

초기공정에서 지수가중 이동 통계량을
이용한 SPC 관리도
-SPC chart for exponential weighted
moving statistics in start-up process-

이 회 춘¹⁾
Lee, hee chnu
지 선 수²⁾
Ji, seon su

Abstract

Classical SPC charting methods such as \bar{X} , R, S charts assume high volume manufacturing processes where at least 25 or 30 calibrate samples of size 4 or 5 each can be gathered to estimate the process parameters before on-line charting actually begins. However, for many processes, especially in a job-shop setting, production runs are not necessarily long and charting technique are required that do not that depend upon knowing the process parameters in advance of the run. In this paper, using modifying statistics, we give a method for constructing control charts for the process mean when the measurements are from a normal distribution. In this case, consider that smaller weight being assigned to the older data as time process and properties and taking method of exponential smoothing constant(λ) are suggested.

1. 서 론

Hiller(1969) 등에 의해서 연구,개발,개선된 고전적인 SPC(statistical process control) 관리도 방법은 \bar{X} , R, S 관리도처럼 관리도를 실제공정에 적용하기 전에 적어도 표본크기가 4~5개인 관측그룹 25~30개를 택해 공정모수를 추정하여 사용하는 것으로 이때의 생산공정은 대량생산, 장기생산공정을 가정하였다. 과거의 품질관리형태는 생산라인으로부터 대량생산되어지는 제품의 일부분을 주기적으로 선택하여 예비관리한계선을 이용하여 관리모수(관리한계선, 표본크기, 표본추출간격)를 구하여 생산공정을 관리하였다. 제품생산주기가 길고 또한 대량으로 생산되는 공정관리에서는 초기공정에서 생산되는 제품은 공정관리를 위한 사전정보 즉 관리모수를 구하는 자료로 사용되어 왔다. 그러나 현재의 제품제조과정은 점차적으로 과거와 다른 환경으로 변모하고 있다.

현재의 산업생산에 있어서 과거의 대량생산체계에서와는 다른 다품종 단기소량생산시대로 변모하고 있다. 따라서 제품 생산주기가 짧아지고 소량생산을 하는 생산체계로 변모하므로 초

1)상지대학교 응용통계학과
2)원주전문대학 사무자동화과

기 공정관리문제가 중요하게 되었다. 즉 공정모수가 알려져 있던, 알려지지 않았던 경우이던간에 생산공정의 가동초기부터 관리도를 적용하는 것이 바람직하다. 생산공정의 작업환경이 공정모수를 추정하기 위해 소량의 관련자료를 얻을 수 밖에 없으며 공정모수를 추정하기 위한 사전 정보가 바람직하든/바람직하지않든 공정평균과 분산을 위한 관리도가 공정의 시작으로 부터 다루어져야만 한다. 공정의 출발때부터 실시간 관리도를 적용하는 것에 의해 이상원인을 감지하고 제거하는 일을 해야만 공정이 초창기에 정상상태로 되어지고 전반적인 품질개선이 이루어질 것이다. 초기공정을 관리하기 위해 Quesenberry(1991a, 1991b, 1995a, 1995b)는 새로운 통계량을 제시한 합리적인 관리도 설계방법을 제시하였다.

장기 대량생산시스템에서 통계량을 구할 때 임의 시점에서 얻은 자료에 가중치를 같게하여 평균과 분산을 구하여 사용하여왔다. 물론 임의의 시점에서 자료를 선택할 때 확률적으로 동일 조건하에 자료를 동시에 택한다는 가정을 한 상태에서 출발하였다. 그러나 단기 소량생산라인에서는 기존의 방법과는 다른 방법으로 통계량을 구할 필요가 있다.

