

First-Order System 피드백 공정 조정에서 이상원인의 영향

전 상 표*

*남서울대학교 교양학과

Impact of Special Causes on First-Order System Feedback Process Adjustment

Sang Pyo Jun*

*Department of General Education, Nam Seoul University

Abstract

A special cause producing temporary deviation in the underlying process can influence on process adjustment in First-Order System feedback control system. In this paper, the impact of special causes on the forecasts and the process adjustment that is based on the EWMA forecasts are derived for a first-order system. For some special causes with patterned type of contamination, the influence of the causes on the output process are explicitly investigated. A data set, contaminated by a special cause of level shift, is analyzed to confirm the impact numerically.

Keywords: Process Adjustment, First-Order System Feedback Control, Special Cause, EWMA

1. 서 론

공정조정(process adjustment)은 통계적 공정관리(SPC: statistical process control)와 함께 공정향상을 위해 널리 사용되는 방법이다.

통계적 공정관리는 가설검정의 관점에서 주로 관리도를 이용하여 공정에서 이상(special cause)의 발생여부를 탐지하는 것이 주목적이며, 반면에 공정조정은 추정의 관점에서 공정특성치가 목표치에 가능한 한 가깝게 유지되도록 공정특성치에 영향을 미치는 조정 가능한 입력(input 또는 compensatory) 변수를 조정하여 그 목적을 달성하려는 방법이다. 실제로, 이 두 방법은 같은 목적을 성취하기 위한 경쟁적 관계라기보다는 품질향상을 위한 보완적 관계에 있다고 할 수 있고[7],

또한 이 두 방법을 결합적으로 사용하여 품질을 개선하려는 방법이 소개되고 있다 [3],[6],[16].

공정조정 방법으로는 피드백, 피드포워드, 그리고 피

드백-피드포워드 조정 등이 있는데, 입력변수 조정의 영향이 출력변수에 여러 시간에 걸쳐 나타나는 다이내믹 시스템(dynamic system)과 공정의 단위시간에 그치는 단반응시스템 (responsive system)으로 구분될 수 있다.

특성치의 평균이 경향(drift)이 있는 비정상 시계열을 따르는 공정의 경우에, 피드백 공정조정에서는 이러한 경향을 상쇄하여 특성치를 목표치에 유지시키기 위해 흔히 EWMA 예측방법을 적용하여 입력변수를 조정하는데, 특히 특성치가 IMA 과정을 따를 때 EWMA 예측에 의한 공정조정은 최적의 공정조정이 된다[4],[11].

특성치 자료에는 이상원인에 의해 대부분의 자료에서 벗어나는 자료가 발생할 수 있고, 이러한 자료는 이상치라고 정의된다. 시계열의 이상치에 관한 연구는 ARIMA 모형 하에서 AO(Additive Outlier), IO(Innovational Outlier), LS(Level Shift) 등의 정형화된 단일(single) 이상치를 탐지하는 방법과 이상치가 모수 추정에 미치는 영향에 관한 연구가 주를 이루었다[15].

반면에, 시계열 자료에는 연속 시점에서 이상치가 발생하는 경우가 흔한데, 이러한 연속이상치들의 영향은 더욱 심각한 것으로 알려지고 있다[8],[10]. 품질개선에 적용된 이상치에 관한 연구로는 예측에 미치는 단일 이상치의 영향[9],[13],과 자기상관을 갖는 특성치에 대한 공정관리기법(관리도)의 개발[1],[2],[12],[17], 등을 들 수 있는데, 공정조정에서 이상치 문제에 관한 연구는 전무한 실정이다.

비정상 시계열을 따르는 특성치를 EWMA 단반응 피드백 방법으로 조정하는 경우에 대하여, 이상원인의 발생으로 변질되어 관측된 특성치를 나타낼 수 있는 일반 모형에 대한 제안과 제안된 모형을 바탕으로 이상원인의 발생이 출력변수에 미치는 영향은 유도되었다[18].

