

공정관리시스템을 위한 SPC와 EPC의 연계

-Combination SPC & EPC for Process Control System-

정 해 운 *

Jung Hae Woon

Abstract

This paper seeks to Combination for Efficient Application of SPC / EPC minimize variability by transferring the output variable to a related process 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 autoregressed disturbance. We compare three control systems; EPC, Cp, SPC combined system with EWMA, CUSUM and Shewhart. This paper shows through simulation that the performance of the integrated model of EPC and SPC, Cp is more preferable than that of EPC.

Keywords : SPC, EPC, EWMA, CUSUM, Cp

1. 연구의 목적과 범위

현재 제조기업은 공정개선을 위하여 변동 관리에 많은 노력을 하고 있다. 변동을 관리하기 위하여 전통적으로 사용되는 공정관리로서 공정능력에 대한 이론은 변동을 감소시켜 공정개선을 하는데 사용되었다[1][3]. 그러나 공정능력(Process Capability) 연구자들은 데이터를 얻은 그 시점에서만 변동을 관리 하여왔고 연속적으로 변동을 감소시키는 데는 어려움이 있었다.

† 이 연구는 2006학년도 오산대학 교내 연구비 지원에 의하여 이루어졌음

* 오산대학 산업경영과 부교수

2006년 11월접수; 2006년 12월 수정본 접수; 2006년 12월 게재확정

본 연구에서는 공정능력에 의한 변동조절에 실패했을 경우 어떤 시점에서 변동을 감소하도록 하는 공정능력의 장점을 살리면서도 변동을 감소시키는 능력이 우수한 EPC(Engineering process control)와 SPC(Statistical process control)모형을 연계하여 효율적인 공정관리가 되도록 하고자 한다.

공정능력을 반영하면서도 연속적인 변동조절에 많은 장점이 있는 SPC와 EPC를 효율적으로 연계하려는 본 연구의 이론은 관리력 향상과 변동을 목표대로 감소시켜 효율적인 공정관리가 되도록 한다, 기존 관리력은 전통적인 공정능력과 관리도, 히스토그램을 기초하여 품질특성에 대한 변동을 감소하도록 하였다[3].

이러한 전통적인 이론은 연속적으로 변동을 감소시키거나 목표에 맞도록 변동을 감소시키기에는 미흡하다. 효율적인 공정관리 시스템은 전통적인 이론을 병행 적용하면서도 가피원인을 탐지하는 SPC와 공정을 조절하는 EPC를 연계함으로써 연속적으로 효율적인 공정조절을 하는 모형이 확립된다. SPC와 EPC 두 기술을 연계하기 위한 연구의 범위는 공정능력에 의한 관리력향 상에 대한 연구에서 SPC와 EPC기초이론, 관리도와 공정조절의 연계 방법, 적용에 이르기까지로 하였다.

결국, 연구목표는 공정능력과 SPC전반에 대한 이론, EPC전반에 대한 이론을 연계하여 현장실무에 쉽게 적용하도록 하려는 것이다.

2. 연계를 위한 이론

2.1 공정능력

공정관리시스템은 공정능력과 SPC/EPC와 공정능력의 연계를 위한 사고로 시작된다. 공정능력은 규격의 폭에 대한 자연공차의 비율이며, 규격한계(Specification Limits)에 대비하여 공정이 수행하는 능력을 예측에 기법이며, 또한 적절하게 이전에 공정이 안정 되었는지 보증하고 공정능력을 평가가 중요한 과제이다.

이전에 안정을 기초로 한 수행능력예측은 안정된 관리상태, 예측가능정도, 우연원인에 의한 산포, 등의 공정능력의 관리절차에 따라서 평가의 기준이 달라진다[3]. 공정능력의 기초이론은 주요공정에 대한 공정능력을 조사한 후 이를 분석하여 변동을 감소시켜 공정개선이 되도록 한다. 공정능력 지수의 해석은 공정능력지수의 산출 후 해석한다.

공정능력의 관리는 우선 공정능력이 좋아지도록 자연공차를 조절하기위하여 품질특성의 표준편차를 최적의 상태가 되도록 연속적으로 관련부서에 신속히 피드백(Feed back)해야 한다. 만약 관리 후에도 공정능력이 목표수준에 미흡 할 경우 SPC/ EPC와 연계의 전략으로서 우선 품질특성의 가피원인의 탐지를 위하여 SPC로서 관리도를 적용한다.

다음은 품질특성의 공정조절로 불리어지는 EPC를 적용한다. 이와 같은 변동을 감소시키는 이론은 공정능력지수와 SPC, EPC 각각의 적용으로서 완성된다. 결국 종합적인 변동감소의 효과는 공정능력의 공정능력치와 SPC, EPC의 3가지의 방법의 변동감소의 함으로서 나타낸다. 여기에서 다른 연계방법으로는 SPC/ EPC를 통합 할 경우 품질특

성에 대한 가피원인의 탐지와 공정조절이 동시에 수행되어 변동의 감소를 수행 하는 이론들이 알려져 있다[1]. 결국, 공정관리는 공정능력지수에 의한 변동감소의 이론을 적용하기도 하고 변동의 감소에 실패할 경우 SPC/ EPC통합모형의 연계에 의하여 효율적으로 변동의 조절을 수행 할 수 있다. 공정능력지수(Cp)에 의한 변동의 조절은 목표 값에 맞는 우수한 품질특성을 위하여 자연공차(6σ)에 있는 표준편차(σ)의 조절로 최적의 품질특성이 되도록 한다. 공정능력은 표준편차(σ)에 의한 공정능력지수의 조절이라는 관점에서 효율적인 공정관리를 위한 SPC/ EPC의 대안으로 사용 될 수 있다. 공정능력지수는 목표대로 되도록 자연공차를 조절하거나 규격의 폭을 조절한다. 이때 표준편차(σ)의 추정은 최후추정법등 다양한 방법이 알려져 있다. 물론 현대는 산업공학의 기술인 공정능력은 하나의 과제 안에서 공정능력을 분석하기위하여 히스토그램이나 관리도등과 병행하여 사용하기도 하며 산포나 평균치가 쉬프트(Shift) 할 경우까지 확장 하려는 움직임이 있다. 데이터의 분석의 결과는 미니탭에서 나타내어 공정관리를 한다[4].

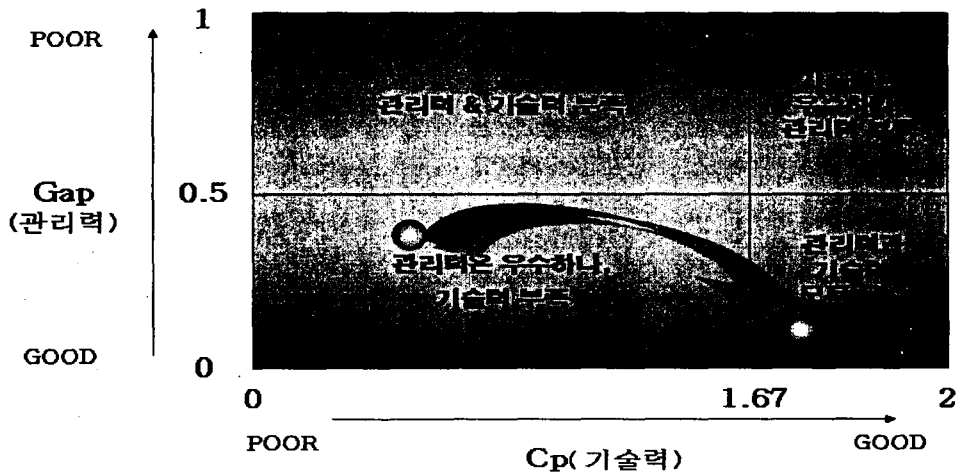
통계적 방법을 이용하여 변동을 관리하는 점에서 SPC와 유사하고 자연공차나 규격을 조절한다는 측면에서 EPC공정조절과도 유사하다. 공정능력에 쓰이는 데이터는 정적인 상태의 공정관리에 효율적이다. 공정능력은 공정능력지수가 1급에 못 미치거나 관리력이 정상치를 벗어날 경우 단순공정에서 연속공정의 형태로 전환하여 SPC/ EPC의 효율적으로 연계된 기술을 사용하는 것이 더 효율적이다. 공정능력과 관리력 향상은 반복적인 사출공정에서 자주 요구된다.