특별하게 연속적으로 생산된 공정으로부터 다음과 같은 측정자료가 있다고 가정하자.

$$X_1, X_1, \dots, X_t, \dots$$

관측값 X_t 는 t 번째 시점에서 얻은 것으로 공정평균이 μ 이고 공정분산이 σ^2 인 공정분포로부터 선택되어진다고 가정한다. 시점 t 에서 구한 통계량 $W(t)$ 에는 t 시점 이전에서 얻은 관측치 $\dots X_{t-2}, X_{t-1}$ 보다 t 시점에서 구한 관측치 X_t 가 더 많은 정보를 가지고 있음은 자명한 것이다. 본 논문에서는 각각의 시점에서 관측자료의 가중치를 다르게 하는 지수적 가중이동 통계량(exponentially weighted moving statistics:EWMS)을 구하여 공정평균에 대한 관리도를 설계하는 방법을 제시한다.

2. 일반적인 관리도

2.1 Shewhart 관리도

일반적인 관리도를 설계하기 위해서는 1924년 Shewhart가 제안한 Shewhart 관리도 설계를 고려해야한다. 개별관측치들이 서로 독립이고 동일분포로부터 선택된 정규확률변수의 값이라고 가정하고 보통 3σ 관리한계를 기준으로 한다. 공정평균이 μ 이고 공정분산이 σ^2 인 공정분포로부터 t 번째 시점에서 n 개가 택해진 표본을

$$X_t' = (X_{t1}, \dots, X_{tn})$$

이라 하자. 표본추출시 단순한 형태를 위해 n 개의 관측치가 동시에 택해지며, 공정에서 어떤 변화가 일어났다고 가정하고 이상원인을 찾고 수정하는 조치를 취하는 과정을 고려한다. 시점 t 에서 관심있는 관리통계량 $W_t(X_t, \bar{X}_t, S_t^2, R_t, \dots)$ 를 계산할 수 있으며 통계량 W_t 는 일반적으로 모수값이 커지면 커지는 경향이, 작아지면 작아지는 경향이 있다고 가정한다. 근사적인 3σ 예측구간은 $E(W_t) \pm 3 \cdot SD(W_t)$ 로 계산하여 관리도를 설계할 수 있다. 가장 많이 이용되는 \bar{X} 관리도를 위해 공정의 t 시점으로부터 얻은 관측값으로부터 다음과 같은 통계량을 계산할 수 있다.

$$\bar{X}_t = \sum_{i=1}^n X_{ti}/t \quad (1)$$

$$S_t^2 = \sum_{i=1}^t (X_i - \bar{X}_t)^2 / (t-1), \quad t=2, 3, \dots \quad (2)$$

일반적인 Shewhart 관리도에서는 식 (1)과 (2)에서 구한 통계량을 가지고 다음과 같은 t 시점에서의 관리통계량을 만든다.

$$S(t) = \frac{\bar{X}_t - \mu_0}{S_t / \sqrt{n}} \quad (3)$$

여기에서 μ_0 는 공정이 통계적으로 안정된 상태에서 구한 관리값(control value)이다. 관리 상한선과 관리 하한선을 가지고 도표상에 시간이 경과하면서 식 (3)에서 구한 관리통계량을 값을 표시해 가면서 공정의 변화를 감지할 수 있다. Shewhart \bar{X} 관리도의 관리상한(upper control limit:UCL)과 관리하한(lower control limit:LCL)을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} UCL &= \mu_0 + k\sigma/\sqrt{n} \\ LCL &= \mu_0 - k\sigma/\sqrt{n} \end{aligned} \quad (4)$$

여기에서 k는 임의의 상수이다. 관리통계량이 관리한계선을 벗어나면 공정을 중지하고 이상요인을 찾아서 제거하는 후속조치를 취한다.

공정에서의 작은 변화에 민감하지 못한 Shewhart(1924) 관리도를 좀 더 개량하여 Page(1954)가 누적합(cumulative sum:CUSUM) 관리도를 제안하였고 Roberts(1959)는 지수가중 이동평균(exponentially weighted moving average:EWMA) 관리도를 연구/개발 하였다. 물론 이들 관리도는 여러학자들에 의해 연구되어지면서 많은 개선이 되었다.

