

# SPC/EPC의 효율적인 적용을 위한 연계 Combination for Efficient Application of SPC/EPC

정 해 운  
Hae-Woon Jung

## 1. 연구의 목적

공정능력을 반영하면서 SPC와 EPC모형이 효율적으로 연계된 이론은 관리력 향상과 변동을 목표대로 감소시켜 효율적인 공정개선이 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 효율적으로 연계 함으로서 확립된다. SPC와 EPC 두 기술을 효율적으로 연계하기 위한 범위는 공정능력에 의한 관리력에 대한 연구에서 SPC와 EPC기초이론, SPC/ EPC에의 조사, 관리도와 공정조절의 연계 방법, 적용, 에 이르기까지 공정개선과 품질향상에 기여 하는 공정관리시스템까지로 하였다[1][2][3].

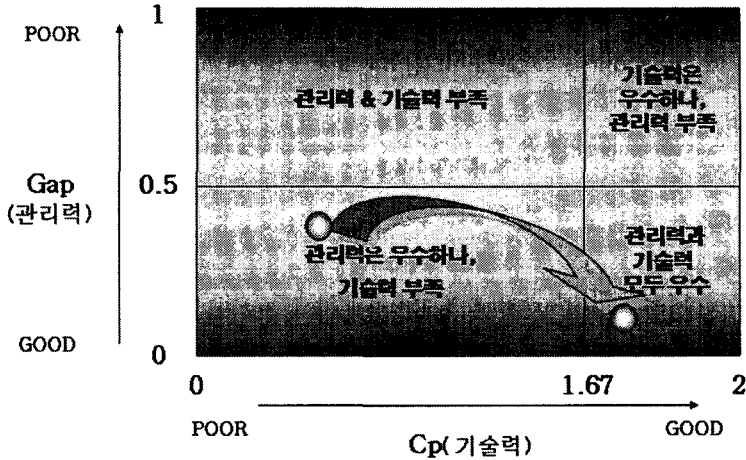
## 2. 연계의 구성요소

### 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 예측한다. 또한 적절하게 이전에 공정이 안정되었는지 보증하고 공정능력을 평가한다. 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 변동의 감소로 공정을 개선하도록 한다. 만약 목표대로 변동이 감소되지 않을 경우 SPC/ EPC와 연계를 하는 사고를 하게 된다.

다음의 <그림 1>은 관리력과 기술력사이의 관계를 나쁜 것에서 좋은 것에서 이르기까지 나타낸 것이다. 기술력과 관리력은 데이터가 있는 그 시점에서 만 효력이 있다. 먼저 공정능력에 의한 공정개선의 효과를 분석한다. 만약 공정능력지수가 1급이

되지 못 할 경우나 연속적인 공정조절이 어려울 경우 다른 사고를 병행 적용해야 한다. 이러한 사고가 SPC/ EPC를 시행하여 목표대로 변동이 효율적으로 관리되도록 하는 것이다[2][4].



<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[1].

이들 관리도에 대해서 간략히 살펴보면 다음과 같다.

### 1) 슈하트관리도

슈하트관리도의 운용절차로는 품질특성치  $Y_i$ 가 관리한계선을 벗어나면 거짓경보인가 가피원인 인가를 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.

### 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[12].

### 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 목표값으로부터 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[1].

## 3. 연계 방법론

Box와 Kramer는 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].

### 3.1 EPC알고리즘

전통적인 EPC모형의 알고리즘은 다음과 같다. 이 모형은 품질특성을 공정조절 하는 통합모형으로 컨트롤러, 각란, 오차 등이 포함되며 가란과 오차는 정규분포에 따르며 각각 독립이라는 가정 하에서 정리1과 보조참조1을 작성하였다[1][5][6][7][8][9][11][12][13].

【정리1】 더 좋은 변동의 감소 (PM : performance) 측정

목적  $\hat{Y}_t = T$ 가 되도록

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

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

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

●  $\underline{Y_t = u_{t-1} + n_t + e_t}$

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

● 제안된 공정조절 모형

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

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

● 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:  $\underline{Z_t = \lambda Y_t + (1 - \lambda) Y_{t-1}}$ )



### 3.2 공정능력과 SPC와 EPC의 비교

3가지 연계방법의 비교는 공정능력과 SPC와 EPC의 철학, 적용, 목표등을 비교하였다. 공정능력을 이용한 변동조절은 단속공정이나 그 시점에서 변동조절에 실패 할 경우, 공정능력의 과 SPC/EPC연계모형을 병행 사용한다. SPC와 EPC의 통합의 다른 방법사례는 Vander Weil(1992)과 Sachs, Hu, Ingolfsson(1995)에 의하여 SPC알고리즘과 관리도에 의한 런이 적용되었다[1]. 본 연구는 기능이 전혀 다른 SPC와 EPC의 방법론의 비교를 <표 1>에 나타내었다[1][3].

