

SPC와 EPC 통합에 관한 조사연구

-AN INVESTIGATIVE STUDY ON THE COMBINING SPC AND EPC-

김 종 걸*

Jong-Gurl, Kim

정 해 운**

Hae-Woon, Jung

ABSTRACT

Engineering process control (EPC) is one of the techniques very widely used in process. EPC is based on control theory which aims at keeping the process on target. Statistical process control (SPC), also known as statistical process monitoring. The main purpose of SPC is to look for assignable causes (variability) in the process data. The combined SPC/EPC scheme is gaining recognition in the process industries where the process frequently experiences a drifting mean.

This paper aims to study the difference between SPC and EPC in simple terms and presents a case study that demonstrates successful integration of SPC and EPC for a product in drifting industry. Statistical process control (SPC) monitoring of the special causes of a process, along with engineering feedback control such as proportional-integral-derivative (PID) control, is a major tool for on-line quality improvement.

1. 서론

EPC(engineering process control) 와 SPC(statistical process control)를 통합하여 가피 원인 제거와 공정조정을 통해 효율적인 공정개선을 할 수 있다. SPC는 공정관리 시스템으로 가피 원인 제거에 목표를 두며, EPC는 공정품질 특성을 목표치에 일치시킬 목적으로 사용된다. EPC가 공정조정으로써 공정변동을 최소화한다면 SPC는 공정 이상원인의 발견을 통해 공정변동을 최소화하는 것이다. SPC 와 EPC 통합은 평균이 이동하는 공정에 유용하다. SPC로 공정 데이터에서 가피 원인을 쉽게 찾아 제거하는 것이다. 이 때 공정평균이나 분산의 변화로써 가피 원인이 감지된다. EPC는 목표에 대해 적정공정 변수를 유지하기 위해 산업 공정에 폭 넓게 적용되어 왔고 공정 제품의 감지 시스템으로 이용 될 수 있다. 공정변수의 자동상관관계 구조는 공정변화를 쉽게

*성균관대학교 시스템경영공학부 · **오산대학 공업경영과

감지하는 능력 때문에 엔지니어링에서 더 유용하다.

SPC 와 EPC의 이론적 접목에서는 선형시스템 이론의 전후 궤환 제어 또는 비례-적분-도함수(PID)의 의미와 결합시키고 통계학과와 산업공학에서는 관리도와 엔지니어링을 접목시킨다. SPC는 공정에서 탐지 신호로 사용되고 EPC는 엔지니어링 공정관리 또는 자동공정관리(APC)로써 공정조절 기술에 사용된다.

공정에서 통합시스템을 적용할 경우 이상원인을 탐지하는 경고신호 피드백 시스템에 의해 가피 원인이 발견되고 즉시 제거되어 산업공정에 효율적이다. SPC와 EPC의 성공적인 통합 조사연구는 몽고메리에 의해 소개된 전략과 전술의 알고리즘이 포함되며, 자동공정조절에 의한 최적 공정 목표를 달성하게된다.

이 논문에서는 SPC 와 EPC를 연계하여 공정탐지와 공정조절을 설명했다. 3장에서는 SPC/EPC 통합 시스템을 조사하고 두 시스템 사이의 관계를 논술했으며, SPC/EPC 특징을 비교하고 공정조절에 대하여 조사했다. 마지막으로 비례 -적분 -도함수 관리공정의 통합을 조사하고, 4장에서는 통합 관리 사례분석을 통하여 건강서비스산업의 통합조정 시스템의 일반원리가 세밀히 조사되었다. SPC/EPC 통합시스템은 미래에 향상된 공정을 약속하고 개선의 원인을 명확히 하며 쉽고 간편하여 적용성이 우수하다.

2. SPC 와 EPC의 연계성

2.1 공정제어 와 공정통제

변동의 감소는 모든 산업에서 수행되는 공정개선의 중요한 부분이다. SPC는 가피 원인을 발견하기 위한 관리도의 능력을 통하여 변동을 감소시키는 효과적인 도구이다. 이것을 통해 공정 변동에 영향을 미치는 가피 원인이 발견되고 제거되어 공정수행이 개선된다. SPC는 불연속 부품제조에 성공적으로 사용되었다. 이런 접근은 공정 조정과 통제에 기초한 것이며 취급변수는 목표(같거나, 목표 주위에 품질특성 변수를 최소화한다.)를 중심으로 공정 품질특성을 유지할 목적으로 조절된다. 이러한 공정조정 과 통제 기술은 EPC로 알려져 있다.

조절의 종류에는 통계적 관리 또는 피드백 또는 피드포워드 관리가 있다. SPC는 통계적 관리하의 공정에서만 적용되는 것이 아니고 목표 주변에 안정된 무작위 변동을 관찰하는 것을 의미한다. 더구나 SPC 는 공정이 관리상태 하에 있다고 가정한다. SPC 는 계속 진행하며 조절 없이 머무는 경향이 있다. 가피 원인을 확실히 제거한다면 운영자와 원료의 변동에 대한 차이에 기인하는 관리상태를 얻을 가능성이 있다.

어떤 산업에서는 조절장치를 통한 최선의 노력에도 불구하고 공정이 목표와 멀어질 것이다. 목표로부터 멀어지면 원료의 투입, 온도의 효과 등 또는 공정의 영향에 잘 알려져 있지 않은 것일 수도 있고 계속되는 변동과 같은 현상 때문에 발생할 수도 있다. EPC을 통한 공정통제는 공정품질특성 변화를 위한 방향까지 조절 할 수 있는 변동으로 가정 할 수 있다.

취급 변수를 이용하여 목표에 근접하는 공정품질특성을 유지하도록 하는 통제장치를

생각하자. 이때 개선된 절차를 제공하는 두 전략의 노력이 통합이다. 통합은 가피 원인 형태의 이상원인을 발견 할 수 있는 능력을 가지고 있는 EPC를 개발하도록 한다. 이런 배경 논의가, Box and Kramer(1992)[11], ; MacGregor(1987)[8] ; Vander Weil, Tucker, Faltin, and Doganaksoy(1992)[30] ; MacGregor and Harres(1990)[21] ; and Montgomery, Keats Runger, and Messina(1994)[23]에 의해 이루어졌다.

SPC는 품질개선을 위한 조직의 전략적 추진의 한 부분이고 톱-다운 방식을 사용하며, 매니지먼트에 의한 경영과 고도의-시계활동, 사람, 방법, 절차를 강조한다. EPC는 공정 엔지니어링 조직에서 더 전략적이며 초점을 공정에 둔다. SPC의 통계적 체제는 가설검정과 유사하고, EPC의 통계적 모수를 평가하는 동안 공정시스템에서 얼마나 많은 이상원인이 목표를 벗어나는가를 평가한다. 그리고 이상원인을 제거하기 위하여 조절을 한다. 이러한 두 절차의 목적은 변수의 감소이다. EPC는 공정투입 품질특성과 최종 품질특성으로 연결된 상세한 동적 모델이다. EPC 공정조절법칙은 목표 품질특성에 근접하도록 변동을 최소화하여야 한다. 외부적인 형태일 경우에는 동적 모델 체제 밖에서 이상원인이 발생 할 수 있다. 결과적으로 변수가 증가되기 때문에 EPC의 모형은 완전하지 못하다. 규격에서 SPC를 적용함으로써 가피 원인을 제거할 수 있다. EPC의 적용을 통하여 조정되고 조절되는 간단한 공정의 예와 EPC의 기본적 틀을 살펴본다. 이러한 예의 시스템은 Box(1991~1992)[10] 에 의해 논의되었다.

t시간에 공정품질 특성을 Y_t 로 가정하자. 그것은 목표 T에 접근되도록 Y_t 를 유지할 필요가 있다. 이런 공정은 취급변수 x 를 갖는다. 그리고 x 에서의 변화가 그 시기 내에서 y 에 관한 효과 모두를 생산한다.

$$\text{즉 } Y_{t+1} - T = gx_t \quad (1)$$

g 는 상수로서 프로세스 x 단위당 공정변화의 크기이며, 회귀계수와 같다.

g 는 x_t 에 대한 변화의 크기와 y_t 에 대한 변화의 크기에 관계가 된다.

만약 조절을 하지 않는다면 목표로부터 공정 변화 방향은

$$y_{t+1} - T = N_{t+1} \quad (2)$$

여기서 N_{t+1} 은 이상원인이다.