2.2 누적합 관리도

적은 비용으로 Shewhart 관리도와 같은 정도의 효율을 낼 수 있으며 공정의 작은 변화에서도 민감하게 반응하는 누적합관리도는 과거의 관측값을 공정상태의 판단에 사용한다. 다음과 같이 몇단계를 걸쳐 공정관리를 진행한다. 연속생산공정의 t 시점에서 관측된 값을 $X_t = (X_{t1}, \dots, X_{tn})$, $t=1, 2, 3, \dots$ 라 하고 θ_0 를 관리모수의 관리값이라하고 θ_1 을 기각품질수준이라 하자.

[1 단계] 관리모수에 따라 적당한 t 번째 통계량 $S_t = S(X_t; \theta_0)$ 를 정의한다. 물론 이때 통계량 S_t 는 θ 에따라 단순 증가하는 경향이 있다.

[2 단계] 다음과 같은 관리통계량을 정의한다.

$$Y_j^* = Y_j - \min Y_m, \quad \text{단 } Y_j = \sum_{i=1}^j (S_i - k_1), \quad Y_0 = 0 \quad (5)$$

$$0 \leq m \leq j-1$$

[3 단계] 통계량 Y_j^* 관리한계선 보다 크면 관측시점 t에서 공정을 중지한다.

여기에서 k_1 는 참고값(reference value)이라하고 h를 결정구간(decision interval)이라 한다. 일반적으로 $k_1 = (\theta_0 + \theta_1)/2$ 로 결정하고 결정구간 h는 공정이 관리상태일 때의 평균런의 길이에 따라 설정하는데 보통 4 혹은 5로 많이 사용된다. 일반적인 누적합관리도의 관리절차는 다음과 같다.

$|Y_j^*| \geq h$, 만족하는 최초의 관측시점 t 에서 공정을 중지한다.

누적합관리도는 효율면에서는 우수하나 적용면, 이론적전개가 어려우므로 실질적인 공정관리에 사용하는 데는 많은 어려움이 있다.

2.3 EWMA 관리도

지수가중 이동평균관리도는 누적합관리도와 유사하나 관리도의 설정과 운영방법에 있어 누적합관리도보다는 쉽다. 연속적으로 관측된 부그룹의 평균의 지수가중이동평균을 구하여 관리한계와 비교하는 방법으로 관측시점 t 에서의 부그룹 평균을 \bar{X}_t 라 할 때 지수가중이동평균 $EWMA_t$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} EWMA_t &= \alpha \cdot \bar{X}_t + (1-\alpha) \cdot EWMA_{t-1}, \quad t=1,2,3,\dots \\ EWMA_0 &= \mu_0 \end{aligned} \tag{6}$$

물론 관리한계선은 다음식에 의해 근사적으로 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} UCL &= \mu_0 + k_2 \sigma / \sqrt{n} \cdot \sqrt{\frac{\alpha}{2-\alpha}} \\ LCL &= \mu_0 - k_2 \sigma / \sqrt{n} \cdot \sqrt{\frac{\alpha}{2-\alpha}} \end{aligned} \tag{7}$$

여기에서 α 는 가중치를 나타내며 $0 < \alpha \leq 1$, k_2 는 임의의 상수이다. Lucas와 Saccucci(1990)는 가중치 α 와 관리한계 k_2 의 최적설정에 관해 연구를 하였으며 가중치는 0.1부터 0.3 사이에서 대부분이 합리적으로 결정됨을 보였다. 가중치는 기각품질수준이 관리값에 가까울수록 0에 가까운 값으로 설정하면 관리도의 효율을 높힐 수 있다.

