

다변량 SPC와 자기회귀알고리즘의
연계를 위한 조사연구
Investigate Study on the relation between
Multivariate SPC and Autoregressed
Algorithm

정 해 운*
Hae-Woon Jung*

Abstract

We compare three Techniques control systems with The Investigate Study on the relation between Multivariate SPC and Autoregressed Algorithm. We also investigate Autoregressed Algorithm with relevant EWMA, CUSUM, Shewhart chart, Precontrol chart and Process Capacity.

Keyword: Autoregressed, EWMA, CUSUM, Shewhart chart, Precontrol chart, Process Capacity.

1. 연구의 목적과 범위

본 연구는 슈하트관리도, 자기상관관계가 있는 EWMA, CUSUM, 공정능력, 프리컨트롤(Precontrol)로 된 다변량 SPC와 자기회귀알고리즘을 통합하거나 병행 사용 시 탁월하게 목표대로 변동이 조절되고, 품질특성의 변동이 다중으로 탐지되고 조절되도록 하려는 이론의 전개나 확립에 도움이 되도록 연계성에 염두를 두면서 조사하고 비교한 연구이다. 규격에 대한 자연공차의 비율로 설명되는 공정능력 등에 대한 알고리즘을 범위로 SPC의 도구로서 관리도는 다 변량 SPC에 의하여 병행사용 되거나 통합되어 사용되어 왔으나 근본적인 해결이 쉽지 않았던바 본 연구에서는 프리컨트롤 차트가 공정능력과 연계 가능성이 많고, EWMA는 CUSUM와 슈하트관리도 관련성의 관리도로 시작하면 연계에 대한 좋은 성과를 거둘 수 있다. 관리도와 자기회귀알고리즘은 품질특성들이 상관관계가 있으면서도 각각의 공정이 안정되도록 가피원인을 탐지

* 오산대학교 공업경영과

한다. 또한 프리컨트롤은 규격의 폭과 표준편차에 의하여 생긴 알고리즘 특성과 규격의 폭에 대한 자연공차의 비율을 공정능력지수의 알고리즘특성이 연계 가능성이 많다. 프리컨트롤은 공정능력과 관리도의 중간단계로 자기회귀모형과 병행하던지 통합될 수 있다. 마찬가지로 공정능력도 자기회귀모형과 병행 사용하여 예비 공정제어시스템으로 적용 할 수 있다. 다변량 SPC기술들은 자기회귀모형과 병행 사용 되거나 통합하여 적용될 수 있고 예비 제어기능으로 사용 할 있도록 하려는 관련성이 있다. 이러한 다변량 SPC기술들은 동적인 경고의 특성과 정적인 경고를 나타내는 특성을 포함하여 자기회귀모형의 알고리즘과 통합되거나 병행 사용하여 그 특성을 목표대로 조절하려는 사고이다. 이를 위하여 본 논문의 연구 범위는 상관관계의 데이터, 공정조절모형의 기초가 되는 자기회귀알고리즘과 전통적인 관리도로서 슈하트관리도, 자기상관관계가 있는 EWMA, CUSUM, 자연공차와 규격의 알고리즘 경향이 강하여 공정능력과 관련이 있는 프리컨트롤, 규격에 대한 자연공차의 비율로 설명되는 공정능력 등에 대한 알고리즘으로 한다[1][3][6][7][11][12][15][16][17][19][23][24][30][38][42][44][45][46][49][50].

2. 자기회귀알고리즘의 연계 사고

2.1 자기회귀모형의 알고리즘

추세모형은 상관관계가 있는 데이터에 적용성이 우수하고 자기회귀모형으로 알려져 있다. 자기회귀모형은 일계자기회귀모형의 확장으로 이계자기회귀모형이 있다. 이러한 자기회귀모형은 이동평균모형과 통합되는 모형들이 아래식과 같이 알려져 있다 [7][8][12][13][36][37][38]. 자기회귀모형은 공정조절모형과 통계적 공정관리와 통합되어 사용되었다. 공절조절모형은 자기회귀모형이 알고리즘이 된다. 공정조절의 사고는 패턴이 있는 품질특성을 측정하는 판넬 실험에서 시작되어, 통계적 공정감시와 피드백조절, SPC/EPC의 통합과 SPC을 위한 추세분석등에 의해서이 연구되었다[29][31][13][37][8]. 일반적으로 자기회귀모형에 있어서 품질특성 x_t 는 직전에 관측 값과 전전의 관측 값 x_{t-1}, x_{t-2} 에 의존한다. 다른 측면에서 보면 확률 요소 ε_t 를 통하여 설명되는 모형이다. 이모형에서 x_t 와 x_{t-1} 사이의 상관관계는 $\rho_1 = -\theta/(1+\theta^2)$ 이고 다른 랙(lag)은 제로가 아니다. 이계자기회귀모형은 다음과 같이 나타낸다[3][38].

$$x_t = \xi + \phi_1 x_{t-1} + \phi_2 x_{t-2} + \varepsilon_t \quad (2-1)$$

이러한 방법으로 나타낸 일계이동평균모형은 다음과 같다.

$$x_t = \mu + \varepsilon_t - \theta \varepsilon_{t-1} \quad (2-2)$$

x_t 에서 상관관계는 유일하게 하나의 시간간격을 뒤로 확장시키는 것이다. 어떤 경우는 자기회귀모형과 이동평균모형의 통합에 쓰인다. 일계통합모형은 다음과 같이 나타낸다.

$$x_t = \xi + \phi x_{t-1} + \varepsilon_t - \theta \varepsilon_{t-1} \quad (2-3)$$

이러한 모형은 화학공정과 같은 다중변량이 있는 공정산업에서 발생된다. 그 이유는 기본적인 공정변수 x_t 는 일계자기회귀 분석에서 품질특성이고 확률오차가 x_t 에 부가된다. 그 결과 식 (2-3)은 일계 자기회귀 이동평균으로 통합 모형이라고 한다[3][38].

화학 공정산업에서 일계자기회귀 공정의 가동상태는 일반적으로 사용된다. 실험실에서 측정된 품질특성은 자기상관관계가 있는 데이터로 사고를 할 수 있다. 이때, 자기회귀 요소는 확률변동이 부가 되어야 한다. 그래서 화학 공정산업의 공정모형은 등식(2-3)에서 자기회귀 이동평균 통합모형이 요구된다[33]. 공정변동이 작은 어떤 적용에 있어서 일계 통합이동평균 모형을 다음과 같이 나타낸다[33][38].

$$x_t = x_{t-1} + \varepsilon_t - \Theta\varepsilon_{t-1} \quad (2-4)$$

이전의 모형들은 정상적인 활동을 설명한 것이다. (2-4)식은 품질특성 x_t 가 고정평균 주위에서 움직일 때 비정상적인 활동에 적용된다. 품질특성 x_t 가 고정평균 주위에서 움직일 때 이모형은 x_t 의 목표 값을 유지하기 위하여 품질특성의 변동이 거의 없는 화학공정에서 사용 될 수 있다[9][33]. 자기회귀와 이동평균의 통합모형은 ARIMA모형 이라고 불리는 추세모형의 종류로서 분류한 다음의 학자들에 의해 연구되었다. 즉 Montgomery, Johnson, 과 Gardiner(1990)와 Box, Jenkins,와 Reinsel(1994)에 의해 추세모형이 논의 되었다[36][12].

자기회귀모형을 위한 이론은 상관관계가 있는 이변량 데이터가 추세모형의 특성을 가지고 있을 때와 품질특성의 변동이 패턴이 있을 경우 적용성이 좋다[29][31]. 품질특성의 데이터가 추세가 있고 패턴이 있을 경우 적용이 쉬운 일계 자기회귀모형과 이동평균모형, 이계자기회귀모형과 이동평균모형과 통합모형은 미니탭에서 그적용성이우수하며 그 모형들은 다음의 보조참조 같이 알려져 있다[38][3].

