

추세가 있는 공정에서 이계자기회귀 모형을 이용한 EPC와 EWMA의 통합시스템

- An Integrated System of EWMA and EPC Using
Second-order Autoregressed Model in the Process with Trend -

정 해 운 *
Jung Hae Woon

Abstract

EPC seeks to minimize variability by transferring the output variable to a related process input(controllable) variable, while SPC seeks to reduce variability by detecting and eliminating assignable causes of variation. In the case of product control, a very reasonable objective is to try to minimize the variance of the output deviations from the target or set point. We consider an alternative EPC model with second-order autoregressive disturbance. We compare three control systems; EPC, EPC combined with EWMA. This paper shows through simulation that the performance of the integrated model of EPC and EWMA is more preferable than that of EPC.

Keyword : EPC(Engineering process control), SPC(Statistical process control),
EWM, MMSE,

1. 서 론

- 기호표기 -

Y_t ; t 시점에서 공정 품질특성치, $N(\mu, \sigma^2)$

μ ; 공정평균

u_t ; t 시점에서 공정조절의 효과

n_t ; t시점에서 각란의 효과,

* 오산대학 산업시스템경영과

2005년 5월 접수; 2005년 6월 게재확정

- e_t ; t 시점에서 독립확률변수인 오차, $N(0, \sigma_e^2)$
 a_t ; t 시점에서 n_t 에 영향을 주는 확률변수인 백색잡음, $N(0, \sigma_a^2)$
 ϕ ; AR 모형에서 회귀계수
 θ ; EWMA모수, $\theta = 1 - \lambda$
 g ; 투입단위당 산출량의 비율, $\frac{dY_t}{du_t} = g$
 ε_t ; t 시점에서 잔차
 u_t ; t 시점의 단위당 조절변수

본 연구는 목표대로 공정조절을 위하여 제안된 EPC(Engineering process control)와 SPC(Statistical process control) 을 통합하려고 한다. 먼저 EPC와 SPC의 동향을 간단히 살펴보면 다음과 같다. SPC는 공정산업에서 주로 사용되었으며, EPC는 화학산업과 같은 연속공정산업에서 발생의 유래를 찾아볼 수 있다.

EPC는 엔지니어링 공정관리 또는 APC(Automatic process control) 라고 도하며, SPC 와 EPC 통합시스템은 공정조절을 하기 위하여 EPC를 사용하고 가피원인을 탐지하기 위하여 SPC를 사용한다. 이때 SPC는 예측기능이 있고 MMSE 컨트롤러와 연계성이 있는 EWMA를 사용하고자한다.

추세가 있는 공정을 위하여 화학 산업의 정밀한 예를 들면, 화학 산업에서는 정밀한 점도를 유지하기 위하여 통합시스템의 노력이 시작되었다. 정밀한 점도를 목표대로 유지하여야하는 화학공정에서, 일정기간은 촉매 량에 영향을 받지 않던 점도가 어느 시점부터 상승이나 하강 경향을 나타내게 되는 공정을 가정한다. 이때 화학적 변화의 백분율, 점도의 측정 등 가장 정밀한 평균값을 얻도록, 점도의 변동은 목표 값에서 가장 작아지도록 요구된다.

만약 표백화학공정에서 종이의 표백정도는 염소 가스가 종이에 통과하는 양에 의하여 영향을 받는다면, 이때 어느 시점부터 염소가스의 통과 양이 증가하게 되면 종이의 평균표백정도는 이전에 표백된 종이의 평균표백정도보다 더 표백이 된다. 이러한 경향이 있는 표백공정은 변동을 감소하도록 하는 노력이 필요하다.