등식의 이상원인은 시계열 모델로 표현되며 종종 통합회귀 이동평균 모델(ARIMA)로 나타내기도 하는데 이 모델은 관리되지 않은 품질특성이 자동상관 관계에 있기 때문이다. 이러한 이상원인은 EWMA를 사용함으로써 추정 될 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{N}_{t+1} &= \hat{N}_t + \lambda(N_t - \hat{N}_t) \\ &= \hat{N}_t + \lambda e_t \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 $e_t = N_t - \hat{N}_t$ 는 t시기에 예측 오차이다. $0 < \lambda < 1$ 은 EWMA 가중치다. 이런 가정은 관리되지 않은 공정이 통합이동평균모델로 변화되는 것이다. 모수는 $\theta = 1 - \lambda$ 이다. 시간 t에서 조절된 공정은

$$y_{t+1} - T = N_{t+1} + gx_t \quad (4)$$

이 등식은 t+1시간에 목표와 품질특성간의 편차와 이상상태의 t시기에서 취급 변수 X_t 를 더한 것이다. 명확히 x_t 에서 이상상태가 없어지지만 N_{t+1} 은 t시기에 알려져 있지

않기 때문에 이상상태가 없어지지 않는다. 위에 공식을 이용함으로 \widehat{N}_{t+1} 로 N_{t+1} 을 예측한다.

$$y_{t+1} - T = N \widehat{N}_{t+1} + gx_t \quad (5)$$

$e_{t+1} = N_{t+1} + \widehat{N}_{t+1}$ 이다.

위의 식에서 $gx_t = -\widehat{N}_{t+1}$ 또는 $x_t = -(1/g)\widehat{N}_{t+1}$ 으로 놓으면 조절장치에서 이상원인이 제거된다. t+1 기간에서 목표로부터 품질특성의 편차는 $y_t - T = e_{t+1}$ 이고 e_{t+1} 은 $e_{t+1} = N_{t+1} + \widehat{N}_{t+1}$ 인 t시기에 예측 오차이다.

t시간에 취급변수에 의한 실제적 조절은.

$$x_t - x_{t-1} = -1/g (\widehat{N}_{t+1} - \widehat{N}_t) \quad (6)$$

$$\widehat{N}_{t+1} - \widehat{N}_t = \lambda(N_t - \widehat{N}_t) = \lambda e_t \quad \text{그리고} \quad e_{t+1} = y_t - T - N_t = \lambda(N_t - \widehat{N}_t) = \lambda e_t \quad e_t = y_t - T$$

일 때 등식의 조절은

$$X_t - X_{t-1} = -\lambda/g (y_t - T) \quad (7)$$

$$= -\lambda \times e_t/g$$

t시간에 취급변수는 t시간까지 조절된 합이다.

취급 변수를 t시간까지 맞추어 놓고 t 시간동안의 조절 모두를 합한다. 또는

$$\begin{aligned} X_t &= \sum_{j=1}^t (X_j - X_{j-1}) \\ &= -\lambda/g \sum_{j=1}^t e_j \end{aligned} \quad (8)$$

이러한 공정기술의 형태를 통합관리라고 한다. 이것은 이전 공정과 목표와의 차 그리고 현재 모든 가중치의 합과 취급변수의 수준을 같게 하는 피드백 관리기술이다.

처음의 식이 올바르다면 EWMA에 의해 랜덤오차로부터 N_t 가 완전히 예측된다. 이러한 관리는 목표 T부터 공정품질특성의 편차인 평균제곱오차를 최소화하는 의미로서 최적관리인 것이다.

3. SPC와 EPC의 통합시스템

3.1 SPC 와 EPC 의통합

SPC와 EPC 통합에서 공정 조절 과 통제의 변수에 대한 감소는 중요하다. 관리도가 목표에 적당한 변수 감소를 위한 최선의 방법은 아니지만 유동산업에서는 통합관리 기술 적용성이 좋다. 이는 변수의 감소와 이웃하는 변수사이의 자동상관관계에 의한 경향 때문이다.

엔지니어링 관리이론의 가정은 다음과 같다.

- (1) 공정에 대한 다음 관찰을 예측한다.
- (2) 공정 품질특성의 효과를 나타낼수 있는 어떤 변수를 가지고 있다.

(3) 관리변수의 효과를 알아야하고 이와 함께 적용하기 위한 관리 행동이 어느 정도 결정 될 수 있고, 그때 $t+1$ 시기에 공정의 품질특성 목표 값을 생산하는 t 시기에 취급 변수를 조절 할 수 있다. 통합은 동적인 공정을 이해 할 뿐 아니라, 품질특성과 관리변수 그리고 취급변수들 사이에 좋은 지식을 얻게된다. 여기서 취급 변수의 손쉬운 변경을 할 수 있어야 한다. 공정품질특성에서 변수는 매번의 관리활동으로 최소화된다.

통합시스템은 관리행동 또는 공정조절이 공정에 이상이 있다는 통계적 증거가 있을 때만 SPC 와 비교된다. 여기서 통계적 증거는 통상 관리한계 이탈점이다. 많은 공정에서 피드백 관리기술 형태의 관리도를 선택한다.

예를 들어, 차 운전 공정을 생각하자. 중앙 오른쪽차선에 차를 유지할 목적을 가지고 있다.(중앙 오른쪽차선 주위에 최소 변화량, 또는 동등하게). 운전자는 도로 앞을 쉽게 볼 수 있고, 거의 무시할 수 있는 시간에 공정조절(운전대 위치를 바르게 한다)을 할 수 있다. 결과적으로 운전자가 품질특성변동(차의 위치)과 취급변수(운전대조절), 사이에 관계를 안다면 운전자는 통계적 관리도(Shewart 관리도로 차를 몰거나 다른 운전자는 실험중인 차를 원하지 않는다)보다 차 의 위치를 관리하기 위하여 피드백관리 기술을 선택할 것이다.

다른 한편 가피 원인의 제거는 공정개선에 중요하지만 엔지니어링 공정관리는 공정에 영향이 있는 가피 원인을 확인하지 못한다. 모든 EPC 기술은 공정 이상에 반응한다. 결과적으로 공정에서 관리도가 통계적 공정관리(관리에 대응해서 ;관리행위는 엔지니어링 기술에 기초한다.)에 사용된다면 피드백 관리는 실제적인 개선에 사용된다.

어떤 사람들은 SPC 알고리즘으로 달성 할 수 있는 공정관리를 위하여 EPC 와 SPC 두 개의 시스템을 사용 할 것이다. Vander Weil et al.(1992).[30]

관리도는 관리오차(목표와 관리변수의 차이)나 취급변수로 연속적 조절을 해야한다. 관리 이탈 점은 관리오차가 크거나 기존 취급변수를 크게 변경해야 할 경우에 확인 되는 시점이다. 이 시점이 바로 가피 원인을 발견하는 좋은 시기이다.

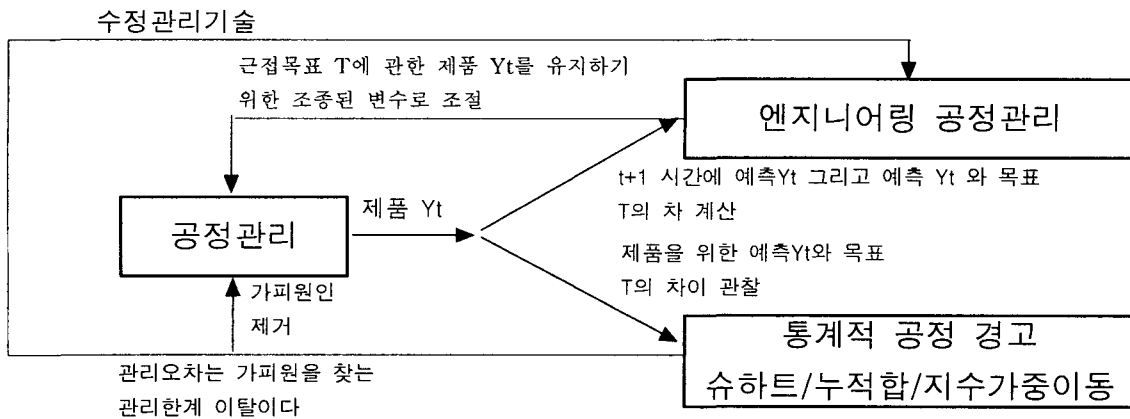
몽고메리는 엔지니어링 공정관리와 통계적 관리의 통합의 효과를 제시하였다. Montgomery et al. (1994)[23]

SPC는 통계적 공정 관리 시스템으로 공정 데이터에서 가피 원인을 발견하는 것이다. 가피 원인은 공정평균이나 분산의 변화를 통한 형태로 나타나고, 만일 가피 원인이 나타나게 되면 관리자들은 생산을 중지하고 가피 원인을 제거한다. 공정 관리의 목적을 위해 Shewart 관리도와 CUSUM, EWMA 관리도가 사용되었다.