보조참조[38]

우선 일계자기회귀로 나타낼 경우 AR(1) 모형의 품질특성은 다음과 같다.

$$y_t = \phi_1 y_{t-1} + a_t$$

일계이동평의 특성으로 나타낸 MA(1)모형은 다음과 같다.

$$y_t = a_t - \phi_1 a_{t-1}$$

일계자기회귀특성과 이동평균특성으로 연계된 ARMA(1.1)모형은 다음과 같다.

$$y_t - \phi_1 y_{t-1} = a_t - \theta_1 a_{t-1}$$

$$\therefore y_t = \phi_1 y_{t-1} - \theta_1 a_{t-1} + a_t$$

이계자기회귀 특성으로 나타낼 수 있는 AR(2)모형은 다음과 같다.

$$y_t = \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + a_t$$

이계이동평균모형으로 나타낼 수 있는 MA(2) 모형은 다음과 같다.

$$y_t = a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2}$$

이계자기회귀모형과 이동평균모형으로 ARMA(2.2) 모형은 다음과 같다

$$Y_t = \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} + a_t$$

2.2 다변량 공정관리와 자기회귀모형의 연계사고

EWMA는 슈하트관리도와 관계가 있고 CUSUM과도 연계가 잘된다. 슈하트관리도는 다른 측면에서 프리컨트롤과도 관계가 되고 프리컨트롤은 공정능력과 연계가 된다. EWMA를 앞세우면 병행사용이나 통합모형의 설명이 명확해진다. 여기에서는 EWMA를 중심으로 통합모형과의 관계를 살펴보고자한다. 자기회귀이동평균 모형은 슈하트 모형과는 전혀 다르게 나타난다. 그러나 슈하트 모형은 실질적으로 ARIMA모형과 유사한 관계로 나타 낼 경우도 있고 슈하트 관리도의 특별한 경우를 포함한다.

자기회귀모형에서 $\phi=0$ 로 놓는다면 슈하트 모형이 된다. 이동평균모형에서 $\theta=0$ 로 놓아도 슈하트 모형이 된다[38]. 자기회귀모형이나 통합모형은 상관관계가 있는 품질특성을 다룰 때 유효하다. 또한 상관관계가 있는 데이터에서 EWMA 사용하여 품질특성을 나타내는 접근 방법은 실무에서는 사용하기가 어렵다. 그러나 자기회귀나 통합모형과 다변량SPC의 연계적인 사고는 다중의 공정변동을 줄이기 위하여 프리컨트롤을 사용하여 미리 보는 제어시스템의 역할을 적용하고, 일반관리도로 가피원인을 발견하고, 결과에 대하여 공정능력을 평가하며, 자기회귀모형으로 병행하거나 통합하여 공정조절하려는 사고를 하게 된다. 이런 측면에서 보면 관심 있는 각각의 변동을 위하여 명확한 자기회귀나 통합모형 만을 개발하는 것은 시간 낭비이다. 어떤 저자들은 이러한 어려움을 부분적으로 완화하는 자기회귀모형을 구축하였다[38]. Montgomery와Friedman(1989)는 자동제조공정에 컴퓨터와 통합된 제조환경에서 SPC 자기회귀모형에 대한 실무에서 더 많은 노력이 필요 하다는 것을 밝혔다[34]. Mondgomery와 Mastrangelo(1991)는 품질특성에 대하여 EWMA에 기초한 접근절차를 제안하였다[35]. EWMA는 품질특성이 자기상관관계에 있는 상황에서 설명 될 수 있다는 사실을 이용한 것이다. 일계이동평균모형을 이용하려는 공정이 (2-4) 식에서 통합이동평균 모형으로 구축 될 수 있으며 이 식에서 파라메타 $\lambda=1-\theta$ 로 된 EWMA의 예측이라는 것을 보여 주었다[38].

여기서 EWMA 품질특성은 다음과 같이 알려져 있다.

$$z_t = \lambda x_t + (1 - \lambda)z_{t-1}$$

이 품질특성은 독립이고 평균이 0 인 분포를 한다.

다음은 예측오차를 나타낸다.

$$e_t = x_t - \hat{x}_t(t-1) \quad (2-5)$$

그러므로 관리도는 예측오차를 적용할 수 있다. 파라메타 λ 또는 θ 는 오차제곱의 합을 최소화해야 한다. 품질특성의 변동이 작은 공정은 통합모형인(2-4)식과 똑같은 모형이 아니라고 가정하자. 만약 공정으로부터 관찰된 데이터가 양의 자기상관관계이고 공정 평균이 이동이적다면, EWMA의 파라메타 λ 의 값은 EWMA관리도로 예측 값을 추정할 수 있다. 추세분석에서 예측 영역은 수년 동안 이러한 결과를 사용하였다.

Montgomery, Johnson과 Mardiner(1990)는 이러한 EWMA에서 잘 설명되는 일계이동평균모형에 따르는 많은 공정을 연구하였다[36]. 결국 추세모형에 접근하는 정확한

근사치로서 통계적 공정탐지 절차를 기본으로 하는 EWMA를 사용할 수 있다. 그 절차는 EWMA관리도에서 예측오차 또는 잔차모형으로 나타 낼 수 있다[30][38][46]. EWMA관리도는 예측을 부가한 관찰된 런 관리도와 동행할 수 있다. 잔차 관리도는 공정의 품질특성을 위하여 모형을 제공하지 않는 특성이 있다. 런(Run)은 공정의 예측을 시각적으로 보여준다[38]. Montgomery와Mastrangelo(1991)은 EWMA관리도가 통계적 관리상태 와 단순관리도에 관리상태 에서 품질특성이 변화하는 공정의 정보를 통합 할 수 있다는 것을 연구하였다[35]. 예측오차 e_t 는 정규분포를 한다고 가정하자. 이때 오차의 관리 한계선은 3시그마의 관리한계선에 따른다. EWMA관리도에서 σ 의 추정치는 예측오차에서 표준편차 σ 를 몇 가지 방법으로 추정할 수 있다. 만약 λ 가 관측 수 n 을 초과하면 그때 n 에 대한 최적 λ 을 위하여 예측오차 제곱의 합을 n 으로 나누어 σ^2 의 추정한다.

위와 같은 EWMA 대한 연구가 Montgomery, Johnson와 Mardiner(1990)에 의하여 연구되었다[36].

3 전통적인 관리도의 연계사고

3.1 관리도의 연계 사고

관리도는 공정평균을 중심으로 위로 3σ 아래로 3σ 를 기준으로 하여 가피원인을 발견하고 품질특성을 조절하기 위하여 사용되어 왔다. 추세알고리즘은 경향이 있는 품질특성에 대하여 공정 조절모형으로 많이 사용되어 왔다. 이 두 알고리즘은 연계 되어 가피원인을 발견하고 공정조절을 병행하거나 통합되어 효율적으로 품질특성의 변동이 감소 되도록 하는 노력이 끊임없이 연구되어왔다[48]. 통계적 공정관리의 알고리즘은 인풋에서 아웃풋에 이르기까지 중간공정에 모든 과정을 통계적으로 관리하는 것이다.