3. 지수가중 이동 통계량을 이용한 관리도

일반적으로 공정모수(공정평균이 $\mu = \mu_0$, 공정분산이 $\sigma^2 = \sigma_0^2$ 일때)가 알려졌을 경우 관리통계량은 다음과 같이 간단하게 계산할 수 있다.

$$W_t(X_t) = \frac{X_t - \mu_0}{\sigma_0}, \quad t=1, 2, \dots \tag{8}$$

공정평균(μ)을 모르고 공정분산($\sigma = \sigma_0$)이 알려졌을 경우 다음과 같은 통계량을 계산할 수 있다.

$$W_t(X_t) = \frac{X_t - \bar{X}_{t-1}}{\sigma_0}, \quad t=2, 4, \dots \tag{9}$$

그러나 실제공정 적용에서 공정모수가 알려졌을 경우는 드물며 대부분의 공정에서는 알려지지 않은 공정모수를 합리적으로 추정하여 사용한다. 즉 공정모수를 모를 경우 다음과 같은 통계량을 정의할 수 있다.

$$W_t(X_t) = \frac{X_t - \overline{X_{t-1}}}{S_{t-1}}, \quad t=3, 4, \dots \quad (10)$$

정규분포를 가정한 공정에서 공정평균을 관리하기 위해 공정의 출발에서 관리도를 적용할 수 있는 단기 생산공정에 적당한 통계량 W 는

$$W_1, W_2, \dots, W_p, \dots$$

표준정규분포를 따른다. 따라서 통계량 W 는 3σ 관리한계선 ± 3 을 갖는 표준 shewhart 관리도에 표시할 수 있다. 이와같이 W 통계량을 사용하면 표준화된 관리도법을 사용할 수 있다.

공정이 정상상태일 때 Box, Jenkins(1970)에 의해 연구된 차수가 1인 IMA(Integrated moving average) 모델을 참고로하여 다음의 모델을 고려한다.

$$X_t = X_{t-1} + a_t - (1 - k_3)a_{t-1} \quad (11)$$

여기에서 a_t 는 평균이 0이고 분산이 σ_a^2 인 확률표본이며 k 는 σ_a 에 관련된 추세비율에 영향을 받는 모수이다. (11)식에서 $k_3=0$ 이면 백색잡음을 나타내고 $k_3=1$ 이면 random walk를 나타낸다.

본 논문에서는 다음과 같은 수정된 지수적으로 가중치(smoothing coefficient)를 주는 이동통계량을 이용한다. 즉 t 시점에서 계산된 통계량($X_t^*, \overline{X_t}, S_t^2$ 등)은 t 시점에서 택해진 관측치 X_t 에 관련된 정보가 가장 영향력을 많이 주고 t 시점 이전에 얻어진 자료는 과거로 갈수록 그 영향력이 작아져야 함은 자명한 일일 것이다. 따라서 다음과 같은 수정된 새로운 지수적 가중 이동(exponentially weighted moving: EWM) 통계량은 다음식에 의해 계산할 수 있다.

$$X_t^* = \lambda \cdot (X_t - X_{t-1}^*) + X_{t-1}^*, \quad t=2, 3, \dots \quad (12)$$

여기에서 $0 < \lambda \leq 1$ 이고 수정된 공식에 의해 계산된 통계량 X_t^* 은 가장 최근 값의 정보로부터 과거의 정보로 갈수록 그 가중치를 작게 주는 지수적 가중 이동통계량이다. 또한 개별관측치를 공정으로부터 직접 얻어서 사용할 때는 기존의 통계량보다 EWM 통계량이 과거의 정보를 포함하기 때문에 그만큼 정보의 손실이 작다는 것이다.

현재의 대부분의 생산공정에서 초기공정에서 미세한 공정변화를 가능한 빨리 감지하여 생산라인을 멈추고 이상원인을 제거하는 조치를 취해야한다. 즉 t 시점에서 각각의 관측치에 따라 $\lambda(1-\lambda)^{t-i}$, $i=1, 2, \dots, t$ 의 가중치를 부여한다. 초기공정에서 작은 변화에 민감하고 과거로 갈수록 자료에 대한 가중치를 작게주는 지수적 가중이동 통계량을 이용하여 공정관리를 진행할 수 있다.

