발되어 왔다. 이러한 계량형 공정 관리도는 공정평균을 관리를 위한 공정평균 관리도와 공정평균과 분산을 관리하기 위한 공정평균/분산 관리도로 크게 구분할 수 있다. 이 중 공정평균을 관리하기 위한 관리도로는 \bar{X} 관리도, 경계 한계를 갖는 \bar{X}_w 관리도(\bar{X}_w 관리도), 그리고 CUSUM관리도가 실제 업무에서 가장 널리 사용되고 있다[2, 15]. 공정평균 관리도를 사용을 위해서는 3개의 설계변수(샘플크기, 샘플링 주기, 관리한계선)의 값을 지정해야 한다. 통계적 그리고 경험적 측면으로부터 이들 변수 값으로 샘플크기는 4개 또는 5개, 관리한계선은 3σ , 샘플링 주기는 단위시간이 일반적인 지침으로 사용되어 왔다[7, 8].

그러나 대부분의 경영자는 공정의 운영비를 최소로하는 공정 관리도를 필요로 하였다. 이러한 필요성에 따라 Duncan(1956)은 \bar{X} 관리도의 경제적 설계 문제를 최초로 다루었다. Duncan 이후 \bar{X} 관리도의 경제적 설계는 Gibra(1971), Chiu와 Wetherill(1974), Lorenzen과 Vance(1986) 등에 의해 연구되어 왔다. \bar{X}_w 관리도의 경제적인 설계에 대한 연구는 Gorden과

* 부경대학교 경영학부 전임강사

Weindling(1975), Chiu와 Cheung(1977) 등에 의해 이루어져 왔고, CUSUM관리도의 경제적 설계는 Gowl과 Wu(1973), Chiu(1974) 등에 의해 이루어져 왔다.

위의 연구들은 공정 측정치 내에 검사작업의 물리적 성질, 측정장치의 마모, 그리고 측정자들의 측정능력 차 등에 의해 측정오차가 항상 수반되는 데도 측정오차가 없다고 가정하였다. 좀 더 현실적인 관리도의 설계를 위해 Mizno(1961)는 측정오차가 \bar{X} 관리도에 미치는 영향을 분석함으로써 측정오차가 관리도 설계에 지대한 영향을 끼친다는 점을 밝혔다. 그리고 Abraham(1977)은 측정오차가 관리도의 평균 런 길이(Average Run Length)에 역시 큰 영향을 미친다는 점을 밝혔다. 그러나 아직 측정오차가 관리도를 경제적으로 설계할 때에 미치는 영향에 대한 연구는 이루어지지 않고 있다.

본 연구에서는 측정오차가 공정평균 관리도를 경제적으로 설계할 때에 미치는 영향을 파악코자 한다. 이를 위해 먼저 측정오차가 존재할 때의 \bar{X} 관리도, \bar{X}_w 관리도, CUSUM관리도에 대한 경제적인 설계 모형을 제시한다. 그리고 측정오차의 영향을 분석하기 위해 다음의 3개 질의에 대해 조사한다.

질의 1: 측정오차가 없을 때 3개 경제적 관리도 중 어느 관리도를 사용하는 것이 공정관리 비용측면에서 유리한가?

질의 2: 측정오차 증가에 따라 경제적 관리도의 공정관리 기대비용이 어떻게 변화하며, 3개 경제적 관리도 중 어느 관리도를 사용하는 것이 공정관리 비용측면에서 유리한가?

질의 3: 측정오차 증가에 따라 경제적 관리도의 설계변수들이 어떻게 변화하는가?

측정오차의 영향을 분석하기 위한 실험사례로 Duncan(1956)이 제시한 사례들을 사용한다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 측정오차가 고려된 공정평균 관리도의 경제적 설계 모형을 제시한다. 3장에서는 측정오차의 영향을 분석한다. 그리고 4장에서는 결론을 기술한다.