이때 관리도는 통계적 공정관리의 도구이다[47]. 자기회귀알고리즘과 전통적인 관리도의 연계사고를 위하여 공정조절모형과 병행사용하거나 통합하려는 관리도의 알고리즘에 적합한 특성을 조사연구 하려고 한다[37][39]. 관리도 에서 가장 중요한 가정들은 관측의 독립성이다. 전통적인 관리도들은 품질특성이 시간과 낮은 상관관계라면 정상적인 기능을 발휘하지 못한다. 특히, 품질특성의 데이터가 상호관련 있는 것이라면, 그러한 관리도들은 매우 많은 거짓경고를 만들어내는 오류를 범한다. 이러한 지적은 Berthouex, Hunter와 Pallesen(1978), Alwan 과 Roberts(1998), Montgomery 와 Friedman (1989), Alwan(1992), Harris 와 Ross(1991), Montgomery와 Mastrangelo(1991), Maragah와 Woodall(1992)을 포함한 많은 연구자들에 의해 연구되었다[9][7][34][6][18][35][32]. 관리도는 가피원인을 제거하여 품질특성을 안정 되게 한다. 안정된 공정은 공정조절모형과 병행 사용되던지 통합모형과 사용되어 품질특성을 목표대로 관리한다. 특히 이번량 가피원인이 있는 경우 쌍으로 가피원인을 제거하는 수정된 관리도(Trimmed control chart)를 사용하면 품질특성의 변동은 더욱 탁월하게 감소된다.[4][14]. 이러한 목적들

을 위한 연계성을 비교해 보면 전통적인 슈와트관리도 실무에 강하며, 이론이 강한 EWMA관리도와 CUSUM관리도는 상관관계가 있는 데이터의 경우 관련성이 강하고, 이론적인 측면 에서만 사고 될 수 있으며 관리도와 비슷하지만 기능이 다른 프리컨트롤과 공정능력도 연계성이 많을 것으로 생각된다. [1][4][38][41][46][48]. 즉 자기회귀 알고리즘과 연계되어 병행 사용되든지 통합되어 적용되면 품질특성이 목표대로 되며 공정능력이 우수 해 지는 것으로 알려져 있다[38][27][24][20][26]. 원래 관리도란 품질 특성의 변동을 관리하기 위하여 합리적으로 정한 선, 즉 관리한계선이 있는 그래프를 말한다. 관리도의 작성 목적은 공정에 관한 데이터를 관리·해석하여 필요한 정보를 수집하고 이들 정보에 의해 공정의 변동을 효율적으로 관리해 나가는데 있다. 관리도는 공정의 관리와 공정의 해석에 모두 사용된다. 공정관리의 관점에서 보면, 품질특성을 나타내는 점이 관리한계선 안쪽에 있고, 점의 움직임에 어떤 패턴이 없으면 공정은 관리 상태에 있다고 한다. 이 경우는 공정 이 정상상태에 있다고 볼 수 있고, 점이 관리한계선을 벗어나거나 또는 다른 패턴이 발견되면 공정에는 이상이 있는 것으로 판단한다. 이 경우에는 가피원인을 발견하고 제거시켜 가피원인이 다시 일어나지 않도록 관리해야 한다[2]. 관리도는 또한 공정의 해석에 쓰인다. 공정평균을 중심으 한 관리한계선은 공정의 평균과 분산을 추정하는 것과 같다. 나타나낸 추정을 바탕으로 공정에 대한 해석을 내릴 수 있다. 관리도는 공정평균 μ 를 0으로 한다면 품질특성치들의 변화의 산포만을 관리한계선 안에 나타낼 수 있고, 관리 상태를 벗어난 가피원인은 탐지되며 이때 수행도 측정은 평균제곱오차로 평가 한다[38][3]. 슈와트 관리도의 단점은 오로지 마지막에 정해진 점을 포함하여 공정에 대한 정보를 사용하며 전체적인 결과에 정보를 경시하는 것이다. 이러한 특징이 슈와트 관리 도는 1.5σ 또는 그 이하의 범위 일 때 상대적으로 작은 공정의 이동에 둔감하다. 물론 다른 범위에서 즉, 정보 통합의 시도로서 경고 경계의 사용과 운영을 위한 시험에 슈와트관리도를 적용 할 수 있다. 그러나 이러한 부수적인 룰의 사용은 슈와트 관리 차트의 간편성과 해석의 용이성이 떨어진다. 더불어 측정된 데이터를 1.5σ 의 사용은 공정이 관리되고 있을 때 관리도의 평균 런의 길이를 극단적으로 줄이게 된다.[38][2]. 작은 이동에 관심이 있는 슈와트 관리도에 대한 두 가지 효과적인 안은 누적합 관리도와의 통합과 EWMA 관리도이다.[26][38][20][46].

3.1.1 프리컨트롤 차트(Precontrol Chart)

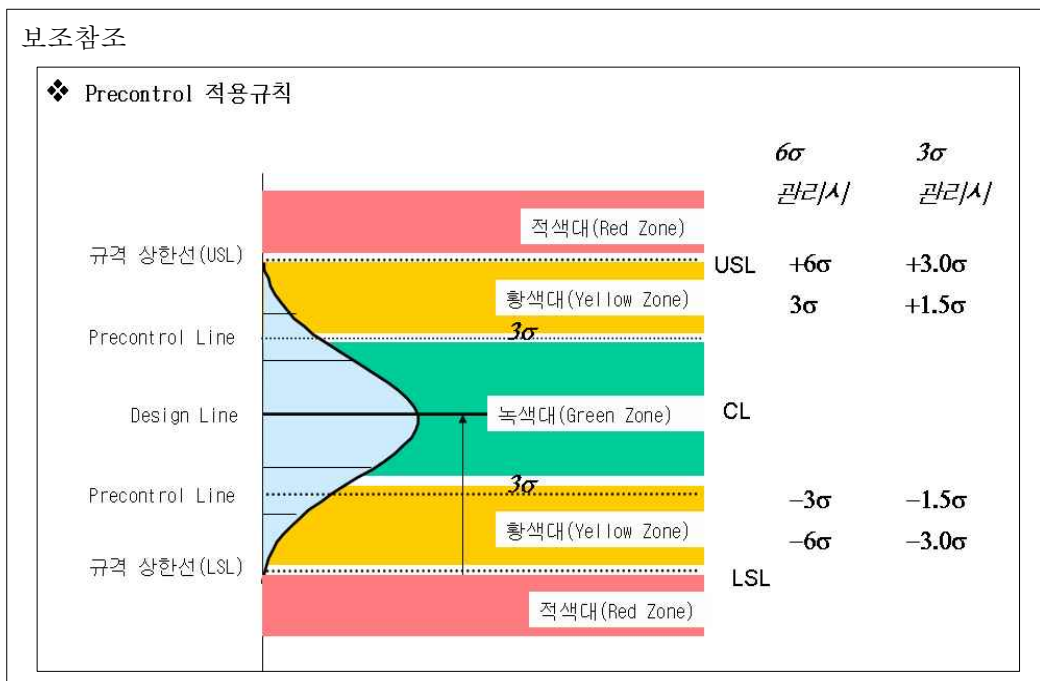
프리컨트롤 차트(Precontrol Chart)는 예약 제어차트, 미리 제어차트등 불리는 이름이 명확하지 않아 본 연구에서는 프리컨트롤로 명명한다. 프리컨트롤은 1960년대 Frank Satterthwait가 사용하기 시작하여 Ott.e.r(1975)에 의하여 공정품질관리의 연구에서 행 하여졌다[38][40]. 프리컨트롤은 엄밀한 한계에 대한 종결기술이며 미 형성된 생산시스템의 위험에 대처하기 위하여 엄격한 한계를 두고 있다. 프리컨트롤은 단순하면서도 혼란하게 사용되지 않는다. 관리도로 인식되는 모든 패턴에 사용될 수 없다. 큰 이동에만 사용 가능하다. 또 한 프리컨트롤은 적은 샘플 사이즈의 경우 큰이동의

조절을 탐지하는 능력이 크게 감소된다. 프리컨트롤은 SPC와 같은 목적의 변동감소나 공정관리에 도움을 주는 정보를 제공하지 않는다. 프리컨트롤은 안정된 상태의 공정, 적당한 공정능력이라는 가정이 상당히 중요하다. 프리컨트롤은 공정능력지수가 적어도 1보다 큰 2~3은 되어야 하며, 무결점 환경이어야만 한다. 프리컨트롤 차트는 관리도의 대응으로 너무 빈약하여 실무에서 사용되는 것을 추천하지 않는다[40]. 다만 이론적으로 관리도와 공정능력의 연계를 위한 알고리즘으로 관리도의 접근방식에 도움이 되었으면 한다. 프리컨트롤의 기술은 통합되지 않은 공정에서 정보의 이동이나 혼란을 탐지하기 위해 사용 된다. 이 기술은 전통적인 SPC의 도구로서 관리도가 통계적으로 중요한 공정모수의 품질특성을 탐지하도록 설계되어 있지만 프리컨트롤은 품질특성이 그래프 상에 플로팅 되지 않고 계산되지도 않는 점이 서로 다르다. 프리컨트롤은 통합되지 않은 단위공정에서 생산을 증가시키는 공정평균이나 표준편차가 확정된 변동 일 때 정규분포에 사용 된다. 프리컨트롤은 3가지로 통합된 조절정보가 주어지게 된다.

