

이계자동회귀 각란모형을 고려한 EPC와 SPC의 통합시스템

김 중 걸, * 정 해 운 **
성균관대학교 시스템경영공학부*
오산대학교 공업경영과**

An Integrated Model Of SPC and EPC with Second-order Autoregressed Disturbance

Jong-Gurl Kim, Hae-Woon Jung
School of System Management Engineering, Sung Kyun Kwan-University
Dept. of Industrial Engineering , Osan college

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 compare three control systems; EPC, combined system with EWMA and EPC, and SPC. This paper shows through simulation that the performance of the integrated model of EPC and SPC is more preferable than that of EPC.

1. 서론

Notation

μ_{ture} ; 공정평균(=0)
 u_t ; 공정조절
 n_t ; 각란의 효과
 e_t ; 오차

- a_t : 확률변수로서 n_t 는 서로 독립이고 평균이0, 분산이 σ_a^2 이다.
- u_{t-1} : t-1번째 관측 후 조절활동의 효과
- n_t : t시간에서 공정평균에 기초한 각란의 효과
- e_t : 평균이 0,분산이 σ_e^2 인 독립 확률변수로 백색잡음(확률각란)
- Y_t : 품질 특성치
- u_t : 공정조절
- Y_t 와 u_t : 안정상태에서 편차
- ϵ_{t+1} ; t+1 시간에 오차로서 ϵ_{t+1} 편차로 나타낸다.
- g ; 인풋의 조절 팩터
- U_t ; t 수준의 단위당 조절변수
- ϕ, θ ;ARMA 의모수

본 연구는 공정변동을 줄이기 위해 EPC와 SPC를 통합하는 문제를 다루고자 한다. EPC는 엔지니어링 공정관리 또는 자동공정관리(APC)라고도 하며 공정변동을 조절한다. EPC 기술은 각란의 효과가 역으로 진행되도록 하며 변동을 감소시킨다.

SPC는 통계적 공정관리 이며 가피원인을 탐지하고 제거한다. SPC 와 EPC 통합시스템에서는 품질변동을 예측하여 연속적으로 공정을 조절하기 위하여 EPC를 사용하고, 가피원인을 탐지하기 위하여 SPC를 병행 사용한다. 통합시스템은 EPC만 사용할 때 보다 SPC를 병행하여 사용할 때가 수행도 측정에서 평균제곱오차가 적어진다.

EPC는 안정된 공정, 움직이는 공정, 평균이 이동하는 공정에 따라 다른 모형이 설계된다. EPC의 목적은 공정조절을 통하여 품질특성이 목표 값에 접근 되도록 하는 것이다. 여기서는 깔대기 실험을 기초로 하여 평균이 움직일 경우 EPC 모형을 설계하였다. 깔대기 실험 법칙 은 공깃돌이 떨어지는 결과를 보고 가정하였다. 이 법칙은 깔대기를 고정시키고 목표를 맞추는 안정된 공정의 최소분산 의 형태, 목표에서 일정하게 한 방향으로 계속 떨어질 경우의 형태, 목표를 기준으로 일정하게 양방향으로 체계적 떨어질 경우의 형태, 목표에서 한 방향으로 보행 확률처럼 움직이는 형태, 의 4가지로 분류하였다. 이 논문에서 앞의 3가지법칙은 추세가 있는 AR(자기상관 회귀 모형)모형에 따르며 4번째 법칙은 MA모형에 따른다고 가정하였다.

평균의 움직임이 있는 EPC모형은 목표치, 공정조절의 효과, 각란의 효과, 오차로 구성된 가법 모형이며 단위시간에 대한 품질특성의 변화추세로 나타난다. 이 모형에서 각란의 효과는 AR(2)모형에 따른다고 가정하였다. 또한 오차는 MA(2) 모형에 따른다고 가정하였다. 이러한 가정으로부터 평균이 움직이는 경우 맥그리거의 통합모형과 다른 대안으로 EPC 공정모형을 설계하였다. 이때 모수의 값은 공정조절과 각란 효과, 그리고 오차 향이 아웃풋의 품질특성과 맞물려 돌아가며 아웃풋의 품질특성을 조절한다. EPC 모형에서 공정의 목표 값을 0으로 두면 품질특성은 공정조절과 각란의 효과 , 오차 향의 가법모형의 선형식이 된다. 한편 SPC에서 슈하트관리도는 평균

이 고정된 공정이나 공정평균의 이동이 큰 경우에 가파원인을 발견하는 우수한 도구이다. 그러나 슈하트관리도는 마지막 타점된 내용에 대한 정보만을 나타내고 추세에 따른 연속된 점에 의한 정보는 나타내지 못한다. 특히 1.5σ 이하에서는 작은 공정 이동이 있을 경우 감도가 좋지 않다. 관측치의 이동이 작을 경우 슈하트관리도를 대신할 효과적인 대안으로 누적합관리도와 EWMA관리도를 사용한다. 누적합관리도와 EWMA관리도는 슈하트관리도보다 작은 공정 이동이 있을 때 수행도 측정에서 더 많은 변동의 감소를 나타낸다.