EPC는 엔지니어링 공정관리로써 공정의 반제품이나 제품의 변화를 목표대로 운영하기 위한 경고시스템으로 사용되며 공정제품의 변화가 자동상관 구조인 경우에는 데이터를 빨리 포착할 수 있다. SPC와 EPC 통합 시스템은 평균이 이동하고 있는 공정에 요구되어 왔고 최적 목표에 도달 될 때까지 좀더 발전된 방법들이 반복된다. EPC는 예측품질변화 효과를 위해 사용되고 SPC는 가피 원인을 처리하기 위한 공정 모니터링으로써의 역할을 하게된다.

3.2 SPC 와 EPC 사이에 관계

EPC는 목표에 대한 공정을 유지하기 위한 관리이론에 기초한다. 공정제품의 효과를 위하여, 조정될 수 있는 공정에서 어떤 다른 변수를 확인하고 다음관찰의 예측을 포함하며 이러한 조정변수의 효과를 기초로 시간 t에 관리 활동을 적용하고 t+1 시간에 발생하는 이상원인의 예측을 포함한다. 동적공정과 조정변수 사이의 관계 그리고 제품변수가 이런 일에 필수적으로 적용된다. SPC와 EPC의 통합을 위한 관계가 <그림1>과 같다.



<그림1> SPC와 EPC 사이의 관계(몽고메리,1991)

3.3 SPC와 EPC의 비교

Mesina(1992)[22]는 SPC와 EPC의 차이를 <표1>과 같이 나타내었다. <표1>에 기초한 두 방법의 비교는 SPC와 EPC의 일반적인 접근법과는 다른 형태로 <표1>에 나타내어 두 방법론을 비교했다. 더구나 MacGregor(1998)[19]는 통계적 관리이론과 이 두 영역의 연결을 제안했다.

<표>1. SPC와 EPC의 비교(Messinal1992)[22]

	SPC	EPC
기본개념	공정 이상원인 발견에 의한 공정 변동의 최소화	공정조정에 의한 공정변동 최소화
적용	정지된 공정에 예측	연속 공정의 예측
수준		
전개	전략적	전술적
목표	품질특성	공정 모수
기능	이상의 발견	조정점 탐지
비용	크다	무시할 수 있음
초점	사람과 방법	장비
상관관계	없음	낮은 데서 높은 데까지
결과	공정개선	공정의 최적화

개업방법에 관한 중요한 관련 문제를 경험한 Evams와 Limdsay가 설명하는 데밍의 깔대기 실험 결과가 SPC와 EPC의 관점이다. MacGregor(1990)[20]는 수정된 깔대기 실험(rule#2)이 공정 경고와 관리를 위해 효과적으로 사용할 수 있다는 것을 보여주었다. Astrom과 Wittenmarky(1984)[1]는 엔지니어링 공정관리를 적용하는 것으로써 통계적 관리에 대한 설명을 구체적으로 제시하였다. 통계적 관리시스템의 공정역학이나 이상적인 모델이 필요하다. 자동 데이터와 측정과 분석으로 인한 지연은 관리 전략에 통합된다. 통계적 관리는 공정에서 요구하는 모델인 SPC와 다르다.

보통의 모델은 Box, Jenkins와 Reinsel(1994)[13]이 묘사한 변형된 기능모델이다. 이러한 결정모델은 공정의 통계적 이상을 생각하는데 실패한 후 공정역학을 충분히 나타내지 못하고 있다. 자동상관, 통합, 이동평균 시계열모델(ARIMA)은 통계적 이상에 사용될 수 있다. 통합과 통계적 요소는 SPC/EPC 관리기술을 형성하는데 필요하다.

MacGregor(1988)[19]는 관리활동 비용이 들지않는 정지상태공정과 최적으로 관리할 수 있는 SPC 차트 방법을 보여주었다. 관리활동과 관련된 비용이 없고 공정역학이 존재한다면, 그때 분리된 통합적 관리이론은 최적 품질관리로 접근된다.

SPC와 EPC 통합은 Montgomery, Keats, Runger, 그리고 Mesima(1994)[23]가 보여준 것처럼 변수를 감소시킨다. 그들은 공정평균의 이동이나 유동 하에서, 그리고 가피 원인 변화에 대한 탐지 하에서는 EPC를 사용할 때가 SPC 시스템을 사용할 때보다 우수하다는 것을 시뮬레이션을 통해 제시되었다.

3.4 공정 조절

품질 개척자들은 공정을 조절할 필요가 있었다. 유사한 감시장치(예, Schewhart 관리도 등)들은 목적에 대해 타당하지 않거나 비효과적이다. 그러나 EPC로부터 얻은 간단한 원리들은 바로 이용하는 것이 가능하다. 특히 이산적으로 균형잡히고 완전한 PI (Proportional-Integral) 관리의 사용에 피드백 조절의 원리들은 쉽게 이해되고 적용되는 방식으로 표현이 가능하다.(Box 1991)[9]

수동식 관리를 사용한다면, PI(비례-적분) 조절은 유사한 관리도보다 사용하는데 어려움이 없는 피드백 관리도와 같은 효과를 가질 수 있다. 특히, 이산적 PI 관리는 손실의 효율성이 적은 것을 원래 상태로 고치는 것이 가능하다. 보다 복잡한 최적 설계들은 조정변수의 조작을 최소화하기 위해서 사용된다. (Box and Luceno1995) [14]

자동적 조절이 이루어지지 않을 때는 각각의 피드백 관리 조절에 있어서 빈번하게 고정비용이 발생된다. 이러한 경우, 각각의 문제점을 조절하는 것이 경제적이지 않을 때가 있지만, 비용을 최소화하는 피드백 관리에 대한 합리적 가정에서는 경계선을 가진 조절 관리도를 사용하는 것이 바람직하다. 공정 변동에 대한 EWMA는 감지할 수 없는 구역의 경계 바깥쪽에서 적용될 때마다 조절 할 것을 요구받는다. 게다가 샘플링 비율은 샘플링과 검사의 비용 때문에 바뀐다. 표와 관리도를 잘못 사용하는 것은 세 가지 비용, 즉, 1. 목표이탈비용, 2. 조절을 만드는 비용, 3. 샘플링과 검사비용의 합을 최소화하기 위한 것이다. (이러한 경계선 조절설계의 조율을 위한 것은 Box와 Kramer

(1992)[11]에 의해 연구되었다.)

왜냐하면 이러한 비용은 항상 직관적으로 쉽게 판단되지 않는다. 평균제곱오차(Mean Square Error)의 산출을 위해서 똑같은 설계로 변수화되고, 평균조절간격과 샘플링 횟수를 제시하였다.(Box and Luceno 1994)[12] 부가적인 경계선을 가진 조절 설계를 사용한 EWMA는 Baxley(1991[4], 1994[5])에 의해서 이루어졌다. 이것은 주어진 조절 빈도에 대한 관리오차의 분산을 최소화하기 위한 것이다. 그리고 경계선을 가진 관리도의 적용이 성공적임을 보여 주고 있다.

불행하게도 Shewhart 관리도는 공정 조절에 많이 쓰인다. Shewhart 관리도는 ‘관리 상태’ 귀무가설만을 테스트할 수 있고, 변동의 크기를 측정할 수 없기 때문에 피드백 관리상에서 사용할 경우 부적절한 시기와 규모를, 더 나아가 공정에서 불필요한 부가적인 편차의 변화를 초래한다.

Baxley는 수정된 Shewhart 관리도로 실제 실험을 문서화했으며, 한계선을 가진 조절 관리도와 관련된 것과 비교한 시뮬레이션 연구의 결과를 제시하였다.

