한국통계학회논문집
2009, 16권, 3호, 429–436

통합공정관리에서 재수정 절차

박창순[a], 이재헌[1,a]

[a]중앙대학교 수학통계학부

요 약

통합공정관리의 기본절차는 잡음이 내재하는 공정에 수정조치를 취하여 공정편차를 백색잡음으로 전환하도록 하여 공정제곱편차를 최소화하게 된다. 이러한 수정활동 중 공정에 이상원인이 발생하면 관리도를 통하여 이를 탐지하고 제거하게 된다. 수정된 공정은 이상원인 발생 전에는 백색잡음이 되지만, 이상원인 발생 후에는 다양한 형태의 시계열 모형으로 변환하게 된다. 만일 수정된 공정을 탐지하여 이상원인의 신호가 있을 경우 교정활동을 통하여 이를 제거해야 하지만, 교정활동의 비용이 많이 발생하거나 또는 구조적으로 이를 제거할 수 없는 경우에는 이상원인의 효과를 감안하여 수정활동을 재조정해야 할 것이다. 이 논문에서는 공정모형으로 IMA(1,1) 모형을 가정하고 통합공정관리 절차를 수행하는 경우, 이상신호 발생 후 재수정 절차를 제안한다.

주요용어: 통합공정관리, 공정수정, 재수정, 교정활동.

1. 서론

화학산업이나 장치산업 등의 공정에서 관측값들은 서로 상관되어 있고, 어떠한 조정도 없는 경우 공정수준이 목표값으로부터 멀어지는 경향을 가지고 있는 경우가 많다. 이런 공정에서는 경향의 원인을 내재하는 잡음에 의한 것으로 보고 일반적으로 피드백 콘트롤러(feedback controller)를 사용하여 공정수준이 목표값에 가깝게 유지하도록 하는 수정(adjustment)을 하게 된다. 이와 같이 공정수정을 통한 공정관리 절차를 공학적 공정관리(engineering process control: EPC) 또는 자동공정관리automatic process control: APC)라고 하며, 이상원인(special cause)을 탐색(monitoring)하고 이를 제거함으로써 공정산포를 줄이는 통계적 공정관리(statistical process control: SPC)와 구분하여 말하고 있다.

EPC와 SPC는 주어진 공정 여건에 맞는 한가지를 선택하여 공정을 관리하는 것으로 알려져 왔으나, 현대의 생산공정은 공정자체가 복잡하고 혼합된 양상을 나타내기 때문에 두 관리절차를 병행하여 사용함으로써 관리효과를 증대시킬 수 있게 된다. 이 경우에는 공정 진행 중에 주기적으로 공정수정을 하면서 이상원인의 발생을 동시에 탐지한다. 이와 같이 수정과 검색을 동시에 사용하여 공정을 좀 더 효율적으로 관리하고자 하는 절차를 통합공정관리(integrated process control: IPC)라 한다. IPC는 최근 공정관리 분야에서 활발히 연구되고 있으며 이에 대한 더 많은 연구가 앞으로도 계속될 전망이다.

IPC의 기본절차는 우선 EPC 절차를 통하여 잡음이 내재하는 공정에 대해 수정조치를 취하여 공정편차를 백색잡음(white noise)으로 전환하도록 하여 공정제곱편차를 최소화하게 된다. 이런 수정절차를 MMSE(minimum mean square error) 수정이라 한다. 또한 수정활동을 하면서 SPC 절차인 관리도를 통하여 공정에 이상원인 발생을 탐지하게 된다. 공정수정을 수행하는 EPC에 대해서는 Del Castillo

이 논문은 2006년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2006-312-C00490).
[1] 교신저자: (156-756) 서울시 동작구 흑석동 221, 중앙대학교 수학통계학부, 교수. E-mail: jaeheon@cau.ac.kr

(2002)의 저서를 참고할 수 있으며, IPC에 대한 최근 연구로는 Pan과 Del Castillo (2003), Jiang (2004), Runger 등 (2006), Park (2007), Nembhard와 Chen (2007), Park과 Lee (2008) 그리고 Park과 Reynolds (2008) 등을 들 수 있다.