EPC 모형과 통합시스템의 수행도 측정을 위하여 품질특성과 목표와 편차에 대한 연산자는 MMSE 컨트롤러를 사용하였다.

이 논문은 SPC로서 슈하트관리도, 누적합관리도, EWMA관리도를 SPC 기법으로 사용하였다. EPC 모형은 부품산업과 공정산업에서 시간의 추세에 따라 품질특성을 조절하는 방법으로 시계열 이론을 사용하였다.

이때 깔대기 실험을 토대로 하여 평균이 움직이는 경우 EPC 모형을 설계하였다. EPC 통합모형으로는 맥그리거의 모형을 기초로 하고 깔대기 실험과 연계하여 깔대기 실험의 룰 1), 2), 3), 4)을 평균이 움직이는 형태로 가정하였다. 여기서는 깔대기 실험의 룰2와 룰4의 형태를 구체적 가정하고 평균이 움직이는 경우에 EPC 모형을 설계하고 그 특성을 논술하였다.

이 모형은 2 변량조절과 2 변량 모수가 품질특성과 맞물려 돌아가면서 연속적으로 품질특성을 목표치에 맞도록 조절한다.

각관효과와 오차에 대하여 각각 AR(2)모형,과 MA(2) 모형에 따른다고 가정하였다. 제안된 EPC 모형과 SPC를 통합하기 위하여 랜덤넘버로 2000개의 데이터를 발생시켰다. 다음으로 EPC 수행도를 측정하였다. 마지막으로 EPC와 SPC가 통합된 수행도 측정을 하였다. 수행도 측정의 비교에서 통합모형은 EPC만 사용할 때보다 우월하다는 것을 평균제공편차 감도분석 시뮬레이션을 통하여 논증하였다.

2. 통합모형의 설계

2.1 깔대기 실험과 EPC 모형구축

깔대기 실험은 공깃돌을 깔대기를 통하여 떨어 뜨려보고 깔대기 이동의 룰을 결정한다.

룰 1) 2) 3)은 자기회귀 모형(AR)형태에 따른다고 가정한다. 룰4)는 보행 확률 같이 오차 항만으로 결정되므로 이동평균(MA)모형에 따른다고 가정한다. 여기서는 특히 룰2)가 AR(2) 형태에 따르며 룰4)은 MA(2) 형태에 따른다고 가정하였다. 룰2)는 공정평균이 움직이므로 비 조절 때보다 조절을 할 때가 더 작은 최소 평균 제공오차(MMSE)를 갖는다. 다음은 깔대기 실험의 형태를 가정한 것이다.

<표 1> 깔대기 실험에서 패턴의 가정

패턴 룰	공깃돌 떨어지는 패턴의 가정	깔대기 의 이동의 룰	특 성
1)	목표를 겨냥한다.	고정	최소분산
2)	일정한 방향으로 목표에서 Y 거리만큼 계속 떨어진다.	-Y만큼 목표로 깔 대기 이동	1의2배 분산
3)	목표를 중심으로 하여 양방향 으로 체계적으로 계속 떨어진 다.	-Y만큼 목표로 깔 대기 이동	대칭의 두 반대 방 향(시스템 파괴)
4)	보행확을처럼 한 방향으로 계 속 떨어진다.	공깃돌이 떨어진 위 치로 깔대기 이동	랜덤워크

2.2 평균이 이동하는 경우 통합 모형설계

MacGregor는 MMSE컨트롤러 조절활동이 비 조절 활동보다 성능이 우수하다는 것을 밝혔다. t번째 공깃돌이 떨어지기 전 깔대기의 위치는 이전에 조절된 관측 값 전체의 합과 같다는 것을 법칙 2) 로 나타내었다. 이러한 관리 규칙이 단위당이득 효과에 대한 통합관리이다.