제안된 통합모형시스템은 이런 조절변수에 의하여 품질특성이 어느 시점부터 상승이나 하강경향이 있는 경우를 위하여 사용한다. 통합시스템은 가피원인 발견과 공정조절을 수행한다. 이러한 노력은 자기회귀각관모형을 고려하여 설계한 EPC모형과 SPC를 통합하려는 전략이다. 본 연구에서는 경향이 있는 공정에서 이계자기회귀 각관에 따르는 EPC와 SPC의 통합모형시스템 을 구축하고, 추세가 있는 공정에 적용을 위하여 시뮬레이션을 하고자 한다. 제안된 대안의 EPC모형설계는 깔때기 실험을 기초로 하였다. 깔때기 실험에서 t 번째 떨어진 공깃들은 $t-1$ 번째까지 조절된 값과 확률오차의 합으로 나타난다. 깔때기 실험의 법칙2) 에서 공깃들이 한쪽방향으로 계속 t 번 떨어질 때, n_t 는 이계자기회귀모형[AR(2)]에 따른다고 가정한다. 가정의 타당성으로 품질특성

은 자기상관관계가 있으며 ACF가 이계자기회귀모형에 따라야 한다. 제안된 대안의 u_t 모형은 n_t 가 AR(2) 모형에 따를 때 설계하였다. 설계된 u_t 는 ϕ 와 θ , 품질특성이 맞물려 공정조절 하는 역할을 한다. 제안된 EPC모형의 구축은 제안된 대안으로 설계된 u_t 를 기초로 한다. 제안된 EPC모형은 공정조절을 하여 변동을 감소시키는 역할이 우수하며, 쉽고 간편하다.

SPC는 통계적 공정관리라고도 하며, 가피원인을 탐지하는 역할을 한다. SPC에서 슈하트관리도는 공정평균의 이동이 큰 경우에 가피원인을 발견하는 우수한 도구이다. 관측치의 이동이 작을 경우는 EWMA관리도를 사용한다. EWMA관리도는 최근데이터에 많은 가중치가 주어지며, 미래를 예측하는 기능이 있다[3][8]. EWMA관리도는 제안된 EPC모형과 통합을 위하여 SPC로 사용한다.

2. 이계통합모형의 설계

2.1 이계자기회귀 각란(捫亂)모형에 의한 공정조절모형

깔때기 두 번째 실험규칙 에서, t번째 공깃돌이 떨어질 때 깔때기의 위치는 깔때기 조절과 확률오차의 합으로 나타난다. 특히 컨트롤러는 각각 다양하게 설계된 공정조절 연산자로서 u_t 로 나타내며, 산업표준이 되는 MMSE컨트롤러의 절차가 잘 알려져 있다[6]. 공정평균의 이동을 고려할 경우 EPC 통합관리는 컨트롤러, 각란의 효과, 오차의 선형결합에 의하여 특성화된다[7][1]. 통합모형의 선 형식은 다음과 같다.

$$Y_t = \mu + u_{t-1} + n_t + e_t \quad (1)$$

여기서 가정은 공정평균 $\mu=0$, 컨트롤러 u_{t-1} 은 깔때기실험 규칙2에 따르고, n_t 는 이계자기회귀 모형에 따르며, e_t 는 분산이 σ_e^2 을 갖는 독립확률변수 라고 가정한다. 이때, 통합모형은 다음과 같다.

$$Y_t = u_{t-1}' + n_t + e_t \quad (2)$$

이때, $u_{t-1}' = \mu + u_t$ 이다.

여기서 n_t 는 이계자기회귀모형으로 다음과 같다.

$$n_t = \phi_1 n_{t-1} + \phi_2 n_{t-2} + a_t \quad (3)$$

각란은 조절되지 않는다면 품질특성에 남아있게 되는 효과이며, t 시점의 각란의 효과는 t-1, t-2 시점에서 발생한 각란과 각각 ϕ_1 , ϕ_2 가 맞물리고 확률변수인 백색잡음과 선형결합으로 표시한다. 식(2)은 평균이 이동하는 경우에 EPC 모형으로 적합하다. 깔때기 실험에서 가정은, 규칙1이 깔때기를 고정하여 조절활동 하지 않지만, 규칙2는 다음에 떨어지는 공깃돌을 목표와 정확하게 조절한다고 가정한다. 이때 품질특성은 다음과 같다.