2. 측정오차가 고려된 공정평균 관리도의 경제적 설계

2.1 기호 설명 및 가정

측정오차가 고려된 공정평균 관리도의 경제적 설계를 위해 사용되는 기호는 다음과 같다.

n : 샘플크기,

h : 샘플링 주기,

k : 관리한계선에서 중심선까지의 표준편차의 계수,

ARL_1 : 공정이 안정상태일 때의 평균 런 길이(ARL: Average Run Length),

ARL_2 : 공정이 안정되지 않은 상태일 때의 평균 런 길이(ARL),

μ : 공정평균,

μ' : $\mu' = \mu + \delta \sigma_p$,

σ_p^2 : 공정의 실제 분산,

σ_m^2 : 측정오차의 분산,

γ^2 : $\gamma^2 = \frac{\sigma_m^2}{\sigma_p^2}$,

λ : 공정이 안정된 상태에 있는 평균시간의 역수,

δ : 공정평균에서 변화한 양을 σ_p 의 계수로서 나타냄,

g : 샘플을 취하고 관리도에 타점할 때까지의 제품 한 개당 드는 시간,

- b: 샘플을 취하고 관리도에 타점할 때까지의 샘플당 고정 비용,
 c: 샘플을 취하고 관리도에 타점할 때까지의 제품 한 개당 드는 시간,
 W: 이상요인을 찾는 비용,
 T: 1회의 잘못된 경고신호를 찾는 비용,
 M: 공정이 안정되지 않은 상태일 때 부과되어지는 시간당 비용,
 D: 이상요인의 탐지된 후 찾는데 걸리는 시간,

$$Z: Z = \sqrt{\frac{X - \mu'}{\frac{\sigma_p^2 + \sigma_M^2}{n}}}.$$

그리고 측정오차가 고려된 공정평균 관리도의 경제적 설계를 위해 사용되는 가정은 다음과 같다.

- (1) 공정은 평균이 μ , 공정의 실제 분산이 σ_p^2 , 측정오차 분산이 σ_M^2 인 정규분포를 따른다.
- (2) 공정의 이상요인은 공정평균을 변화시킨다.
- (3) 이상요인의 발생시간은 평균 $1/\lambda$ 인 지수분포를 따른다.
- (4) 샘플링 중에 이상요인은 발생하지 않는다. 그리고 이상요인을 찾는 동안에도 공정은 계속 작동된다.
- (5) 공정을 수리하거나 원 상태로 복귀하는 데 드는 비용은 무시할 수 있다.

2.2 모형 구성

통계적으로 안정된 상태에 있는 공정은 $N(\mu, \sigma_p^2)$ 을 따른다. 그러나 측정오차가 존재하는 현실적인 상황에서의 공정 측정치는 $N(\mu, \sigma_p^2 + \sigma_M^2)$ 을 따른다. 그러므로 측정오차가 없는 경우와는 달리 측정오차가 존재하는 현실에서의 일반적인 공정평균 관리도는 샘플크기 n, 샘플링 주기 h, 관리한계선 $\mu \pm k\sqrt{\frac{\sigma_p^2 + \sigma_M^2}{n}}$ 을 갖도록 설계된다. 이러한 일반적인 관리도를 경제적으로 설계하기 위해서는 공정관리에 소요되는 비용을 모형화하고 이를 최소화하는 설계변수들(n, h, k)을 찾아야 한다. 본 연구에는 공정관리 비용 모형으로 다음과 같은 4개 항목으로 구성된 Lorenzen와 Vance(1986)의 모형에 추가적으로 측정오차를 고려하여 사용한다.

- (1) 공정의 안정되지 않은 상태로부터 야기되는 비용,
- (2) 잘못된 경고신호(false alarm)로 인한 비용,
- (3) 이상요인을 찾는 비용,
- (4) 샘플을 취하고 검사하는 비용.