IPC에서 MMSE 수정된 공정은 이상원인 발생 전에는 백색잡음이 되지만, 이상원인 발생 후에는 다양한 형태의 시계열 모형으로 변환하게 된다. 이러한 현상은 공정모수의 변환을 야기시키는 이상원인의 효과의 다양성에 기인한다. 이상원인의 효과는 크게 세 종류, 즉 지속적 변화(sustained shift), 지속적 흐름(sustained drift) 그리고 일시적 변화(transient shift)로 분류한다. 이 세 가지 변화 중에서, 지속적 변화는 수정된 공정에서 그 효과의 크기가 지수적으로 감소하고, 지속적 흐름은 공정을 목표치로부터 점점 더 멀어지게 하는 특성이 있다. 반면에 일시적 변화는 일정잔류기간 후에는 그 원인이 더 이상 존재하지 않게 된다.

IPC에서 MMSE 수정을 수행할 때, 위에서 언급한 바와 같이 이상원인의 형태에 따라 수정된 공정은 다양한 형태를 가지게 된다. 이와 같이 수정된 공정을 탐지하여 이상원인의 신호가 있을 경우 교정활동을 통하여 이를 제거해야 하지만, 교정활동의 비용이 너무 크거나 또는 구조적으로 이를 제거할 수 없는 경우에는 이상원인의 효과를 감안하여 수정활동을 재조정해야 할 것이다. 이 논문에서는 이상원인의 효과가 지속적 변화와 지속적 흐름인 경우 이상신호 후 공정을 재수정(readjustment)하는 절차를 제안할 것이다.

2. 관리상태의 공정모형

이 장에서는 IPC 절차를 수행하는 공정에서 이상원인이 발생하기 이전인 관리상태의 공정모형(in-control process model)에 대하여 설명하고자 한다.

먼저 Y_t는 시점 t에서의 관측값이라 할 때, 편의상 공정의 목표값을 0으로 놓을 경우 Y_t는 목표값으로부터의 관측편차(observed deviation from target)가 된다. 이후로 공정의 목표값은 0으로 간주한다. X_t는 시점 t에서의 입력변수 값, g는 시스템게인(system gain) 또는 공정게인(process gain), 그리고 N_t는 시점 t에서의 잡음 값이라 할 때, 가장 간단한 공정모형으로

$$Y_t = g X_{t-1} + N_t \tag{2.1}$$

를 고려할 수 있다. 이 모형은 수정의 효과가 바로 다음 시점에만 모든 영향을 주는 것으로 순수단위 지연모형(pure unit delay model) 또는 반응적 모형(responsive model)이라 하고, 특히 $g X_{t-1}$는 제로 차수의 Box-Jenkins 전달함수(zero-order Box-Jenkins transfer function)라고 한다.

이 논문에서 잡음인 N_t는 IMA(1,1) 모형을 사용하며, 이 모형은 공정수준의 유동적 현상을 잘 표현하여 공정잡음 모형으로 적합한 것으로 알려져 있다 (Box와 Kramer, 1992; Vander Wiel, 1996; Montgomery, 1999). IMA(1,1) 모형은

$$N_t = \frac{1-\theta B}{1-B}\epsilon_t \tag{2.2}$$

로 나타낼 수 있으며, 여기서 B는 $BN_t = N_{t-1}$인 후진연산자(backshift operator)이고 시점 t에서의 공정오차인 ϵ_t는 평균이 0이고 분산이 σ_ϵ^2인 정규분포를 따르는 확률변수를 가정한다. 또한 θ는 $0 \le \theta < 1$인 평활상수(smoothing constant)를 나타낸다. 공정모형에서는 시작 시점이 있기 때문에 $t \le 0$인 경우 $N_t = 0$과 $\epsilon_t = 0$을 가정하며, 시스템게인 g 뿐만 아니라 잡음모형의 모수인 θ와 σ_ϵ^2은 참값과 차이가 없을 정도로 잘 추정할 수 있어 알려져 있는 값이라고 가정한다.