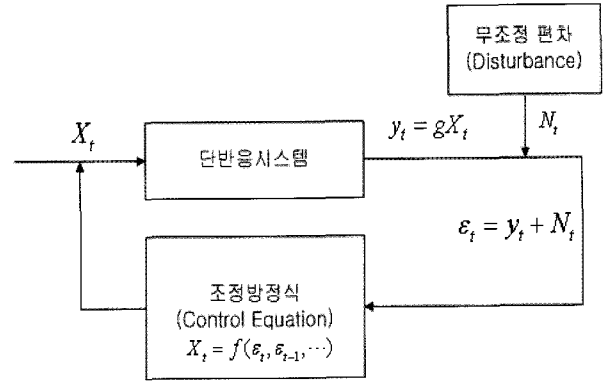
본 논문에서는 피드백 조정 시스템에서 공정 특성치에 미치는 보정변수의 영향이 공정의 단위시간에 그치지 않고 여러 시간에 걸쳐 나타나는 동적 피드백 공정 조정 중 t-1시점에서 설정한 보정변수가 t-1시점과 t 시점의 연속 두 시점에 걸쳐 공정에 영향을 미치는 First-Order System 으로 조정하는 경우에 이상원인의 발생으로 변질되어 관측된 특성치를 나타낼 수 있는 일반 모형에 대한 제안과 제안된 모형을 바탕으로 이상원인의 발생이 출력변수에 미치는 영향을 유도하였다.

2. 피드백 공정조정

본 논문에서 N_t 는 입력변수로 조정되지 않을 때 목표치(T_0)로부터 벗어나는 특성치의 무조정 편차(underlying process), X_t 는 입력변수를 한 단위 조정할 때 특성치가 g 단위를 변화한다고 이미 알려진 조정 가능한 입력력(또는 조정) 변수, g 는 그 변화의 크기를 나타내는 공정증가분(process gain), Y_t 는 입력변수로 조정이 적용될 때 조정된 특성치의 값을 나타내는 시계열은 다음의 <그림 1>과 같다.

2.1 동적 피드백 시스템

동적 피드백 시스템은 연속 두 시점에 걸쳐 공정에 영향을 미치는 시스템으로서 다음과 같은 모형으로 표현된다.



<그림 1> 피드백 공정조정

$$y_t - \delta y_{t-1} = (1 - \delta)gX_{t-1} +$$

$$y_t = \frac{(1 - \delta)g}{(1 - \delta B)} X_{t-1} +$$

$$= \frac{L_2(B)}{L_1(B)} X_{t-1} + \quad (1)$$

따라서, 시점 t 에서의 보정변수를

$$X_{t+1} = - \frac{L_1(B)}{L_2(B)} \hat{N}_t(1) \quad (2)$$

설정 할 때, $\epsilon_{t+1} = e_t(1)$ 가 되는 최적 최적의 최소 평균제곱오차 피드백관리가 된다 [5],[7].

2.2 First-Order 동적 피드백 조정

동적 피드백 시스템 중의 First-Order 동적 피드백 시스템에서 보정변수의 효과가 f-1시점 동안 지체된 후에 나타나는 경우, 시스템 식은 다음과 같이 표현된다.

$$y_t - \delta y_{t-1} = (1 - \delta)g\{(1 - v)X_{t-f-1} + vX_{t-f-2}\}$$

$$y_t = \frac{(1 - \delta)g(1 - vB)}{(1 - \delta B)} B^f X_{t-1}$$

$$= \frac{L_2(B)}{L_1(B)} B^f X_{t-1}$$

조정편차 ϵ_{t+f+1} 는

$$\epsilon_{t+f+1} = \frac{L_2(B)}{L_1(B)} X_{t+1} + N_t(f+1)$$

$$= \frac{L_2(B)}{L_1(B)} X_{t+1} + \hat{N}_t(f+1) \quad (f \neq 1)$$

같이 표현되고, 시점 t 에서의 보정변수 X_{t+1} 를

$$X_{t+1} = - \frac{L_1(B)}{L_2(B)} \hat{N}_t(f+1) \quad (3)$$

설정할 때, $\epsilon_{t+f+1} = e_t(f+1)$ 가 된다.