(Baxley,1994)[10]

3.5 PID 관리공정의 통합관리

PID(비례-통합-도함수) 관리와 같은 엔지니어링 피드백 관리와 공정 이상원인을 관리하는 SPC는 온라인 품질 개선의 주요한 도구이다. PID 관리공정의 통합관리가 제안된 SPC의 변형과 PID로 관리되는 품질특성의 조정 변수로 연결하여 관리하는 전략이다. 이는 안정과 이상원인의 모델 때문에 취해진 상세한 설계의 절차이다. 이때 공정 품질특성과 취급 투입변수를 생각할 수 있다. 자동 상관관계와 교차 상관관계를 취급하고, 공정모델의 모수를 취급하는 것은 중요하지만, 여기에서는 공정모델과 PID 관리기술에 더욱 비중을 두고 있다.

3.5.1 공정모델과 PID 공정기술

피드백 관리하에서의 공정을 생각해보자. 목표값이 제로라고 가정할 때, 공정품질의 특성 e_t 는 목표로부터의 편차이다. e_t 는 공정 활동으로부터 품질특성 Y_t 와 공정 이상 D_t 인 두 요소의 합이다. x_t 는 초기 투입 품질특성이 제로라고 가정할 때, 관리행동으로 나타난다. 본 논문에서는 $Y_t = y_{t-1}$ 을 공정 품질특성을 위한 동적인 모델로 생각한다. 대개 런-투-런(RTR)을 적용할 수 있는 제조공정에 (Del Castillo and Hurwitz (1997))[16] 합리적이다. 관리활동은 직접적으로 하나의 런에서 공정 품질특성에 대한 충분한 효과를 갖는다.

품질특성 e_t 는

$$e_t = y_t + D_t = x_{t-1} + D_t \quad (9)$$

D_t 는 안정점(Stationary), ARMA (1.1) 이상공정으로

$$D_t = \phi D_{t-1} + a_t - \theta a_{t-1} \quad (10)$$

$|\phi| < 1, |\theta| < 1$. 그리고 a_t 는 백색소음으로 나타난다. 본 논문의 결과는 다른 모델로 확장된다. 예로써 ϕ 가 1에 접근할 때, D_t 는 IMA(0, 1, 1) 모델에 접근한다. IMA(0, 1, 1) 공정 관리는 Vander Wiel(1996)[31]에 의해 자세히 조사되었다. 그는 예측오차 평균과 관리품질특성에 플롯된 이동의 공정결과에서 평균이동을 발견하였다. 처음으로 평균이 공정수준과 같은 양까지 이동한다. 후에 평균이 예측으로써 제로까지 기하학적으로 감소하거나 전복으로 관리가 회복된다. 편의성을 위하여 ARMA(1, 1) 이상공정을 제한한다.

산업 실무에서 PID 관리를 가장 많이 사용하고, Astrom(1988)[2] 공정에서 이용할 수 있는 유일한 피드백 관리로 다음과 같이 나타낸다.

$$X_t = -k_p e_t - k_I \sum_{j=0}^{\infty} e_{t-j} - k_D (e_t - e_{t-1}), \quad (11)$$

k_p, k_I 그리고 k_D 는 상수이다. 어떤 상황에서는 세 개 모두 활동에 하나 또는 두 개를 사용한다. 예로써 통합(I) 관리라고 하는 제로까지를 위한 k_p, k_D 을 놓을 수 있다. 또한 EWMA 관리는 폭넓게 연구되어져 오고 있다.

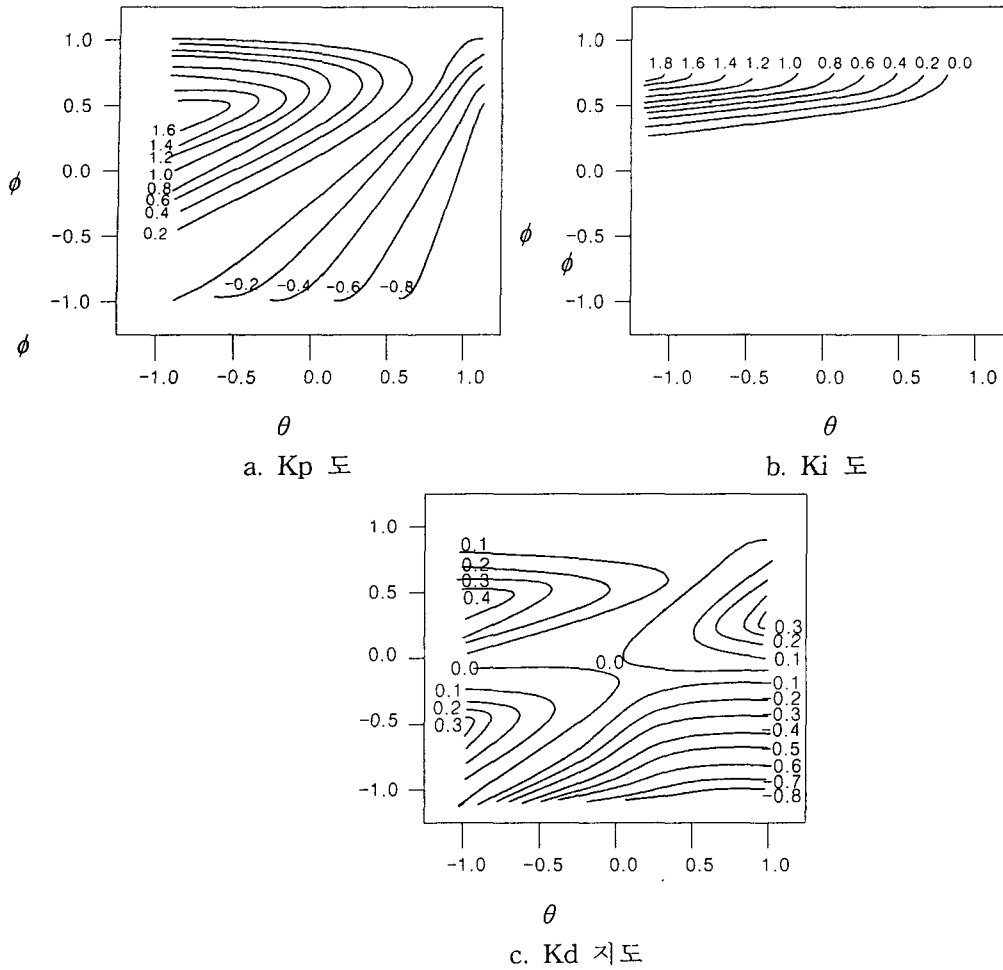
우리는 비례-통합-관리(PI)를 선택하는 제로까지에 k_D 를 놓을 수 있다.(Tsung, Wu, and Mair(1998)[28])

이 논문에서 PID 관리는 취급되는 공정 투입 품질특성까지 공정 이상으로 인한 공정 분산을 최소화하기 위해 사용된다.

이러한 평가기준에 기초하여 PID 관리모수는 $-k_p, k_I$, 그리고 k_D 를 Tsung and shi(1998)[27]가 취급한 <그림1>로부터 선택할 수 있다.

<그림 2>에서 PID 모수의 영역은 k_p 그리고 제로 또는 k_I 에 제로가 아닌 값의 신호에 따라 나누어진다. 구역 A는 양에 k_p 와 제로가 아닌 k_I 로 구분되고, 구역 B는 양에 k_p 와 제로 k_I 로 구분되고, 그리고 구역 C는 부의 k_p 와 제로 k_I 로 구분된다. 이러한 구역은 제안된 수행을 묘사하고 설명하기 위해 사용된다.