식 (2.1)의 공정모형은

$$Y_t = g\,X_{t-1} + \frac{1-\theta B}{1-B}\,\epsilon_t$$
$$= g\,X_{t-1} + \epsilon_t + \frac{1-\theta}{1-B}\,\epsilon_{t-1}$$

로 표현되며, MMSE 수정절차는

$$g\,X_{t-1} + \frac{1-\theta}{1-B}\,\epsilon_{t-1} = 0,$$

즉

$$X_{t-1} = -\frac{1}{g}\,\frac{1-\theta}{1-B}\,\epsilon_{t-1} \tag{2.3}$$

로 하여, 다음 시점 t에서의 관측값이 $Y_t = \epsilon_t$가 되도록 조정하는 것이다. 따라서 식 (2.3)의 MMSE 수정절차를 시점 t를 기준으로 표현하면, $Y_t = \epsilon_t$의 관계로 인하여

$$X_t = -\frac{1}{g}\,\frac{1-\theta}{1-B}\,Y_t \tag{2.4}$$
$$= -\frac{1-\theta}{g}\sum_{j=1}^{t} Y_j$$

가 되어 순수적분 콘트롤러(pure integral controller)가 된다.

3. 이상상태에서의 공정모형

먼저 이상원인은 알려지지 않은 시점 τ와 $\tau+1$ 사이에서 발생하며, 잡음 N_t의 평균과 분산을 변화시킨다고 가정하자. 일반적으로 τ를 공정의 변화시점(process change point)이라 칭한다. 평균에 대한 이상원인의 효과는 지속적 변화 또는 지속적 흐름을 가정하며, 분산에 대한 효과는 지속적 변화만을 가정하기로 한다.

평균과 분산에 변화를 주는 이상원인이 발생한 후의 잡음모형은 식 (2.2)와 대비하여 $k \geq 1$에 대하여

$$N_{\tau+k} = \frac{1-\theta B}{1-B}\,\epsilon'_{\tau+k} + \mu_k\,\sigma_\epsilon \tag{3.1}$$

로 나타낼 수 있다. 여기서 $\epsilon'_{\tau+k} = \sigma_k\,\epsilon_{\tau+k}$이고, $k \leq 0$인 경우에는 $\mu_k = \sigma_k = 0$으로 정의한다.

따라서 이상상태에서의 공정모형은

$$Y_{\tau+k} = g\,X_{\tau+k-1} + N_{\tau+k}$$
$$= g\,X_{\tau+k-1} + \frac{1-\theta B}{1-B}\,\sigma_k\,\epsilon_{\tau+k} + \mu_k\,\sigma_\epsilon$$
$$= -\frac{1-\theta}{1-B}\,Y_{\tau+k-1} + \frac{1-\theta B}{1-B}\,\sigma_k\,\epsilon_{\tau+k} + \mu_k\,\sigma_\epsilon$$
$$= \sigma_k\,\epsilon_{\tau+k} + \frac{1-B}{1-\theta B}\,\mu_k\,\sigma_\epsilon \tag{3.2}$$

이 되는데, 세번째 식은 이상원인이 탐지되는 시점 이전에는 공정모형은 바뀌었지만 아직 식 (2.4)와 같은 수정절차를 수행하기 때문이다. 따라서 관리상태와 이상상태에서의 공정모형은 각각 다음과 같이

정리할 수 있다.

$$\begin{cases} Y_t = \epsilon_t, & t \le \tau, \\ Y_{\tau+k} = \sigma_k\, \epsilon_{\tau+k} + \dfrac{1-B}{1-\theta B}\mu_k\, \sigma_\epsilon, & k \ge 1. \end{cases}$$

식 (3.2)를 후진연산자를 사용하지 않고 풀어서 표현하면 단순한 계산을 통하여

$$Y_{\tau+k} = \sigma_k\, \epsilon_{\tau+k} + \left\{ \mu_k - (1-\theta) \sum_{i=1}^{k-1} \theta^{i-1}\, \mu_{k-i} \right\} \sigma_\epsilon \tag{3.3}$$

이 됨을 알 수 있다. 식 (3.3)은 Park과 Lee (2008)의 식 (3.3)과 동일하지만, 이 논문에서는 후진연산자를 사용하여 식 (3.2)와 같이 좀 더 간략한 형태를 유도하였다.