$$Y_t = u_{t-1} + e_t \quad (4)$$

여기서 e_t 는 독립확률변수이고, u_{t-1} 은 갈때기의 t-1시점의 조절된 위치이며, 갈대기의 현재 위치는 다음에 떨어질 공깃들의 위치를 결정하기 위하여 조절된다. 갈때기실험의 규칙2에서 Mcgregor(1990)는 공정조절방법을 나타냈다[5][6]. 즉, 맥그리거가 설계한 공정조절모형은 다음과 같다.

$$u_t = u_{t-1} - Y_t \quad (5)$$

이계자기회귀 각란모형에 따른 u_t 의 설계를 위하여, 식[5]의 모형으로부터 t-1시점의 공정조절은 t-2시점의 공정조절과 t-1시점의 품질특성의 차이로써 다음과 같이 나타낸다.

$$u_{t-1} = (u_{t-2} - Y_{t-1}) \quad (6)$$

식(6)을 식(5)에 대입하면 다음과 같다.

$$u_t = u_{t-2} - Y_{t-1} - Y_t \quad (7)$$

식(5)와 식(7)의 u_t 은 같으므로 $u_{t-1} - Y_t = u_{t-2} - Y_{t-1}$ 을 한쪽으로 정리하면 다음과 같다.

$$u_{t-1} - u_{t-2} + Y_{t-1} = 0 \quad (8)$$

식(4)에 식(5)를 대체함으로 목표와 공깃들의 편차는 다음과 같다.

$$Y_t = e_t - e_{t-1} \quad (9)$$

Mcgregor(1990)에 의하여 식(2)와 식(5)으로부터 Y_t 의 분산과 갈때기실험 규칙1과 2의 분산비율, 자기회귀계수 ϕ 값에 따른 확률오차 $(\frac{\sigma_e^2}{\sigma_y})$ 값을 표로 나타내었다[8].

갈때기실험의 규칙2의 조절활동이 식(5)에 기초하고 통합모형 선형식 (2)에 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$Y_t = n_t - n_{t-1} + e_t - e_{t-1} \quad (10)$$

조절활동을 할 때 분산은 조절활동을 하지 않을 때 분산의 두 배로써 다음과 같다.

$$\text{Var}(Y_t) = \frac{2\sigma_a^2}{1+\phi} + 2\sigma_a^2 \quad (11)$$

통합컨트롤러는 1보다 적은 단위당 조절비율로인 게인(gain)값 이나 품질특성이 여과값과 맞물리게 된다. 목표와 품질특성의 최소평균제곱오차(MMSE)를 위하여, Box와 Jenkins(1976)는 모든 구간에서, 다음 구간의 목표와 예측된 편차가 상쇄되는 공정조절을 나타내었다[2].

$$u_t = - \hat{Y}_{(t+1)/t} \quad (12)$$

결국(12)식은 t시점까지 정보가 있는 Y_{t+1} 의 예측 $\hat{Y}_{(t+1)/t}$ 을 여과된 값 또는 과거의 가중합수임을 보여주었다[2].

2.2 이계각란에 의한 공정조절모형의 설계절차

식(1)로 부터 이계각란모형을 고려한 공정조절을 설계하는 절차는 다음과 같다.

$Y_t = u_{t-1} + n_t + a_t$ 에 다음의 2계각란을 대입한다.

$$n_t = \phi_1 n_{t-1} + \phi_2 n_{t-2} + a_t$$

그러면, $Y_t = u_{t-1} + \phi_1 n_{t-1} + \phi_2 n_{t-2} + a_t$ 가 된다.

$$n_{t-1} = Y_{t-1} - u_{t-2} \text{이고, } n_{t-2} = Y_{t-2} - u_{t-3} \text{이므로}$$

윗식에 대입해서 정리하면 다음과 같이 전개된다.

$$Y_t = u_{t-1} + \phi_1(Y_{t-1} - u_{t-2} - e_{t-1}) + \phi_2(Y_{t-2} - u_{t-3} - e_{t-2}) + a_t + e_t$$

u_{t-1} 으로 다시 정리하면,

$$\begin{aligned} u_{t-1} &= Y_t - \phi_1(Y_{t-1} - u_{t-2} - e_{t-1}) - \phi_2(Y_{t-2} - u_{t-3} - e_{t-2}) - a_t - e_t \\ &= \phi_1 u_{t-2} - \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 u_{t-3} - \phi_2 Y_{t-2} + Y_t + \phi_1 e_{t-1} + \phi_2 e_{t-2} - a_t - e_t \end{aligned}$$