사출업체는 품질특성에 대한 계수형 데이터나 계량형 데이터가 많이 존재 한다. 이러한 품질특성의 데이터 값에 대하여 공정능력은 정상적으로 구하여진 Cp, Cpk,와 정상적이지 못한 상태의 Pp, Ppk를 산출하여 두 공정 능력을 차감한 값을 관리력으로 한다[2]. 관리력은 공정능력지수를 해석하고 기술력과 현재의 상태를 파악하여 공정개선을 목표로 한다 다음 <표1>은 어느 사출업체의 최적 공정능력지수를 구한 후 공정능력 평가지수 1급을 위하여 표준편차(σ)를 조절 한 후 성과와 기대효과를 나타낸 것이다. 공정능력은 공정개선에 도움을 준다는 측면에서 SPC/ EPC모형을 적용하는 것과 같다[2].

<표 1>사출업체의 공정능력지수 조절 후 내용

항목	성과	기대효과	비고
공정능력	1.공정능력지수 조절과 관리력 향상 2.미니탭의 이용하여 공정능력관리와 평가	1.회사에 실정에 맞는 공정능력과 기술력향상 2. 공정개선을 위한 품질특성의 변동의 감소	1.Cp, Cpk,산출 2.Pp, Ppk 산출
관리력	관리력 우수	관리력과 기술력 모두 우수	관리력과 기술력 그림 참조
기술력	지도력 우수	관리력과 기술력 모두 우수	관리력과 기술력 그림 참조

다음의 <그림 1>은 관리력과 기술력사이의 관계를 나타낸 것이다. 기술력과 관리력은 데이터가 있는 그 시점에서 만 효력이 있다. 공정능력에서 우선 하여야 할 사항은 공정개선의 효과를 분석하는 것이다. 만약 공정능력지수가 1급이 되지 못 할 경우나 연속적인 공정조절이 어려울 경우 다른 사고를 병행 적용해야 한다[2]. 이러한 사고는 SPC/ EPC를 시행하여 목표대로 변동이 효율적으로 관리되도록 하는 것이다.



<그림 1> 공정개선을 위한 기술력과 관리력 향상

2.2 통계적 공정관리(SPC)

SPC는 통계적 공정관리라고도 하며, 관리도로 나타내기도 한다. SPC에서 슈하트관리도는 안정상태의 공정이나, 공정평균의 변화가 큰 경우에 가피원인을 탐지하는 기능이 우수하다. EWMA관리도는 공정평균의 변화가 작을 경우에도 가피원인을 탐지하는 기능이 우수하며, 최근데이터에 많은 가중치가 주어지는 특징이 있다. 누적합(CUSUM)관리도는 작은 공정평균의 변화에 대해서도 빨리 가피원인을 탐지한다.

본 연구에서우선 EPC와 연계에 적합한 전통적인관리도와 이론적인관리도의 특성을 정리하고자한다. 관리도는 품질특성의 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 사용한다. 공정관리의 관점에서 보면, 품질특성을 나타내는 점이 관리한계선 안쪽에 있고, 점의 움직임에 어떤 패턴이 없으면 공정은 관리상태에 있다고 한다. 공정의 관리상태는 공정 이 정상상태에 있다고 볼 수 있고, 점이 관리한계선을 벗어나거나 또는 패턴이 발견되면 공정에는 이상이 있는 것으로 판단한다. 공정의 가피원인은 이상을 주는 원인을 탐지

하고 제거시켜 그와 같은 이상상태가 다시 일어나지 않도록 관리해 주어야 한다. 관리도는 또한 공정의 해석에 쓰인다. 공정평균을 중심으로 관리한계선을 긋는다는 것은 공정의 평균과 분산을 추정하고 있는 것과 같다. 공정의 평균과 분산의 추정은 공정에 대한 여러 가지 해석을 내릴 수 있다. 관리도는 공정평균 μ 를 0으로 한다면 품질 특성치들의 변화의 산포를 관리한계선 안에 나타나도록 하며, 또한 관리상태를 벗어난 가피원인이 탐지되도록 하고, 이때 수행도 측정은 평균제곱오차로 평가한다. 본 연구에는 슈하트관리도, EWMA관리도, 누적합(CUSUM)관리도가 SPC기법으로써 대표적으로 사용되었다. SPC와 EPC 통합모형시스템은 결국 각각의 관리도의 형태로 나타난다. 이들 관리도에 대해서 간략히 살펴보면 다음과 같다.

2.2.1 슈하트관리도

계량치 관리도에서 가장 많이 사용되는 관리도로, \bar{X} 관리도와 R관리도를 합쳐서 만든 \bar{X} -R관리도가 있다. 이 경우는 시료의 군 구분을 합리적으로 할 수 있는 경우에 사용한다. 합리적인 군으로 나눌 수 없는 경우에는 X-R관리도를 사용한다. 이 관리도는 한 개의 측정값이 얻어지면 곧 관리도에 기록되므로 각각의 측정으로부터 공정의 안정상태의 판정 및 조치까지 시간적인 지연이 없다. 따라서 본 연구는 X-R관리도를 사용하였다. 슈하트관리도는 변동을 감지하는 능력이 1.5σ 에서 2σ 와 같이 품질 특성의 큰이동이 있는 경우에 우수하며 보통 3 σ 관리한계선을 사용한다. 슈하트관리도의 운용절차로는 품질특성치 Y_i 가 관리한계선을 벗어나면 거짓경보인가 가피원인인가를 판정하고 가피원인 이라면 이를 제거하고 수정된 관리도를 작성하여 변동을 관리한다. 관리도의 가피원인 탐지능력은 변동 측정의 지표인 PM(수행도)를 측정하여, PM값이 작을수록 변동을 감소시키는 능력이 우수하다고 평가한다. 또한 평균런의 길이(ARL)는 전체품질특성 중 가피원인이 발생하는 비율 값으로 나타내며 비율 값이 작으면 좋다.

2.2.2 EWMA관리도

지수가중 이동평균관리도는 공정으로부터의 작은 변동을 검출할 때 사용된다. 이동평균관리도에서는 이동평균을 계산하기 위해 W개의 표본평균에 1/W개의 가중치를 주었는데 EWMA 관리도에서는 최근의 측정치에 더 큰 가중치를 주게 함으로써 공정 변화에 민감하게 하여 공정변화를 빨리 감지할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다.

가중치가 1이면 EWMA관리도는 X-R관리도와 동일하며 가중치가 작을수록 공정평균의 이동을 더 빨리 탐지할 수 있다[15].