통합관리의 특성은 투입단위변화 당 산출의 효과를 게인(gain)으로 나타내고, 공정 조절의 반응이 빠르게 나타난다. 최종 품질특성 생성과정은 목표와 관측 값의 편차 알고리즘에서 시작된다. 이 알고리즘은 부품산업과 공정산업에 장기적으로 사용되어 왔다. 공정평균이 움직일 경우 새로운 EPC 통합모형 설계는 깔대기 이론과 맥그리거 모형을 기초로 하였다.

평균의 움직임을 고려할 경우 통합모형은 다음과 같은 선형 식에 기초한다.

$$Y_t = \mu_{true} + u_t + n_t + e_t \quad (1)$$

μ_{true} ; 공정평균(=0)

u_t ; 공정조절

n_t ; 각란의 효과

e_t ; 오차

여기서 n_t 의 양은 2차 자기회귀공정(AR(2))공정에 따른 다고 가정한다.

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

시계열의 현재 값은 현재 관측 값을 설명하여주는 시계열의 이전 값들과 설명하여

주지 못하는 a_t 의 선형결합으로 표시된다.

후향 연산자로 나타내면 n_t 가 바로 이전에 관측 값에만 의존된다는 의미에서 마코브과정(Markov Process)이라고도 한다.

$$(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2)y_t = a_t$$

여기서 n_t 는 종속변수 n_{t-1} , n_{t-2} 는 독립변수, a_t 는 확률오차로써 이 모형에서 설명할 수 없는 관측오차 등의 확률적인 요소가 포함된다.

a_t 는 $N(0, \sigma_a^2)$ 이며, 연속적인 n_t 와 e_t 는 서로 독립이라고 가정한다.

$$\phi; -1 < \phi < 1, \phi_1 + \phi_2 = 1$$

a_t : 확률변수로서 n_t 는 서로 독립이고 평균이 0, 분산이 σ_a^2 이다.

각란의 모형과 자기회귀 시계열모형, 이동평균 모형으로 많은 학자들에 의해 논의되었다. Box와 Jenkins(1976)[2] 와 Montgomery, Johnson, 와 Gardiner(1990).[9].

평균이 이동하는 공정산업에서 통합모형은 (1) 와 (2)의 등식에 의하여 설계된다. 이러한 적용에서 단일 체 에 접근하는 ϕ 의 값이, $\phi > 0$ 이면 정상적이다.

평균이 이동하는 경우 공정조절은 (1) 와 (2) 등식에 의하여 다음과 같이 나타낸다.

$$u_t = \phi_1 u_{t-1} + \phi_2 u_{t-2} - [(\phi_1 - \theta_1) + (\phi_2 - \theta_2)] Y_t \quad (3)$$

여기에서 공정조절은 다변량 모수를 갖는 다변량 함수로 2개의 공정조절 연산자와 2차 자기회귀 모형의 모수의 결합, 아웃풋의 품질특성과 모수의 결합 이 서로 전체적으로 맞물려 연속적으로 품질특성을 조절하는 것이다. 공정조절은 목표치와 같아질 때까지 연속적으로 피드백 되어 조절되지만 조절되지 않고 품질특성 에 남아있는 각란의 효과는 드물게 가피원인을 발생시킬 수 있다. 여기서 θ ($0 \leq \theta \leq 1$)는 등식 (2) 가 AR(2) 모형일 때 등식 (1) 의 백색잡음항목 e_t 와 결합된 2차 자기회귀이동평균 [ARMA(2,2)] 모형에서 이동평균 파라메타이다.

다음의 학자들은 AR공정의 합과 백색잡음은 ARMA공정이며, 여기서 θ 의 추정을 논의하였다.

Anderson(1976.p.146),[1].BOX와 Jenkins(1976), [2]와 MacGregor와 Harris(1990),[8]. MacGregor(1990)는 θ 와 관계 있는 등식에서 $\theta, \sigma_e^2, \sigma_a^2$ 까지 모형으로 나타내었다.[7].

이 통합모형은 조절활동의 효과와 각란의 효과 그리고 오차의 합으로 품질특성이 결정된다. EPC 통합모형의 각 요소는 평균이 움직이는 공정과 깔대기 실험에서 다음과 같이 내용이 비교된다.