위 4개 항목을 바탕으로 구성된 공정관리 비용을 시간당 총 기대비용으로 표현하면 식(2.1)과 같다[14].

$$E(L) = \frac{M \cdot (h \cdot ARL2 - \tau + gn + D) + T \cdot e^{-\lambda h} / (ARL1 \cdot (1 - e^{-\lambda h})) + W + \frac{b + cn}{h}}{\frac{1}{\lambda} + h \cdot ARL2 - \tau + gn + D}, \quad (2.1)$$

여기서 $\tau = \frac{1 - (1 + \lambda h)}{\lambda (1 - e^{-\lambda h})} e^{-\lambda h}$ 이다. 그리고 ARL1과 ARL2는 상대적 측정오차 비인 r^2 ($= \frac{\sigma_M^2}{\sigma_p^2}$)의 함수로 표현될 수 있다.

상대적 측정오차 비인 r^2 이 주어졌을 때, 식(2.1)의 시간당 총 기대비용(E(L))을 최소화하는 설계변수들은 Hooke와 Jeeves(1961)의 탐색기법을 사용하여 구할 수 있다. 그런데 측정오차에

영향을 받는 ARL1과 ARL2는 각 공정평균 관리도마다 다르므로 각 관리도의 ARL1과 ARL2를 구해서 식(2.1)에 적용하여야 한다. 다음절에서는 측정오차가 존재하는 상황에서 각 관리도의 ARL1과 ARL2를 구하는 방법을 서술한다.

2.3 평균 련 길이 결정

2.3.1 측정오차가 고려된 \bar{X} 관리도의 평균 련 길이

측정오차가 고려된 \bar{X} 관리도의 ARL1과 ARL2는 다음과 같은 식으로 표현될 수 있다.

$$ARL1 = \frac{1}{P_r\{\text{공정이 안정된 상태에 있는데 관리한계선 밖에 타점됨}\}} = \frac{1}{\alpha},$$

$$ARL2 = \frac{1}{P_r\{\text{공정이 안정되지 않은 상태에 있고 관리한계선 밖에 타점됨}\}} = \frac{1}{1-\beta}.$$

$$\begin{aligned} \text{여기서 } \alpha &= 2 \cdot P_r\left\{\bar{X} \leq \mu - k\sqrt{\frac{\sigma_p^2 + \sigma_m^2}{n}}\right\} = 2 \cdot P_r\{Z \leq -k\}, \\ \beta &= P_r\left\{\mu - k\sqrt{\frac{\sigma_p^2 + \sigma_m^2}{n}} \leq \bar{X} \leq \mu + k\sqrt{\frac{\sigma_p^2 + \sigma_m^2}{n}}\right\} \\ &= P_r\left\{-k - \delta \cdot \sqrt{n} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+r^2}} \leq Z \leq k - \delta \cdot \sqrt{n} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+r^2}}\right\} \text{이다.} \end{aligned}$$

2.3.2 측정오차가 고려된 \bar{X}_w 관리도의 평균 련 길이

\bar{X}_w 관리도는 \bar{X} 관리도에 경계한계선이 추가된 것이다. 그러므로 다음과 같은 추가적인 기호의 정의가 필요하다.

kw: 경계한계선에서 중심선까지의 표준편차의 계수($k > kw > 0$),

a: 관리한계선과 경계한계선 사이에 타점되는 련의 길이,

p: 경계상한선 아래쪽에 타점될 확률,

m: 관리상한선과 경계상한선 사이에 타점될 확률,

q: 경계상한선 위쪽에 타점될 확률,

s: 관리하한선과 경계하한선 사이에 타점될 확률.

이 관리도를 사용하는 공정 관리자는 다음과 같은 현상이 발생하면 공정에 이상이 있다고 판단한다.

(1) 양쪽 관리한계선 밖에 한 점이 타점될 때,

(2) 관리상한선과 경계상한선 사이에 타점된 점의 길이가 a인 련 일 때,

(3) 관리하한선과 경계하한선 사이에 타점된 점의 길이가 a인 련 일 때.