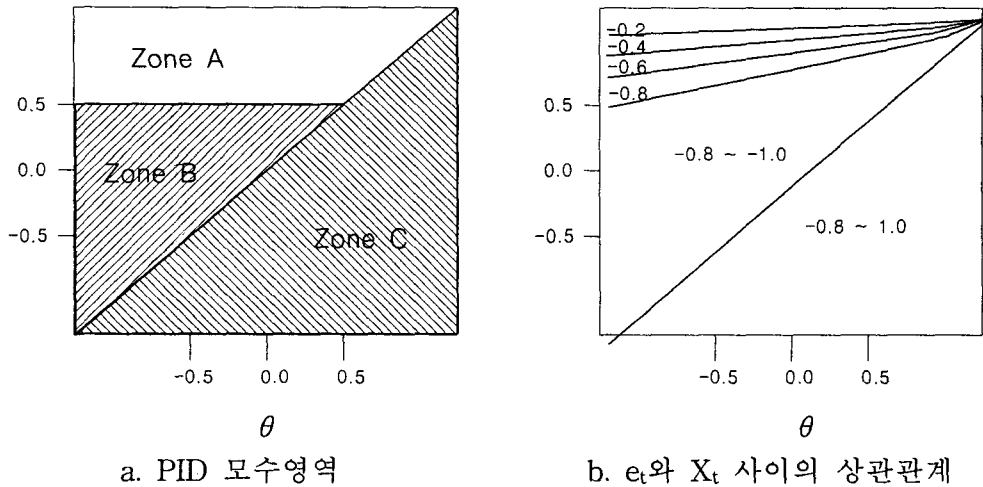
<그림 2> (a)는 k_p 신호가 피드백 관리수행뿐만 아니라 SPC 관리수행까지도 영향을 줄 수 있다. 이러한 효과에 설명은 음에 비율 k_p 관리가 양의 k_p 관리보다 큰 진동에 폭을 낳는다. 그러므로 발견하는 힘이 증가한다.



<그림 2> ARMA(1, 1) 이상공정을 위한 PID 설계도

SPC 관리수행 역시 ϕ 제로가 아닌 k_I 값이 다양하다. 다양한 SPC 관리수행은 평균이동 공정관리의 관리이론이 알려져 있다. 관리된 품질특성의 평균은 단기간에 제로로 돌아갈 것이다. (Franklin, Powell, and Emami-Naeini(1986)[17] 그러므로 SPC 관리는 다양한 SPC 관리 수행(k_I 값)이 단기간 목표를 못 맞춘다면 효과적이지 아니다. 더구나 k_D 의 값과 관찰과의 차이를 위한 SPC 수행은 중요하지 않다. <그림 2> (b)는 e_t 와 Y_t 의 차에 구역에서 다른 상관관계 패턴을 보여준다.

<그림 3>의 경우 A 영역에서 상관관계의 등급이 더 적게 얻어진다. ϕ 는 제로에서 1로 접근한다. B의 구역에서 상관관계는 -0.8과 -0.1사이에 있다. PID 모수값과 교차 상관관계 패턴은 개별적 관리하에서 연결관리로서 개선된 수행에 중요한 영향을 있음을 보여준다.



<그림 3> ARMA (1, 1) 이상공정과 e_t 와 X_t 사이에 교차 상관관계를 위한 PID 모수 구역

‘공정관리’라는 말은 공학과 과학 집단에서 명확한 의미를 갖지 않으며, 과학 교육의 다양한 형태에 노출된 사람들 사이에서 의사소통에 실패를 유발한다. 그것은 전자공학, 기계공학, 화학공학 같은 영역의 배경에서 그 말을 선형 시스템 이론의 프레임 워크에서 피드포워드-피드백 제어 또는 비례-통합-도함수(PID)의 의미와 결합시키고, 한편으로 통계학과 산업공학에서 관리도와 엔지니어링을 결합시킨다.

이러한 상황에 비추어볼 때 요즘은 공학적 공정관리(EPC)와 통계적 공정관리(SPC)의 영역을 구별하는 것이 일반적이다. 원칙적으로 EPC와 SPC의 목적은 같다. (즉, 모든 적정 수준을 작은 변동으로 목표에 도달하게 하는 경우) EPC와 SPC가 이런 목표를 달성하기 위한 다른 전략을 제시하는 까닭은 이러한 두 영역에서 전통적으로 널리 쓰이는 모델이 다르기 때문이다.

여러 공학 시스템에서 관리상태 작용뿐만 아니라, 고장나는 방식(즉, 제어 활동이 취해지지 않으면 발생하는 사건들)을 묘사하는 것이 가능하다. 관리도의 공정평균은 주어진 확률에 의해 제어되고 각 관측 이후나 각 관측 데이터에 의해 결정되는 지점에서 채택되어 지속적인 활동을 한다.

이러한 활동은 일반적으로 수식으로 표현될 수 있으며 자동 조절기나 비슷한 도구의 의해 실행된다. 이러한 프레임 워크에서 제품 분산이나 유사 손실함수의 관점에서 관리의 질을 측정하는 것은 자연스러운 일이다. 따라서, 이런 관리 유형은 PID 관리도와 같은 도구나 더 간단한 EWMA 절차를 사용함으로써 달성된다.

다른 한편으로, SPC의 전통적인 적용법에서는 공정 평균과 분산이 안정적인 정상 상태를 가정하지만, 평균이나 분산, 전체의 돌발적인 변동은 알 수 없는 순간에 일어날 수 있다. 정상 상태에서는 공정 변화가 일반적인 요인이나 감쇠하기 불가능하거나 너무 비용이 많이 들어 감쇠할 수 없는 효과에 의해 발생하고, 공정평균에서 변동의 증가나 바람직하지 않은 변화는 특별요인 때문이라고 가정한다. 그러므로 관리의 주요 목표는 신속한 탐지와 그런 특별요인의 제거를 통해서 관리되고 조정효과로 성취된다.

이러한 목표 달성을 위해 사용되는 주요한 도구는 관리도이며, 그 사용은 진단 시스템, 문제-처리안내, 데이터 분석과 결합된다. 이러한 환경에서 관리도의 품질은 ARL의 양, 능력지표 또는 학습곡선으로 측정된다.

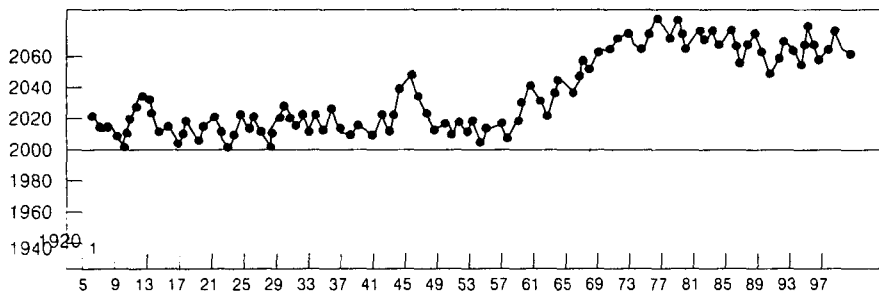
요약하면, 다음의 경우는 모든 통계학의 모든 실제적인 적용법에서 일반적이다. 조사된 데이터의 각각의 모델에는 각각 다른 도구가 필요하다. 특히, 잘 규정된 (혹시 원래 불안정하더라도) 통계 시스템을 관리하는데 적합한 도구들은 예상치 못한 변동일 경우에도 공정 문제에 대해 부적절하다.

시스템을 표현하는 모델이 갑작스런 변동뿐만 아니라 명확히 상술된 통계적 행위를 포함한다면, EPC와 SPC 도구는 서로 증보(참고, Box와 Kramer(1992)[11])할 수 있다.

4. 통합시스템의 적용분석

4.1 통합관리

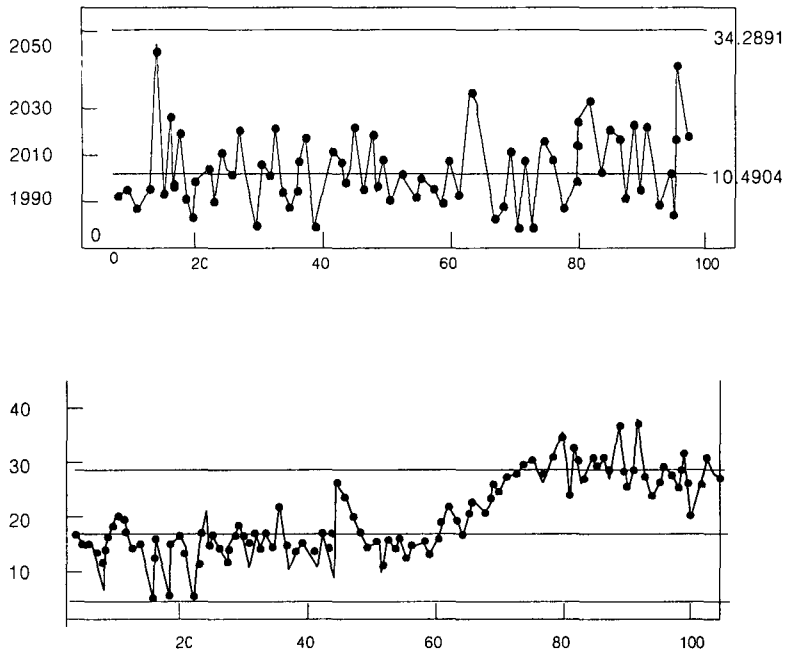
<그림 4>에서 4시간마다 취한 중합체 평균분자무게 수에 대한 100개의 관찰을 보여 준다.