이런 절차를 검증하기 위해 품질특성이 정규분포이며 규격의 폭 한계가 정확하게 자연공차의 한계 $\mu \pm 3\sigma$ 라고 가정하자. 공정평균 μ 는 시방의 반이고, 공정은 0.27%규격의 폭을 벗어난다. 두개의 프리컨트롤 한계는 수정된 한계에서 거리가 각각의 1/4거리로 된 소위 상한과 하한의 PC선(Precontrol Line)으로 나타낸다. 품질특성의 분포는 정규분포이고 PC선 안쪽에 놓인 공정 아웃풋이 약 86%이고 PC선 규격의 폭 한계 영역이 약 7%이다. 이러한 평균의 의미는 공정평균과 표준편차가 목표 값 이라면 PC선 밖에 나가는 것이 14가 된다. PC선 밖에 나가는 1단위는 확률로 1/14이고, 두 연속적인 단위가 PC선 밖이라면 $(1/14)(1/14)=1/196$ 이다. 이는 1단위가 PC선을 벗어날 때와 2단위가 벗어날 때 변동의 증가를 의심할 수 있다. 프리컨트롤의 통계적 의미는 1종 과오 및 2종 과오로 나타내어 불량률을 표시 할 수 있다[38][40]. 그 특성을 공정능력 지수와 연관하여 살펴보면, 제1종 과오는 전체 중단의 2%정도이며, 제 2종 과오는 제품 불량률로 표시할 때 1.5%정도이다. 만일 프로세스 폭이 규격 폭 보다 커져서 Cpk가 0.8이하가 되면 프리컨트롤은 생산중단 경고를 나타내게 된다. 만일 공정 폭이 규격 폭의 75%이하이면 즉 Cpk는 1.33이상이면 프리컨트롤은 아주 적절하게 사용된 것이다. 공정이 안정되면, 프리컨트롤은 생산을 계속 한다. 공정 폭이 규격 폭의 50%이면 즉, Cpk=2.0이다. 프리컨트롤은 6시그마 수준이며 안정된 상태이다. 관리도의 경우와 반대로 프리컨트롤 차트는 규칙만으로 충분하다. 프리컨트롤을 운용하기 위한 규칙이 있는데 공정능력지수가 1.15 이상이고, 불일치된 생산을 1~3 % 허용한다고 가정하면 규칙1은 공정을 시작하여 1번째 항목이 규격의 폭 밖에 있다면 리셋(Reset)하고 다시 시작한다. 규칙2는 만약 어떤 항목이 규격의 폭 안에 있지만 PC선을 벗어나면 다음 항목을 체크(Check)한다. 규칙3은 2 번째 항목이 같은 PC선 밖에 있으면 공정을 리셋 한다. 규칙4는 2항목이 PC선 안에 계속 있다면 공정은 두 연속적인 항목이 주어진 PC선 밖에 있을 때만 리셋 한다. 규칙5는 1항목이 PC선 밖에 있고 다음 항목이 다른 PC선 밖에 있다면 그 공정의 변동은 관리상태가 아니다. 규칙6은 5의 항목이 연속된 단위로 PC선 안에 있다면 종결한다[38]. 이러한 규칙들은 청색 대, 황색 대, 적색 대를 적용하여 그 사용방법이 잘 알려져 있다. 이를 색으로 구분하여 규칙을 나타낸다면 녹색2 또는 녹색

색1/황색1 이면 생산을 계속하고 동일영역에 황색2 이면 장치에 셋팅(Setting)한다. 서로 다른 영역에 황색2는 적색1이면 생산을 중단한다. 프리컨트롤의 통계적 의미는 위와 같이 알려져 있고 프리컨트롤과 적용규칙은 다음 보조참조와 같이 알려져 있다[38].

즉 규칙 1은 규격의 폭(Specification)을 4등분한다. Design Center와 각 규격한계의 중간선은 Precontrol Line이다. 녹색 대(Green Zone)는 두 Precontrol Line과 규격한계 사이의 영역이다. 황색 대(Yellow Zone)는 한쪽 Precontrol Line과 규격한계 사이의 영역이다. 적색 대(Red Zone)는 각 규격한계 밖의 영역으로 나타낸다. 규칙 2는 공정이 양산 가능한가를 판정하기 위해서 또는 일정 시점에서의 공정능력을 결정하기 위해서 공정으로부터 5개의 연속적인 표본을 채취한다. 만일, 5개의 표본이 모두 녹색 대에 들어오면, 그 시점에서 공정은 통제되고 있으므로 양산 가능하다. 이때의 공정능력은 통계학적으로 최소 $Cpk=1.5$ 이며, 이 같은 간단한 프리컨트롤 차트를 사용한다. 규칙 3은 생산개시 후에는 공정으로부터 2개의 연속적인 표본을 정기적으로 채취하여야만 미리 예측하여 관리하는데 정확성을 기대할 수 있다. 규칙 4는 생산개시 후 연속적인 2개의 표본 채취주기는 정한다[38][40].



3.1.2 평균과 범위 관리도

계량치 관리도에서 가장 많이 사용되는 관리도로, 평균관리도와 범위관리도를 합쳐서 만든 평균과 범위관리도가 있다. 슈하트 이후 많은 연구자들은 다변량관리도, 평균관리도의 관리한계선 설계에 따른 효과, 개별관측을 위한 품질관리도의 비교, 수정

평균의 평균과 범위관도, 수정평균(Trimmed Mean)에 의한 두 특성치 상관관계수에 대한 수정된 관리도, EWMA의 의한 예측, CUSUM 관리도에 관한 조사연구가 이루어졌다[23][44][45][14][4][46][1]. 슈하트관리도는 변동을 감지하는 능력이 1.5σ 에서 2σ 와 같이 품질특성의 큰이동이 있는 경우에 우수하며 보통 3σ 관리한계선을 사용한다. 슈하트관리도의 운용절차로는 품질특성치가 관리한계선을 벗어나면 거짓경보인가 가피원인인가를 판정하고 가피원인이라면 이를 제거하고 수정된 관리도를 작성하여 변동을 관리한다[38][3]. 개별추정 관리도는 한 개의 측정값이 얻어지면 곧 관리도에 기록되므로 각각의 측정으로부터 공정의 안정상태의 판정 및 조치까지 시간적인 지연이 없다. 관리도의 가피원인탐지능력은 변동 추정의 지표인 수행도(PM)를 측정하여, PM값이 작을수록 변동을 감소시키는 능력이 우수하다고 평가한다[38][3]. 또한 평균런의 길이(ARL)는 전체품질특성 중 가피원인이 발생하는 비율로 나타낸다. 이때 비율은 적으면 좋다. Wardell, D. G., H. Moskowitz, 와 R. D. Plante(1994)는 상관관계가 있는 공정을 위한 가피원인을 런 길이와 관련시켜 설명하였다[48]. 슈하트관리도의 수리는 일반적으로 잘 알려져 있다.

3.1.3 지수가중이동평균(EWMA) 관리도

EWMA 관리도는 품질특성이 작은 이동이 있을 때 슈와트 관리도에 대하여 좋은 대안으로 사용된다. 현재에는 화학공정과 같은 자기상관관계가 있는 산업에서 SPC로서 사용되며 미니탭을 도구로 하여 사용하면 적용성이 탁월하다[28][33][3].