EWMA의 운용절차로는 다음 식을 사용하여 타점 한다. 여기서 λ 값은 상수이고 $0 \leq \lambda \leq 1$ 이다. $Z_t = \lambda Y_t + (1-\lambda)Z_{t-1}$ 초기 값은 예비데이터의 평균값 $Z_0 = \bar{Y}$ 을 사용하고, $Z_0 = \mu_0$ 를 중심선으로 사용한다. 관리한계선은 시점이 커짐으로써 1단위씩 증가하는 관리한계선과 안정된 값으로 주어지는 관리한계선이 있다. EWMA는 평

균런(ARL)의 길이에 적합한 EWMA모수 L 과 λ 의 값이 Lucas 와 Saccucci(1990)와 같은 학자에 의하여 표로 주어졌다[13]. EWMA 관리도는 λ 가 0.1이상일 때는 보통 3σ 를 사용하며, 부분균의크기 $n>1$ 이라면 \bar{x}_i 대신 x_i , σ/\sqrt{n} 대신 σ 를 사용하는 개별측정치 관리도를 사용한다.

2.2.3 누적합(CUSUM)관리도

이 관리도는 측정된 품질특성치 결과를 누적하여 산출한 값으로 공정의 변화를 판단하는 방법으로, 비교적 빠르게 공정의 변화를 탐지할 수 있다. 슈하트관리도보다 두 배정도 빨리 이동 상태를 감지한다. 즉, 공정이 관리상태일 때 CUSUM관리도는 목표 값으로부터 작은 변화를 잘 감지한다. 왜냐하면 연속된 샘플데이터 값으로부터 정보를 종합하기 때문이다. CUSUM관리도에서의 타점은 목표 값으로부터 샘플 값을 뺀 차이의 누적 합으로, 이 점들은 0주위에 무작위로 분포되어 있어야 한다. 만일 타점의 추이가 위 또는 아래로 발견되었다면 이는 프로세스의 평균에 변동이 있음을 뜻하고 이상원인을 찾아야 한다는 경고이다.

누적합관리도는 Wald(1947)의 측차확률비율검정이론을 기초로 하여서 정립된 것으로 Page(1954)에 이르러 비로소 누적합관리도의 이론이 구체화되었다[2]. 그는 품질특성의 분포에 있어서 모수의 변화를 검출하는 문제와 관측치를 이용하고자하는 규칙을 개발하기 위하여 평균런의 길이를 이용하였다. 또한 공정변화의 검출 방법으로 단측 또는 양측으로 모수의 변동을 검출할 수 있다.

2.3 공학적 공정관리(EPC)

EPC는 공학적 공정관리 또는 APC(Automatic process control)라고 불리며, 정밀한 가공을 하는 공정산업에서 공정조절을 하기 위하여 사용한다. 예를 들면, EPC는 화학적 변화가 있는 장치산업, 순도의 측정 등 정밀성을 요구하는 연속공정산업에서 변동을 감소시키기 위하여 사용하며, 특히 강철판과 같은 원재료의 특성을 갖거나 주변 온도와 같은 조절 가능한 변수가 있는 연속공정산업에서 많이 사용한다. 또한, 최근에는 하이브리드와 같은 혼성산업과 공정산업을 아주 다르게 분리하지 않고 있다. 이러한 구분이 사라지는 이유는 혼성산업에서도 공정산업처럼 컴퓨터로 제어가 이루어짐에 따라 공정조절이 가능하게 되었기 때문이다.

목표에 맞는 공정 품질특성을 유지하기 위한 EPC는 장치 산업에서 매우 널리 사용되는 기법중의 하나이다. EPC는 공정의 품질특성을 목표치와 비교해서 목표에 맞는 품질특성이 유지되도록 정해진 주성분 투입을 보정하여 조절하는데 사용된다.

EPC는 품질특성이 자기상관 구조를 갖는 장치사업에서 주로 적용된다. 공정 변동의 자기상관 구조들은 인접한 자료를 빠르게 획득하는 능력 때문에 부품 산업에서 더욱 더 보편화되고 있다. EPC의 적용을 통하여 품질특성이 조절되는 간단한 공정의 예와 EPC의 기본적 틀은 컨트롤러로서 많은 이론이 있지만 여기에서는 연계에 필요한 전통적인

EPC모형과 산업 표준이 되는 MMSE(minimum mean squared error) 컨트롤러의 EPC모형을 살펴본다.

2.3.1 전통적인 EPC이론

일반적으로 자기회귀 모형에서 변수 u_t 는 이전 관측 u_{t-1} , u_{t-2} 등에 직접적으로 영향을 받는다. 다른 가능성은 확률성분 e_t 를 통해 종속성을 구축하는 것이다. 이것을 위한 간단한 방법은 다음과 같다.

$$u_t = u_{t-1} + \xi - \theta \xi_{t-1} \quad (2.3.1)$$

이것은 일계 이동평균모형이라 불린다. 이 모형에서 u_t 와 u_{t-1} 사이의 상관관계는 $\rho = -\theta/(1 + \theta^2)$ 이고 다른 모든 lag에서 0 값을 가진다. 그러나 u_t 에서의 상관구조는 하나의 시간간격을 뒤로 늘린 것이다. 자기회귀의 통합과 이동평균기간은 유용하다. 일계 혼합모형은 다음과 같다.

$$u_t = \xi + \phi u_{t-1} + \varepsilon_t - \theta \varepsilon_{t-1} \quad (2.3.2)$$

이 모형은 화학 산업이나 공정산업에서 자주 사용되어 진다. 화학과 공정산업에서 일계자기회귀 패턴을 갖는 공정의 품질특성들은 일반적인 형태들이다. 랜덤 하거나 상관관계가 없는 것으로 간주될 수 있는 오차가 있는 품질특성들은 경험이 있는 연구에서 측정된다.

여기에서 측정은 확률변수를 추가한 자기회귀 요소로 구성되어 있다. 일계 혼합 이동평균모형은 다음과 같다.

$$u_t = u_{t-1} + \xi - \theta \xi_{t-1} \quad (2.3.3)$$

일계혼합모형은 Y_t 가 평균을 중심으로 움직이는 것을 나타낸 반면에 일계이동평균모형은 Y_t 가 비정상적활동(nonstationary behavior)으로 공정평균에 대하여 상수가 아니라고 할 수 있다. 목표 값에 유지하려는 조절활동이 없을 때, (2.3.1)의 모형은 화학 산업과 공정산업에 자주 사용한다.

식(2.3.1)을 통한 모형들은 자기회귀 통합이동평균(ARIMA)라 불리는 추세모형이다. 그러한 이러한 모형들이 Shewart 모형보다 더욱 어렵게 보이지만, 이것들은 실질적으로 유사하고 특정한 경우에는 슈하트(Shewart) 모형을 포함한다. 평균이이동할 때 전통적인 EPC 모형의 알고리즘은 몽고메리(Montgomery)(1990)의 통합모형이 다음과 같이 알려져 있다 [18].

$$Y_t = u_{t-1} + n_t + e_t \quad (2.3.4)$$

(2.3.4)식은 공정조절 하는 컨트롤러, 각란, 오차가 품질특성을 결정하는 역할을 하게 된다. 공정 상황에 따른 이러한 EPC모형의 연계방법은 정리1에 나타내었다.[5][6][7][10][12][16][17][18].