식(3)의 조절변수의 설정값 X_{t+} 는 조정편차들로 표현하면 다음과 같이 된다.

$$X_{t+} = - \frac{L_1(B)}{L_2(B)} \frac{L_3(B)}{L_4(B)} \varepsilon_t$$

3. 이상원인의 영향

이상원인이 m 개의 연속시점에서 발생한 경우에 그 시점들에서 AO가 발생한 것으로 정의될 수 있고, 따라서 시점 T 에서 $T+m-1$ 까지 m 개 연속시점들에서 정형화되지 않은 구조를 갖는 연속이상치(consecutive outliers)가 포함된 관측된 시계열 N_t 는 다음과 같은 개입모형으로 표현될 수 있다[14].

$$N_t = N'_t + \sum_{j=0}^{m-1} \omega_j I_t(T+j), t=1, 2, \dots, n \quad (4)$$

단, N'_t 는 이상원인이 발생하지 않은 경우의 특성치 참시계열(outlier-free), ω_j 는 $T+j$ 시점의 특성치에 내재된 이상원인 영향의 크기, 그리고 $I_t(T)$ 는 $t=T$ 에서 1이고 $t \neq T$ 에서 0인 지시함수이다.

3.1 이상 원인이 First-Order시스템 피드백 공정조정에 미치는 영향

First-Order 동적 피드백 시스템에서 이상원인이 발생하지 않은 경우에는 식(2)을 적용하여 보정변수를

$X_{t+} = -[\widehat{N}'_t(1) - \delta \widehat{N}'_{t-1}(1)]/g(1-\delta)$ 로 설정하면, EWMA 예측값에 의한 피드백 공정 조정 시 조정편차는 무조정편차의 EWMA 예측오차와 같게 된다. 그러나, 이상원인이 발생하게 되면 이상원인의 영향에 의해 보정변수의 설정 과정에 영향을 끼치게 된다.

First-Order 시스템의 경우 이상원인의 발생이 예측에 미치는 영향은 i) $t \leq T-1$ (이상원인 발생 전) $\Delta \widehat{N}_t = 0$, ii) $T \leq t \leq T+m-1$ (이상원인 발생 중) $\Delta \widehat{N}_t = \lambda \omega_{t-T} + \Theta \Delta \widehat{N}_{t-1}$, iii) $t \geq T+m$ (이상원인 종료 후) $\Delta \widehat{N}_t = \Theta \Delta \widehat{N}_{t-1}$ 로 표현된다[14].

연속 시점에서 이상원인이 보정변수의 설정과정에 미치는 영향은 이상원인의 영향이 포함된 자료와 그 영향이 포함되지 않은 자료로 구한 보정변수 설정값의 차이로 다음과 같이 표현된다.

결과 1: 이상원인이 보정변수에 미치는 영향

i) $t \leq T-1$ (이상원인 발생 전인 경우):

$$\Delta X_{t+} = X_{t+} - X'_{t+} = 0$$

ii) $T \leq t \leq T+m-1$ (이상원인 발생 중인 경우):

$$\Delta X_{T+j+} = - \frac{\lambda}{g(1-\delta)} [\omega_j + \sum_{i=0}^{j-1} \omega_i \Theta^{j-i-1}(\Theta-\delta)]$$

(단 $0 \leq j \leq m-1$)

iii) $t = T+m$ (이상원인 종료 다음 시점)

$$\Delta X_{T+m} = - \frac{1}{g(1-\delta)} [\Theta(\Delta \widehat{N}_{T+m-1} - \delta \Delta \widehat{N}_{T+m-2}) - \delta \lambda \omega_m]$$

iv) $t > T+m$ (이상원인 종료 두시점 경과 후인 경우)

$$\Delta X_{t+} = - \frac{1}{g(1-\delta)} \Theta [\Delta \widehat{N}_{t-1} - \delta \Delta \widehat{N}_{t-2}]$$

위 결과로부터 이상원인 발생에 의해 보정변수에 미치는 영향은 시점 $t=T$ 에서 이상원인의 발생이 시작된 경우 설정값의 차이는 $-[1/g(1-\delta)]\lambda\omega_0$ 가 되어, T 에서의 이상영향 크기 ω_0 에 따라 차이가 발생한다. 두 시점 모두 이상영향을 받는 경우인 $t=T+1$ 에서는 그 영향의 크기가 $-[\lambda/g(1-\delta)] [\lambda\omega_1 + \lambda\omega_0(\Theta-\delta)]$ 로써 $T+1$ 에서의 이상영향 크기 ω_1 와 시점 T 에서의 무조정편차 예측에서 발생하는 $\lambda\omega_0(\Theta-\delta)$ 의 값에 따라 증가($\Theta > \delta$) 또는 감소($\Theta < \delta$) 한다.