시간을 t-1에서 t 시점으로 조정하면,

$$u_t = \phi_1 u_{t-1} - \phi_1 Y_t + \phi_2 u_{t-2} - \phi_2 Y_{t-1} + Y_{t+1} + \phi_1 e_t + \phi_2 e_{t-1} - a_{t+1} - e_{t+1}$$

밑줄 친 부분은 MA(2)모형의 형태로 나타내면,

$$u_t = \phi_1 u_{t-1} - \phi_1 Y_t + \phi_2 u_{t-2} - \phi_2 Y_{t-1} + \theta_1 Y_t + \theta_2 Y_{t-1}$$

결국, 새롭게 설계한 공정조절은 다음 식과 같이 유도된다.

$$u_t = \phi_1 u_{t-1} - (\phi_1 - \theta_1) Y_t + \phi_2 u_{t-2} - (\phi_2 - \theta_2) Y_{t-1}$$

공정조절모형의 설계는 밑줄 친 부분이 MMSE(최소평균제곱오차)가 최소가 되도록 하는 이동평균모수가 되어야 한다.

공정조절모형의 설계는 MMSE(최소평균제곱오차)의 알고리즘을 만족하고, 공정조절과 품질특성의 차이가 최소가 되며, 각란의 효과 n_t 는 ϕ 와 품질특성 Y_t 는 θ 와 계인 역할을 하는 $(\phi - \theta)$ 는 t-1 시점의 품질특성과 맞물리도록 설계하면 다음과 같다.

$$u_t = \begin{bmatrix} \phi_1 u_{t-1} - (\phi_1 - \theta_1) Y_t \\ \phi_2 u_{t-2} - (\phi_2 - \theta_2) Y_{t-1} \end{bmatrix} \quad (13)$$

여기서 ϕ_1, ϕ_2 는 이계자기회귀 계수이며, θ_1, θ_2 는 이계이동평균 모수 이고,

$$\phi = \frac{\phi_1 + \phi_2}{2}, \quad \theta = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} \text{을 사용하였다. 추정할 수 있다.}$$

u_t 는 t-1 시점의 공정조절 한 값과 t-2 시점의 공정조절 한 값이 자기회귀모수와 맞물리고 t 시점의 품질특성과 $(\phi - \theta)$ 가 맞물려 선형 결합한 모형이다.

각란의 모형과 자기회귀 시계열모형, 이동평균모형에 관해서는 Box와 Jenkins (1976)[3]와 Montgomery, Keats과 Runger, Messina (1994)[7] 등 많은 학자들에 의해 연구되었다. 여기서 θ_i ($0 \leq \theta_1 + \theta_2 \leq 1$)는 식(3)이 AR(2)모형일 때 식(2)가 e_t 와 결합된 ARMA(2,2)모형에서 EWMA모수로 나타낸다. Box와 Jenkins[2]과 MacGregor와 Harris[5]는 ARMA공정에서 θ 의 추정을 연구하였고, MacGregor는 θ 와 관계 있는 등식에서 $\theta, \sigma_e^2, \sigma_u^2$ 까지 모형으로 나타내었다[6].

2.3 맥그리거모형과 제안된 EPC모형 비교

< 표 1 > 맥그리거 EPC모형과 제안된 EPC모형

항목	맥그리거의 EPC모형	제안된 EPC 모형	제안된 모형의 특성
EPC 모형	$Y_t = u_{t-1} + n_t + e_t$	$Y_t = u_{t-1}' + n_t + e_t$	품질특성의 절차 확립
공정 평균	사용하지 않음	$\mu = 0, u_{t-1}' = \mu + u_{t-1}$	
공정 조절	$u_t = \phi u_{t-1} - (\phi - \theta) Y_t$	$u_t = [\phi_1 u_{t-1} - (\phi_1 - \theta_1) Y_t] + [\phi_2 u_{t-2} - (\phi_2 - \theta_2) Y_{t-1}]$	이계모수 $-1 \leq \phi_1 + \phi_2 \leq 0 \leq \theta_1 + \theta_2 \leq$
각란 효과	$n_t = \phi n_{t-1} + a_t$ 일차자기회귀모형 AR(1)	$n_t = \phi_1 n_{t-1} + \phi_2 n_{t-2} + a_t$ 이차자기회귀모형 AR(2)	이계자기, 회귀계수, 이계이동 평균모수