【정리1】 더 좋은 변동의 감소 (PM : performance) 측정
목적 $\hat{Y}_t = T$ 가 되도록

$$Y_t = e_t \text{ [총의 고정] (칼대기 고정)}$$

$$Y_t = u_{t-1} + e_t \text{ [총의 조절] (칼대기 조절)}$$

MacGregor 모형 : $u_t = u_{t-1} - Y_t$ [평균이동이 생길 때]

● $Y_t = u_{t-1} + n_t + e_t$

● Montgomery : $n_t = \phi n_{t-1} + a_t$, $u_t = \phi u_{t-1} - (\phi - \theta) Y_t$

● 제안된 공정조절 모형

각란(disturbance)의 패턴 $n_t = \phi_1 n_{t-1} + \phi_2 n_{t-2} + a_t$

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

● MMSE(minimum mean squared error) 컨트롤러

$$u_t = -\frac{\lambda}{g} \sum_{j=1}^t e_j, \quad e_t = Y_t - T$$

↓

Shewhart, CUSUM, EWMA(예: $Z_t = \lambda Y_t + (1 - \lambda) Y_{t-1}$)

2.3.2 MMSE컨트롤러의 기초이론

EPC모형은 어떠한 컨트롤러를 사용하는가에 따라서 예측기능과 SPC와 연계기능이 내포되어있는 경우가 많다. MMSE컨트롤러는 예측의 대가인 Box와 Jenkins(1994)에서 MacGregor(1990)와 Montgomery(1994)를 거쳐서 평균이이동하는 경우에 품질특성을 공정조절 하는 이론적 체계가 확립되기 시작 하였다[8][16][18].

어떤 관리엔지니어는 각란의 확률적 본질을 알고자 하지 않는다. 이런 엔지니어는 미분방정식이 있는 결정적모형인 동적 공정과 전이함수에 더 쉽게 접근하려고 한다. 그러나 확률적 각란이 나타나고, 이러한 사실이 주어지면 컨트롤러의 설계자는 목표점으로 이끄는 품질특성이 합리적인 샘플수 안에서 0가 되도록 보정하고 싶을 것이다. 이것을 소위 데드비트(deadbeat) 컨트롤러로써 최소시간에 즉각 품질특성 오차를 제거하려고 할 것이다. 더구나 시간의 지체 때문에 그것이 각란의 미래 값을 안 후에도 이것이 실현되지 않는다. 여기에서 컨트롤러 선택은 품질특성의 분산을 최소화하는 것으로 결정한다. \hat{Y}_{t+1} 는 t+1시점에 관심 있는 품질특성의 최소분산 예측 값 이다. 그것은 최소분산 컨트롤러가 공정조절활동 u_t 에 의하여 얻어지는 것을 보여준다. 그러므

로 $\hat{Y}_{t+1} = T$ 는 통합컨트롤러의 단순한 경우에 확률적 공정관리를 위한 MMSE(minimum mean squared error)컨트롤러의 적용을 보여주기 위하여 여기에 나타냈다. $Y_{t+1} - T = gu_t$ 여기서 g 는 평균이 이동하는 시스템을 위한 공정 게인(gain)이다. 만약 공정변동이 조절되지 않는다면 그 때 공정은 평균으로부터 떨어져 이동할 것이다. 여기서 확률공정을 생각하면, $Y_{t+1} - T = n_{t+1}$ 여기서 n_t 는 $t+1$ 시점에서의 각란 이다. 그 각란은 ARIMA(0,1,1) 패턴에 의하여 모형화 할 수 있다.

$$\hat{n}_{t+1} = n_t + \lambda(n_t - \hat{n}_t) \quad (2.3.6)$$

ARIMA(0,1,1) 모형은 IMA(1,1) 이거나 EWMA로서 알려져 있다. 이 모형은 전통적인 모형이다. 품질특성 Y_t 항목에서 $Y_{t+1} - T = n_{t+1} + gu_t$ 여기서 n_{t+1} 은 t 시점에 알려져 있지 않고, n_{t+1} 은 n_{t+1} 의 추정치에 의해서 예측되어 지므로, 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$Y_{t+1} - T = e_{t+1} + \hat{n}_{t+1} + gu_t \quad (2.3.7)$$

일반적으로 조절변수 u_t 는 공정의 입력 변수로써 산출 각란까지 이동한다. 목표 값에 맞도록 시스템을 유지하기 위하여 MMSE의 형태로 통합관리를 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$u_t = -\left(\frac{\lambda}{g}\right) \sum_{j=1}^t e_j \quad (2.3.8)$$

이 식에서 g 는 게인(gain)이고, $e_j = Y_j - T$, λ 는 EWMA의 모수이다. 만약, 동적인 변화가 샘플링비율에 비해서 느린 경우에는 MMSE 컨트롤러가 바람직하지 않은 큰 변동이 되어 공정조절 u_t 로 주어진다. 입력된 변동에 따라 목표치와 품질특성과의 편차의 평균제곱오차를 최소화시키는 제약된 컨트롤러를 소개할 수 있다. Box와 Luceno(1997)는 독립된 부품과 연속적 공정을 포함하는 혼성산업공정에 SPC와 EPC를 적용하는 사례를 나타냈다[11].

3. 연 계

본 연구는 공정관리시스템을 위한 SPC와 EPC의 연계하여 품질개선과, 공정개선을 위하여 공정조절에 사용되고 있는 EPC(Engineering process control)와 가피원인 탐지에 사용되고 있는 SPC(Statistical process control)의 연계시스템이론을 확립 하려고 한다. SPC와 EPC로 구성된 연계시스템은 품질특성치가 관리한계선을 벗어난 경우, SPC는 가피원인을 탐지하고 제거하는 역할을 하며, 품질특성치가 관리한계선 안에 있다면 EPC에 의하여 품질특성치의 변동이 목표에 맞도록 공정조절을 하는 역할을 한다. 연속공정산업이나 혼성공정산업은 SPC 만을 적용할 경우 과거의 데이터에 의한 변동을 감소시키는 사후 공정관리만 하지만, EPC와 병행 사용하면 변동을 감소시키는 공정조절 절차에 따라 예측기능이 있는 공정관리가 된다. 이러한 절차의 SPC와 EPC

연계시스템은 EPC만 사용할 때 보다 변동을 감소시키는 역할이 우수하다. Box와 Kramer(1992)는 SPC연구로서 슈하트관리도, 누적합(CUSUM)관리도, EWMA관리도를 사용하여 공정의 품질특성을 탐지하고, 가피원인이 발생되면 이를 제거하여 변동이 감소되도록 하고, EPC의 연구로서 평균의 변화, 원재료의 변화, 온도의 변화와 같은 각란을 제거하기 위하여 촉매와 점도사이의 관계에서 촉매공식을 유도하고 전통적인 PI공정조절모형을 조사연구 하였다[9]. 최근에는 James가 현대산업에 적합한 SPC의 실행과 결과에 대한 신뢰도 문제도 연구에 포함시켰다[1]. Tsung은 EPC모형으로 각란에 대하여 연구하였으며 EPC의 통계적 탐지에 대하여 연구하였다. 그러나 대부분의 연구들은 SPC와 EPC를 병행 사용하여 변동을 감소시키려고 노력하였으며, EPC모형만이 주류를 이루며, 드물게 연구된 SPC/EPC통합시스템기술에서도 연계의 절차가 명확하지 않았다.

현대 산업에서 공정개선을 위한 기술로는 품질특성이 목표대로 조절되도록 하는 엔지니어링 기술과 가피원인 탐지 역할을 하는 SPC기술로써 관리도가 있다. 이러한 두 기술은 개별적으로 사용되어 변동이 감소되도록 하는 역할을 한다. 본 연구는 두 기술을 연계하여 탁월하게 변동의 감소가 되도록 하려는 실행전략이다. SPC/EPC 연계모형에서 공정개선은 변동을 감소시키려는 SPC/EPC 연계전략의 실행으로 나타나며, EPC 만을 사용할 때 보다 SPC와 연계하여 사용할 때 더욱 효과적으로 변동이 감소되는 역할을 한다. 이러한 EPC/SPC 연계모형은 연속적인 공정산업과 화학공정 뿐만 아니라 특히 IT산업에서 하이브리드 산업과 같은 분야까지도 적용되어 공정을 개선하는 역할을 한다.