두 시점 모두 이상영향을 받는 일반적인 $t=T+j$ 경우에는 $-[\lambda/g(1-\delta)] [\omega_j + \sum_{i=0}^{j-1} \omega_i \Theta^{j-i-1}(\Theta-\delta)]$ 로 $T+j$ 의 이상영향 크기 ω_j 와 $T+j$ 이전 시점까지의 이상영향의 합으로 나타난다.

이상원인의 발생 종료 다음 시점의 경우는 이상원인이 종료하기 전 두 시점의 무조정편차 예측 시 발생하는 이상원인의 영향의 차 $\Delta \widehat{N}_{T+m-1} - \delta \Delta \widehat{N}_{T+m-2}$ 와 이상원인 종료 시점의 이상영향 크기 ω_m 에 따라 차이가 발생한다.

이상종료 후 두시점이 경과한 경우에는

$\Theta[\Delta \widehat{N}_{t-1} - \delta \Delta \widehat{N}_{t-2}]$ 로 무조정편차 예측 시 이상원인 영향의 차이만큼의 차이가 발생함을 알 수 있다[19].

3.2 이상원인이 조정편차에 미치는 영향

조정편차에 이상 원인에 의해서 발생하는 차이를 시점 순으로 정리하면 다음과 같게 된다.

결과 2: 이상원인이 공정 조정에 미치는 영향

i) $t \leq T-3$ (예측시점이 이상원인 발생)의 경우 :

$$\varepsilon_{t+2} = e_t(2) = e_t'(2)$$

ii) $T-3 < t \leq T-1$ (예측시점이 이상원인 발생 중)의 경우:

$$\varepsilon_{t+2} = e_t'(2) + \omega_{t+2-T}$$

iii) $T \leq t < t+2 \leq T+m-1$ (두시점 모두 이상원인 발생)의 경우:

$$\varepsilon_{t+2} = e_t'(2) + [\omega_{t+2-T} - \Delta \overline{N}_{t+2}]$$

iv) $t \leq T+m-1$ (예측 시점 이상원인 종료 후)의 경우:

$$\varepsilon_{t+2} = e_t'(2) - \Delta \overline{N}_{t+2}$$

결과 2를 요약하면 예측원점은 이상원인 발생 전이고, 예측시점은 이상원인 발생 중인 경우에 이상영향 고려 전과 비교하여 ω_{t+2-T} 의 차이가 나게 된다. 예측원점과 예측시점 모두가 이상원인 발생 중인 경우에 (iii) 이상영향의 크기 ω_{t+2-T} 와 $t+2$ 시점에서의 두 시계열 예측치의 차이 $\Delta \overline{N}_{t+2}$ 에 따라 결정된다.

iv)의 예측원점은 이상원인이 발생중이고, 예측시점은 이상원인 종료 후의 경우는 두 시계열 예측치의 차 $\Delta \overline{N}_{t+2}$ 에 따라 달라지게 된다 [19].

3.3 정형화된 이상원인이 피드백 조정에 미치는 영향

참시계열 N_t' 가 $\Phi(B)(1-B)^d N_t' = \Theta(B)a_t$ 의 ARIMA모형을 따른다면 다음과 같이 표현될 수 있다:

$$N_t' = \Psi(B)a_t \quad (5)$$

단, a_t 는 평균이 0인 백색잡음(white noise) 과정이고, $\Psi(B), \Phi(B), \Theta(B)$ 는 다음과 같다.

$$\Psi(B) = 1 + \psi_1 B + \psi_2 B^2 + \dots$$

$$\Phi(B) = 1 - \phi_1 B - \dots - \phi_p B^p$$

$$\Theta(B) = 1 - \theta_1 B - \dots - \theta_q B^q$$

이상원인의 영향이 포함된 관측 시계열 N_t 는 AO, IO, LS(Level Shift) 등의 정형화된 이상치 모형으로 다음과 같이 표현될 수 있다[5],[15].

$$N_t = \omega_0 n_t(T) + \Psi(B) a_t \quad (6)$$

식 (6)에서, $n_t(T)$ 는 AO의 경우에 $I_t(T)$, IO의 경우에 $\Psi(B)I_t(T)$, 그리고 LS의 경우에 $[1/(1-B)]I_t(T)$ 가 된다.