맥그리거의 EPC모형의 u_t 는 각란의 효과가 AR(1)모형일 때를 가정하였지만, 제안된 EPC모형은 공정평균을 μ 로 하고, u_t 의 설계는 각란 n_t 가 AR(2)모형을 따를 경우에 대해서 새롭게 설계하였다. AR(1)은 바로 전 단계의 데이터만으로 모수를 추정하여 공정조절에 사용하였지만, AR(2)는 전전단계까지도 고려한 모수의 추정을 통하여 공정조절을 함으로써 보다 정확한 공정조절을 할 수 있게 되었다. 본 연구에서 설계된 EPC모형과 맥그리거의 EPC모형은 < 표 1 >에서 비교하였다.

2.4 이산형 EPC 의 통합관리

단순 단속시간(discrete-time) 공정모형은 다음과 같이 알려져 있다.

$$Y_t = g u_{t-1}$$

이 모형의 가정은 공정조절 단위변화에 대한 Y_t 의 단위변화를 발생시킨다.

투입단위 공정조절은 단위시간에서 효과를 갖는 산출물 품질특성의 단위비율 gu_t 로 가정한다. 이러한 단순한 모형은 기계장착을 조절하기 위한 단순한 제조 산업에서 사용한다.

각란은 공정조절로 정의한다. 여기에서 공정조절은 품질특성과 목표와 편차로 나타난다.

$$u_t = Y_t - T \quad (15)$$

u_t 는 목표에 근접하기 위하여 편차를 조절하는 역할을 한다. $t+1$ 시점에 놓인 잔차는 다음과 같다.

$$\varepsilon_{t+1} = u_{t+1} + gu_t \quad (16)$$

공정조절 $u_t = u_t - u_{t-1}$ 마지막 잔차에 비례한다.

$$u_t = -\frac{\lambda}{g} \varepsilon_t, \quad 0 \leq \varepsilon \leq 1 \quad (17)$$

위의 식의 합계는 t 수준의 단위당 조절 u_t 의 과거잔차누적합 선형함수으로써 다음과 같다.

$$u_t = u_0 - \frac{\lambda}{g} \sum_{i=1}^t \varepsilon_i \quad (18)$$

EPC에서 이산형의 통합관리는 이러한 조절 형태이다. 이산형 통합관리는 t 시점에 계산된 u_{t+1} 의 EWMA 예측 \hat{u}_{t+1} 과 상쇄된다.

$$u_t = -\frac{\hat{u}_{t+1}}{g} \quad (19)$$

여기서

$$\hat{u}_{t+1} = \lambda(u_t + \theta u_{t-1} + \theta^2 u_{t-2} + \dots) \quad (20)$$

여기서 $\theta = 1 - \lambda$ 이다.

그때 오차는 $u_{t+1} - \hat{u}_{t+1} = \theta^t a_t$ 된다. 이러한 피드백 조절 효과는 목표와 관측치의 편차예측에서 오차가 편차 그 자체로 대체된다.

각란이 IMA(0,1,1)모형에 따른다면 u_{t+1} 의 EWMA 예측 \hat{u}_{t+1} 은 최소평균제곱오차 예측(MMSE)로 산출한다.

$$u_{t+1} - u_t = a_{t+1} - \theta a_t \quad (21)$$

여기에서 a_t 는 $N(0, \sigma_a^2)$ 인 독립확률변수이며, 이러한 조절기술에서 목표와의 편차는 최소분산 σ_a^2 을 갖는다.