EPC모형은 촉매와 같은 조절변수, 품질특성, 각란, 예측각란, 오차가 서로 맞물리면서 다음단계를 예측하여 연속적으로 공정조절을 하는 역할을 한다. EPC는 평균이동(draft mean)이 있는 품질특성이 상승경향을 보인다면, 촉매와 같은 조절 변수로써 품질특성과 반대경향이 되도록 공정을 조절하는 역할을 하게 된다. 이 때 EPC에서의 모수는 품질특성으로부터 추정되는 값이다. 그리고 게인(gain)은 조절에 의한 단위당 투입에 대한 단위당 산출이다.

어떤 제품의 품질특성에 영향을 주는 각란이 상승하는 경향이 있고, MA(1) 모형을 따른다면 조절변수를 통하여 예측된 각란을 기초로 하여 품질특성이 목표에 맞게 조절한다. MA(1)모형에서 품질특성으로부터 최적의 모수값 θ 가 추정되면 λ 값이 결정된다. 그리고 엔지니어는 게인(gain) 값을 안다. 여기에서는 이러한 상황을 고려하여 EPC는 공정조절을 하고 SPC기법인 슈하트관리도, 누적합관리도, EWMA관리도가 가피원인을 발견하는 도구로써 연계된다[1].

3.1 공정능력/ SPC/ EPC의 비교

공정능력은 규격의 폭 대 산포의 비율로서 공정능력지수 Cp값을 평가하여 Cp값이 목표가 될 때 까지 변동을 조절 하도록 한다. 공정능력에 의한 품질특성의 산포관리는 관리력 향상에 기여한다. SPC는 품질개선을 위한 조직의 전략적 추진의 한 부분이고 톱-다운 방식을 사용하며, 매니지먼트에 의한 경영과 고도의-시계활동, 사람, 방법, 절

차를 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 가피원인을 제거하기 위하여 공정조절을 한다. 이러한 두 절차의 목적은 변동의 감소이다.

공정능력을 이용한 변동조절은 단속공정이나 그 시점에서 변동조절에 실패 할 경우, 공정능력의 과 SPC/ EPC연계모형을 병행 사용한다. SPC와 EPC의 통합의 다른 방법 사례는 Vander Weil(1992)과 Sachs, Hu, Ingolfsson(1995)에 의하여 SPC알고리즘과 관리도에 의한 런이 적용되었다.

EPC는 공정투입 품질특성과 최종 품질특성으로 연결된 상세한 동적 모형이다. EPC 공정조절법칙은 목표에 접근하는 품질특성이 되도록 변동을 최소화하여야 한다. 외부적인 형태일 경우에는 동적모형체제 밖에서 가피원인이 발생 될 수 있다. 결과적으로 변동이 증가되기 때문에 EPC의 모형은 완전하지 못하다. 품질특성의 규격에서는 SPC를 적용함으로 가피 원인을 발견하여 제거할 수 있다.

이것들의 3가지 연계방법의 비교는 공정능력과 SPC와 EPC의 철학, 적용, 목표등을 비교하였다. 본 연구는 기능이 전혀 다른 SPC와 EPC의 방법론의 비교를 <표 2>에 나타내었다[1][3].

<표 2>공정능력/ SPC/ EPC의 비교

	공정능력	SPC	EPC
철학	공정능력지수로 규격과 산포의 폭의 비율	공정품질특성의 감지와 제거	공정의 각란을 제거 시키기 위한 공정 조절
적용	단속공정의 측정시점의 변동조절	변동이 없는 공정의 기대	연속적인 공정 흐름의 기대
전개 단계 목표 기능 비용 중점	Cp 전략적 관리력 향상 산포조절 사람과 작업방법 품질특성	SPC 전략적 가피원인탐지 장애 발견 사람과 작업방법 품질특성	EPC 기술적 공정 조절 set point 감지 극히 적음 장비
상관관계	없음	없음	높거나 낮음
결과	공정개선	공정 개선	최적공정 유지

3.2 연계방법론

공정능력, SPC와 EPC의 관계는 공정능력이 변동조절에 실패 할 경우 연계한다고 가정한다. 본 연계 에서는 공정능력에서 공정조절을 위한 σ 의 연계, SPC와 EPC의 단순연계, EPC모형에서 다른 사고로서의 EPC/SPC연계 방법을 연구하였다[1][2].

3.2.1 연계를 위한 공정능력에서 변동조절의 σ

공정능력지수는 평가기준에서 우수 할 경우 공정능력이 매우 양호 하다고 판정한다.

만약 공정능력지수는 기대한 공정능력이 실패한 경우에 공정능력치 (6σ)에서 표준편차(σ)를 조절하여 품질특성의 산포가 작아지도록 σ 와 연계 되어야 한다. 이러한 표준편차는 EPC/SPC연계된 모형에서도 σ 의 추정이 필요하다. 잔차로 나타내는 σ 또는 일계 선행오차들의 표준편차는 몇 가지 방법으로 추정될 수 있다. 만일 모수 λ 의 관측치 n 을 초과 한다면, n 에 의한 최적 λ 의 예측오차 제곱합에 대한 나누기는 σ^2 의 추정 값을 이끌어낸다. 이것은 많은 추세분석을 위하여 컴퓨터프로그램에 사용되는 방법이다.

또 다른 접근은 예측시스템에서 전형적으로 행해지는 것처럼 σ 의 추정을 산출하는 것이다. 평균절대 편차(MAD)는 이러한 관점에서 사용될 수 있다. MAD는 예측오차의 절대 값에 EWMA를 적용함으로써 계산된다.

$$\Delta t = a |e_t| + (1-a) \Delta t^{-1} \quad 0 < a \leq 1$$

정규분포의 MAD는 $\sigma \approx 1.25\Delta$ 에 의해 표준편차에 관련이 있기 때문에 Montgomery와 Mastrangelo(1991)의 의하여 다음과 같이 정리되었다[1].

$$\hat{\sigma}_t^2 = a e_t^2 + (1-a) \hat{\sigma}_{t-1}^2 = a e_{t-1}^2 \quad 0 < a < 1$$

MacGregor (1990)는 공정의 변동을 탐지하는데 있어서 지수 가중이동변수추정의 사용에 대해 논의한다. 그들은 상관관계 또는 비 상관관계 데이터 모두에 대한 양적인 관리한계를 어떻게 찾을 것인가를 보여주었다[14][16].

3.2.2 MMSE(minimum mean squared error)의 각란과 연계

본 연구에서는 MacGregor가 설계한 MMSE컨트롤러와 공정조절모형 u_t 가 같아지도록 각란(Disturbance)모형을 연계함으로 갈때기실험, Montgomery의 EPC모형 에서도 MMSE컨트롤러가 만족하는지 각 조절들을 연계 하려고 하는 이론적인 체계를 세우고자 한다. Box와 Jenkins(1976)는 목표와 품질특성의 차이에서 평균제곱오차(minimum mean squared error)를 최소화하기 위하여, 모든 측정 시점 t 에서 공정조절이 이루어지도록 목표와 $t+1$ 측정시점의 품질특성과 차이를 예측 하였다[1][8].

$$u_t = \hat{Y}_{t+1/t} \quad (3.2.1)$$

Box와 Jenkins(1976)는 Y_{t+1} 의 예측 \hat{Y}_{t+1} 을 필터 또는 가중함수(weight function)로 나타내었다[1]. 평균이 이동하는 공정모형은 각란모형의 식(3.2.1)이 들어가게 된다. 공정모형에 각란모형식(3.2.1)을 대입하면 다음과 같다.

$$Y_t = u_{t-1} + \phi n_{t-1} + a_t + e_t \quad (3.2.2)$$

공정모형 식(3.2.2)로 부터 $t-1$ 시점의 각란모형은 다음과 같다.