EWMA의 수행은 CUSUM관리도와 비슷하나 그 설치와 운영이 CUSUM에 비하여 매우 수월하다. CUSUM 관리도처럼 EWMA는 이론이 강한 개념적 측정치에 사용된다.

앞에서 설명된 추세모형의 접근은 실제상황에서 다루기 어려운 것일 수 있다. 전형적으로 관리도를 몇 개의 품질특성에 대한 공정변동변수에 적용하고, 잠재적인 각각의 품질특성변동에 중요한 상황을 위하여 명시적 추세모형을 개발하는 것은 시간을 낭비하는 것이다. Yourstone 과 Montgomery(1989)는 실시간을 SPC알고리즘에 적용하고, 어려움을 부분적으로 감시하는 동적인 자기회귀모형을 개발하였다[49].

그러나 추세모형 그 자체가 공정의 다양성을 설명하는데 있어서 고유 값이 아니라면, 자기회귀모형 개발에 접근은 실제로 입증된 것 보다 더 많은 연구가 필요하다.

Montgomery와 Mastrangelo(1991)는 EWMA에 기초한 절차를 제안해 왔다[35]. 그들은 품질특성의 데이터가 자기상관관계가 있는 일부상황에서 EWMA가 사용될 수 있다는 사실을 이용하였다. 자기상관관계가 있는 공정에 경고를 위한 EWMA예측에서 단일 공정으로부터의 측정된 품질특성들이 양의 자기상관관계이고 공정평균이 매우 빠르게 움직이지 않는다면, 적절한 λ 값을 갖는 EWMA는 우수한 일단계로 선행예측기법을 제공하게 된다[46]. 예측과 추세분석영역이 수년 동안 EWMA는 선행예측기법을 이용해 왔다. EWMA에 의한 추세분석의 선행예측기법의 연구가 Montgomery, Johnson, Mardiner(1990)등의 학자들에 의해 연구되었다[36]. 계속해서 EWMA는 일차역할에 강한 도구로서 많은 공정들의 품질특성을 예측할 것이다. 위에서 설명된 조건

하에서 정확한 추세모형에 버금가는 통계적 공정감시의 기본으로 EWMA를 사용할 수 있다. EWMA의 일단계 선행예측오차는 근본적인 관측된 런 도표에 의해 적용 될 수 있다. 원래 관측치의 런 도표는 시각적으로 제시되는 공정의 다양성을 인정한다.

Montgomery와 Mastrangelo(1991)는 자기회귀 데이터가 있는 단일공정표상에서 공정의 다양성과 통계적 관리 상태에 대한 정보를 결합할 수 있는 것을 지적하고 있다 [35]. EWMA는 그 관리기술에서, 평균런(ARL)의 길이에 적합한 EWMA모수 L과 λ 의 값이 Lucas 와 Saccucci 와 같은 학자에 의하여 표로 주어졌다(1990)[27].

3.1.4 누적합(CUSUM)관리도

가끔 μ_0 의 품질특성을 목표치로 생각할 수 있다. 이 목표치는 품질특성이 목표 값으로 관리될 때 화학공정과 같은 산업공정 에서 사용된다[33][10]. 만약 공정흐름이 품질특성을 목표에 벗어나게 했다면 CUSUM은 경고신호를 보낸다. CUSUM은 공정을 목표치로 되돌릴 수 있는 조절 변수를 만들게 한다. CUSUM신호는 어떤 때는 슈하트 차트 같이 어떤 조사가 있어야 함을 의미 한다. Lucas(1982)는 CUSUM과 슈하트 관리도를 통합하였다[26].

Tabular CUSUM은 목표치 위에 위치한 통계치 C^+ 는 μ_0 로부터 이끌어낸 축적이다. 다른 목표치 아래에 위치한 통계치 C^- 는 μ_0 로부터 이끌어 낸 축적이다. 이러한 통계치 C^+ 와 C^- 는 단 측(one-sided) 상한 또는 단 측 하한 CUSUM이라고 불린다[38].

보조참조[38]

The Tabular Cusum

$$C_i^+ = \max [0, x_i - (\mu_0 + k) + C_{i-1}^+]$$

$$C_i^- = \max [0, (\mu_0 - k) - x_i + C_{i-1}^-]$$

출발 시점에서의 값은 $C_0^+ = C_0^- = 0$

이것은 자주 목표 값 μ_0 와 관심 있는 품질특성을 빨리 탐지하는 관측된 모평균 μ_i 반값이 된다. 목표 값 에서 이동하는 표준편차 단위 로 나타내면 그때 K는 이동의 크기의 1/2이 된다. C_i^+ 또는 C_i^- 가 의사결정 간격 H를 초과 할 때 그 공정은 관리 가 안 된다.

CUSUM은 측정된 품질특성치 결과를 누적하여 산출한 값으로 공정의 변화를 판단 하는 방법으로, 비교적 빠르게 공정의 변화를 탐지할 수 있다. 슈하트관리도 보다 두 배정도 빨리 이동을 감지한다. 즉, 공정이 관리상태일 때 CUSUM은 목표 값으로부터 작은 변화에 민감하다. 연속된 품질특성으로부터 정보를 누적하기 때문이다. CUSUM의 타점은 목표 값으로부터 표본 값을 차감하여 차이의 누적합 으로 된 이 점들은 0 주위에 무작위로 분포되어 있어야 한다. 타점의 추이가 위 또는 아래로 발견 되었다면 이는 프로세스의 평균에 변동이 있음을 뜻하고 가피원인이 있다는 경고이다.

Page(1961)에 의하여 누적합관리도의 이론이 체계화 되었다[41]. 그는 품질특성의 분포에서 모수의 변동을 검출하는 문제와 관측치를 이용하고자하는 규칙을 개발하기 위하여 평균런의 길이를 이용하였다. 또한 공정변화의 검출 방법으로 단측 또는 양측으로 모수의 변동을 검출하고자 하였다[41][38].

누적합관리도는 샘플크기가 $n \geq 1$ 일 때 몇 개의 표본정보를 합하였기 때문에 슈하트관리도 보다 공정 이동이 작은 탐지를 위하여 효과적이며, 더구나 샘플의 크기가 $n = 1$ 일 때 실무에서 효과적이다. 누적합관리도에서 타점은 다음 식에 의한다.

$$C_t = \sum_{j=1}^t (\bar{Y}_j - \mu_0)$$

테이블러 누적합 관리도의 단 측 통계적 상한 값과 하한 값은 다음과 같다

$$C_t^+ = \max [0, x_t - (\mu_0 + K) + C_{t-1}^+]$$

$$C_t^- = \max [0, (\mu_0 - K) - x_t + C_{t-1}^-]$$

여기서 초기 값은 $C_0^+ = C_0^- = 0$ 이다. K는 참고 값 이라고 한다. 평균 μ_1 에서 가피원인의 값과 목표 값 μ_0 와 차의 절대 값을 반으로 나눈 값이다.

누적합 관리도는 Page에 의해 실제적인 면에서 처음으로 제안되었으며 그 후 CUSUM관리도의 브이마스크(V-Mask), CUSUM에 대한 파라메타등이 연구되었다.