이상원인의 유형에 따라 예측 값과 First-Order System 피드백 조정의 출력변수 값에 미치는 영향은 다음과 같이 요약된다.

1) AO의 경우

예측치에 미치는 AO의 영향은 관측된 특성치가 $N_t = \omega_0 I_t(T) + \Psi(B) a_t$ 로 표현되므로 결과 1에서 $m=1, \omega_j=0, j>0$ 을 적용하면, 발생시점

i) $t = T$ 에서 $\Delta X_{t+} = -\frac{1}{g(1-\delta)} \lambda \omega_0$,

ii) $t = T+1$ 에서

$$\Delta X_{T+1+} = -\frac{1}{g(1-\delta)} \lambda \omega_0 (\theta - \delta)$$

iii) $t \geq T+k$ 에서

$$\Delta X_t = -\frac{1}{g(1-\delta)} \lambda \omega_0 \theta^{t-T} (\theta - \delta)$$

조정편차 ε_t 에 미치는 AO의 영향은 발생시점에서 ω_0 , 그 이후 시점 $t = T+k$ 에서,

$\Delta X_t = -\frac{1}{g(1-\delta)} \lambda \omega_0 \theta^{t-T-1} (\theta - \delta)$ 의 편의가 발생하게 되고, 따라서 평활상수의 크기에 따라 공정조정의 영향은 상당기간 지속될 수 있다.

2) IO의 경우

이상치 모형은 $N_t = \omega_0 \Psi(B)I_t(T) + \Psi(B) a_t$ 가 되고, 예측치에 미치는 영향은 결과 1에서 $m=\infty, \omega_j = \psi_j \omega_0, j>0$ 을 적용하면 발생시점에서,

$\Delta X_{t+} = -\frac{1}{g(1-\delta)} \lambda \omega_0, t \geq T+1$ 에서

$\Delta X_t = -\frac{1}{g(1-\delta)} \omega_0 \lambda \sum_{j=0}^{t-T} \theta^j \psi_{t-T-j}$ 가 된다.

조정편차 ε_t 에 미치는 IO의 영향은 $t = T$ 에서 $\omega_0, t = T+k$ 에서

$-\frac{1}{g(1-\delta)} \omega_0 (\psi_k - \lambda \sum_{j=0}^{k-1} (1-\lambda)^j \psi_{k-j-1})$ 가 된다.

따라서, 공정조정에 미치는 IO의 영향은 평활상수와 N_t' 의 ψ_j 들에 따라 달라지고, 특히 비정상 시계열의 경우 ψ_j 가 0에 빠르게 수렴하지는 않기 때문에 상당기간 편의가 발생할 수 있다.

3) LS의 경우

이상원인의 영향이 $\omega_0[1/(1-B)]I_t(T) = \omega_0(I_t(T) + I_{t+1}(T) + \dots)$ 가 되므로, 예측에 미치는 영향은 결과 1에서 $m = \infty, \omega_j = \omega_0, j > 0$ 을 적용하면 발생시점에서 $\Delta X_T = \omega_0$, 발생 이후 시점, $t \geq T+1$ 에서

$$\Delta X_t = -\frac{1}{g(1-\delta)} \lambda \omega_0 \sum_{j=0}^{t-T} (1-\lambda)^j \text{가 된다.}$$