&lt;표 1&gt; SPC와 EPC의 방법론 비교

	공정능력	SPC	EPC
철학	공정능력 지수로 규격 폭과 산포폭 의 비율	공정품질특성의 감지 와 제거를 통한 변 동의 최소화	공정의 각란을 중화 시키기 위해 공정 조절
적용	단속공정의 측정 시점의 변동조절	변동이 없는 공정의 기대	연속적인 공정 흐름의 기대
전개 단계 목표 기능 비용 중점	Cp 전략적 관리력향상 산포조절 사람과작업방법 품질특성	SPC 전략적 가피원인탐지 장애 발견 사람과 작업방법 품질특성	EPC 전술적 공정 조절 set point 감지 극히 적음 장비
결과	공정개선	공정 개선	공정 최적

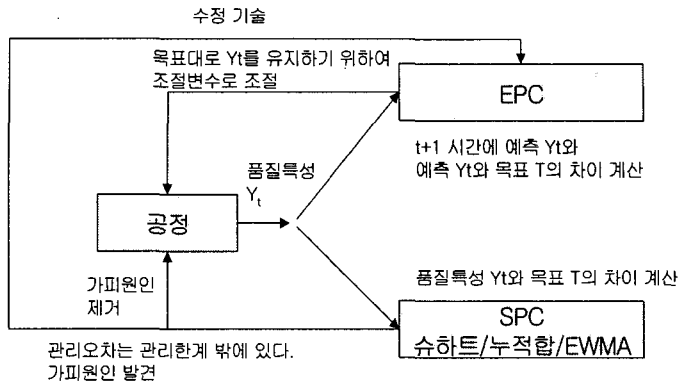
### 3.3 연계

공정능력, SPC와 EPC의 연계에서 공정능력이 실패하여 병행사용만이 가능하다고 가정한다. 본 연계에서는 SPC와 EPC의 단순연계와 EPC모형에서 산업표준이 되는 MMSE 컨트롤러와 연계, 다른 사고로서의 EPC/SPC연계 방법을 연구하였다[1][2].

#### 1) SPC와 EPC의 단순연계

통합모형을 위한 분석에서는 SPC와 EPC의 관계, 기능이 다른 역할을 하는 SPC와 EPC의 비교, EPC의 적용을 위한 다양한 각란의 특성을 소개, 품질특성이 변화할 때 추세의 적용 방법, 평균이 이동하는 경우에 MMSE 컨트롤러의 적용의 타당성을 논술하였다. [그림2]은 몽고메리(1994)에 의하여 SPC/EPC의 관계를 나타내었다[7].

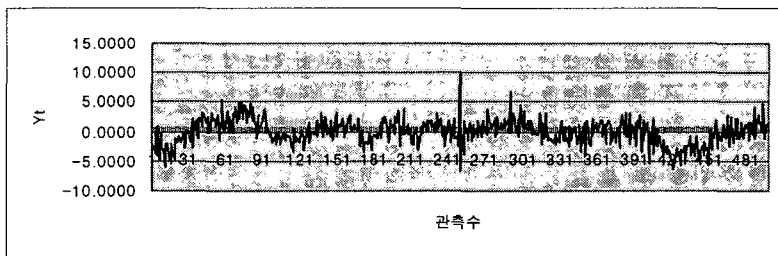
EPC는  $t+1$ 시점에 예측값  $Y_t$  을 계산하고 예측된  $Y_t$ 와 목표값과의 차이를 계산하여 그 차이만큼 목표대로 품질특성을 유지하기 위하여 조절변수로 공정을 조절하며, 이때 SPC는 공정조절된 품질특성이 관리한계를 벗어났다면, 가피원인을 제거하고 다음 공정조절로 연결된다.