$$n_{t-1} = Y_{t-1} - u_{t-2} - e_{t-1} \quad (3.2.3)$$

식(3.2.3)을 식(3.2.2)에 대입하면 다음과 같다.

$$Y_t = u_{t-1} + \phi Y_{t-1} + \phi u_{t-2} - \phi u_{t-2} - \phi e_{t-1} + a_t + e_t \quad (3.2.4)$$

식(3.2.4)로부터 u_{t-1} 은 다음과 같다.

$$u_{t-1} = \phi u_{t-2} - \phi Y_{t-1} + Y_t + \phi e_{t-1} - a_t - e_t \quad (3.2.5)$$

그러므로 u_t 는 다음과 같다.

$$u_t = \phi u_{t-1} - \phi Y_t + [Y_{t+1} + \phi e_t - a_{t+1} - e_{t+1}] \quad (3.2.6)$$

MacGregor가 설계한 MMSE컨트롤러는 다음과 같다.

$$u_t = \phi u_{t-1} - (\phi - \theta) Y_t \quad (3.2.7)$$

식(3.2.6)과 식(3.2.7)이 같아지게 하기 위하여 식[] 부분이 MMSE 컨트롤러를 만족하도록 하는 θY_t 가 되어 다음과 같이 나타낸다.

$$Y_{t+1} + \phi e_t - a_{t+1} - e_{t+1} = \theta Y_t \quad (3.2.8)$$

식(3.2.8)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$u_t = \phi u_{t-1} - \phi Y_t + \theta Y_t \quad (3.2.9)$$

여기에서 ϕ 는 자기회귀계수이고, θ 는 품질특성의 전체의 확률분산 $Var(Y_t) = \sigma_n^2 + \sigma_e^2$ 로 나타낸다.

일계자기회귀이동평균ARMA(1.1) 모형에서 이동평균모수이며 영역은 $0 \leq \theta \leq 1$ 이다.

McGregor(1990)는 ϕ 값에 따른 $\frac{\sigma_e^2}{\sigma_y^2}$ 의 값을 갈때기 실험에서 표로 만들고,

$Var(Y_t)$ 를 $\sigma_e^2(\frac{\phi}{\theta})$ 로 나타내었으며, 이를 위하여 갈때기실험규칙 1과 2의 분산 비를

비교하였다[1][14]. 그러므로 ϕ , $\frac{\sigma_e^2}{\sigma_y^2}$, θ 는 다음 식을 풀어서 구할 수 있다.

$$\frac{(1-\theta^2)}{\theta} = \left[\frac{(1-\phi^2)}{\phi} \right] \left(\frac{\sigma_y^2}{\sigma_e^2} + 2\phi \right) \quad (3.2.10)$$

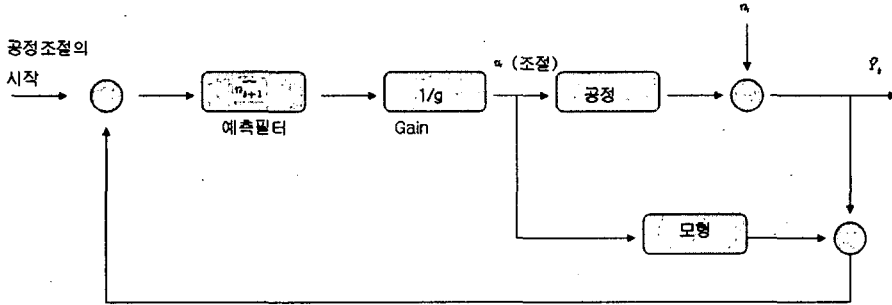
고도의 평균이동 즉 $\phi=1$ 일 때 MMSE 컨트롤러는 갈때기실험에서 사용한 통합컨트롤러와 통합게인 $(\phi-\theta)$ 가 1보다 적다는 것을 제외하면 비슷하다[14].

3.2.3 EPC에 의한 공정조절 절차

다음은 EPC에 의한 공정 조절의 절차를 도시한 것이다. MMSE(minimum mean squared error)컨트롤러는 목표치와 예측치의 차이가 없도록 공정조절 한다. MMSE컨트롤러는 평균이 쉬프트 할 경우에 <그림 2>과 같은 절차를 통하여 공정조절을 한다.

공정을 가동하면, EPC는 예측필터에서 t+1시점의 각란을 예측하여 게인과 결합하여 공정을 조절한다. 여기서 게인(gain)은 단위투입 당 산출의 비율이며, 각란 n_t 는 조절되지 않고 다음 품질특성까지 그대로 남아있는 효과로써 나타낸다. 일계자기회귀각란모형은

ϕ_1 과 ϕ_2 값을 추정하고, 백색잡음을 표준정규분포로 가정하면 측정 가능한 값이 된다. 이러한 절차의 공정조절은 공정작업이 실행되는 동안에 각란이 들어가게 되고 최종제품이 생산된다. 하지만, 예측된 각란(Disturbance)의 크기만큼의 각란은 발생하지 않으므로 목표 값과의 그 차를 계산하며, 다시 처음으로 피드백이 이루어지고 이러한 과정을 반복한다.



<그림 2> EPC에 의한 공정 조절의 절차

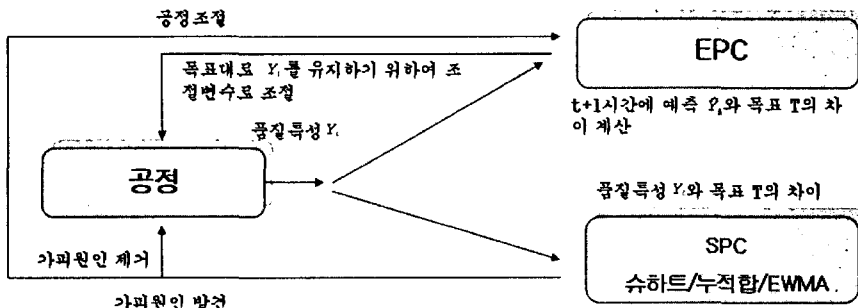
자기회귀모형을 사용하여 설계된 공정조절모형의 유효성은 산업표준이 되는 MMSE 컨트롤러에 의한 공정조절 절차를 만족하고 t-1 시점이 품질특성뿐만 아니라 t-2시점의 품질특성까지도 공정조절을 하며, 갈때기실험의 규칙2와 같은 패턴이 있는 데이터에 대해서는 보다 정확한 공정조절을 한다. u_t 는 가피원인이 탐지되기 전까지 공정을 조절하며, 이러한 적용에서 ϕ 의 값은 $\phi > 0$ 이면 정상적이며, 범위는 다음과 같다.

$$\phi_i : -1 < \phi_i < 1, \quad \phi_1 + \phi_2 \leq 1, \quad i = 1, 2$$

AR(2) 모형의 모수 ϕ_1 과 ϕ_2 를 추정하는 가장 간단한 방법은 적률법이다. 이 방법은 자기상관함수와 모수들 사이의 연립방정식을 사용한다. 즉 자기상관함수 대신 표본자기상관함수를 이 연립방정식에 대입한 뒤 이 방정식을 풀어서 모수들의 추정량을 얻는 것이다.