<표 2> 평균이 움직이는 공정과 깔대기 실험에서 상황의 비교분석

요소	평균이 움직이는 공정	깔대기 실험
Y_t	t시간에서 공정의 품질특성	t번째 떨어진 후 공깃돌의 위치
u_{t-1}	t-1번째 관측 후 조절활동의 효과	t-1번째 관리활동 후 깔대기의 위치
n_t	t시간에서 공정평균에 기초한 각란의 효과	t번 떨어졌을 때 공정움직임의 기초
e_t	평균이 0, 분산이 σ_e^2 인 독립 확률 변수로 백색잡음(확률각란)	평균이 0, 분산이 σ_e^2 인 독립 확률 변수로 백색잡음(확률각란)

2.3 이계자동회귀 각란모형의 EPC와 통합모형

맥그리저의 EPC 모형은 공정평균 값이 없이 시작된다. 공정평균 위에 각란의 효과를 AR(1) 모형에 따른다고 가정하고 가법모형과 오차와 연계하여 공정조절의 모형이 설계되었다.

제안된 EPC 모형은 공정평균의 알고리즘을 가법모형에 놓고 시작한다. 각란의 효과를 AR(2)형태로 가정하고, 오차항을 MA(2)형태로 가정하여 4개의 모수가 된다. 공정조절 설계 시 투입 조절에 대한 산출의 품질특성에 대한 통합관리를 만족시킨다. 각란의 AR(2) 모형, 오차항의 MA(2) 모형, 이에 따른 다변량 모수, 그리고 품질특성이 맞물려 공정조절을 하게 된다. 이러한 대안으로 제안된 EPC모형은 다변량 모수에 의하여 공정조절을 평활하게 한다. EWMA 알고리즘이 있는 모수는 최근 데이터에 가중 값을 주어 우수한 조절기능을 갖는다. 결국 이전에 조절되지 못한 채 품질특성에 남아 있던 각란을 예측하여 조절하는 능력과 조절의 정확성이 있다. 제안된 EPC 모형은 ARMA(2,2)의 다변량 모수를 갖는 2차 선형가법 모형으로써 각 요소들이 서로 맞물려 연속적으로 조절된다. 이는 맥그리저 모형의 특성을 유지하면서도, 예측성, 정확성, 평활성, 민감성, 변동의 감소, 에서 우수하다. 다음의 <표3>은 맥그리저의 EPC와 제안된 EPC 모형을 비교한 것이다.

<표3> 맥그리거 EPC 모형과 다른 사고

항목	맥그리거의 EPC모형	다른 대안에 의한 EPC 모형	비교	다른 대안 의 우수성(특성)
평균이 움직일 경우 EPC모형	$Y_t = u_{t-1} + n_t + e_t$	$Y_t = \mu_{true} + u_{t-1} + n_t + e_t$	목표 값을 0로하면 EPC 모형과 같다	품질특성의 정확한 알고리즘 확립
공정 평균	없음	$\mu_{true} = 0$		
공정 조절	$u_t = \phi u_{t-1} - (\phi - \theta) Y_t$	$u_t = \phi_1 u_{t-1} + \phi_2 Y_t - [(\phi_1 - \theta_1) + (\phi_2 - \theta_2)] Y_t$	룰2)만을 적용시 AR(2) 모형에 따른다고 가정	다 변 량 모 수 $-1 \leq \phi_1 + \phi_2 \leq 1$ $0 \leq \theta_1 + \theta_2 \leq 1$
각란의 효과	$n_t = \phi n_{t-1} + a_t$ 일차자기회귀모형 [AR(1)]	$n_t = \phi_1 n_{t-1} + \phi_2 a_t$ 2차 자기회귀모형 [AR(2)]	모수가 2개	더 좋은 변동의 감소 정확성 예측성 민감성
오차 항목	e_t $N(0, \sigma_e^2)$ 인 독립확률변수로 가정	$e_t = a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2}$ $N(0, 1^2)$ 인 표준정규 분포이며 깔대기실험 룰4)에서 MA(2)모형에 따른다고 가정	보행 확률인 경우 모수가 2인 MA(2) 모형으로 가정	더 좋은 변동의 감소 평활성 정확성 감도가 좋다
백색잡음 항목	a_t ; $N(0, \sigma_a^2)$ 로 가정	a_t ; $N(0, 1^2)$ 인 표준정규 분포로 가정	표준정규 분포 가정	편리성

2.4. 공정조절 u_t 의 알고리즘

단속공정의 모형은 공정관리 엔지니어들에 잘 알려져 있다. 계속해서 일어나는 단속공정에서 안정된 공정의 단순 단속시간(discrete-time) 공정모형은 다음과 같다.

$$Y_t = gu_{t-1} \quad (4)$$

Y_t : 단속시간 간격에서 관측할 때 품질 특성

u_t : 인풋이 변화

Y_t 와 u_t : 안정상태에서 편차

$t=0, 1, 2$: 관측 Y_t 에서 단속적인 시간간격, 인풋의 변화 u_t 가 생성.