$$W_t(X_t) = X_t^*, \quad t=2, 3, \dots$$

$$W_1(X_1) = \mu_0 \quad (13)$$

통계량 $W_t(X_t)$ 의 평균과 분산은 다음과 같이 계산할 수 있으며

$$E(W_t(X_t)) = \mu_0$$

$$\text{Var}(W_t(X_t)) = \left(\frac{\lambda}{2-\lambda}\right) \cdot \sigma^2 \tag{14}$$

관리한계선은 다음과 같이 계산된다.

$$\mu_0 \pm k_4 \cdot \sqrt{\lambda/(2-\lambda)} \cdot \sigma \tag{15}$$

EWM 통계량 $W_t(X_t)$ 를 관리한계선에 표시하므로 제품의 공정관리를 진행할 수 있다. 여기에서 k_4 는 임의의 상수이며 보통 3을 사용한다.

4. 가중치 결정방법

가중치를 정하는 수학적이론은 없으며 Hunter(1986)는 모의실험을 통해 예측오차를 최소화 하는 가중치(λ) 값을 선택하는 방법으로 시행착오법을 제안했다. 이 논문에서는 Robert V. Baxley Jr(1990)가 제안한 방법과 비슷하게 예측오차를 가지고 공정에서 변화와 알려진 분산을 변화시켜볼 때 각각의 경우에 가중치가 어떻게 변화하는지를 알아본다. 평균이 0.0이고 분산이 1.0인 표준정규분포를 따르는 관측치를 IMSL의 GGNML을 이용하여 확률 수를 생성시켜 사용한다.

$$\begin{aligned} \text{예측오차} &= X_t - W_t(X_t) \\ &= (1-\lambda)(X_t - X_{t-1}^*) \\ &= a_t \end{aligned} \tag{16}$$

여기에서 a_t 는 백색잡음(white noise)을 나타내고 이때 공정에는 우발적원인이 없다고 가정한다. 공정의 변화를 (1.0, 0.25, 0.01)·(표준편차)만큼 변할때 가중치를 (0.10:0.60)0.05로 변화시켜보면서 공정의 예측오차를 구하여 <표1>-<표3>에 관련결과를 수록하였다. 표에서 FE는 예측오차*10000를 나타낸다. 이때 10,000번의 모의실험을 수행한다.

<표1> 변화의 크기가 1.0·(표준편차) 변할때 가중치(λ)변화에따른 예측오차의 변화

λ	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60
FE	8	9	7	9	5	6	8	3	6	5	7
비 고								*			

<표2> 변화의 크기가 0.25·(표준편차) 변할때 가중치(λ)변화에따른 예측오차의 변화

λ	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60
FE	6	7	9	6	5	4	3	3	3	5	6
비 고							*	*	*		

<표3> 변화의 크기가 0.01·(표준편차) 변할때 가중치(λ)변화에따른 예측오차의 변화

λ	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60
FE	6	9	6	5	2	3	3	4	3	4	5
비 고					*						

<표>를 참고로 공정변화의 크기가 클수록 가중치를 크게 주는 것이 예측오차를 줄일수 있음을 확인할 수 있다. 또한 가중치를 너무 작게(0.2이하) 혹은 너무 크게(0.5이상)택하면 오히려 오차가 커질수 있다는 것을 고려하여 EWM 통계량을 이용한 관리도를 설계하는 것이 바람직함을 확인할 수 있다.

5. 적용예

모수를 추정하기 위해 신뢰성있는 자료를 충분히 얻을 수 있다면 알려진 모수를 사용하는 식 (8)의 관리통계량을 사용하여도 무방하다. 물론 전형적인 관리도의 적용방법은 다음 2 단계의 과정을 수행한다.

[1 단계] 공정의 시작에서 알려지지않은 모수를 이용하는 관리도를 이용하여 관리도를 운영하며 이상원인이 제거된 후 통계적으로 안정된 공정이 유지된다고 판단되면 2 단계 공정을 수행한다. 즉 1 단계에서는 공정이 통계적으로 안정된 상태에 있다는 것을 확인하는 단계이다.