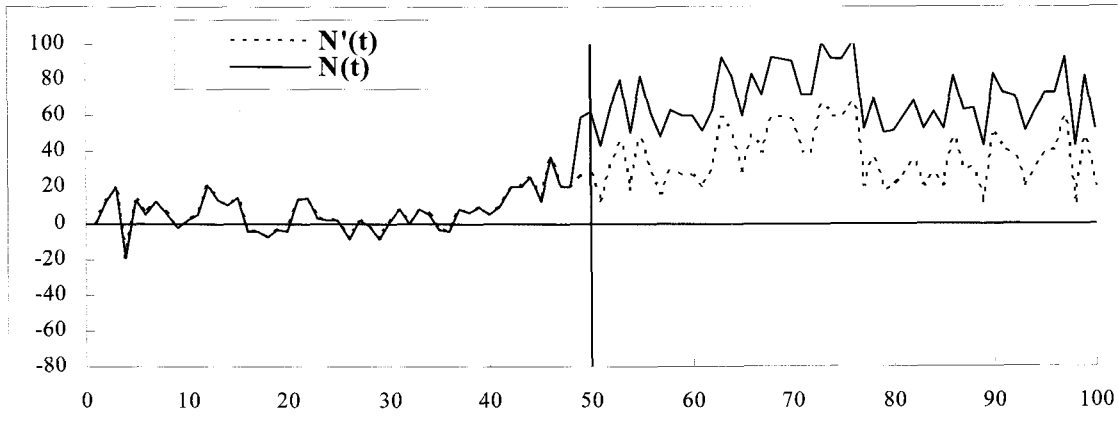
따라서, 시간이 지남에 따라 두 예측치의 차는 이상원인의 영향 크기인 ω_0 에 수렴하게됨을 알 수 있다. 반면에 조정편차 ε_t 에 미치는 LS의 영향은 $t = T$ 에서 ω_0 , $t = T+k$ 에서 $= -\frac{1}{g(1-\delta)} \omega_0 (1-\lambda)^k$ 가 된다.

따라서, 시간이 지남에 따라 두 조정편차의 차는 0으로 수렴하게 되어, 결과적으로 조정편차는 목표 값으로 조정됨을 확인할 수 있다.

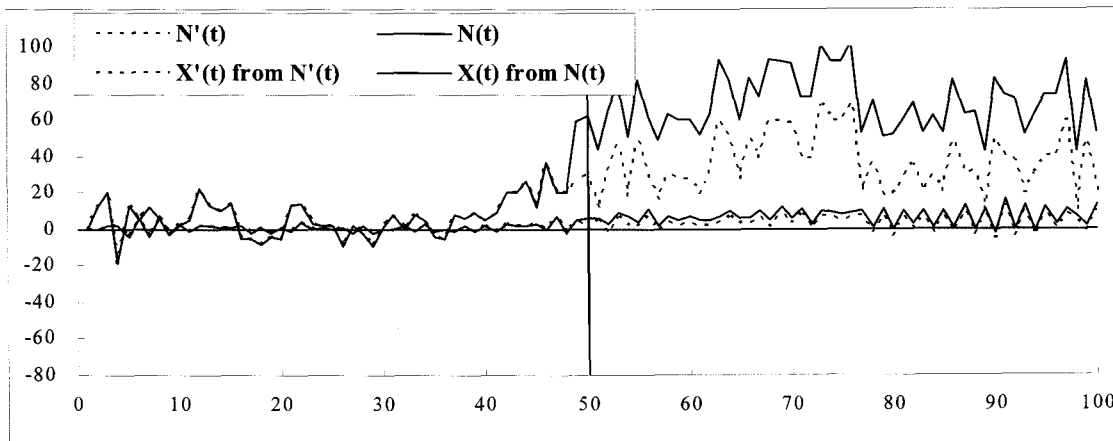
4. 자료 분석

분석 대상 자료는 크기가 100인 Box와 Lucceno(1997)의 SERIES A(Metallic Film Series)로서, T_0 가 80인 공정특성치 자료이다. 이 자료는 IMA(1,1)을 따르는 $\theta = 0.8$ 이고 $\hat{\sigma} = 11$ 인 정하였다. 이상원인의 발생에 의해 국소수준변화의 특성을 나타내는 편차 계열(N_t) 자료는 식 (5)를 이용하여, N'_t 에 $t=50, \dots, 53$ 의 4 시점에서 $33(=3 \times \hat{\sigma})$ 을 각각 더하여 구하였다.(<그림 2>에서 N'_t 는 점선, N_t 는 직선).