이 모형은 투입의 변화가 $t-1$ 시간에 만들어지는 것을 의미한다. 품질 특성은 다음 샘플링 간격 t 에 의해서 새로운 안정상태가 된다. 이러한 단순한 모형은 기계의 장착을 조절하기 위한 부품제조산업에서 적용할 수 있다. 이러한 활동은 다음부품 생산에 직접 영향을 준다.

식(4)모형은 평균이 움직이는 공정으로 확장할 수 있다. 이러한 공정조절 모형의 설계는 다음과 같다.

투입의 한 단위 조절 $u_t = U_t - U_{t-1}$ 은 1단위 시간간격에서 충분한 효과를 갖는 산출의 품질특성의 1단위 변화 gu_t 가 된다고 가정한다.

미 조절 품질특성과 목표와 편차로서 t 시간에 각란을 정의하면 다음과 같다.

$$u_t = Y_t - T \quad (5)$$

품질 특성치를 측정하고 이 특성치와 목표와 편차를 공정조절 하여 목표 값에 접근 되도록 하려고 한다. $t+1$ 시간에 U_t 수준에 놓인 조절변수와 목표 값과의 편차는

$$\epsilon_{t+1} = U_{t+1} + gU_t \quad (6)$$

ϵ_{t+1} : $t+1$ 시간에 오차로서 ϵ_{t+1} 편차로 나타낸다.

g : 인풋의 조절 팩터

U_t : t 수준의 단위당 조절변수

피드백 조절은 마지막 오차에 비례하여 조절 $u_t = U_t - U_{t-1}$ 만든다.

$$u_t = -\frac{\lambda}{g} \epsilon_t, \quad 0 \leq \epsilon \leq 1 \quad (7)$$

λ : 과도한 조절 예방을 위한 조절 요소

u_t : 투입의 단위변화에 대한 단위당 산출량을 나타내는 단위당조절

위의 식(7)의 합계는 t 시간에서 공정조절 U_t 의 수준의 과기오차의 누적합 선형함수가 된다.

$$U_t = U_0 - \frac{\lambda}{g} \sum_{i=1}^t \epsilon_i \quad (8)$$

이러한 관리의 형태는 EPC에서 공정조절의 기본적 이산형 통합관리와 같다.

그것은 t시간에 계산된 U_{t+1} 의 EWMA 예측 \hat{U}_{t+1} 을 상쇄함으로 다음의 U_t 와 동 일해 진다.

$$U_t = -\frac{\hat{U}_{t+1}}{g} \quad (9)$$

여기서

$$\hat{U}_{t+1} = \lambda(U_t + \theta U_{t-1} + \theta^2 U_{t-2} + \dots) \quad (10)$$

여기서 $\theta = 1 - \lambda$

그때 예측오차는 $U_{t+1} - \hat{U}_{t+1} = e_{t+1}$, 이때 함수의 조작으로 $\epsilon_{t+1} = e_{t+1}$ 과 같아 진다.

이러한 피드백 조절 효과는 목표와 관측치와 편차예측에서 오차가 편차 그 자체로 대치되는 것이다.

공정이 0에 대하여 iid이며 독립적으로 U_t 조절의 완전하다면 그때 U_{t+1} 의 최선의 예측은 0이며 조절활동이 없게된다.

각란이 통합이동평균 IMA(0,1,1) 추세 모형에 따라 발생된다면 EWMA 예측 \hat{U}_{t+1} 은 최소평균제곱오차 예측(MMSEF)을 산출할 수 있다.

$$U_{t+1} - U_t = a_{t+1} - \theta a_t \quad (11)$$

여기에서 충격 a_t 는 평균이 0 이고 분산이 σ_a^2 인 독립확률변수 이며, 이때 $\epsilon_t = a_t$ 가 되며 이러한 조절기술의 목표와의 편차는 최소분산 σ_a^2 을 갖는다. 이 충격은 정규분포로 가정한다.

공정조절 U_t 의 수준의 과거오차의 누적합 선형함수 모형은 통합이동평균 IMA(0,1,1)이 더 일반적인 공정 각란 접근을 위하여 유용한 모형이라는 것을 제안한 상황의 폭넓은 범위에 대하여 매우 효과적이다.

이러한 조절활동은 통합 EPC 모형과 비슷하지만 조절변수와 품질특성이 맞물려 돌아가면서 조절되지 않는다.