[2 단계] 모수가 알려진 경우의 W_t 통계량을 사용하는 것이 바람직하다. 즉 충분한 자료가 누적되어진 경우에는 알려진 모수를 이용하는 경우의 W 통계량을 이용한 관리도 기법으로 전환하여 사용한다.

지금까지 대부분의 공정관리 연구에서 2 단계의 안정된 상태의 공정을 가정하고 관리도 기법을 진행하였다. 즉 평균과 분산을 알고 임의의 시점에서 여러개의 표본을 택할 여유가 있으면 고전적인 기법을 사용하는 것이 이상원인을 감지하는 민감도가 높고 효율적이다. 그러나 현대의 산업구조가 단기 생산공정 및 다품종 소량생산으로 바뀌어가므로 초기공정을 합리적으로 관리하는 것이 중요하다. 지금까지 1 단계 공정관리에 대해 소홀히하여 왔다. 1 단계에서의 관리도 적용방법에 대해서 공정이 통계적으로 안정되어있다는 것을 가능한 빨리 판단하기위한 기법으로 EWM 통계량을 이용한 관리도법을 제시한다.

Quesenberry(1991)가 사용한 방법과 비슷하게 평균이 0 이고 분산이 1 인 표준 정규분포로부터 표본을 생성하여 사용한다. 초기공정의 임의 시점에서 이상원인이 발생되었다(즉 공정평균에서 $\mu^* = \mu_0 + \delta_0$ 를 고려한다)고 가정하고 식 (9), (10), (12)를 이용하여 W_t 통계량을 구할 수 있다. 여기에서는 계산의 간편함을 위해 분산이 알려졌다고 가정하고 임의시점에서 공정변화의 크기가 $1.0 \cdot (\text{표준편차})$ 만큼 변할때 적용사례별로 효율성을 비교하여 본 논문에서 제시한 지수가중 이동통계량을 이용한 관리도설계의 타당성을 제시한다.

5.1 적용예 1

고전적인 방법으로 식 (1), (9)를 이용하여 W_t 통계량을 가지고 관리도를 작성할 수 있다.

5.2 적용예 2

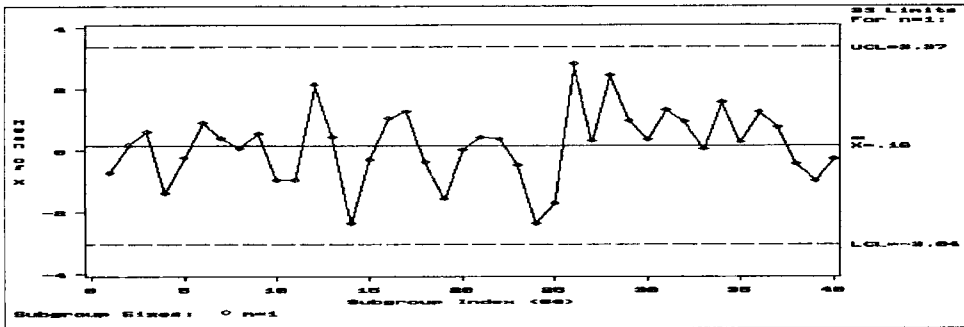
식 (12)을 이용한 통계량 W_t 를 이용하여 관리도를 작성할 수 있으며 이때 ± 3 관리한계선을 이용한다. 가중치(λ)를 (0.10 : 0.55)0.05 로하여 각각의 경우를 고려한다.

여기에서는 Quesenberry(1991)가 이용한 자료의 일부를 수정하여 사용한다. 평균이 15 이고 분산이 $(0.0216)^2$ 인 공정으로부터 40 개의 표본을 다음과 같이 얻을 수 있다.