[그림 2] SPC와 EPC의 단순연계

#### 4. EPC와 SPC의 통합모형의 적용

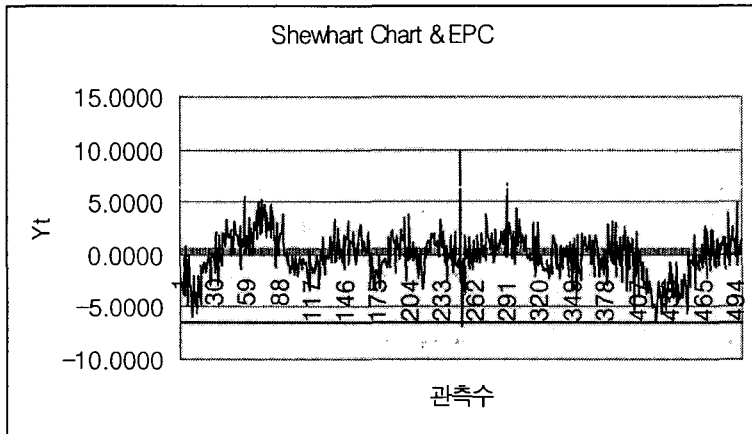
본 연구는 공정능력으로 변동의 감소가 어려운 경우에 EPC와 SPC통합모형의 수행도 평가를 위하여 간단한 시뮬레이션을 수행한다. 시뮬레이션에서는 품질특성치를 500개를 발생시키고, 가피원인을 인위적으로 발생되도록 251번째에 크기가 각각 1, 2, 5, 7.5, 10이 되도록 쉬프트하여 수행 도를 평가한다. SPC를 이용하여 슈하트관리도에서 가피원인을 탐지하지 못할 경우, 즉 관리한계 내에 있을 경우는 EPC가 계속 공정조절을 하는 역할을 한다. 품질특성치가 관리도에 의하여 가피원인으로 탐지될 경우는 관리한계를 벗어난 품질특성치를 즉시 제거하고 다음 품질특성치를 이용하여 지속적인 SPC/EPC 통합모형을 수행한다. 인위적으로 발생시킨 251번째의 쉬프트된 품질특성치 1, 2, 5, 7.5, 10 이 클수록 가피원인이 될 가능성이 높아짐으로 SPC에 의해서 제거될 가능성이 높다. 수행도 평가에서는 이 가피원인을 얼마나 정확하게 제거하는지를 분석하기 위하여 PM값을 구한다. 통합모형의 특성은 다음 그림과 같다.



[그림 3] 품질특성은 EPC를 사용한 목표와 편차  
(t=251에서 쉬프트된 값 10, PM=3.768)

[그림 3]은  $n_i$ 가 설계된  $u_i$ 에 의하여 EPC통합모형을 계산된  $Y_t$ 를 나타낸다. 즉, 공정 조절된 500개의 관측치에 대한 품질특성이 타점 되었고, 시점  $t=251$ 에 10의 값이 쉬프트한 값이다. 이 때,  $u_i$ 의 모수값들은 각각  $\phi_1=0.7$ ,  $\phi_2=0.1$ ,  $\theta_1=0.3$ ,  $\theta_2=0.1$ 의 값은 맥그리거에 의하여 사용된 값을 참조하였다. 이 때의 수행도 측정값은  $PM = 3.768$ 이다.

[그림 4]의  $Y_t$ 는 EPC와 슈하트관리도의 통합된 결과를 나타낸다. 슈하트관리도의 관리한계선 위에 점은  $t=251$ 에 쉬프트된 값이 10이며, 가피원인으로 판단되어 제거된다. EPC와 SPC 통합절차에서 SPC는 가피원인이 발견되자마자 가피원인을 제거하고, 다시 EPC는 공정조절을 시작한다. 이러한 통합모형은 더 많은 변동의 감소를 가져온다. 이 때  $PM$ 값은 3.408이다.



[그림 4] 품질특성은 EPC와 슈하트관리도를 사용한 목표와의 편차  
( $t=251$ 에서 쉬프트된 값 10,  $PM=3.408$ )

수행도 측정의  $PM$  모형은 다음과 같다. 이 때 목표값( $T$ )은 0으로 한다.

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

<표 2>는 평균이 이동하는 경우에 품질특성치의 SPC/EPC 통합모형들의  $PM$ 값들이다.