Page(1961), Lucas(1973), Hawkins (1981),그 연구를 볼 수 있다[41][25][19]. 2가지의 CUSUM을 표현하는 대표적인 방법이 있는데 그것은 Tabular(or algorithmic)CUSUM 또는 V-여기에는mask 형태의 CUSUM이다. 이 두 가지의 대표적인 방법들 중에서 Tabular와 알고리즘 CUSUM 방법이 선호된다. 지금부터 Tabular와 알고리즘 CUSUM의 사용과 구축에 대하여 설명하고자한다. 그리고 V-mask CUSUM은 왜 가장 좋은 CUSUM을 표현하는 방법이 되지 못하는지 살펴보고자 한다. 몇몇의 방법들은 CUSUM에서 ARL을 계산하는데 사용된다. 몇몇의 학자들은 관리에서 부터 관리 불능에 대한 마크브체인(Markove chain)의 진술에 대한 근사적 변화에 기초하고 있는 Brook and Evans의 ARL 계산을 사용하고 있다[38]. Hawkins는 근사 방정식에 기초한 매우 간단하지만 정확한 ARL 계산절차를 제공하였다[19]. CUSUM의 한 분산은 수치 자료와 수치율과 함께 하는 것이 매우 적을 때 아주 유용하다. 이 경우, 때때로 사건 사이에서 시간을 사용하고 있는 CUSUM의 형태는 보다 더 효과적 이다. 실제 상황은 사건사이시간(time-between-event) CUSUM 수치율의 증가를 찾기 위해 사용한다. CUSUM 수치율의 증가를 찾는 것은 사건사이시간 안에서 증가되는 값을 찾기 위한 것과 같다. 이에 적합한 CUSUM 식은 다음과 같다.

$$C_i^- = \max [0, K - T_i + C_{i-1}^-]$$

K는 참조 값이고 T_i 는 마지막으로 관측된 count 이후로 경과된 시간이다[38].

4. 공정능력의 연계사고

제조공정에서 SPC시스템적 차원에서 공정능력(process capacity)은 공정에 있어서 품질의 달성능력을 가리키는 것으로 그 공정이 최상을 이루고 있는 관리상태일 때 제품의 변동이 어느 정도인가를 나타내는 표시 량으로 정의된다[10][38][2]. 여기에서 자연공차(natural tolerance)는 6σ 로 정의된다. 공정능력의 평가 척도로서 자연공차로 규격의 폭을 나누어 공정능력의 상태를 수량화한 공정능력지수(C_p)를 사용한다. 공정능력의 전제조건 및 특징을 살펴보면 공정능력은 장래 예측할 수 있는 결과에 대한 것이다. 공정능력은 과거에 대한 결과를 평가할 수 없다. 공정능력은 특정조건 하에서의 도달 가능한 한계상태를 표시하는 정보여야 한다. 공정능력의 척도는 공정능력의 개념과 결부시켜 결정하게 된다. 요인상태에 대한 결과로부터의 규정은 공정의 조건에 따라 달라져야 한다[2][38]. 공정능력은 일반적으로 잠재적 공정능력지수와 성능 공정능력 지수가 알려져 있으며 그 평가방법들이 잘 알려져 있다[2][38]. 많은 연구자들은 공정능력 C_{pm} 의 새로운 측정방법, 공정능력 지수의 신뢰구역, 공정능력분석의 개발방법, 공정능력지수의 평가 방법을 연구해왔다[15][21][43][50]. 최근에는 미니맵을 이용한 계량, 계수치에 공정능력분석이 간편하다. 특히 식스 팩(Six pack)등이 적용성이 좋다[2]. 본 연구에서 공정능력은 규격의 폭을 조절하거나 자연공차의 값을 조절하여 목표에 맞는 공정능력지수가 되도록 한다. 공정능력은 공정능력지수가 중요시되며 다변량SPC의 하나로서 프리컨트롤과 관련성에 비중을 두면서 자기회귀모형과의 연계성을 생각한 조사연구이다. 공정능력의 평가방법으로는 자연공차 6σ 를 기준으로 할 때 규격이 편차 4배 거리 주어지고 있다면 C_p 는 0.67 이고 6 배라면 1 이 되고, 8 배라면 1.33 이며, 10 배라면 1.67 이 된다. 이를 정리하면 공정능력평가지수는 다음의 보조참조와 같이 알려져 있다[2][38].

보조참조[2][38]

- (1) $C_p \geq 1.67$: AA 급; 공정능력이 충분하며 매우 여유가 있다.
- (2) $1.67 > C_p \geq 1.33$: A 급; 공정능력이 충분하며 여유가 있다.
- (3) $1.33 > C_p \geq 1$: B 급; 공정능력이 보통이며 여유가 없다.
- (4) $1 > C_p \geq 0.67$: C 급; 공정능력이 부족하며 불충분하다.
- (5) $C_p < 0.67$: D 급; 공정능력이 매우 부족하며 매우 불충분하다

AA 급과 A 급은 A 급으로 분류하기도 하며 기업에서는 A 급 이상이 요구되어진다. 1.55 이상을 A 급 공정은 개당 가공시간의 단축으로 생산능력을 향상시키고, B 급 공정은 관리에 경고를 요구하며 C 급 이하의 공정은 시급히 변동을 감소시켜 품질특성을 목표대로하며 공정을 개선 시켜야 한다.

공정성능지수(PPI)와 설비성능지수(MPI)에 대하여 살펴보면 공정능력지수는 통계학상 급내변동인 σ_w 를 기준으로 하지만, 공정성능지수는 σ 가 급내변동과 급간변동의 합인 σ_T 로 표현된다. 공정능력지수(PCI), 공정성능지수(PPI)와 설비성능지수(MPI)의 수리는 다음과 보조참조와 같이 알려져 있다[2][38].

보조참조[2][38]

(1) 공정능력지수(PCI)

$$\textcircled{1} C_p = \frac{T}{6\sigma_w} \quad \textcircled{2} C_{p_k} = (1-k) \frac{T}{6\sigma_w}$$

$$\textcircled{3} C_{p_u} = \frac{S_u - \mu}{3\sigma_w} \quad \textcircled{4} C_{p_L} = \frac{\mu - S_L}{3\sigma_w}$$

(2) 공정성능지수(PPI)

$$\textcircled{1} P_p = \frac{T}{6\sigma_T} \quad \textcircled{2} P_{p_k} = (1-k) \frac{T}{6\sigma_T}$$

$$\textcircled{3} P_{p_u} = \frac{S_u - \mu}{3\sigma_T} \quad \textcircled{4} P_{p_L} = \frac{\mu - S_L}{3\sigma_T} \quad (\text{단 } \sigma_T = \sqrt{\sigma_w^2 + \sigma_b^2} \text{ 이다})$$

(3) 설비성능지수(MPI)

$$\textcircled{1} C_{p_M} = \frac{T}{6\sigma_m} \quad (\text{단 } \sigma_m^2 = \sigma^2 + (\mu - M)^2 \text{ 이다})$$

공정능력 평가는 규격한계(Specification Limits)에 대비하여 공정이 수행하는 능력이 얼마인지 예측하는 것이다. 만일 과거의 공정이 안정 상태로 유지되었다면 미래에도 그러리라는 것을 쉽게 예측할 수 있다[2]. 공정능력은 거시적인 SPC의 일부로서 SQC에서 많이 사용된다. 많은 학자들은 SPC시스템을 사용하는 제조에서의 품질, 공정능력의 새로운 측정, 공정능력지수의 신뢰영역, 공정능력의 최근 개발, 공정능력지수의 구간평가 조절에 대한 연구가 이루어졌다[10][15][21][43][50]. 공정능력에 규격은 공정능력지수를 산출하는 기본이 된다. 특히 공정의 상한규격과 하한규격을 정함에 있어서 적당한 방법에 의해 공정이 안정 되도록 정해야 하며 경제적인측면과 관리적인 측면을 충분히 고려해야 하며, 다음으로 공정능력평가를 진행하는 것이 적절하다.

과거의 데이터가 안정된 관리 상태이며 가피원인에 의한 측면만을 고려한다면 공정능력의 수행예측 할 때 예는 다음과 같은 특성이 있다. 만약 과거에 공정이 관리이탈(Out-Of-Control) 상태였다면 미래에도 관리상태(In-Control)가 아니라는것을 알수있

다. 이전의 불안정은 미래의 공정이 규격한계에 대해 어떻게 수행할지 예측하는 능력을 여러 가지로 제한한다. 만일 과거에 공정이 특수원인에 의해 산포에 영향을 받았다면 미래에도 공정에 기대하지 않은 변화가 나타난다[38].