Park과 Lee (2008)에서 유도한 바와 같이 평균과 분산에 지속적 변화가 발생한 경우, 즉 $\mu_k = \delta$이고 $\sigma_k = \sigma$인 경우 식 (3.3)은

$$Y_{\tau+k} = \sigma\, \epsilon_{\tau+k} + \delta\, \theta^{k-1}\, \sigma_\epsilon \tag{3.4}$$

이 되며, 평균에는 지속적 흐름과 분산에는 지속적 변화가 발생한 경우, 즉 $\mu_k = k\, r$이고 $\sigma_k = \sigma$인 경우 식 (3.3)은

$$Y_{\tau+k} = \sigma\, \epsilon_{\tau+k} + \frac{r(1-\theta^k)}{1-\theta}\, \sigma_\epsilon \tag{3.5}$$

이 된다.

식 (3.4)와 (3.5)를 살펴보면, 모두 이상원인의 발생 후 관측값의 평균과 분산이 변하는 형태로서 평균과 분산의 변화를 동시에 탐지하는 관리도를 사용하여 이상원인을 탐지할 수 있다. 예를 들면, 관측값 Y_t를 사용하는 EWMA(exponentially weighted moving average) 관리도와 Y_t^2을 사용하는 EWMA 관리도를 동시에 적용할 수 있을 것이다.

4. 이상원인 탐지 후 재수정 절차

앞에서 언급한 바와 같이 MMSE 조정된 공정에서 관측값인 Y_t의 함수를 통계량으로 하는 관리도들을 사용하여 이상원인을 탐지할 수 있다. 그런데 관리도에서 이상상태의 신호가 주어졌을 경우 교정활동을 통하여 이를 제거해야 하지만, 교정활동의 비용이 많이 발생하거나 또는 구조적으로 이를 제거할 수 없는 경우가 발생할 수 있다. 이런 경우에는 식 (2.4) 대신에 이상원인의 효과를 감안하여 수정활동을 재조정해야 할 것이다. 이상원인은 3장에서 가정한 바와 같이 잡음의 평균과 분산을 변화시키는 경우를 고려해 보자. 또한 이상상태의 신호는 공정에 이상원인이 발생하고 L_1 시점이 지난 후, 즉 시점 $\tau + L_1$에 주어진다고 가정한다. 이때 신호 이후 시점에서의 잡음모형은 $k \ge L_1 + 1$에 대하여 식 (3.1)과 같으므로, 공정모형은

$$\begin{aligned} Y_{\tau+k} &= g\, X_{\tau+k-1} + N_{\tau+k} \\ &= g\, X_{\tau+k-1} + \frac{1-\theta B}{1-B}\, \epsilon'_{\tau+k} + \mu_k\, \sigma_\epsilon \\ &= g\, X_{\tau+k-1} + \epsilon'_{\tau+k} + \frac{1-\theta}{1-B}\, \epsilon'_{\tau+k-1} + \mu_k\, \sigma_\epsilon \end{aligned}$$

로 표현된다. 따라서 MMSE 수정절차는

$$g\, X_{\tau+k-1} = -\frac{1-\theta}{1-B}\, \epsilon'_{\tau+k-1} - \mu_k\, \sigma_\epsilon$$

로 하여, 다음 시점 $\tau+k$에서의 관측값이 $Y_{\tau+k} = \epsilon'_{\tau+k}$가 되도록 조정하는 것이다. 즉 MMSE 콘트롤러는

$$X_{\tau+k-1} = -\frac{1}{g}\left(\frac{1-\theta}{1-B}\,Y_{\tau+k-1} + \mu_k\,\sigma_\epsilon\right)$$

로 하는 것인데, 수정을 수행하는 시점 $\tau+k-1$에서 다음 시점의 평균의 변화량에 관련된 μ_k는 추정을 해야 하는 값이다. 따라서 실제 공정에서 수행하는 MMSE 콘트롤러는

$$X_{\tau+k-1} = -\frac{1}{g}\left(\frac{1-\theta}{1-B}\,Y_{\tau+k-1} + \hat{\mu}_k\,\sigma_\epsilon\right) \tag{4.1}$$