<그림 4> 중합체 분자무게, 목표치 T=2000 (비관리공정)

목표값 T=2000이 되도록 분자 무게를 유지하려고 한다. 통계적 관리 상태와 공정이 되도록 최선의 노력에도 불구하고 분자무게가 방황하는 경향에 유의해야 한다. 개별적이고 이동범위 관리도는 <그림 5>에서 공정의 통계적 안정의 결핍을 나타낸다.

개별적인 엔지니어 차트에서 목표값(T)으로 2000을 사용하고 있다. 이런 100개의 관측치에서 분자 무게의 표본평균은 $\bar{X}=2008$ 이고, 표준편차는 $S=19.4$ 이다. 이러한 공정에서 재료공급창고가 관리되고 있지 않으면 분자무게 변화는 혼란과 무지를 야기시킨다. 그러나 그 공정은 촉매를 조절함으로 관리될 수 있다. 공급율을 조절시킴으로서 한 시기 내에 분자무게의 변화에 영향을 준다. 이것은 통합관리 절차에서 중요하게 논의 되고 평가되어진다. 이 시스템에서 g 는 1.2:1로 가정하고 분자 무게는 공급율을 1.2단위 까지 증가시킨다. 2예에서 조절공정은 $Y_t - 2000 = N_{t+1} + 1.2X_t$, $\lambda=0.2$ 를 갖는 EWMA에서 이상점이 예측 될 것이다.



<그림5> 개별적인 중합체 분자 무게 데이터에 적용하기 위한 이동범위를 위한 관리도

$$\begin{aligned}
 \text{그러므로 } \hat{N}_{t+1} &= \hat{N}_t + \lambda e_t \\
 &= N_t + 0.2(N_t - \hat{N}_t) \\
 &= 0.2N_t + 0.8 \hat{N}_t \\
 &= 0.2(Y_t - 2000) + 0.8 \hat{N}_t
 \end{aligned}$$

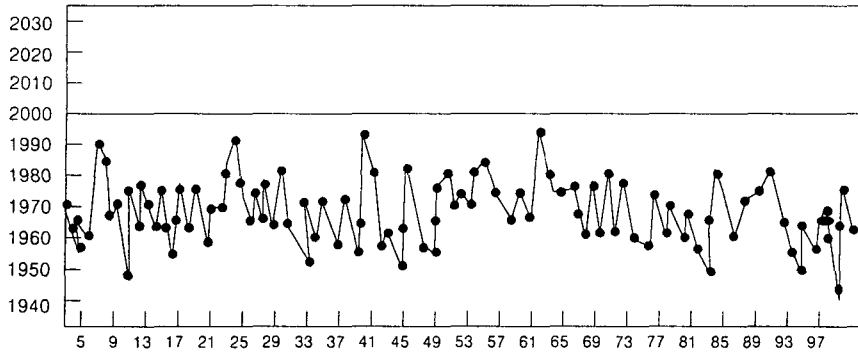
결과적으로, t시기 말에 촉매 공급율을 배치하면 다음과 같다.

$$gX_t = -\hat{N}_{t+1}$$

촉매공급율을 위한 조절은

$$\begin{aligned}
 X_t - X_{t-1} &= -\lambda/g (y_t - 2000) \\
 &= -.02/1.2(y_t - 2000) \\
 &= -1/6(y_t - 2000)
 \end{aligned}$$

<그림6>에서와 같이 조절 후에 분자무게의 값은 촉매 공급율을 결정한다. 그 공정은 목표 값 2000에 더 접근하게 된다. 100개의 관측치에서 표본평균 분자무게는 20이다. 그리고 통합관리도의 사용에서 거의 50퍼센트까지 감소된 공정 변수를 갖는다.



<그림6> 조절 후의 분자 무게 값

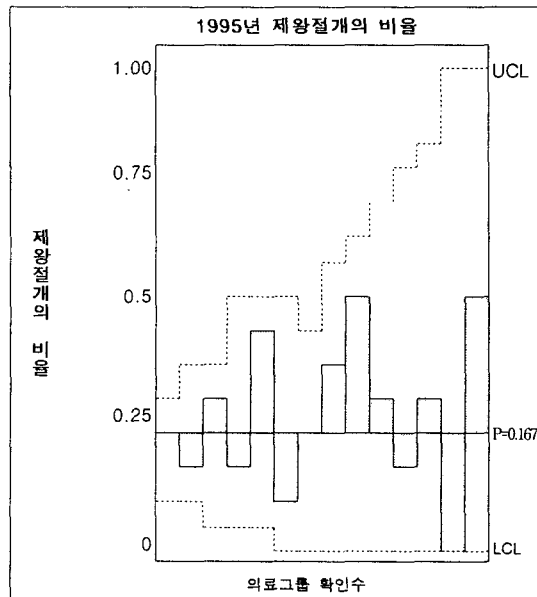
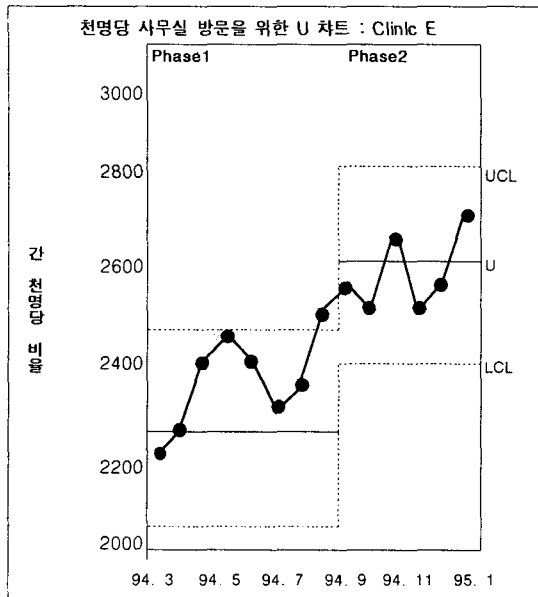
4.2 통합시스템의 새로운 연구영역

기존의 임원들에게 어떤 질문을한다면 슈하르트의 기본 작업과 같은 고전적인 관리도 방법을 이용해야 한다. 기존 그룹에 의한 답은 중요한 간행물의 깊이와 관리도 적용의 효과이며, 관리도의 경쟁적인 간행물과 연결된다. 미국의 건강서비스산업 보다 더 정확한 간행물은 없다. 여기에서 관리도 방법을 깊이 논의할 가치가 있다. 건강 서비스 산업은 인두세, 비용감소, 경쟁, 건강서비스 표준, 변화에 직면 할 때 환자의 향상 결과를 토대로 해서 운영된다. 품질의 측정은 환자의 서비스상태 유지와 건강 서비스에 대한 관리개선이다. 병원과 네트워크 계약으로 이어질 수 있다. 환자의 만족수준을 증명할수 있을 때 측정 가능하다.

보건당국(The Joint Commission on Accreditation of Healthca Organization : JCAHO)은 조직수행을 개선하기위해 병원에 요청하고, 환자의 만족은 측정수준의 1/9에 해당된다.

건강자료와 정보흐름(The Healthplan Employer Data and Information Set : HEDIS)은 품질보증을 위한 국제 위원회에 의해 개발되었다. 환자의 만족 상태를 표시함으로써, 소비자의 선택을 도와 줄수 있도록 설계되었고 고용인은 간호계획의 수행을 비교할 수 있다. 결과적으로 건강 서비스 관리자와 전문가는 지속적인 품질개선 프로그램을 수행하게 한다(CQI: Continuous Quality Improvement). 그들은 데밍의 접근방법을 연구하여 SPC방법을 적용한다. 속성을 위한 관리도는 우세한 데이터로 나타낸다.