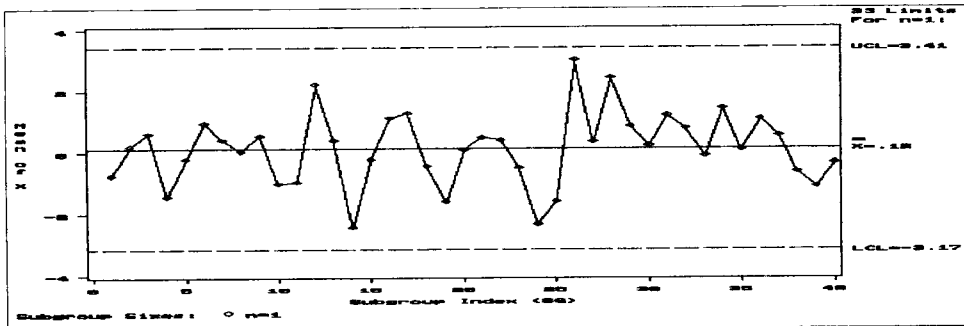
1	14.984	7	15.009	13	15.014	19	14.970	25	14.955	31	15.016	37	15.021
2	15.004	8	15.003	14	14.955	20	14.999	26	15.026	32	15.012	38	14.998
3	15.014	9	15.014	15	14.992	21	15.008	27	14.981	33	14.996	39	14.985
4	14.973	10	14.983	16	15.020	22	15.008	28	15.028	34	15.029	40	14.997
5	14.993	11	14.980	17	15.028	23	14.991	29	15.004	35	15.006		
6	15.017	12	15.044	18	14.997	*24	14.949	30	14.994	36	15.028		

40개의 개별관측치중 임의로 24 번째부터 공정에 이상원인이 일어났다고 가정하고 이 시점에서 1.0·(표준편차)의 변화를 주고 각각의 관리도를 수행해 본다.

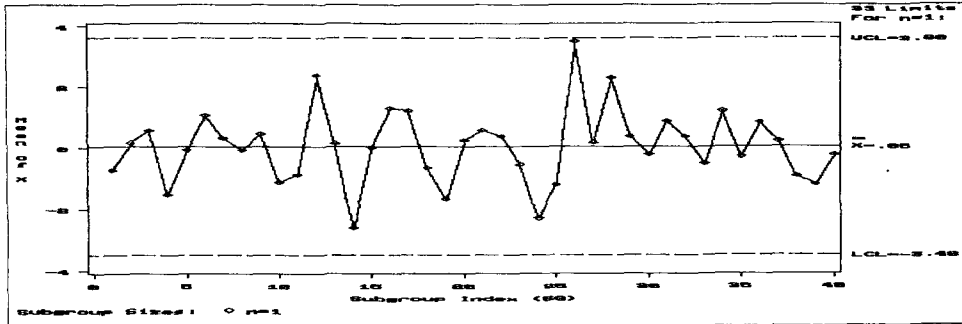
<그림 1>에서 보는것과 같이 일반적인 Shewhart 관리도를 이용할 때 시점 24 이후에 발생한 공정변화를 감지하지 못하였다.



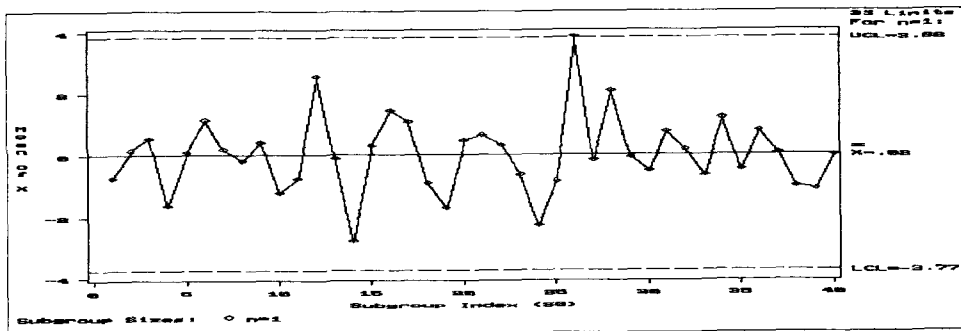
<그림 1> 고전적인 방법을 이용한 관리도(적용예1의 경우)



<그림 2> 지수가중 이동통계량을 이용한 관리도(가중치:0.20)