가 된다. 이와 같은 재수정을 수행할 경우 이상신호 이후, 즉 시점 $\tau+k$ $(k \geq L_1+1)$에서의 공정모형은

$$\begin{aligned}
Y_{\tau+k} &= g\,X_{\tau+k-1} + N_{\tau+k}\\
&= g\,X_{\tau+k-1} + \frac{1-\theta B}{1-B}\,\sigma_k\,\epsilon_{\tau+k} + \mu_k\,\sigma_\epsilon\\
&= -\frac{1-\theta}{1-B}\,Y_{\tau+k-1} - \hat{\mu}_k\,\sigma_\epsilon + \frac{1-\theta B}{1-B}\,\sigma_k\,\epsilon_{\tau+k} + \mu_k\,\sigma_\epsilon\\
&= \sigma_k\,\epsilon_{\tau+k} + \frac{1-B}{1-\theta B}\,(\mu_k - \hat{\mu}_k)\,\sigma_\epsilon
\end{aligned}$$

이 되고, 이를 후진연산자를 사용하지 않고 풀어서 표현하면

$$Y_{\tau+k} = \sigma_k\,\epsilon_{\tau+k} + \left\{(\mu_k - \hat{\mu}_k) - (1-\theta)\sum_{i=1}^{k-1}\theta^{i-1}\,(\mu_{k-i} - \hat{\mu}_{k-i})\right\}\sigma_\epsilon \tag{4.2}$$

이 된다.

특히 평균과 분산에 지속적 변화가 발생한 경우 식 (4.2)는

$$Y_{\tau+k} = \sigma\,\epsilon_{\tau+k} + \left(\delta - \hat{\delta}\right)\theta^{k-1}\,\sigma_\epsilon \tag{4.3}$$

이 되며, 평균에는 지속적 흐름과 분산에는 지속적 변화가 발생한 경우 식 (4.2)는

$$Y_{\tau+k} = \sigma\,\epsilon_{\tau+k} + \frac{(r-\hat{r})\,(1-\theta^k)}{1-\theta}\,\sigma_\epsilon \tag{4.4}$$

이 된다.

이상상태의 신호 후 재수정을 하지 않는 경우와 하는 경우의 공정모형은 평균과 분산에 지속적 변화가 발생할 때 각각 식 (3.4)와 (4.3)이 된다. 이 두 식을 비교해 보면 $|\delta| > |\delta - \hat{\delta}|$이 되도록 δ의 추정량 $\hat{\delta}$을 선정할 경우 재수정 절차를 통하여 공정편차를 줄일 수 있음을 알 수 있다. 유사하게 평균에는 지속적 흐름과 분산에는 지속적 변화가 발생할 때 이상상태의 신호 후 재수정을 하지 않는 경우와 하는 경우의 공정모형은 각각 식 (3.5)와 (4.4)가 된다. 이 두 식을 비교해 보면 $|r| > |r - \hat{r}|$가 되도록 r의 추정량 $\hat{r}$을 선정할 경우 재수정 절차를 통하여 공정편차를 줄일 수 있게 된다.

따라서 재수정을 수행하는 것이 다음 시점의 μ_k를 추정해야 하는 어려움은 있지만, 식 (4.1)과 같이 재수정을 함으로써 관측값 $Y_{\tau+k}$가 목표값인 0에 근접하게 하여 IPC를 수행하는 공정의 관측편차를 줄일 수 있음을 알 수 있다. 정확한 추정을 할수록 공정의 관측편차를 더 많이 줄일 수 있을 것이다.

참고로 다음 시점의 μ_k의 추정에 대하여 Park과 Lee (2008)가 제안한 MLE(maximum likelihood estimator)를 소개한다. 이상상태의 신호가 발생한 시점을 $T(=\tau+L_1)$라 할 때, 시점 $T^*(=T, T+1, \cdots)$에

서 다음 시점 $T^* + 1$의 변화량인 $\mu_{T^*+1-\tau}$에 대한 추정량을 계산하기 위해서는 공정의 변화시점인 τ의 추정 또한 필요하다.