<그림7>은 진료소에 의해 매달 진료하는 병원의 방문객율로 구축된 차트이다. 각 달의 차트 비율은 방문객 수를 2달간(연간 1000멤버로 나타낸다)의 회원수로 나눔으로 계산된다. 방문객의 수는 제조업에서 사용되는 차트 결점 수와 비슷하고 그 달의 회원은 검사단위(양측은 사건발생의 기회를 측정한다)의 수와 비슷하다. 관리한계의 2쌍은 시스템의 변경 때문에 <그림7>에 나타나있고, 사무실 방문 평균비율에서 변화의 결과로서, 1994년 9월에 발생된 것이다.



<그림7>사무실 방문객 비율을 위한 u 차트 <그림8>제왕절개 비율을 위한 평균분석

의료 서비스 제공자들은 적십자 의료 그룹들과 병원 2그룹들을 계속적으로 비교해야만 한다. 그들은 평균분석(ANOM: analysis of means), 종합 슈하르트 차트, 데이터의 속성 등을 적용해야한다(ANOM은 1980년초 이래 제조업에서 무작위로 받아들여졌고, 속성 데이터를 위한 ANOM의 사례로 사용된 것이 거의 없다; (Ramig(1983)[21]에 의한 기사하나를 제외하고는 그렇다)

<그림8>은 제왕절개 비율의 ANOM 결과를 나타낸 것으로서 1995년 동안에 29개의 의료그룹을 비교한 것이다. 각 그룹에서 타점의 값은 제왕절개로 출산의 수이다. 결정 한계는 $\alpha=0.05$ 의 유의 수준과 일치한다. Rodriguez(1996)[25]

<그림7>와 그림8의 차트에서 SPC와 EPC의 통합조정 시스템의 일반적인 기초원리가 세워졌고, 건강 서비스산업 적용에서도 좋은 고려사항이 된다. 우선, 측정과 계산에서 자주 발생하는 문제가 무엇인지를 찾아야 한다. 그렇지 않으면 총 계산 데이터처리나 비교를 위해서 적십자 그룹에서 할 수 있는 방법처럼 적당한 기회의 측정을 결정하는 것이 어렵다. 비교하는 비율, 다른 위치에서 수집, 다른 사람에 의한 다른 보고 시스템 등 통계적인 오용이 발생될 수 있다.

통계를 비교하는 효과는 병원에서 빠른절차로 관상동맥수술을 하여 살아남는 비율과 같은 것이다. 광고에 이런 정보를 사용함으로써 문제가 시작된다. 드디어 Benneyan and Kaminsky(1995)[7]에 의해 발탁되었다. 여기서 진정한 품질개선(제조업 적용에서 발생하는 관리도 오용 같은 것이 아닌)보다는 “레포트 카드”로 경영이나 산업에서 관리 차트를 사용하는 경향이 있다. 교육학회 내에서 공식적이고 연속적인 품질개선과, 품질진척은 품질도구의 적용을 위한 새로운 개척으로 나타난다. 건강서비스 산업의 뒤안길 5년은 품질을 평가하는데 어려움이 많았는데 건강서비스 협회도 비슷하였다. 전통적인 관리도와 현재 관리도 사용은 정보를 사용하고 대부분의 교육협회 내에서 사용

되는 방법을 변경하여 나타난다. 여기에서 기술혁신은 전통적인 관리도에서 나온다. 더 정교한 교육영역 내에서 품질의 선도적 발달로서 그리고 혁신적 관리도 결과가 될 것이다.

혁신적 관리도는 효과적인 모니터링 공정과 공정변경의 확인과 그것의 효과를 위한 막대한 양의 데이터 수집으로부터 변화를 만들기 위한 교육학회의 단적인 어려움이 있다. 교육학회는 교수의 가르치는 일, 서점에서 돌아서는 사람 수, 매 달 처리되는 여행자수, 신입생의 수와 같은 일상적인 정보를 모은다. 이런 변수들은 거의 타점 되지도 않고 관리한계에 포함되지도 않는다.

“무엇을 측정하는가” “그것을 어떻게 측정하는가”

최적 결론에 이르러서 선구자적인 품질을 배울 필요가 있다.

4.3 새로운 적용을 위한 수단

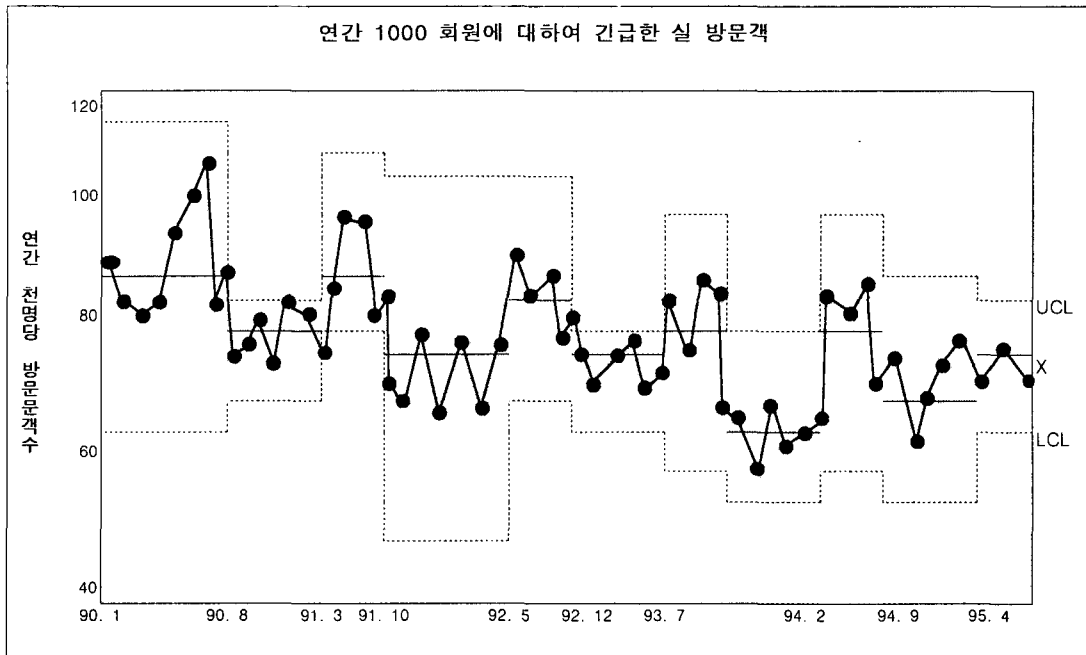
그룹3을 위한 주요한 장애물 중에 하나는 통계적 훈련과 영역의 명확한 예와 사례연구의 결핍이다. 역사적 이유에서, 건강 서비스와 같은 영역은 통계적 품질개선에 관한 전통적인 교과서에 나타나지 않고 관리도 방법의 사용을 생각하는 이런 영역의 전문가들에 의해서 이용될 수 있는 수단이다.

최근에 건강 서비스의 적용을 위한 “통계적 품질개선”, 그리고 “통계적 공정관리”에 관한 조합을 위한 확장된 온라인 연구가 수행되었다. 그 연구는 총 75부 이하의 간행물로 발행되었고 건강 서비스 분야의 임원들에 의해 저술되었다. 건강 서비스산업은 자주 간행물로 발간되거나 논의에 붙여졌다. 초기의 건강서비스 산업은 통계적 전문가에 의해서 가치가 확립 되었다. Balestracci and Barlow(1994)[3] Bemmeyan(1995)[6] Bemmeyan and Kaiminsky(1995)[7] Berwick, Godfrey, and Roessner(1991)[8] and Spoeri(1991)[26].

그룹3을 통하여 관리도 방법의 새로운 적용이 불충분하게 나타났다. 이러한 그룹은 훈련과 상담으로 그룹이 제공하는 가장 강력한 위치에 있다. 그룹3이 새로운 영역에서 관리도의 공헌된 항목이고 최신정보이다. 이항분포와 포아송분포 모델을 사용할 것인지 건강 서비스에서 추출된 데이터에서 결정된다. (어떤 경우에는, 최소한도의 효과로 나타나는 비율을 위한 개인적인 측정차트)

이러한 영역에서 적용을 위한 연속적인 평균을 분석하여 결론의 추가적인 방법에 대한 요구가 나타날 것이다. 시계열적으로 응급실을 찾은 방문객수에 대한 관리도가 <그림9>에 나타나있다. Rodriguez(1996)[25]. 여기서, 정확한 관리 한계는 따뜻한 날씨에 응급실을 찾는 비율이 더 높은지 알기 위해 조절된다. 게다가, 계절적인 조건과 예측을 위해 방법을 조절함으로써 유용하게 사용될 수 있다. 데이터가 짧은 간격으로 수집된 것이 전통적인 관리도에서 문제시 된적은 거의 없다.