위와 같은 상황에서의 측정오차가 고려된 \bar{X}_w 관리도의 평균 련 길이는 다음과 같은 식으로 표현될 수 있다[18].

$$\frac{1}{ARL} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} \quad (2.2)$$

$$\text{여기서 } L_1 = \frac{1 - m^a}{1 - m - p(1 - m^a)}, \quad L_2 = \frac{1 - s^a}{1 - s - q(1 - s^a)}.$$

그런데, 공정 평균이 $\mu' = \mu + \delta \sigma_p$ 로 변화된다면,

$$P_r\left\{\bar{X} \leq \mu + k_w \sqrt{\frac{\sigma_p^2 + \sigma_m^2}{n}}\right\} = P_r\left\{Z \leq k_w - \delta \cdot \sqrt{n} \sqrt{\frac{1}{1+r^2}}\right\} \quad (2.3)$$

$$q = 1 - P_r \left\{ Z \leq k_w - \delta \cdot \sqrt{n} \frac{1}{\sqrt{1+r^2}} \right\} \quad (2.4)$$

$$m = P_r \left\{ Z \leq k - \delta \cdot \sqrt{n} \frac{1}{\sqrt{1+r^2}} \right\} - P_r \left\{ Z \leq k_w - \delta \cdot \sqrt{n} \frac{1}{\sqrt{1+r^2}} \right\} \quad (2.5)$$

$$s = P_r \left\{ Z \leq -k_w - \delta \cdot \sqrt{n} \frac{1}{\sqrt{1+r^2}} \right\} - P_r \left\{ Z \leq -k - \delta \cdot \sqrt{n} \frac{1}{\sqrt{1+r^2}} \right\} \quad (2.6)$$

가 된다. ARL2는 식(2.3) ~ (2.6)을 식(2.2)에 대입하여 구한 ARL의 값이다. 같은 방법으로 ARL1은 $\delta = 0$ 일 때 식(2.3) ~ (2.6)을 식(2.2)에 대입하여 구한 ARL의 값이다.

2.3.3 측정오차가 고려된 CUSUM관리도의 평균 런 길이

CUSUM관리도는 공정에 작은 변화가 계속될 때 변화를 빨리 탐지하기 위해 고안된 관리도이다. 단측 CUSUM관리도는 h 시간의 샘플링 주기로 샘플을 칠하여 샘플링 횟수 P 에 대해 누적된 합 $S_p = \sum_{j=1}^P (\bar{X}_j - f)$ 을 타점하는 것이다. 여기서 \bar{X}_j 는 샘플평균이고 f 는 참고값(reference value)으로 보통 $\frac{\mu + \mu'}{2}$ ($\mu + \frac{\delta}{2}$)를 사용하는 데 타점된 점이 결정한계선(decision limit), z 를 초과하면 공정에 이상이 있다고 판단한다. 그러나 공정평균의 증감을 모두 관리하기 위해서는 두 개(양과 음)의 단측 CUSUM관리도가 합쳐진 양측 CUSUM관리도를 사용해야 한다[10].

측정오차가 고려된 단측 CUSUM관리도의 평균 런 길이는 다음과 같은 식으로 표현될 수 있다[17].

$$ARL = N(0) / (1 - P(0)).$$

여기서 누적 합의 증가 분인 $X = \bar{X}_j - f$ 의 평균을 θ , 분산을 $\sigma^2 = \frac{\sigma_p^2 + \sigma_M^2}{n}$ 이라 하면,

$$\begin{aligned} P(y) &= \Phi\left(\frac{-y-\theta}{\sigma}\right) + \int_0^z P(x) \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \cdot \exp\left(-\frac{(x-y-\theta)^2}{2\sigma^2}\right) dx, \quad 0 \leq y \leq z, \\ N(y) &= 1 + \int_0^z P(x) \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \cdot \exp\left(-\frac{(x-y-\theta)^2}{2\sigma^2}\right) dx, \quad 0 \leq y \leq z, \\ \phi(y) &= (2\pi)^{-\frac{1}{2}} \int_0^y \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt \text{ 이다.} \end{aligned}$$

