

An Effective Design of Process Mean Control Chart in Subgroups Based on Cluster Sampling Type¹⁾

Ho Soo Nam²⁾

Abstract

Control charts are very useful tool for monitoring of process characteristics. This paper discusses the problem of design of control limits when the subgroups are composed by cluster sampling type. As an alternative method of design of control limits XbBar chart is proposed, which uses the control limits based on the variation between subgroups instead of using classical variation within subgroups. Two examples are presented for reasonable design of control limits and conditions of subgroups based on the cluster sampling. Through examples the guidelines for making proper control limits are proposed.

Keywords : cluster sampling, control chart, control limits, variation between subgroups.

1. 서론

일반적인 생산공정에서 공정의 설계가 잘 되어 있고, 그 공정을 잘 운영하더라도 제품의 특성에 영향을 주는 요인은 항상 내재되어 있기 때문에 생산공정에서 제품의 품질을 항상 균일하게 생산해 내는 것은 매우 힘든 일이다. 이러한 요인에 의하여 제품의 특성은 변동을 하게 마련이다. 공정상에서 발생하는 품질특성의 변동을 측정하는 일은 여러 가지 측면에서 중요한 작업 중의 하나이다.

일반적으로 통계적 공정관리 기법에서 사용되는 도구들, 예를 들면 가설검정, 관리도법, 공정능력분석, 측정시스템분석 등의 여러 분야에서 산포 또는 변동의 합리적인 추정치는 공정진단 및 분석의 기초가 된다고 할 수 있겠다.

품질변동이 우연원인(chance cause) 즉, 작업자간의 숙련도 차이, 원자재간의 미세한 품질차이, 동일한 생산설비간의 차이, 등에 의해서만 일어난다면 생산공정은 정상

1) 본 연구는 2003년도 동서대학교 연구비 지원에 의한 것임

2) Associate professor, Department of Industrial Engineering, Dongseo University, Busan, Korea.

E-mail : hsnam419@dongseo.ac.kr

상태에 있다고 볼 수 있다. 그러나 일반적인 4M1E 요소, 즉 작업자의 부주의, 불량자재의 사용, 생산설비상의 이상, 등의 만성적으로 존재하는 것이 아닌 이상원인(assignable cause)이 발생하면 공정의 관리상태에 의문이 생기게 된다. 이러한 공정의 관리상태를 검토해 볼 수 있는 도구로써 흔히 사용되는 것이 관리도(control chart)이다.

일반적으로 계량형 공정특성의 관리를 목적으로 하는 관리도는 크게 공정평균 관리도 및 공정산포 관리도로 나뉘어 진다. 본 논문에서는 공정평균의 효과적인 모니터링을 위한 관리도에 관하여 논하고자 한다.

공정평균을 관리하기 위한 목적으로 흔히 사용되는 관리도로서 \bar{X} 관리도를 들 수 있다. Shewhart-type 관리도인 \bar{X} 관리도의 3σ 관리한계선은 특별한 이론적인 배경을 가지고 있는 것은 아니나, 일반적으로 3σ 관리한계선이 널리 사용된다.

그러나 많은 현장의 문제에서 이러한 이론적인 관리도가 손쉽게 적용되어지고, 그 효과가 합당하게 얻어지지는 용이하지 않다.

현장에서 공정특성을 모니터링 할 경우에 항상 두 가지 관점에서 관리도의 효과성을 고려하게 된다. 첫 번째는 관리도가 불필요하게 그리고 빈번하게 공정을 중지(interlock)시키지 않는가 하는 우려이다. 이는 통계적으로 제1종오류로 볼 수 있다. 즉, 공정에 이상징후가 보이지 않는데, 관리도가 과민하게 반응하는 현상을 말한다.

다음으로 고려하는 요소는 공정의 이상을 제대로 탐지해 내지 못하는 오류를 들 수 있는데, 이는 제2종오류에 해당한다. 생산성(효율성)의 관점에서 보면 제1종오류를 보다 심각하게 보고, 이를 우선적으로 제어하는 것이 중요하다. 그러나 품질을 중요시하는 관점에서 보면 제2종오류가 더 심각하게 보일 수 있다. 통계적인 이론을 고려하지 않더라도 두 가지 오류를 동시에 줄이는 것은 서로 상충되는 오류이기 때문에 용이하지 않다.