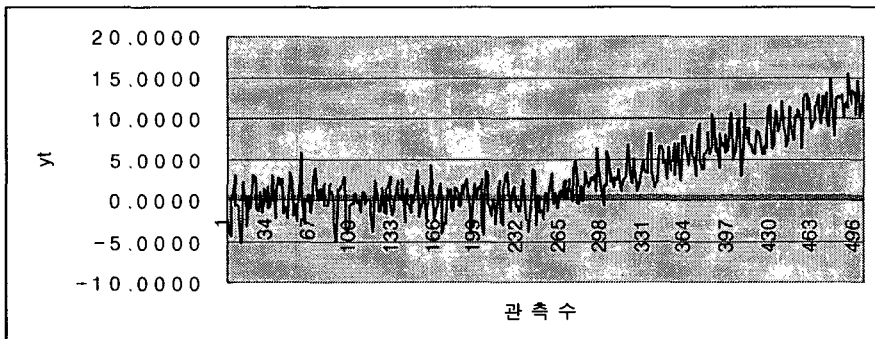
IMA(0,1,1) 사용은 폭넓고 매우 효과적이다.

3. 추세공정에서 통합의 절차 및 특성

추세가 있는 공정에서 이계자기회귀 각란모형을 고려한 제안된 EPC모형과 SPC 통합시스템은 관측치가 목표에 접근되도록 공정조절을 한다. 이때, 타점 된 품질 특성치는 추세를 나타내도록 하는 쉬프트된 값의 적용하기 전에는 상승이나 하강의 추세가 나타나지 않는다고 가정한다. 공정에서 추세는 $t=251$ 번째부터 발생된다고 가정하여 시물레이션을 한다. 추세가 251번째부터 시작한다고 가정한 이유는 500개 데이터의 중앙값을 사용하였다. 시물레이션을 위하여 $t=251$ 번째의 데이터를 제거하고, 251번째부터 시작하여 매 시점마다 크기 0.05로 교체된 값을 252, 253, ...번째에 계속 더하면서 공정 조절 하여 추세가 나타나도록 한다. 이때 공정조절은 통합시스템에 의하여 계속 된다. SPC는 가피원인을 제거하고 제안된 EPC는 계속 공정조절을 함에도 불구하고 쉬프트된 값이 사용된 후 추세가 나타나기 시작하여 관리한계선을 이탈하면 공정을 정지시키고 원인을 조사하여 조치를 취한다. 보통 엔지니어는 품질특성이 관리한계선까지 도달하기 전에 어떤 조치를 한다. 추세를 나타내기 위한 쉬프트의 값은 0.05, 0.1, 0.25, 0.5, 1.00의 작은 값을 사용한다. 이때 SPC는 슈하트관리도, EWMA 관리도를 사용한다. 통합모형시스템의 수행도 측정은 평균제곱오차의 PM 값을 사용한다. 제안된 통합모형시스템은 맥그리거 통합모형시스템 보다 공정조절 하는 역할이 우수하며, PM 측정시 감도가 좋다. SPC와 EPC통합시스템은 EPC만 사용할 때 보다 변동을 감소시키는 역할이 우수하다 이 시물레이션에서 PM 은 5.180 이다.

제안된 EPC의 특징은 정확한 조절 기능, 공정조절 단위변화에 대한 Y_t 의 변화, 편리성, 빠른 조절기능 등이 있다.

통합모형의 추세가 있는 품질특성은 Y_t 가 타점 하여 관리도 형태로 나타내면 각각 다음 그림과 같다. 그림의 생성과정은 컴퓨터로 500개의 데이터를 무작위로 발생시키고 설계공정조절모형을 사용하였다.



< 그림1 > EPC 와 슈하트관리도를 통합한 목표와 편차의 추세가 있는 품질특성
($t=251$ 에서 시작, 매 시점에 0.05의 추세 (Trend)가 있음. PM=5.180)

<그림1> 은 t=251 번째의 데이터를 제거하고, 251번째부터 시작하여 매 시점마다 크기0.05로 교체된 값을 252, 253, ...번째에 계속 더하면서 공정조절 하여 나타난 추세이다. 이때 PM 은 5.180 이다. 엔지니어 는 품질특성이 관리한계선까지 도달하기 전에 어떤 조치를 한다. 보통 251번째에서 쉬프트된 추세 크기의 값은 0.05 , 0.1 , 0.25 , 0.5 , 1.00으로 한다.