공정평균이 변화되었을 때, 단측 CUSUM관리도 두 개(양과 음)의 평균 런의 길이를 각각 L_+ 와 L_- 라 하면, 측정오차가 고려된 양측 CUSUM관리도의 평균 런 길이, ARL는 다음 관계식으로부터 구할 수 있다.

$$\frac{1}{ARL} = \frac{1}{L_+} + \frac{1}{L_-} \quad (2.7)$$

ARL1은 공정평균이 $\mu' = \mu$ 일 때 식(2.7)로부터 구한 ARL의 값이고, ARL2는 공정평균이 $\mu' = \mu + \delta \sigma_P$ 로 변화했을 때 식(2.7)로부터 구한 ARL의 값이다.

3. 측정오차의 영향 분석

이 장에서는 Duncan(1956)의 25개 사례에 대해 앞장에서 제시한 설계 방법을 적용함으로써 측정오차가 관리도의 경제적 설계에 미치는 영향을 분석한다. 25개 사례가 모두 유사한 결과를

나타내어 그 중 20번 사례를 중심으로 설명한다. 20번 사례가 갖는 변수들의 추정 값은 $\delta = 1$, $\lambda = 0.01$, $M = 12.87$, $g = 0.05$, $D = 2$, $T = 50$, $W = 25$, $b = 0.5$, $c = 0.1$ 이다. <표 1>과 <표 2>는 각각 20번 사례에 대해 r^2 이 0.0부터 1.0까지 0.1단위씩 증가함에 따른 3개 경제적 관리도의 시간당 총 기대비용과 설계변수들을 구한 결과이다. <표 1>과 <표 2>를 통해 1장에서 기술한 3개의 질의에 대해 알아본다.

질의 1: 측정오차가 없을 때 3개 경제적 관리도 중 어느 관리도를 사용하는 것이 공정관리 비용측면에서 유리한가?

<표 1>에서 볼 수 있듯이, r^2 이 0.0일 때 시간당 총 기대비용이 경제적 \bar{X} 관리도는 243.3 경제적 \bar{X}_w 관리도는 243.2, 그리고 경제적 CUSUM관리도는 241.9였다. 경제적 \bar{X} 관리도에 대비하여 경제적 \bar{X}_w 관리도는 0.00%($= (243.3 - 243.2) / 243.3$)만큼의 비용감소 효과를 가졌고, 경제적 CUSUM관리도는 0.57%($= (243.3 - 241.9) / 243.3$)만큼의 비용 감소효과를 가졌다. 나머지 24개 사례에서는 경제적 \bar{X} 관리도에 대비하여 경제적 \bar{X}_w 관리도는 0.00% ~ 0.06%의 비용감소 효과를 가졌고, 경제적 CUSUM관리도는 0.03% ~ 1.72%의 비용감소 효과를 가졌다. 즉 측정오차가 고려되지 않는 상황에서 경제적 CUSUM관리도가 경제적 \bar{X} 관리도나 경제적 \bar{X}_w 관리도 보다는 총 기대비용이 작으나 그 크기는 무시할 수 있을 정도로 나타났다. 이러한 결과로부터 측정오차가 없을 때는 어느 경제적 관리도를 사용하더라도 공정관리 비용에 크게 영향을 주지 않는다는 사실을 알 수 있다.

질의 2: 측정오차 증가에 따라 경제적 관리도의 총 기대비용이 어떻게 변화하며, 3개 경제적 관리도 중 어느 관리도를 사용하는 것이 공정관리 비용측면에서 유리한가?