5. 다변량 SPC와 자기회귀알고리즘 연계의 사고

연계의 사고는 SPC의 기본적인 방법이 집중되어 있다. 다변량 통계적 공정관리 기술들이 확장되고 적용되며 더 새로운 방법론이 개발되어졌다. 짧은 런을 위한 SPC 방법이 논의 되었고 짧은 런의 사용 목적을 위하여 어떻게 관리도를 편리하도록 수정해야하는가에 집중적인 내용이 포함되었다. 다른 기술들이 짧은 런 하에 적용되어지고 있을 동안 이러한 접근은 실무에서 폭넓게 사용되어 졌다. 그때 수정 관리도와 수락 관리도에 대하여 연계성이 필요하다. 이러한 관리도의 기술은 공정능력을 높이고 탐지 노력이 품질특성의 변동을 감소하도록 조절한다. 이런 기술은 복수 흐름공정의 많은 산업에서 사용되고 있다[39]. 그룹관리도는 이러한 상황을 위한 기술로서 표현된다. 많은 공정은 복수 품질특성을 갖는다. 결과적으로 복수변동 탐지기술이 요구된다. 우리는 복수변동 관리도가 평균의 탐지와 변동의 어떻게 할 것 인가를 보여준다. EPC와 SPC의 연계의 적용에서 고려 할 수 있는 중요한 두 토픽은 화학 산업에서 SPC와 공정산업의 자동데이터, 공정변동을 조절하며 규칙적으로 보정하고 목표에 맞는 공정을 유지하기 위하여 공정의 경제성이 관리도 설계에서 어떤지를 논의 할 수 있다. 다른 측면에서 보면 샘플사이즈에서 관리도의 적용, 샘플변동사이의 간격, 관리도에서 통계상 현재 값에 기초한 수정, 공정의 최선 목표 값에 기초한 선택방법, 관리 수행방법, 도구 설치, 샘플의 통계학에 기초한 관리도가 포함된다.

Macgregor와 Harris(1990)는 공정변동의 탐지에서 지수가중이동평균 관리도의 기술적인 사용을 논의 하였다[30]. 그들은 상관관계가 있는 데이터와 없는 데이터를 위한 이러한 관리한계선을 발견하는 방법을 보여주었다. 잔차관리도의 감도에 대한 연구에서 몇명의 학자들은 잔차관리도가 품질특성의 이동이 작은 공정에 민감하지 않다는 것을 지적하였다[38]. Wardell, Moskowitz,와 Plante(1994)감도를 증가시키기 위하여 우리는 슈하트 관리도 대신에 잔차에 관한 CUSUM 또는 EWMA 관리도 사용을 추천한다 [48]. EWMA는 잔차나 예측오차를 기초로 하는 관리도의 통계적 수행에 영향을 줄 수 있다[46]. Montgomery와 Mastrangelo(1991)은 추가절차의 사용을 잔차를 위한 관리도로 통합된 추적신호로 부를 것을 제안하였다[35]. 여기에서 이러한 추가절차가 잔차관리도의 중요한 수행을 높이는 증거이다. Mastrangelo와 Montgomery(1995)는 적당하게 설계된 추적신호기술이 우리가 설명했던 EWMA의 기초한 절차로 통합 될 수 있다면 좋은 관리도의 수행과 적당한 이동의 탐지를 보여 주었다[38].

다음은 프리컨트롤의 안정된 상태, 생산중단이 필요한 상태, 주의판정이 요구되는 상태를 프리컨트롤의 녹색 대, 적색 대, 황색 대에 속할 확률로 구분하여 3σ , 4σ , 5σ , 6σ 에 따른 평가 시에 사용되는 공정능력치로 나타내어 그 확률 값을 행과 열이 마

주치는 공란에 적어 넣은 것이다. 공정능력치에 따른 선행관리도의 해석 비교는 결국 관리도와 공정능력치의 연계를 위한 알고리즘이 된다. 선행관리도의 녹색 대, 적색 대, 황색대의 색 구분에 따른 공정능력지수(Cp)와 표준편차 σ 의 증가에 따른 확률 값은 <표 1>과 같이 나타낸다[38].

<표 1> 프리컨트롤 색 구분과 Cp , σ 에 따른 확률 값 비교

프리컨트롤 σ	Cp , 3 σ Cp=1	4 σ Cp =1.33	5 σ Cp =1.67	6 σ Cp =2
연속5점이 녹색 대 안; 안정	49%	80%	94%	99%
적어도1점이 적색 대 ; 생산중단	0.7%	500ppm	0.00%	0.00%
연속2점이 황색 대 ; 경고	0.9%	0.1%	0.07%	3.4ppm

일반 관리도와 프리컨트롤의 특성 비교 에서는 목적, 단순성, 편리성, 경제성, 관리 선을 서로 비교하였다. 프리컨트롤은 색상만으로 판단가능하며, 관리선 관리가 규격 변경 시에만 필요 하다. 다음 표2 는 프리컨트롤과 관리도의 차이점을 비교한 것이다 [38].

<표 2> 일반 관리도와 프리컨트롤의 특성 비교

관리도 특성	관리도	프리컨트롤 차트
목적	우연원인, 가피원인 탐지	생산과 생산중단의 경고
간편성	수리계산의 복잡성	색 표시로
편리성	가피원인 해석	규격의 변경시만 관리
경제성	품질특성의 확보 등 비경제적	경제적
관리선	평균으로 부터 3 σ	녹색 대, 적색 대, 황색 대

공정능력지수에 대한 등급 구분은 국가적으로 표준화 되어 있는 것은 아직 없다. 등급 구분은 기업의 특성에 맞게 자체 규정하여 운영하는 표의 내용을 사용하였다. 공정 능력지수의 해석 지표는 다음과 같이 나타내며 평가 기준으로 사용 할 수 있다. 표[3] 은 공정능력지수의 등급에 따른 조치사항으로 프리컨트롤의 녹색 대, 적색 대, 황색 대에 따른 공정능력치에 따른 의미와 조치 상황이다[38].

<표 3> 공정능력치에 대한 등급

공정능력치	등급	의미	조치
2.0이상	AA	공정능력 매우 우수	공정능력을 계속 존속 시킨다
1.67이상	A	공정능력이 우수하다.	변동을 감시와 유지
1.33이상	B	공정능력이 양호하다.	변동을 감시 한다.
1.00이상	C	공정능력이 보통이다	변동모니터링과 검출력 제고
1.00이하	D	공정능력이 부족하다.	검출력 강화.

6. 결론 및 미래의 과제

추세분석의 알고리즘에서 자기회귀모형과 이동평균모형은 품질특성이 상관관계에 있을 때 다변량 SPC와 연계성이 있는 것으로 조사연구 되었다. 먼저 관리도에서는 EWMA에서 관련성을 찾기 시작하는 것이 수월하다. EWMA에서 상관관계가 있을 경우 CUSUM관리도와 연계되고 모수가 0일 때 슈하트 관리도와 도 관련성이 있다. 프리컨트롤은 규격의 폭과 자연공차가 중요시 된다. 도 공정능력지수는 규격의폭에 대한 자연공차의 비율로 산출하고 공정능력의 평가 지표가 된다. 프리컨트롤과 공정능력의 알고리즘은 규격의 폭, 표준편차, 선행조절 측면에서 관련성이 많다. 이처럼 다변량 SPC들이 자기회귀모형과 연계될 수 있는 알고리즘 중심으로 조사연구 되고 비교되었다. 특히 공정능력과 프리컨트롤은 자기회귀모형의 연계는 미약하지만 본 조사연구를 통하여 병행이나 통합 시 다중 조절에 의한 유효함이 드러났다. 미래의 과제로서는 다변량 SPC를 포함하여 다른 SQC 특히 실험계획법의 사고가 추가되어 이러한 모형들이 통합되거나 병행 사용되어 품질특성의 변동감소에 더 효과적인 공헌이 있기를 기대한다.