<표 2> 쉬프트된 품질특성치 AR모형에서  $U_t$ 의 모수값(0.7, 0.25),  
 $\theta$ 값(0.1, 0.4) 일 때 평균PM.

품질특성의 쉬프트된 값	공정조절 이전 값	EPC	EPC/ 슈하트	EPC/ EWMA $\theta_1=0.1$	EPC/ EWMA $\theta_2=0.4$	CUSUM h=4, k=0.5
1	3.648 (0.0050)	3.365 (0.0059)	3.305 (0.0048)	3.315 (0.0052)	3.209 (0.0049)	2.421 (0.0052)
2	3.648 (0.0049)	3.383 (0.0060)	3.323 (0.0051)	3.333 (0.0052)	3.229 (0.0051)	2.428 (0.0052)
5	3.648 (0.0050)	3.476 (0.0073)	3.417 (0.0051)	3.428 (0.0053)	3.324 (0.0051)	2.479 (0.0064)
7.5	3.648 (0.0045)	3.601 (0.0085)	3.366 (0.0052)	3.554 (0.0058)	3.405 (0.0055)	2.554 (0.0067)
10	3.648 (0.0048)	3.768 (0.0118)	3.408 (0.0058)	3.734 (0.0069)	3.343 (0.0068)	2.660 (0.0070)

## 5. 결 론

효율적인 공정관리시스템은 공정능력과 EPC와 SPC가 연계된 모형들로서 품질특성의 데이터가 정규분포를 한다고 가정하였다. 본연구는 공정능력을 포함한 SPC와 EPC 연계하는 알고리즘을 체계가 확립되었다. 공정능력지수는 기대한 공정능력이 실패한 경우에 공정능력치 ( $6\sigma$ )에서 표준편차 ( $\sigma$ )를 조절하여 품질특성의 산포가 작아지도록  $\sigma$ 와 연계 되어야 한다. 본 논문에서 공정능력, SPC/EPC연계시스템은 연계절차와 방법이 제시 되었으며 일계 자기회귀모형의 통합모형을 제시하여 가피원인을 탐지하는 능력과 공정조절능력이 우수 하도록 하였다. SPC와 EPC연계모형의 적용시스템은 공정능력의적용과 병행하여 사용할 경우 변동을 감소시키는 역할이 탁월하다. 향후 연구 과제로는 SPC의 다양한 기술과 EPC모형의 연계와 고차 자기회귀에 의한 각란모형에 대한 연계방법이 기대된다.

## 참고 문헌

- [1] 김종걸, 정해운(2002),자기회귀 각란모형을 고려한 EPC 와 SPC의 통합시스템, 성균관대학교, 박사학위논문.PP1~134
- [2] 김종걸, 채호식(1988), CUSUM 관리도에 관한 조사연구, 성균관대학교 과학기술연구소 과학기술편, 제39집 No. 2.
- [3] 정해운, 정해두, (2006.1.20), 통계적 공정관리, 책, 민영사, PP1~390
- [4] 이승훈, (2006.6.1) ,Minitab을 이용한 공학적 통계 자료분석, 책, 이레테크,pp1~882



- 
- [5] Astrom, K.J. and Wittenmark, B. (1984). *Computer Controlled Systems: Theory and Design*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- [6] Anderson O. D., (1976). *Time Series and Forecasting*, Butterworth, London.
- [7] Box, G.E.P. (1991-1992). "Feedback Control by Manual Adjustment," *Quality Engineering*, Vol.4.
- [8] Box, G. E. P.; Jenkins, G. M.; and Reinsel, G. M. (1994). *Time Series Analysis: and Control*, 3ed ed.
- [9] BOX, G.E.P. and Kramer, T. (1992), "Statistical Process Control and Feedback Adjustment - A Discussion", *Technometrics* 34, pp.251-285.
- [10] BOX, G.E.P. and Luceno, A. (1994), "Selection of Sampling Interval and Action Limit for Discrete Feedback Adjustment", *Technometrics* 36, pp.369-378.
- [11] BOX, G.E.P. and Luceno, A. (1997). *Statistical Control by Monitoring and Feedback Adjustment*. John Wiley&Sons, New York, NY
- [12] Lucas, J.M. and M.S. Saccucci (1990), "Exponentially Weighted Moving Average Control Schemes: Properties and Enhancements", *Technometrics*, Vol. 32.
- [13] 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.