<표 1>에서 볼 수 있듯이, 3개 경제적 관리도 모두에서 r^2 의 증가와 더불어 총 기대비용도 점차 커지는 경향을 나타내었다. $r^2 = 0$ 에 대비한 상대적 비용증가퍼센트(PCI)가 $r^2 = 0.5$ 의 경우

<표 1> 측정오차가 고려된 경제적 관리도들의 시간당 총 기대비용

r^2	시간당 총 기대비용			PCI		
	경제적 \bar{X} 관리도	경제적 \bar{X}_w 관리도	경제적 CUSUM 관리도	경제적 \bar{X} 관리도	경제적 \bar{X}_w 관리도	경제적 CUSUM 관리도
0.0	243.3	243.2	241.9	0.00%	0.00%	0.00%
0.1	249.9	249.7	246.1	2.70%	2.68%	1.77%
0.2	256.2	255.9	249.7	5.30%	5.25%	3.23%
0.3	261.8	261.8	253.6	7.62%	7.64%	4.86%
0.4	267.8	266.5	256.8	9.88%	9.60%	6.18%
0.5	272.6	272.0	263.5	12.05%	11.86%	8.93%
0.6	277.4	276.4	267.0	14.00%	13.68%	10.41%
0.7	282.1	281.9	271.7	15.93%	15.92%	12.33%
0.8	286.6	285.8	273.9	17.78%	17.53%	13.26%
0.9	290.9	290.4	278.5	19.57%	19.41%	15.15%
1.0	294.8	294.0	280.6	21.17%	20.91%	16.01%

$$\text{주) } PCI(\text{비용증가퍼센트}) = \frac{(r^2 \neq 0 \text{ 때의 총 기대비용}) - (r^2 = 0 \text{ 때의 총 기대비용})}{(r^2 = 0 \text{ 때의 총 기대비용})} \times 100$$

에 경제적 \bar{X} 관리도는 12.05%까지, 경제적 \bar{X}_w 관리도는 11.86%까지, 그리고 경제적 CUSUM 관리도는 8.93%까지 증가하였다. $r^2 = 1$ 의 경우에 경제적 \bar{X} 관리도는 21.17%까지, 경제적 \bar{X}_w 관리도는 20.91%까지, 그리고 경제적 CUSUM관리도는 16.01%까지 증가하였다. 이러한 결과로부터 측정오차의 증가에 따라 경제적 관리도들 모두가 영향을 받아 총 기대비용이 높아진다는 사실을 알 수 있다. 그리고 경제적 CUSUM관리도가 경제적 \bar{X} 관리도나 경제적 \bar{X}_w 관리도 보다는 시간당 총 기대비용측면에서 측정오차의 영향을 더 적게 받는다는 사실을 알 수 있다.

$r^2 = 1$ 일 때 총 기대비용이 경제적 \bar{X} 관리도는 294.8, 경제적 \bar{X}_w 관리도는 294.0, 그리고 경제적 CUSUM관리도는 280.6였다. 경제적 \bar{X} 관리도에 대비하여 경제적 \bar{X}_w 관리도는 0.27%(= (294.8 - 294.0) / 294.8)만큼의 비용감소 효과를 가졌고, 경제적 CUSUM관리도는 4.8%(= (294.8 - 280.6) / 294.8)만큼의 비용 감소효과를 가졌다. 나머지 24개 사례에서도 경제적 \bar{X} 관리도에 대비하여 경제적 \bar{X}_w 관리도는 0.15 ~ 0.42%의 비용감소 효과를 가졌고, 경제적 CUSUM관리도는 3.4% ~ 7.6%의 비용감소 효과를 가졌다. 즉 측정오차가 증가할 때 경제적 CUSUM관리도가 경제적 \bar{X} 관리도나 경제적 \bar{X}_w 관리도 보다는 총 기대비용이 더 작게 나타났다. 이러한 결과로부터 측정오차가 있을 때는 경제적 CUSUM관리도를 사용하는 것이 공정관리 비용측면에서 더 유리하다는 사실을 알 수 있다.