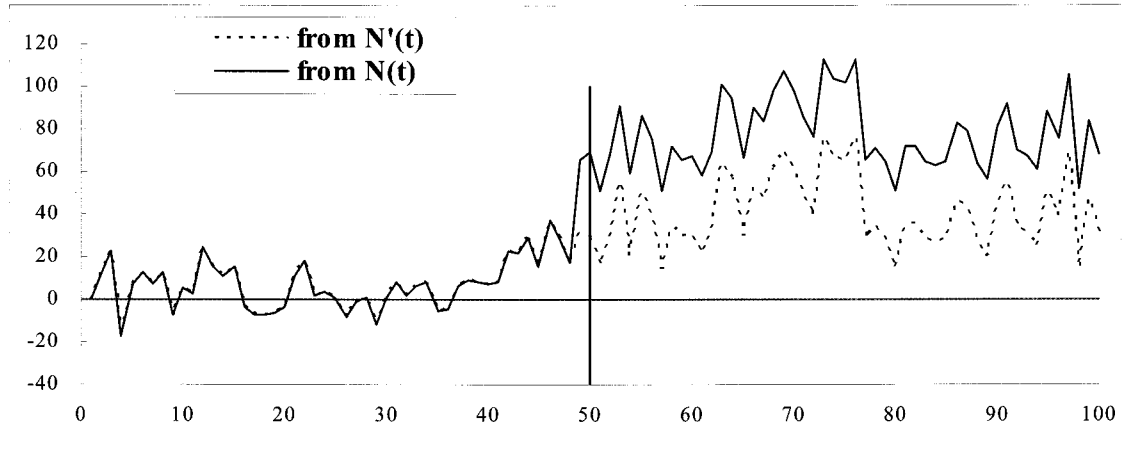
이상원인의 발생이 공정조정에 미치는 영향은 그러한 이상원인이 조정효과는 비정상시계열로 분석되었는데, 본 분석에서는 ($N'_t = \text{원자료값} - T_0$)를 무조정 편차로 가단 $g=1.2$ 와 조정편차(ε_t)에 미치는 영향으로 <그림 2>에서 파악 될 수 있다.



<그림 2>



<그림 3>



<그림 4>

i) 이상원인의 발생여부에 따른 조정효과는 <그림 3>의 하단에 제시된 두 조정효과 계열로부터 알 수 있듯이, 이상원인 발생기간 동안에 그 차이가 커지며, 이상원인 종료 후에도 장기간에 걸쳐($t=65$ 까지) 그 영향이 지속적으로 감소하는 형태로 지속됨을 확인할 수 있다. 특히, EWMA 예측에 미치는 영향은 본 자료와 같이 연속 시점에서 이상원인이 발생하는 경우에 더욱 심각할 수 있음을 알 수 있다.

ii) 이상원인의 발생이 조정편차 ε_t 에 미치는 <그림 4>에서 확인할 수 있듯이, 무조정 편차 계열의 EWMA를 입력변수의 설정에 이용하여 구한 조정 편차들의 차이는 발생시점($t=50$)과 발생 종료 직후($t=54$)에서 특히 크게 나타나고, 그 이후에도 이상원인의 영향이 지속적으로 감소하는 형태로 장기간에 걸쳐 나타남을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문은 특성치가 경향이 있는 비정상 시계열로 나타나는 First-Order System 피드백 공정조정에서, 이상원인의 발생을 연속시점에서 발생한 이상치로 정의하여 모형화하고, 이러한 이상치가 EWMA 예측에 미치는 영향과 이 예측 값을 공정조정에 이용할 때 얻어지는 조정 편차에 미치는 이상치의 영향을 연구한 결과이다.

이러한 이상원인의 발생은 조정변수를 설정하는데 이용되는 EWMA 예측값에 영향을 미치게 되는데, 그 영향은 이상원인의 발생시점, 종료시점, 예측시점에 따라 다르게 결정됨을 알 수 있다.

또한, EWMA 예측 값을 이용한 조정과 이에 따른 조정의 결과로 나타나는 조정편차는 이상원인의 발생 시

작 시점과 종료 직후 시점에서 그 영향이 크고, 종료 후에는 시간이 지남에 따라 그 영향이 지속적으로 감소하게 됨을 확인할 수 있다.