3. 통합모형의 수행도 측정

데이터는 랜덤 넘버로 2000번을 발생시켜 수행도 측정을 위한 시뮬레이션을 하였다. 수행도 측정에서는 제안된 EPC 모형에 의하여 공정조절된 품질특성을 사용하

였다. SPC 와 병행 사용된 통합모형에서 가피원인은 확정된 이동에 놓여 있다고 가정한다. 주요한 이동의 크기는 1, 2, 5, 7.5, 10으로 확정된값 으로 251번째 에 놓았다.

연속적으로 조절되는 품질특성은 251번째에서 확정된 값에 도착하게 된다. 이때 각각의 SPC 는 가피원인 이라면 즉시 확정된 값을 제거하고 즉시 공정조절을 다시 시작한다. 각각의 SPC에서 확정된 값이 가피원인이 아니라면 처음부터 시작된 공정조절은 확정된 값을 포함 하여 계속 공정조절을 하여 변동을 감소시킨다. 제안된 EPC 모형은 SPC 와 통합되어 공정조절을 수행한다. 통합시스템의 수행도 측정은 목표와 관측치의 평균편차제곱을 사용한다. 이때 목표 값은 0로 하였다.

즉 수행도 측정의 PM 모형은

$$PM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - T)^2 \quad (12)$$

다음은 맥그리거 통합모형과 제안된 사고의 통합모형을 비교한 것이다. 수행도 측정에서 PM값이 맥그리거 모형 보다 적어졌다. PM 값이 작으면 변동 의감소를 나타낸다. 특히 AR(2) 패턴에 의한 EPC 공정조절 효과가 검증되었다. 슈하트 관리도는 이동의 크기가 작을 때 민감하다. EWMA 관리도는 모수의 값이 클 때 이동의 크기에 관계없이 PM 값이 적다.

제안된 사고의 EPC모형은 EPC만 사용 할 때보다 SPC와 병행하여 사용하는 경우가 맥그리거 통합모형의 알고리즘을 만족 하면서 조날의 감도가 더욱 좋아진다.

다음은 맥그리거 통합모형과 제안된 통합모형을 비교한 것이다. 특히 AR(2) 패턴의 의한 EPC 공정조절 효과가 검증되었다.

다음은 EPC만 사용할 때와 SPC와 통합될 때 수행도 측정값이다.

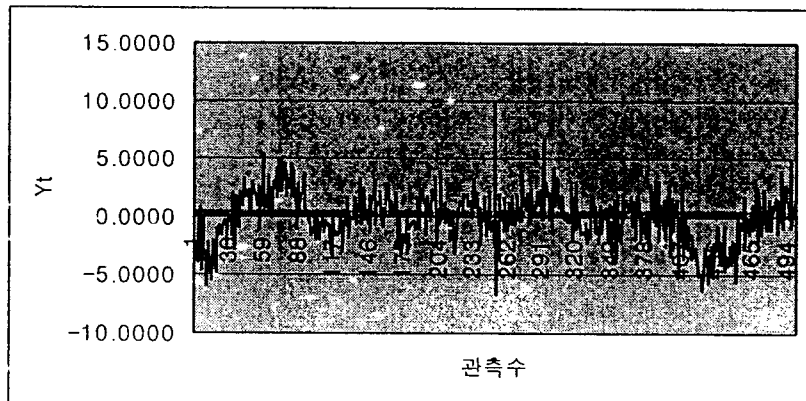
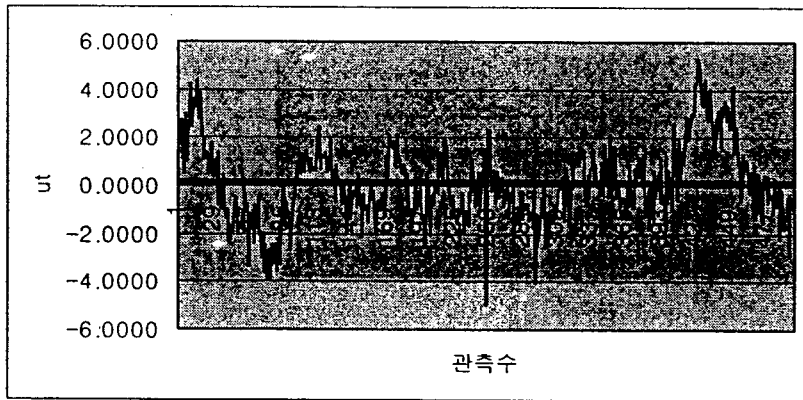
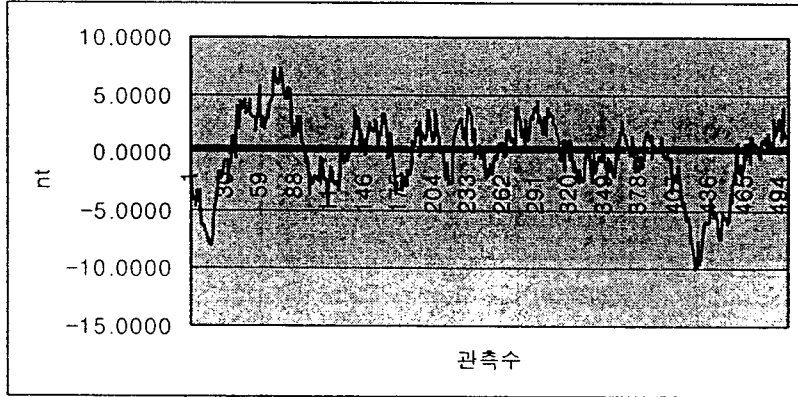
<표4> 통합모형의 수행도 측정