질의 3: 측정오차 증가에 따라 경제적 관리도의 설계변수들이 어떻게 변화하는가?

<표 2>에서 볼 수 있듯이, $r^2 = 0$ 에 대비하여 $r^2 = 1$ 의 경우에 경제적 \bar{X} 관리도는 n이 3만큼 증가, k는 0.32만큼 감소, h는 2.52만큼 증가하였다. 경제적 \bar{X}_w 관리도는 n이 3만큼 증가, k는 0.34만큼 감소, kw는 0.23만큼 감소, h는 2.29만큼 증가하였다. 그리고 경제적 CUSUM관리도는 n이 4만큼 증가, z/σ_P 는 0.05만큼 감소, h는 3.23만큼 증가하였다. 즉 경제적 관리도 모두에서 r^2 이 증가하면 대체적으로 n과 h는 커지고 k나 z/σ_P 는 감소하는 경향을 나타내었다. 나머지 24 개 사례에서도 이와 동일한 결과를 가졌다. 이러한 결과로부터 측정오차가 증가할수록 샘플크기와 샘플링 주기는 커지고, 관리한계선 또는 결정한계선은 작아진다는 사실을 알 수 있다.

<표 2> 측정오차가 고려된 경제적 관리도들의 설계변수들

r^2	경제적 \bar{X} 관리도			경제적 \bar{X}_w 관리도				경제적 CUSUM관리도		
	n	k	h	n	k	kw	h	n	z/σ_P	h
0.0	8	1.91	12.10	8	1.99	1.58	11.26	7	0.23	11.25
0.1	8	1.85	12.20	8	1.99	1.57	11.33	8	0.23	11.30
0.2	9	1.80	12.22	8	1.89	1.47	11.34	8	0.22	11.85
0.3	9	1.79	13.03	9	1.88	1.47	12.02	9	0.20	12.86
0.4	9	1.74	13.09	9	1.88	1.47	12.33	9	0.20	12.86
0.5	9	1.70	13.09	10	1.88	1.47	12.35	10	0.19	13.68
0.6	10	1.69	13.85	10	1.78	1.47	12.67	10	0.19	13.69
0.7	10	1.65	13.98	10	1.77	1.36	12.67	10	0.19	13.69
0.8	10	1.62	14.09	10	1.77	1.36	12.87	10	0.19	13.83
0.9	10	1.59	14.21	11	1.77	1.36	12.99	11	0.19	14.50
1.0	11	1.59	14.62	11	1.65	1.35	13.55	11	0.18	14.48

4. 결론

본 연구에서는 현실 상황에서 공정 측정치를 얻는데 측정오차가 항시 수반됨을 인식하고, 공정평균 관리도 중 가장 널리 쓰이는 관리도들인, \bar{X} 관리도, \bar{X}_w 관리도, CUSUM관리도에 대해 측정오차를 고려한 경제적 설계 방법을 제시하였다. 그리고 Duncan이 사용한 사례를 토대로 측정오차가 경제적 관리도들의 공정관리 비용 및 설계변수들에 미치는 영향을 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

첫째, 측정오차가 없을 때는 어느 경제적 관리도를 사용하더라도 공정관리 비용에 크게 영향을 주지 않는다.

둘째, 경제적 \bar{X} 관리도나 경제적 \bar{X}_w 관리도 보다는 경제적 CUSUM관리도가 공정관리 비용측면에서 측정오차의 영향을 더 적게 받는다. 그리고 측정오차가 있을 때는 경제적 CUSUM관리도를 사용하는 것이 공정관리 비용측면에서 더 유리하다.

셋째, 측정오차가 증가할수록 경제적 관리도의 샘플크기와 샘플링 주기는 커지고, 관리한계선 또는 결정한계선은 작아진다.