먼저 평균의 지속적 변화인 경우를 고려하면 $k \geq \tau + 1$에 대하여 $\mu_k = \delta$가 된다. 이상상태의 신호가 발생한 시점 T에서 τ의 MLE는

$$\hat{\tau} = \arg\min_{0 \leq \tau < T} \left\{ (T - \tau) \left[\ln \left\{ \frac{\sum_{i=\tau+1}^{T} \left(Y_i - \theta^{i-\tau-1} \bar{Y}_{\tau+1,T}^{S} \right)^2}{(T - \tau)\, \sigma_\epsilon^2} \right\} + 1 \right] + \frac{\sum_{i=1}^{\tau} Y_i^2}{\sigma_\epsilon^2} \right\}$$

으로 결정되고, $\mu_{T^*+1-\tau}$의 MLE는

$$\hat{\mu}_{T^*+1-\tau} = \hat{\delta} = \frac{1}{\sigma_\epsilon} \bar{Y}_{\hat{\tau}+1,T}^{S}$$

가 된다. 여기서

$$\bar{Y}_{\hat{\tau}+1,T}^{S} = \frac{(1 - \theta^2) \sum_{i=\hat{\tau}+1}^{T} \theta^{i-\hat{\tau}-1}\, Y_i}{1 - \theta^{2(T-\hat{\tau})}}$$

로 정의한다. 이 MLE들의 상세한 유도 과정은 Park과 Lee (2008)의 부록 A를 참고할 수 있다.

다음으로 평균의 지속적 흐름인 경우를 고려하면 $k \geq \tau + 1$에 대하여 $\mu_k = k\,r$이 된다. 지속적인 변화의 경우와 유사하게 이상상태의 신호가 발생한 시점 T에서 τ의 MLE는

$$\hat{\tau} = \arg\min_{0 \leq \tau < T} \left\{ (T - \tau) \left[\ln \left\{ \frac{\sum_{i=\tau+1}^{T} \left(Y_i - (1 - \theta^{i-\tau})\, \bar{Y}_{\tau+1,T}^{D} \right)^2}{(T - \tau)\, \sigma_\epsilon^2} \right\} + 1 \right] + \frac{\sum_{i=1}^{\tau} Y_i^2}{\sigma_\epsilon^2} \right\}$$

으로 결정되고, r의 MLE는

$$\hat{r} = \frac{1 - \theta}{\sigma_\epsilon} \bar{Y}_{\hat{\tau}+1,T}^{D}$$

가 된다. 따라서 $\mu_{T^*+1-\tau}$의 MLE는

$$\hat{\mu}_{T^*+1-\tau} = (T^* + 1 - \hat{\tau})\, \hat{r} = (T^* + 1 - \hat{\tau})\, \frac{1 - \theta}{\sigma_\epsilon} \bar{Y}_{\hat{\tau}+1,T}^{D}$$

가 된다. 여기서

$$\bar{Y}_{\hat{\tau}+1,T}^{D} = \frac{\sum_{i=\hat{\tau}+1}^{T} (1 - \theta^{i-\hat{\tau}})\, Y_i}{\sum_{i=\hat{\tau}+1}^{T} (1 - \theta^{i-\hat{\tau}})^2}$$

로 정의한다. 이 MLE들의 상세한 유도 과정은 Park과 Lee (2008)의 부록 B를 참고할 수 있다.

시점 $T^*(= T, T + 1, \cdots)$에서 다음 시점 $T^* + 1$의 변화량인 $\mu_{T^*+1-\tau}$에 대한 추정은 여기서 소개한 MLE 이외에 다른 여러 가지 방법을 고려할 수 있을 것이다.

5. 결론

잡음이 내재하는 공정에 대하여 수정활동을 수행하는 EPC와 수정활동 중 공정에 이상원인이 발생하면 이를 탐지하는 SPC를 병행하는 절차인 IPC는 현대와 같이 다양하고 복잡한 생산공정에서 효율적인 공정관리를 위하여 유용하게 사용되고 있는 절차이다.