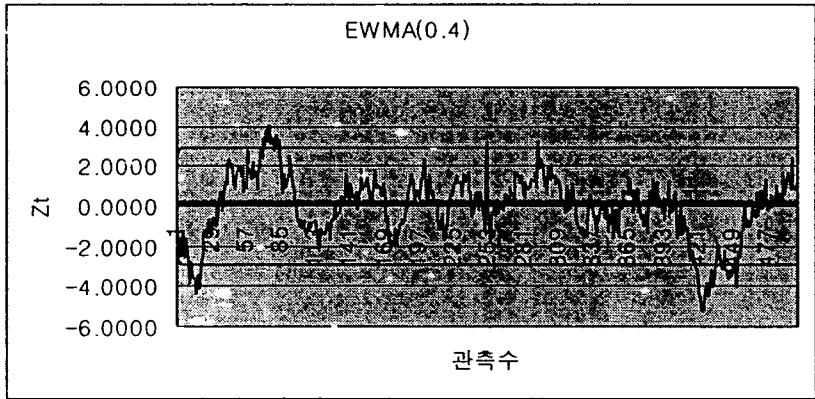
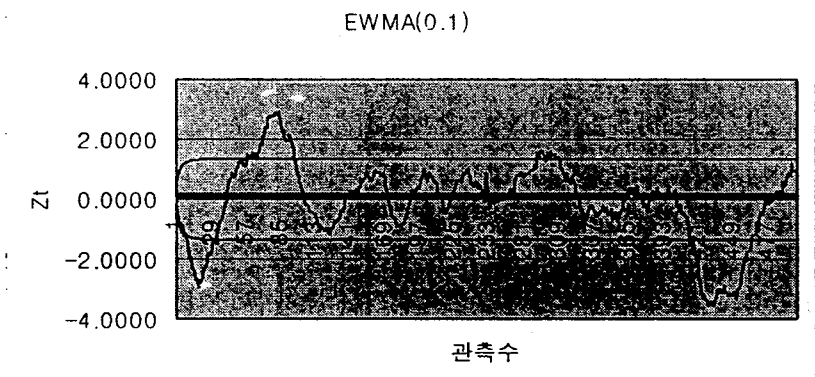
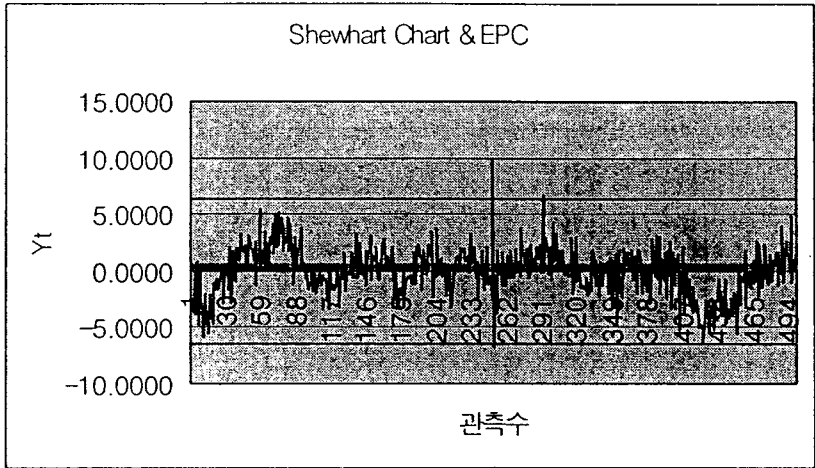
Shift M	prior to S	EPC	EPC/슈하트	EPC/EWMA		
				(0.1)	(0.4)	
1	4.3785	3.9596	3.8227	3.8225	3.6728	AR(1)
2	4.3785	3.9764	3.8396	3.8396	3.6898	
5	4.3785	4.0674	3.9951	3.9320	3.8339	
7.5	4.3785	4.1898	4.0131	4.1211	3.9078	
10	4.3785	4.3545	3.9880	4.2882	3.8793	
1	3.6485	3.3653	3.3053	3.3152	3.2096	AR(2) 0.7 0.25
2	3.6485	3.3829	3.3230	3.3330	3.2294	
5	3.6485	3.4764	3.4167	3.4276	3.3236	
7.5	3.6485	3.6009	3.3662	3.5536	3.4053	
10	3.6485	3.7678	3.4083	3.7340	3.3428	