3.2.4 SPC와 EPC의 연계를 위한 사고

통합모형을 위한 분석에서는 SPC와 EPC의 관계, 기능이 다른 역할을 하는 SPC와 EPC의 비교, EPC의 적용을 위한 각란특성의 소개, 품질특성이 변화할 때 추세의 적용 방법, 평균이 이동하는 경우에 MMSE 컨트롤러의 적용의 타당성을 논술하였다. Montgomery(1994)는 SPC/EPC의 관계를 상세하게 나타내었다[18]. <그림 3>는 SPC와 EPC의 연계를 위한 관계를 보여준다. EPC는 t+1시점에 예측값 Y_t 을 계산하고 예측된 Y_t 와 목표 값과의 차이를 계산하여 그 차이만큼 목표대로 품질특성을 유지하기 위하여 조절변수로 공정을 조절하며, 이때 SPC는 공정 조절된 품질특성이 관리한계를 벗어났다면, 가피원인을 제거하고 제거한다. 이때, EPC는 제거된 가피원인 바로 전 품질특성에 이어서 공정조절을 하게 된다.



<그림3> SPC와 EPC의 연계를 위한 관계

3.2.5 다른 사고의 EPC/SPC연계

일제자기회귀 각란모형으로 설계된 공정조정모형의 적용은 자기상관관계가 있는 품질특성이 있는 공정산업이나 하이브리드와 같은 혼성산업에서, 품질특성을 조절할 수 있는 조절변수가 있을 경우에 적합하며, 또한 설계된 공정조정모형은 공정평균이 이동하는 경우에 각란이 이계자기회귀 모형의 패턴에 따르는 연속공정, 갈때기시험규칙2와 같은 패턴이 있는 품질특성에도 적합하다. 이모형은 맥그리거 모형처럼 쉽고 간편하며, 이계모수가 두 시점의 품질특성과 맞물려 공정 조절되므로 목표에 정확하게 맞도록 조절한다. 여기에서, 각각의 이계모수의 값은 실무에서 공정엔지니어들에 의하여 설정된다. 그러나 모수의 값은 실무에서 과도하게 설정되기도 한다.

만약 실제적인 품질특성치를 안다면 엔지니어는 그의 노하우를 참조하거나 PM값이 가장 적어지는 모수를 컴퓨터로 추정한다. 본 연구에서 ϕ_1 과 ϕ_2 는 이계자기회귀모형의 모수이며 θ 는 EWMA 모수로 0.5를 넘지 않는 적당한 값을 사용한다. u_t 는 t-1 시점의 공정조정 한 값과 t-2 시점의 공정조정 한 값이 자기회귀모수와 맞물리고 t 시점의 품질특성과 $(\phi - \theta)$ 가 맞물려 선형 결합한 모형이다. 다음은 EPC/SPC의 연계를 위한 새로운 사고이다. 공정가동을 시작하면 품질특성치가 산출되는데 이러한 품질특성치는 계량치 데이터이다. 측정된 값으로는 관리도를 작성하여 관리상태 있는지 여부를 파악한다. 관리도는 슈하트관리도, EWMA관리도, 누적합(CUSUM)관리도 중에서 공정과 품질특성치의 성격에 따라서 사용한다. 만약 품질특성치가 관리상태를 이탈하였다면, 작업자는 공정을 즉시 정지 후 가피원인을 제거하고 공정가동을 다시 시작하며. 그렇지 않고, 품질특성치가 관리상태에 있다면 목표치에 더 근접하도록 즉, 제품의 변동을 줄여주기 위해서 EPC로 공정조정 한다. EPC는 먼저 품질특성에 가장 큰 영향을 줄 수 있는 각란의 추세를 파악하여 예측하고, 예측된 각란을 보정하기 위한 공정조정 u_t 를 계산하여 품질특성치가 목표 값에 맞도록 공정을 조절한다. 이러한 절차는 새로운 품질특성치가 나오게 한다. 이렇게 만들어진 품질특성을 측정하여 위의 통합모형의 절차를 계속적으로 실시하게 되면, 품질특성치의 변동은 최소화된다. 이러한 구체적인 절차는 <그림 4>와 같고, 각 단계는 다음과 같다.

▶ Step 1. 품질특성을 산출하기 위한 공정의 가동으로 시작된다.

▶ Step 2. 데이터는 품질특성을 측정하여 얻는다. 다음은 t 시점의 가피원인을 제거하며 t-1시점의 품질특성이 t시점이 되며 연속적으로 공정조절을 다시 한다. u_t 의 절차는 <그림2>와 같다.

▶ Step 3. 관리도의 작성은 측정된 품질특성치로 한다.

▶ Step 4. 품질특성은 관리상태의 공정에 있으면 Step 5로 이동하고, 그렇지 않으면, 공정을 정지 후 가피원인을 제거하고 공정을 다시 가동한다.

▶ Step 5. 공정조절 연산자와 맞물리는 예측각란, 단위당 투입에 대한 단위당 산출로 나타내는 공정계인을 결정한다. EPC통합 모형의 조절에 대한 주요 항목은 일반적으로 사용되는 MMSE 콘트롤러의 적용절차로 나타낸다.

MMSE 콘트롤러는 공정조절을 위하여 품질특성치 Y_t 와 목표치 T와 일치하도록, 목표점으로 이끄는 품질특성과 차이가 0이 되도록 보정을 원한다. 보정은 최소시간에 품질특성오차를 제거하려고 하는 노력이 \hat{Y}_{t+1} 은 t+1시점에서의 최소분산 예측 값이다.

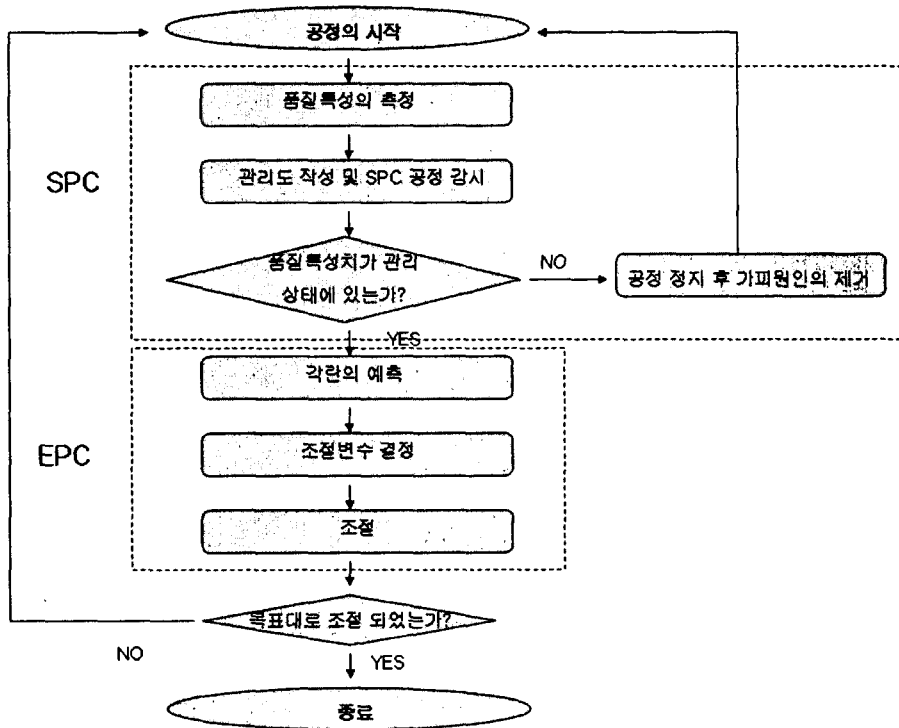
$\hat{Y}_{t+1} = T$ 가 되도록 하는 공정관리가 MMSE콘트롤러 적용절차에서 나타난다. 결국, EPC는 t+1시점의 품질특성치 Y_{t+1} 과 목표값과 차이를 계산하게 된다.

$Y_{t+1} - T = gu_t$ 에서 g는 공정 계인(Gain) 이다. 또한, 각란 예측을 위하여 확률각란을 생각하면, $Y_{t+1} - T = n_{t+1}$ 이다. 품질특성 Y_t 항목은 $Y_{t+1} - T = n_{t+1} + gu_t$ 이고, n_{t+1} 은 t시간에 알려져 있지 않으므로 추정치 $\hat{n}_{t+1} = n_t + \lambda(n_t - \hat{n}_t)$ 으로 예측한다.