이와 같이 공정 측정치의 측정오차는 경제적 공정평균 관리도들의 공정관리 비용과 설계변수들에 많은 영향을 끼친다. 따라서 공정을 효율적, 경제적으로 관리하기 위해서는 측정오차를 줄이는 것이 중요하다. 측정오차를 줄이려면 더 정밀한 측정장비를 사용한다든지, 측정자에 대한 측정 훈련제도가 마련되어야 할 것이다. 이와 더불어 측정오차에 덜 민감한 경제적 CUSUM관리도의 사용이 권유된다.

참 고 문 헌

- [1] Abraham, B., "Control Charts and Measurement Error", *Annual Technical Conference Transactions of the American Society for Quality Control*, Vol. 31, pp. 370-374, 1977.
- [2] Chang, T.C. and Gan, F.F., "A Cumulative Sum Control Chart for Monitoring Process Variance", *Journal of Quality Technology*, Vol. 27, pp. 109-119, 1995.
- [3] Chiu, W.K., "The Economic Design of Cusum Charts for Controlling Normal Means", *Applied Statistics*, Vol. 23, pp. 420-433, 1974.
- [4] Chiu, W.K. and Cheung, K.C., "An Economic Study of Xbar-Charts with Warning Limits", *Journal of Quality Technology*, Vol. 9, pp. 166-171, 1977.
- [5] Chiu, W.K. and Watherill, G.B., "A Simplified Scheme for the Economic Design of Xbar-Charts", *Journal of Quality Technology*, Vol. 6, pp. 63-69, 1974.
- [6] Duncan, A.J., "The Economic Design of Xbar-Charts Used to Maintain Current Control of a Process", *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 51, pp. 228-242, 1956.
- [7] Duncan, A.J., *Quality Control and Industrial Statistics*, 5th ed., Irwin, Homewood, IL, 1986.
- [8] Grant, E.L. and Leavenworth, R.S., *Statistical Quality Control*, 6th ed., McGraw-Hill, New York, NY, 1988.
- [9] Gibra, I.M., "Economically Optimal Determination of the parameter of an Xbar-Control Chart", *Management Science*, Vol. 17, pp. 635-646, 1971.
- [10] Goel, A.L. and Wu, S.M., "Determination of ARL and a Contour Nomogram for Cusum Charts to Control Normal Mean", *Technometrics*, Vol. 13, pp. 221-230, 1971.
- [11] Goel, A.L. and Wu, S.M., "Economically Optimal Design of Cusum Charts", *Management Science*, Vol. 19, pp. 1271-1282, 1973.
- [12] Gordon, G.R. and Weindling, J.I., "A Cost Model for Economic Design of Warning Limit Control Chart Schemes", *AIIE Transactions*, Vol. 7, pp. 319-329, 1975.
- [13] Hooke, R. and Jeeves, T.A., "Direct Search Solution of Numerical and Statistical Problem", *Journal of the Association for Computing Machinery*, Vol. 8, pp. 212-229, 1961.
- [14] Lorenzen, T.J. and Vance, L.C., "The Economic Design of Control Charts: A Unified Approach", *Technometrics*, Vol. 28, pp. 1129-1134, 1986.
- [15] Mcwilliams, T.P., "Economic, Statistical, and Economic-Statistical Xbar Chart Designs", *Journal of Quality Technology*, Vol. 26, pp. 227-238, 1994.
- [16] Mizuno, S. "Problems on Measurement Error in Process Control", *Bulletin of the International Statistical Institute*, Vol. 38, pp. 405-415, 1961.
- [17] Page, E.S., "Continue Inspection Schemes", *Biometrika*, Vol. 41, pp. 100-114, 1954.
- [18] Page, E.S., "A Modified Control Chart with Warning Lines", *Biometrika*, Vol. 49, pp. 171-176, 1962.