3.1 컴퓨터에 의한 수행도 측정 결과

다음은 수행도 측정을 위하여 평균제곱편차를 연산자로 하여 돌린 결과이다. 제안된 통합모형 에서 Y_i, u_i, n_i, e_i 의 특성이 타점되었다. 수행도 측정 결과는 맥그리거의

AR(1) 모형을 사용하때, 통합모형에 AR(2) 을적용할 때, 제안된 통합모형을 사용할 때로 구분 된다.





shift M	prior to S	EPC	EPC/SH	EWMA 0.1	EWMA 0.4		
	4.045	4.640	4.284	3.114	3.099		
1	4.378	3.960	3.823	3.823	3.673	AR(1)	
2	4.378	3.976	3.840	3.840	3.690		
5	4.378	4.067	3.995	3.932	3.834		
7.5	4.378	4.190	4.013	4.121	3.908		
10	4.378	4.355	3.988	4.288	3.879		
1	3.648	3.365	3.305	3.315	3.209	AR(2)	
2	3.648	3.383	3.323	3.333	3.229	0.7	
5	3.648	3.476	3.417	3.428	3.324	0.25	
7.5	3.648	3.601	3.366	3.554	3.405		
10	3.648	3.768	3.408	3.734	3.343		
1	4.045	4.348	4.193	2.696	2.959	AR(2)	제한된 Ut
2	4.045	4.359	4.205	2.711	2.972	0.7	0.3
5	4.045	4.424	4.270	2.797	3.044	0.25	0.1
7.5	4.045	4.515	4.257	2.947	3.179	파이값	썬타값
10	4.045	4.640	4.284	3.114	3.099		

4. 결론

평균이 움직일 때 AR(2) 모형의 각란을 고려한 EPC 통합모형을 설계하고 수행도를 평가하였다. 오차항의 모형으로는 MA(2) 모형을 사용하였다. EPC 통합을 위한 가법모형에서 시계열 모형의 모수를 연계하여 공정조절 모형을 설계하였다. PM 측정에서 변동의 크기가 맥그리거의 통합모형 보다 작았다.

참고 문헌

- [1] Anderson, O.D. (1976). Time Series and Forecasting Butterworth, London.
- [2] Box, G. E. P. and Jenkins, G. M. (1976). Time Series Analysis, Forecasting, and Control. Holden-Day, San Francisco, CA.
- [3] Box, G. E. P. and Kramer, T. (1992). "Statistical Process Monitoring and Feedback Adjustment - A Decision". Technometrics 34, pp. 251-267.
- [4] Deming, W. E. (1950). Some Theory of Sampling. John Wiley & Sons, New York, NY.
- [5] Deming, W. E. (1986). Out of the MIT Center for Advanced Engineering Study, Cambridge, MA.

- [6] MacGregor, J. F.(1988). "On-Line Statistical Process Control". Chemical Engineering Progress 84, pp. 21-31.
- [7] MacGregor, J. F.(1990). "A Different View of the Funnel Experiment" . Journal of Quality Technology 22, pp.255-259.
- [8] MacGregor, J.F. and T.J. Harris(1990) "Discussion of 'EWMA Control Schemes: Properties and Enhancement' by Lucas and Saccucci". Technometrics 32, pp. 23-26
- [9] Montgomery, D. C.; Johnson, L. A.; and Mardiner, J. S.(1990). Forecasting and Time Series, 2nd ed. McGraw-Hill, New York ,NY.