공정조정이 공정관리와 결합적으로 사용될 때 본 논문의 연구결과는 이상원인의 발생 여부에 대한 탐지에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

6. 참고 문헌

- [1] Alwan, L. C. and Roberts, H. V. (1988), "Time-Series Modeling for Statistical Process Control", *Journal of Business & Economic Statistics*, Vol. 6, No.1, pp. 87-95.
- [2] Atienza, O. O., Tang, L. C., and Ang, B. W. (1998), "A SPC Procedure for Detecting Level Shifts of Autocorrelated Processes", *Journal of Quality Technology*, Vol. 30, No. 4, pp. 340-351.
- [3] Baxley, R.V., Jr.(1994), "Application of the EWMA for Algorithmic Statistical Process Control," *Quality Engineering*, Vol. 7, pp. 397-418.
- [4] Box, G. E. P., Coleman, D. E., and Baxley, R., Jr. (1997), "A Comparison of Statistical Process Control and Engineering Process Control," *Journal of Quality Technology*, Vol. 29, No. 2, pp. 128-130.
- [5] Box, G. E. P., Jenkins, G. M., and Reinsel, G. C. (1994), *Time Series Analysis, Forecasting, and Control*, 3rd ed, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- [6] Box, G. E. P. and Kramer, T. (1992), "Statistical Process Monitoring and Feedback Adjustment-A Discussion," *Technometrics*, Vol. 34, pp. 251-285.
- [7] Box, G. E. P. and Lucceno, A. (1997), *Statistical Control : By Monitoring and Feedback*

Adjustment, John Wiley & Sons, New York.

- [8] Bruce, A. G. and Martin, R. D. (1989), "Leave-k-Out Diagnostic for Time Series (with Discussion)," Journal of the Royal Statistical Society, Series B, Vol. 51, pp. 363-424.
- [9] Chen, C. and Liu, L.-M. (1993), "Forecasting Time Series with Outliers", Journal of Forecasting, Vol. 12, pp. 12-35.
- [10] Cho, Sinsup, Ryu, Gui Yeol, Park, B. U., and Lee, J. J. (1993), "Outlier Detection Diagnostic based on Interpolation Method in Autoregressive Models", Journal of the Korean Statistical Society, Vol. 22, No. 2, 283-306.
- [11] Crowder, S. V., Hawkins, D. M., Reynold M. R. JR., and Yashchin, E. (1997), "Process Control and Statistical Inference", Journal of Quality Technology, Vol. 29, No. 2, pp. 134-139.
- [12] Jiang, W., Tsui, K-L, and Woodall, W. H. (2000), A New SPC Monitoring Method: The ARMA Chart, Technometrics, Vol. 42, No. 4, 399-410.
- [13] Ledolter, J. (1989), "The Effect of Additive Outliers on the Forecasts from ARIMA models", Journal of Forecasting, Vol. 5, pp. 231-240.
- [14] Lee, Jae June (1994), "Detection of Local Structural Changes in Time Series," The Korean Journal of Applied Statistics, Vol. 7, No. 2, pp. 299-311.
- [15] Tsay, R. S. (1986), "Time Series Model Specification in the Presence of Outliers," Journal of American Statistical Association, Vol. 81, pp. 131-141.
- [16] Tucker, W. T., Faltin, F. W., and Vander Wiel, S. A. (1993), "Algorithmic Statistical Process Control: An Elaboration," Technometrics, Vol. 35, pp. 363-375.
- [17] Zhang, N. F. (1998), A Statistical Control Chart for Stationary Process Data, Technometrics, Vol. 40, No. 1, 24-38.
- [18] 이재준, 전상표, 이종선, (2003), "EWMA 피드백 공정조정에서 이상원인의 영향": 품질경영학회지, 제31권, 제2호, pp183-193
- [19] 전상표(2000), "공정 모니터링과 조절에 있어 이상원인의 문제". 인하대학교 대학원 박사학위논문,

저 자 소 개

전 상 표



인하대학교 수학과 학사및 석사, 통계학과에서 시계열 전공으로 박사학위 취득
현재 남서울 대학교 교양학부 수학과 담당 전임교수로 재직
주요관심분야는 수학, 통계학, 공정관리, 시계열 등이다.

주소: 인천시 남구 주안7 쌍용아파트 10-605