7. 참고 문헌

- [1] 김종걸, 채호식(1988), CUSUM 관리도에 관한 조사연구, 성균관대학교 과학기술연구소 과학기술편, 제39집 No. 2.
- [2] 이승훈 이레테크(2006), Minitab을 이용한 공학통계 자료분석 Vol. p387~p565.
- [3] 정해운 박사 학위논문(2002),자기회귀 각란모형을 고려한 EPC와 SPC의 통합시스템, 성균관대학교.
- [4] 정해운 석사 학위논문(1997), Trimmed Mean에 의한 두 특성치 상관계수에 대한 수정된 관리도에 관한 연구, 아주대학교.
- [5] A Note on Statistical Monitoring of Engineering Controlled Processes, International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, Volume 8,
- [6] Alwan, L. C.(1992). "Effects of Autocorrelation on Control Charts," Communications

- in Statistics—Theory and Methods, Vol.21.
- [7] Alwan, L. C., and H. V. Roberts(1988). "Time Series Modeling for Statistical Process Control," Journal of Business and Economic Statistics, Vol.6.
- [8] Anderson O. D., (1976). Time Series and Forecasting, Butterworth, London.
- [9] Berthouex, P. M., W. G. Hunter, and L. Pallesen(1978). "Monitoring Sewage Treatment Plants: Some Quality Control Aspects," Journal of Quality Technology, Vol. 10.
- [10] Big three implement SPC systems, Quality In Manufacturing Nov 2000 v11i6 p39
- [11] Box, G. E. P. and Jenkins, G. M.(1976). Time Series Analysis, Forecasting, and Control. Holden-Day, San Francisco, CA.
- [12] Box, G.E.P., G. M. Jenkins, and G. C. Reinsel(1994). Time Series Analysis, Forecasting, and Control, 3rd edition, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- [13] Box, G .E. P. and Kramer, T.(1992). "Statistical Process Monitoring and Feedback Adjustment -A Decision". Technometrics 34, pp.251~267.
- [14] Burr, I. J. (1967). "The Effect of Nonnormality on Constants for \bar{x} and R Charts." Industrial Quality Control, Vol. 23.
- [15] Chan, L. K., S. W. Cheng, and F. A. Spring(1988). " A New Measure of Process Capability: C_{pm} " Journal of Quality Technology, Vol. 6.
- [16] Chemist & Druggist(2001) Plavix SPC update Oct 6, p28.
- [17] Chemist & Druggist(2001) SPC update for Tramadol.. Sterwin Medicines Ltd. Brief Article. Sept 29, 2001 p32
- [18] Harris, T. J., and W. H. Ross(1991). "Statistical Process Control Procedures for Correlated Observations." Canadian Journal of Chemical Engineering, Vol. 69.
- [19] Hawkins, D. M.(1981). "A CUSUM for a Scale Parameter," Journal of Quality Technology, Vol. 13.
- [20] Johnson, N. L.(1961). "A Simple Theoretical Approach to Cumulative Sum Control Charts." Journal of the American Statistical Association, Vol. 54.
- [21] Kushler, R. H., and P. Hurley(1992). " Confidence Bounds for Capability Indices," Journal of Quality Technology, Vol. 24.
- [22] Langenberg, P., and B. Inglewitz(1986). "Trimmed Mean \bar{x} and R Charts," Journal of Quality Technology, Vol. 18.
- [23] Lowry, C. A., and D. C. Montgomery(1995). "A Review of Multivariate Control Charts." IIE Transactions, to appear.
- [24] Lowry, C. A., W. H. Woodall, C. W. Champ, and S. E. Rigdon(1992). "A Multivariate Exponentially Weighted Moving Average Control Chart." Thchnometrics, Vol . 34.
- [25] Lucas, J. M. (1973). "A Modified V-Mask Control Scheme," Technometrics,

- Vol. 15.
- [26] Lucas, J. M. (1982). "Combined Shewhart-CUSUM Quality Control Schemes," Journal of Quality Technology, Vol. 14.
- [27] Lucas, J. M., and M. S. Saccucci (1990), "Exponentially Weighted Moving Average Control Schemes : Properties and Enhancements", Technometrics, Vol. 32.
- [28] MacGregor, J. F.(1988). "On-Line Statistical Process Control". Chemical Engineering Progress 84, pp.21~31.
- [29] MacGregor, J. F.(1990). "A Different View of the Funnel Experiment". Journal of Quality Technology 22, pp.255~259.
- [30] 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.
- [31] MacGregor. J. F.(1990) A Different View of the Funnel Experiment J, Q. T vol. 22. No. 4.
- [32] Maragah, H. O., and W. H. Woodall(1992). "The Effect of Autocorrelation on the Retrospective X-chart," Journal of Statistical Computation and Simulation, Vol. 40.
- [33] Maragah, C. M., and D. C. Montgomery(1995). "SPC with Correlated Observations for the Chemical and Process Industries," Quality and Reliability Engineering International. Vol. 11
- [34] Montgomery, D. C., and J. J. Friedman(1989). " Statistical Process Control in a Computer-integrated Manufacturing Enviroment," Statistical Process Control in Automated Manufacturing. edited by J. B. Keats and Hubele, Marcel Dekker, INC., Series in Quality and Reliability. New York.
- [35] Montgomery, D. C., and C. M. Mastrangelo(1991). "Some Statistical Process Control Methods for Aurocorrelated Data," with discussion Journal of Quality Technology, Vol. 23.
- [36] Montgomery, D. C., Johnson, L. A. and Mardiner, J. S.(1990), Forecasting and Time Series, 2nd ed., McGraw-Hill, NY.
- [37] Montgomery, D. C., J. B. Keats, G. C. Runger, and W. S. Messina(1994). " Integrating Statistical Process Control and Engineering Process Control," Journal of Quality Technology, Vol. 26.
- [38] Montgomery. D. C.(1996). "Introduction to Statistical Quality Control" 3nd edition. John Wiley & Sons, Inc. p314~p474
- [39] Mortell, R. R., and G. C. Runger(1995). "Statistical Process Control of Multiple Stream Processes." Journal of Quality Technology, Vol. 27.
- [40] Ott,E.R.(1975) Pross Quality Control, McGraw-Hill,New York.

- [41] Page, E. S.(1961). "Cumulative Sum Control Charts," *Technometrics*, Vol. 3.
- [42] Pignatuello, J. J., Jr., and G. C. Runger(1990). "Comparison of Multivariate CUSUM Charts," *Journal of Quality Technology*, Vol. 22.
- [43] Rodriguez, R. N.(1992). "Recent Developments in Process Capability Analysis," *Journal of Quality Technology*, Vol. 24.
- [44] Schilling, E.G., and P. R. Nelson(1976). "The Effect of Nonnormality on the Control Limits of \bar{x} Charts," *Journal of Quality Technology*, Vol. 8.
- [45] Sullivan, J. H., and W. H. Woodall(1995). "A Comparison of Multivariate Quality Control Charts for Individual Observations," to appear in the *Journal of Quality Technology*.
- [46] Tseng, S., and B. M. Adams(1994), "Monitoring Autocorrelated Processes with an Exponentially Weighted Moving Average Forecast," *Journal of Statistical Computation and Simulation*, Vol. 50.
- [47] Vander Weil, S., W. T. Tucker, F. W. Faltin, and N. Doganaksoy(1992). "Algorithmic Statistical Process Control: Concepts and an Application," *Technometrics*, Vol. 34.
- [48] Wardell, D. G., H. Moskowitz, and R. D. Plante(1994). "Run Length Distributions of Special-Cause Control Charts for Correlated Processes," *Technometrics*, Vol. 23.
- [49] Yourstone, S. a., and D. C. Montgomery(1989). "Development of a Real-Time Statistical Process-Control Alorithm." *Quality and Reliability Engineering International*, Vol. 5.
- [50] Zang, N. F., G. A. Stenback, and D. M. Wardrop(1990). "Interval Estimation of Process Capability Index c_{pk} " *Communications in Statistics-Theory and Methods*, Vol. 19. 능력

저 자 소 개

정 해 운: 공학박사, 오산대학 산업경영학과 교수