4. 통합모형의 수행도 측정

통합모형의 수행도 측정 순서는 우선 EPC만의 수행도 를 측정한다. 다음은 EPC와 슈하트관리도 통합시스템, EPC와 EWMA관리도 통합시스템 의 수행도 를 측정한다. 제안된 EPC 통합모형은 맥그리거의 통합모형과 비교하여 나타난다.

평균제곱편차에 의한 수행도 측정 결과는 제안된 통합모형이 맥그리거 통합모형보다 PM 값이 적다. 통합모형시스템의 수행도 측정결과는 통합시스템의 평균 PM값과 평균런길이를 <표>로 나타내고 표준편차는<표>의 괄호 안에 나타내었다.

<표>에는 EPC모형에서 n_t 가 AR(1)모형일 때 평균PM값, EPC모형에서 각란 n_t 가 AR(2) 모형일 때 평균PM값, n_t 가 AR(2)모형일 때 설계된 u_t 에 의하여 제안된 통합모형시스템의 평균PM값, 통합모형에서 평균런길이, 추세가 있을 때 평균PM값, 추세가 있을 때 평균런길이 등이 나타난다.

수행도 측정의 PM 모형은 다음과 같다.

$$PM = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y_t - T)^2 \tag{22}$$

이때 목표 값은 0으로 한다.

< 표2 >은 251번째 이후 주기에 쉬프트된 추세 값을 더하면서 제안된 EPC모형으로 계속 공정조절 한 평균PM 값이다. 쉬프트된 값의 추세 값은 0.05, 0.1, 0.25, 0.5로 한다. 그리고 제안된 EPC모형과 슈하트관리도 , 제안된 EPC모형과 EWMA관리도 와 통합하여 평균PM값을 측정한다. 특히 EWMA와EPC 통합시스템은 이동평균 모수 θ 값이 큰 경우 PM 값이 적다.

< 표2 > 추세가 있을 때 평균PM

쉬프트 된 값	쉬프트전 공정조절	EPC	EPC/ 슈하트	EPC/ EWMA $\theta_1=0.1$	EPC/ EWMA $\theta_2=0.4$
0.05	3.648 (0.0048)	29.018 (0.0064)	5.180 (0.0075)	3.483 (0.0069)	3.334 (0.0075)
0.1	3.648 (0.0050)	107.082 (0.0082)	4.962 (0.0203)	3.548 (0.0075)	3.405 (0.0156)
0.25	3.648 (0.0049)	655.651 (0.0164)	4.229 (0.0302)	3.660 (0.0079)	3.470 (0.0150)
0.5	3.648 (0.0051)	2617.857 (0.0323)	3.785 (0.0306)	3.730 (0.0075)	3.420 (0.0140)
1	3.648 (0.0048)	10471.989(0.0618)	3.568 (0.0260)	3.780 (0.0074)	3.433 (0.0110)

< 표3 >은 추세가 있는 경우 평균 런의 길이를 측정한다. 평균런의 길이는 쉬프트된 추세 값이 작을수록 평균 런의 길이는 커진다. 추세가 있는 통합시스템에서 평균런길이 측정감도는 슈하트 관리도가 EWMA 관리도보다 우수하게 나타난다..