그러므로, $Y_{t+1} - T = e_{t+1} + \hat{n}_{t+1} + gu_t$ 로 나타낸다. 목표 값에 맞도록 시스템을 유지하기위해 $u_t = \frac{\lambda}{g} \sum_{j=1}^t e_j$ 로 나타낸다. 여기서 $e_j = Y_j - T$ 이다.

▶ Step 6. 공정조절을 하고, 새로운 품질특성치를 얻기 위해서, Step 2로 피드백 한다.

▶ Step 7. 공정조절의 결과 품질특성이 목표대로 되었을 경우는 종료하고 그렇지 않은 경우 다음 품질특성의 진행을 위하여 다시 공정을 가동하게 된다.



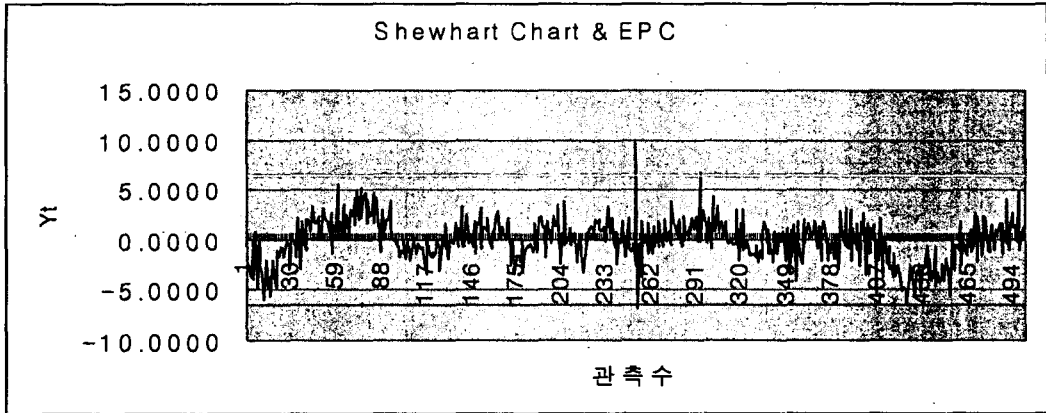
<그림 4> EPC/SPC 연계모형의 알고리즘

3.2.6 EPC/SPC연계 방법

<그림 5 >는 품질특성이 EPC와 슈하트관리도의 연계된 결과를 나타낸다. 연계방법은 공정조절 진행중 가피원인이 발생되면 가피원인을 제거하고 바로전 공정의 품질특성과 연결되어 다음 품질특성을 공정조절 한다. 슈하트관리도의 관리한계선 위에 점은 t=251에 쉬프트된 값이 10이며, 가피원인으로 판단되어 제거된다. EPC와 SPC 연계절차에서 SPC는 가피원인이 발견되자마자 가피원인을 제거하고, 다시 250번째의 품질특성에 이어서 252번째의 품질특성을 공정조절 한다. 이때, 산업 표준으로 사용되는 EPC모형으로써 MMSE컨트롤러를 사용한다. 수행도 측정은 다음과 같다.

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

EPC와 SPC 연계는 더 많은 변동의 감소를 가져온다. 이 때 PM값은 3.408이다.



<그림 5 > EPC와 슈하트관리도와 연계방법($t=251$ 에서 쉬프트된 값 10, $PM=3.408$)

4. 결론

공정능력지수는 공정능력치(6σ)에서 표준편차(σ)를 조절하여 목표대로 변동조절을 하여 품질특성의 변동이 작아지도록 한다. SPC와 EPC연계모형의 적용시스템은 공정능력의 적용과 병행하여 사용할 수도 있고, 공정능력의 적용이 실패 할 경우에도 변동을 감소시키는 역할이 탁월하다.

SPC/EPC연계에서는 연계절차와 방법들이 확립 되었으며 자기회귀모와 연계된 각란모형을 SPC와 연계하여, 가피원인을 탐지하는 능력과 공정조절능력이 우수 하도록 하였다. 본 논문은 효율적인 공정관리시스템을 위하여, 공정능력지수에서 변동조절에 실패하였을 경우 사용이 편리 하도록 SPC와 EPC이론들을 연계하여 체계화 하였다. 향후 연구 과제로는 다양한 SPC기술과 EPC모형의 연계와 자기회귀 각란모형에 대한 연계방법이 기대된다.

5. 참고 문헌

- [1] 김종걸, 정해운, 자기회귀 각란모형을 고려한 EPC 와 SPC의 통합시스템, 성균관대학교, 박사학위논문,(2002):1~134.
- [2] 김종걸, 채호식, CUSUM 관리도에 관한 조사연구, 성균관대학교 과학기술연구소 과학기술편, 제39집 No. 2.(1988).
- [3] 정해운, 정해두, 통계적 공정관리, 책, 민영사, (2006.1.20), 1~390.
- [4] 이승훈, ,Minitab을 이용한 공학적 통계 자료분석, 책, 이레테크,(2006.6.1):1~882.
- [5] Astrom, K.J.and Wittenmark, B. Computer Controlled Systems: Theory and Design. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.(1984).
- [6] Anderson O. D. Time Series and Forecasting, Butterworth, London. (1976).

- [7] Box, G.E.P. "Feedback Control by Manual Adjustment ," Quality Engineering, Vol.4.(1991-1992).
- [8] Box, G. E. P.; Jenkins, G. M.; and Reinsel, G. M. Time Series Analysis: and Contr, 3ed ed.(1994).
- [9] BOX, G.E.P. and Kramer, T. "Statistical Process Control and Feedback Adjustment - A Discussion", Technometrics 34, (1992): 251-285.
- [10] BOX, G.E.P. and Luceno, A. "Selection of Sampling Interval and Action Limit for Discrete Feedback Adjustment", Technometrics 36,(1994): pp.369-378.
- [11] BOX, G.E.P. and Luceno, A. Statistical Control by Monitoring and Feedback Adjustment. John Wiley&Sons, New York, NY,(1997).
- [12] Deming, W. E. Some Theory of Sampling. John Wiley & Sons, NY.(1950).
- [13] Lucas, J.M. and M.S. Saccucci ,"Exponentially Weighted Moving Average Control Schemes: Properties and Enhancements",Technometrics, Vol. 32. (1990).
- [14] MacGregor, J. F, "A Different View of the Funnel Experiment". Journal of Quality Technology 22,(1990): 255~259.
- [15] MacGregor, J. F. and T. J. Harris, "Discussion of 'EWMA Control Schemes: Properties and Enhancement' by Lucas and Saccucci". Technometrics 32, (1990): 23~26.
- [16] MacGregor. j. f. A Different Wiew of the Funnel Experiment ,J. Q. T vol. 22.No. 4. (1990).
- [17] Montgomery, D. C., Johnson, L. A. and Mardiner, J. S. Forecasting and Time Series, 2nd ed., McGraw-Hill, NY.(1990).
- [18] Montgomery, D.C: Keats, J.B.: Runger, G.C.: and Messina, W.S. "Integrating Process Control and Engineering Process Control". Journal of Quality Technology 26,(1994): 79-87.

저 자 소 개

정 해 운 : 오산대학 산업경영과 부교수이며, 성균관대학원 산업공학과 에서 공학박사 취득 하였고, 관심분야는 품질관리, SPC, 실험계획법등 산업공학이다.

저 자 주 소

정 해 운 : 경기도 오산시 청학동 17번지 오산대학 산업경영과.