건강서비스 적용은 장기간 유지되는 관리도에 유일한 영역만은 아니다. 이러한 자동의 산업, 예로서 관리도는 달이나 년에 기초한 소비자가 만족하는 데이터나 결점을 추적하는데 사용된다.



<그림9>. 응급실 방문자

5. 결론

변수의 감소는 공정개선에 중요하다. SPC는 가피 원인을 발견하기 위해 관리도의 능력을 통하여 이상 원인을 감소시킨다. 목표에 대한 품질특성을 유지할 목적으로 사용되는 공정조정과 통제기술이 EPC이다. 조절의 종류에는 통계적 관리와 피드백 관리가 있다. 두 전략을 통합하려는 노력으로 가피 원인과 이상원인을 발견할 수 있는 EPC의 능력을 향상시킨다.

SPC와 EPC의 피드백 시스템에서 다른점이 밝혀지고 EPC에서는 $t+1$ 시간에 예측 (Y_t) 그리고 예측 Y_t 와 목표(T)의 차이가 계산된다. 그리고 품질특성에 근접목표 T 로 예측 품질특성 Y_t 을 유지하기 위하여 변수가 조절되고 조절된 변수가 공정관리시스템에 투입되어 예측 품질특성 Y_t 로써 엔지니어링 공정관리와 통계적 공정관리를 돕는다. 이때 통계적 공정관리는 가피 원인을 제거하여 공정관리시스템에 도움을 주고 이러한 피드백 시스템을 반복적으로 수행한다. 이것은 통합에서 공정개선의 효과를 좋게 한다. SPC와 EPC의 접목에서 관리도와 엔지니어링을 결합시키며 서로 보증 할 수 있다. PID(비례-적분-도함수) 관리공정의 연결관리는 엔지니어링 피드백 관리와 공정이상 원인을 관리하는 온라인 품질개선에 중요한 도구이다. 통합시스템의 사례분석에서 목표 값을 유지하려는 통합관리의 예를 제시하였고 통합시스템의 새로운 개척에서는 이론적 관리도 방법으로 시계열적으로 변하는 경향이 있을 경우에 적용한 건강 서비스산업의 사례의 자동상관 관계에 의해 미래를 예측 할 수 있다. SPC/EPC 통합시스템은 적용이 쉽고 좋은 효과를 갖는 공정관리 시스템으로 정착 될 수 있다.

References

- [1] Astrom, K.J. and Wittenmark, B. (1984). Computer Controlled Systems: Theory and Design. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- [2] ASTROM, K. J. (1998). Automatic Tuning of PID Controllers. Instrument Society of America, Research Triangle Park, NC.
- [3] BALESTRACCI, D. and BARLOW, J.L. (1994), Quality Improvement : Practical Applications for Medical Group Practice. Center for Research in Ambulatory Health Care Administration, Englewood, CO.
- [4] BAXLEY, R.V., JR. (1991), "A Simulation Study of Statistical Process Control Algorithms for Drafting Processes" in Statistical Process Control in Manufacturing edited by J.B. Keats and D.C. Montgomery. Marcel Dekker, New York, NY, pp.247-297
- [5] BAXLEY, R.V., JR.(1994). "Applications of the EWMA for Algorithmic Statistical Process Control", Quality Engineering 7, pp.397-418
- [6] BENNEYAN, J. (1995), "Applications of Statistical Process Control(SPC) to Improve Health Care", Conference Presentation, Healthcare Information and Management Systems Society, Chicago, IL, <http://www.himss.org>.
- [7] BENNEYAN, J. and KAMINSKY, F.C. (1995), "Another View on How to Measure Health Care Quality", Quality Process 28(2), pp.120-124
- [8] BERWICK, D.M. ; GODFREY, A.B. ; and ROESSNER, J. (1990), Curing Health Care, Jossey-Bass, San Francisco, CA.
- [9] BOX, G.E.P. (1991a), "Feedback Control by Manual Adjustment", Quality Engineering 4, pp.143-151.
- [10] Box, G.E.P. (1991-1992). "Feedback Control by Manual Adjustment ," Quality Engineering, Vol.4.
- [11] BOX, G.E.P. and KRAMER, T. (1992), "Statistical Process Control and Feedback Adjustment - A Discussion", Technometrics 34, pp.251-285.
- [12] BOX, G.E.P. and LUCENO, A. (1994), "Selection of Sampling Interval and Action Limit for Discrete Feedback Adjustment", Technometrics 36, pp.369-378.
- [13] Box, G. E. P.; Jenkins, G. M.; and Reinsel, G. M. (1994). Time Series Analysis: and Control], 3ed ed.
- [14] BOX, G.E.P. and LUCENO, A. (1995), "Discrete Proportional-Integral with Constrained Adjustment", The Statistical 44, pp.479-495.
- [15] DAVIS, M.H.A. and VINTER, R.B. (1995), Stochastic Modeling and Control, Chapman & Hall, London.

- [16] DEL CASSSTILLO, E. and HURWITZ, A. (1997). "Run to Run Process Control: A Review and Some Extensions", *Journal of Quality Technology* .29, pp.184-196
- [17] Franklin, G.F; and Emami-Naeini,A.(1986). *Feedback Control of Dynamic Systems*. Addison Wesley, Reading, MA.
- [18] MacGregor, J.F.1987)."Interface Between Process Control and On-Line Statistical Process Control", *A.I.Ch.E. Cast Newsletter*, 9-19
- [19] MacGregor, J.F. (1988). "On-line Statistical Process Control", *Chemical Engineering Progress* 84, pp.21-31.
- [20] MacGregor, J.F. (1990). "A Different View of the Funnel Experiment: *Journal of Quality Technology* 22, pp. 255-259.
- [21] MacGregor, J.F., and T.J. Harris (1993), "The Exponentially Weighted Moving Variance", *Journal of Quality Technology*, Vol. 25.
- [22] Messina, W. S. (1992). "Strategies for the Integration of Statistical and Engineering Process Control: Ph.D. Dissertation, Arizona State University, Tempe,AZ.
- [23] MONTGOMERY, D.C.; KEATS, J.B.;RUNGER, G.C.;and MESSINA, W.S. (1994), "Integrating Statistical Process Control and Engineering Process Control", *Journal of Quality Technology* 26, pp.79-87
- [24] RAMIG, P.R. (1983), "Applications of the Analysis of Means", *Journal of Quality Technology* 15, pp.19-25.
- [25] RODRIGUEZ, R.N. (1996), "Health Care Applications of Statistical Process Control : Examples Using the SAS System", *SAS Users Group International: Proceedings of the Twenty First Annual conference*, SAS Institute, Inc., Cary, NC, pp.1381-1396.
- [26] SPOERI, R.K. (1991), "The Emerging Use of Measurement and Statistical in Health Care Quality and Productivity Improvement", Presented at the 1991 Joint Statistical Meetings, Atlanta, GA.
- [27] TSUNG, F. and SHI, J (1998). " Integrated Design of Run-To-Run PID Controller and SPC Monitoring for Process Disturbance Rejection." *IIE Systems*. Addison Wesley, Reading, MA. Transactions (to appear)
- [28] TSUNG, F.; WU, H.; and NAIR, V. N. (1998). "ON the Efficiency and Robustness of Discrete Proportional-Integral Control Schemes." *Technometrics* 40, pp.214-222
- [29] TUCKER, W.T.;FALTIN, F.W.;and VANDER WIEL, S.A. (1993), "Algorithmic Statistical Process Control: An Elaboration", *Technometrics* 35, pp.363-375.
- [30] Vander Weil, S., w. T. Tucker, F. W. Faltin, and N. Doganaksoy (1992), "Algorithmic Statistical Process Control : Concepts and an Application", *Technology*, Vol. 34.

- [31] VANDER WIEL, S. A.(1996). "Monitoring Processes That Wander Using Integrated Moving Average Models". *Technometric* 38, pp.139-151
- [32] YASHCHIN, E. (1993b), "Statistical Control Schemes: Methods, Applications and Generalizations", *International Statistical Review* 61, pp.41-66.