이 논문에서는 잡음이 내재하는 공정모형으로 IMA(1,1) 모형을 가정하고 공정평균에 지속적 변화 또는 지속적 흐름이, 분산에 지속적 변화의 이상원인이 발생하는 경우를 고려하였다. 이때 매시점마다 MMSE 수정을 수행하는 과정에서 이상원인의 신호가 발생할 경우에 교정활동을 통하여 이를 제거해

야 하지만, 교정활동의 비용이 많이 발생하거나 또는 구조적으로 이를 제거할 수 없는 경우 이상원인의 효과를 감안하여 수정활동을 재조정해야 할 것이다. 이 논문에서는 이와 같은 경우 공정을 재수정하는 절차를 제안하였고, 재수정 절차를 통하여 공정의 관측편차를 줄일 수 있음을 알 수 있었다.

향후 매시점 마다 수정을 수행하는 반복수정(repeated adjustment) 대신 어떤 조건이 만족되는 경우에만 수정하는 경계선수정(bounded adjustment)의 경우, 수정의 효과가 몇 시점 동안 지연되는 모형의 경우, 그리고 일반적인 PID 콘트롤러(proportional-integral-derivative controller)를 사용하는 경우에 대한 IPC 및 재수정 절차에 대하여 연구할 계획이다.

참고 문헌

Box, G. E. P. and Kramer, T. (1992). Statistical process control and feedback adjustment - A discussion, *Technometrics*, **34**, 251–285.

Del Castillo, E. (2002). *Statistical Process Adjustment for Quality Control*, John Wiley & Sons, New York.

Jiang, W. (2004). A joint monitoring scheme for automatically controlled processes, *IIE Transactions*, **36**, 1201–1210.

Montgomery, D. C. (1999). A perspective on models and the quality sciences: Some challenges and future directions, *ASQ Statistics Division Newsletter*, **18**, 8–13.

Nembhard, H. B. and Chen, S. (2007). Cuscore control charts for generalized feedback-control systems, *Quality and Reliability Engineering International*, **23**, 483–502.

Pan, R. and Del Castillo, E. (2003). Integration of sequential process adjustment and process monitoring techniques, *Quality and Reliability Engineering International*, **19**, 371–386.

Park, C. (2007). An algorithm for the properties of the integrated process control with bounded adjustments and EWMA monitoring, *International Journal of Production Research*, **45**, 5571–5587.

Park, C. and Lee, J. (2008). An integrated process control scheme based on the future loss, *The Korean Journal of Applied Statistics*, **21**, 247–264.

Park, C. and Reynolds, M. Jr. (2008). Economic design of an integrated process control procedure with repeated adjustments and EWMA monitoring, *Journal of the Korean Statistical Society*, **37**, 155–174.

Runger, G., Testik, M. C. and Tsung, F. (2006). Relationships among control charts used with feedback control, *Quality and Reliability Engineering International*, **22**, 877–887.

Vander Wiel, S. A. (1996). Monitoring processes that wander using integrated moving average models, *Technometrics*, **38**, 139–151.

2009년 3월 접수; 2009년 3월 채택

A Readjustment Procedure after Signalling in the Integrated Process Control

Changsoon Park[a], Jaeheon Lee[1,a]

[a]Department of Statistics, Chung-Ang University

Abstract

This paper considers the integrated process control procedure for detecting special causes in an IMA(1,1) process that is being adjusted automatically after each observation using a minimum mean squared error adjustment policy. When the control chart signals after the occurrence of a special cause, the special cause will be detected and eliminated from the process by the rectifying action. However, when the elimination of the special cause costs high or is not practically possible, an alternative action is to readjust the process with appropriately modified adjustment scheme. In this paper, we propose the readjustment procedure after having a true signal, and show that the use of the readjustment can reduce the deviation of a process from the target.

Keywords: Integrated process control, process adjustment, readjustment, rectifying action.

This work was supported by the Korea Research Foundation Grant funded by the Korean Government (MOEHRD, Basic Research Promotion Fund) (KRF-2006-312-C00490).

[1] Corresponding author: Professor, Department of Statistics, Chung-Ang University, 221 Heukseok-Dong, Dongjak-Gu, Seoul 156-756, Korea. E-mail: jaeheon@cau.ac.kr