< 표3 > 추세가 있을 때 평균 런 길이

ARL	EPC/슈하트	EPC/EWMA	EPC/EWMA
		$\theta_1=0.1$	$\theta_2=0.4$
0.05	2.493 (1.60)	1.203(1.25)	1.463 (1.42)
0.1	1.559 (1.45)	1.119 (0.73)	1.193 (1.01)
0.25	1.183 (0.65)	1.053 (0.35)	1.058 (0.42)
0.5	1.066 (0.39)	0.626 (0.25)	1.008 (0.33)
1	1.024 (0.15)	1.024 (0.05)	1.000 (0.08)

5. 결 론

제안된 통합모형시스템은 평균이 이동할 때(Drifting mean)와 추세가 있을 때 사용한다. 공정조절모형 u_t 는 n_t 가 AR(2) 모형에 따른다고 가정하여 설계한다. 공정조절 u_t 의 설계 시 이계자기회귀계수와 이계이동평균 모수를 사용한다. 제안된 EPC 통합모형은 제안된 u_t 을 기초하여 설계한다. 제안된 EPC 통합모형은 맥그리거 통합모형과 비교에서 우수함을 보여준다. 제안된 EPC통합모형의 추세가 있는 특성은 Y_t 로 타점 되어 나타내었다. 제안된 통합모형시스템의 특성 EWM와 제안된 EPC와 통합모형에서 타점 되어 나타난다.

수행도 측정은 평균편차제곱의 합을 PM값으로 사용한다. 통합모형의 수행도 측정 결과는 표로 나타내었다.

표<2>은 제안된 통합모형의 평균PM값이다. 제안된 모형의 공정조절 값은 대체적으로 맥그리거모형 보다 PM값이 적게 나타난다. 결국, 공정조절을 하는 역할은 EPC만 사용할 때보다 EWM와 EPC를 통합하여 사용할 때가 더 우수하게 나타난다.

표<3>는 제안된 통합모형에서 평균런 길이가 나타난다.

제안된 통합모형시스템은 맥그리거모형 보다 전반적으로 변동을 감소시키는 역할이 우수하다. 특히 제안된 EPC 통합모형에서 EWMA와 통합 시 변동을 감소시키는 역할이 PM 측정에서 우수하게 나타난다. 평균런의 길이는 슈하트관리도에서 EWMA 관리도 보다 길게 나타난다.

제안된 EPC모형은 맥그리거 통합모형 같이 적용성이 좋으면서도 쉽고 조절능력이 우수하게 나타난다. 미래를 위한 연구과제로는 SPC와 EPC 통합모형을 위한 산포의 개발과 다양한 각란모형의 개발 할 경우, 탁월한 공정개선과 품질특성의 신뢰성이 기대된다.

6. 참 고 문 헌

- [1] Baxley, R. V., JR, "A Simulation Study of Statistical Process Control Algorithms for Drifting Processes", in *Statistical Process Control in Manufacturing* edited by J. B. Keats and D. C. Montgomery Marcel Dekker, New York, NY, 1991, pp.247~297.
- [2] Box, G. E. P. and Jenkins, G. M. *Time Series Analysis, Forecasting, and Control*. Holden-Day, San Francisco, CA. 1976. pp3-4.
- [3] Box, G. E. P. and Kramer, T., "Statistical Process Control and Feedback Adjustment - A Discussion", *Technometrics*, Vol. 34, 1992, pp.251~285.
- [4] MacGregor, J. F. "A Different View of the Funnel Experiment". *Journal of Quality Technology* 22, 1990, pp.255~259.
- [5] MacGregor, J. F. and T. J. Harris, "Discussion of 'EWMA Control Schemes: Properties and Enhancement' by Lucas and Saccucci". *Technometrics* 32, 1990, pp.23~26.
- [6] MacGregor, J. F., "A Different View of the Funnel Experiment", *Journal of Quality Technology*, Vol. 22, 1990, pp.255~259.
- [7] Montgomery, D. C. Keats, J. B., Runger, G. C. and Messina, W. S., "Integrating Statistical Process Control and Engineering Process Control", *Journal of Quality Technology*, Vol. 26, 1994. pp.79~87.
- [8] 김종걸, 채호식, CUSUM 관리도에 관한 조사연구, 성균관대학교 과학기술연구소 과학기술 편, 제39집, 1988, pp 1~12

저 자 소 개

정해운 : 오산대학 산업시스템 경영과 부교수, 성균관대학 산업공학과 에서 공학박사 취득, 관심분야: 품질관리, 생산관리, 실험계획법, SPC, 식스시그마, 신뢰성, 자재관리, 산업공학등 전산분야.