<그림 3> 지수가중 이동통계량을 이용한 관리도(가중치:0.35)



<그림 4> 지수가중 이동통계량을 이용한 관리도(가중치:0.50)

<그림 2> - <그림 4>는 본 논문에서 제시한 지수가중 이동통계량을 이용하여 각각의 가중치에 따라 관리도를 구성한 것이다. 시점 26에서 공정변화를 감지함을 확인할 수 있다. 가중치가 0.35 보다 클 때 공정변화가 감지됨을 볼 수 있다. 물론 가중치를 결정하는 수학적 이론은 없으며 현 시점에서 얻은 관측치에 적당한 가중치를 경험적으로 줄 수 있다. 지수가중 이동통계량을 이용하여 관리도를 설계하는 것이 고전적인 Shewhart 관리도보다는 효율적임을 확인할 수 있다.

6. 결론 및 향후전망

여기에서 제시한 지수적 가중치를 주어 계산된 통계량을 이용하여 초기공정을 관리하는 것이 고전적인 Shewhart 관리도보다는 효율적임을 확인할 수 있다. 경험적으로 t 시점에서 얻은 개별관측치에 0.35 부터 0.50까지의 가중치를 주는 것이 적당하며 공정변화가 클수록 가중치를 크게 택하는 것이 합리적임을 확인할 수 있다. 그리고 관리통계량을 계산할 때 현시점에서 얻은 자료에 대한 정보가 가장 중요하므로 이들 관측치에 가중치를 주는 것이 합리적이다. 특히 단기 소량생산공정에서 초기공정을 관리해야하는 상황에서 현시점에서 얻은 자료의 정보가 관리통계량에 많은 영향을 주어 관리도를 설계해야 합리적이고 타당할 것이다. 공정분산을 이용한 분산관리에 대한 연구는 앞으로 연구가 되어야할 부분이다.

이 논문에서 제시한 가중치를 이용한 관리도 기법과 Nelson(1984)이 제안한 검사방법처럼 효과적인 이상원인을 감지하기 위해 ± 3 관리한계선안에 ± 2 , ± 1 관리한계선을 두어 ± 1 관리한계선을 벗어나는 통계량을 검사하여 1차 주의조치를 취하고 ± 2 관리한계선을 벗어나는 경우 2차 주의조치를 취하는 방법을 동시에 고려한다면 더 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 박창순 “통계적 품질관리”, 울곡출판사, 1995
2. Box, G.E.P and Jenkins, G.M. “Time series analysis: Forecasting and control”, San Francisco: holden-day, 1970.
3. C.J. Hastings, “Approximations for digital computers”, *princeton university press*, 1955.
4. L.S. Nelson, “The shewhart control chart-test for special causes”, *J.Q.T.* vol 16, pp 237-239, 1984.
5. S.V. Crowder, “Computation of ARL for combined individual measurement and moving range charts”, *J.Q.T.* vol 19, no 4, pp 98-102, 1987.
6. IMSL, inc, “MSL user’s math/stat manual” 1989
7. Roberts S.M, “control chart tests based on geometrics moving average” *Technometrics*, vol 1, no 3, 1989.
8. Roberts V. B. Jr, “Dscussion”, *Technometrics* vol 1 , pp13-16,1990
9. Lucas J.M and Saccussi M.S, “Exponentially weighted moving average control chart scheme; properties and enhancement”, *Technometrics*, vol 32, no 1 1990
10. C.P. Quesenberry, “SPC Q charts for start-up processes and short or long runs”, *J.Q.T.*, vol 23, no 3, pp 213-224, 1991.
11. C.S. Park and S.S. Ji, “An economic design of \bar{X} -R Chart with variable sampling size scheme”, Ph. D. thesis, *Chung-Ang University, korea*, 1993.
12. C.P. Quesenberry, “Geometric Q charts for high quqlity process”, *J.Q.T.*, vol 27, no 4 pp 304-315, 1995.
13. S.S. ji, “A study on the EWMA Q chart for start-up process, submitted for publication ,1996.