일반적으로 TFT-LCD 공정의 glass(cell), 반도체공정의 wafer 또는 PCB의 납도포(solder pasting) 공정과 유사한 많은 경우에 공정의 전기적/물리적 특성을 모니터링 하는 과정에서 합리적인 부분군의 형성이 용이하지 않은 경우를 볼 수 있다.

본 논문에서는 이와 같은 현실적으로 합리적인 부분군의 형성이 용이하지 않고 공정의 특성상 집락추출방식에 의하여 부분군이 형성되는 경우에 공정평균을 관리하기 위한 관리도의 설계 및 운용방법에 대하여 논하고자 한다.

2. 관리한계의 설계방법

관리도를 구체적으로 설명하기 위하여 우선 다음과 같은 모형을 고려해 보자.

$$x_{ij} = \mu + \epsilon_{ij}, \quad (2.1)$$

$$i = 1, 2, \dots, k; j = 1, 2, \dots, n_i$$

여기서 k 는 부분군(subgroup)의 개수이고 n_i 은 부분군의 크기(subgroup size)이다. x_{ij} 는 i 번째 부분군에서 얻어진 j 번째 데이터이며, ϵ_{ij} 는 오차항으로 기대값은 0, 분산은 σ^2 인 분포를 따른다. 또한 μ 는 공정평균을, σ 는 공정의 산포를 의미한다. 여기서 i 번째 부분군의 크기는 n_i 로서 일정하지 않을 수 있다.

전통적인 \bar{X} 관리도에서는 각 부분군을 하나의 모집단으로 보고, 각 부분군에서의 산포(군내 변동)를 기준으로 관리한계를 설계한다. 즉, 개개의 부분군에 대하여 독립적인 가설검정을 행하는 것과 동일한데, 다만 여러 개의 모집단을 동시에 검증하기 위한 수단으로서 각 부분군에서 얻어진 공정산포의 추정값들의 평균에 기초하여 관리한계를 설계하는 것이다.

전통적인 \bar{X} 관리도(이를 \bar{X}_w 관리도라 표기하자.)에서 3σ 관리한계선은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} UCL &= \bar{\bar{x}} + 3 \frac{\hat{\sigma}_w}{\sqrt{n_i}} \quad (\text{관리상한선}) \\ LCL &= \bar{\bar{x}} - 3 \frac{\hat{\sigma}_w}{\sqrt{n_i}} \quad (\text{관리하한선}) \end{aligned} \quad (2.2)$$

여기서 $\bar{\bar{x}}$ 는 중심선(center line)으로 각 부분군내에서 얻어진 평균 \bar{x}_i 들의 부분군의 크기(n_i)에 대한 가중평균이고, 공정산포 $\hat{\sigma}$ 는 각 부분군에서 얻어진 산포의 추정량들의 가중평균으로 추정되어질 수 있다.

즉, 각 부분군에서 얻어진 σ 의 추정량을 $\hat{\sigma}_i$ (표준편차를 이용하는 것을 추천 (Trietsch (1999)))이라고 하면 σ 는 다음과 같이 추정되어질 수 있다.

$$\hat{\sigma}_w = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \hat{\sigma}_i \quad (2.3)$$

여기서 부분군내의 공정산포의 불편추정량은 다음과 같이 추정된다.

$$\hat{\sigma}_i = \frac{1}{c_4(n_i)} \sqrt{\frac{1}{n_i - 1} \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}$$

그러나 많은 경우에 이와 같이 설계된 관리도가 효과적이지 못한 경우가 있을 수 있는데, 이는 이론적인 모형이 실제 현실에서 그대로 적용되지 못하는 경우가 많기 때문이다.

흔히, 관리도법의 활용에서 합리적인 부분군의 형성을 강조하고, 이는 관리도의 설계에서 매우 중요한 부분이다. 합리적인 부분군의 형성방법은 이상요인이 존재할 때, 부분군간의 변동은 커지고 부분군내 변동은 최소가 되도록 하는 것이며, 주로 4M1E 요소에 의하여 부분군이 형성되곤 한다.

공정평균을 관리하기 위한 관리도에서 타점통계량을 군내에서 얻어진 평균 \bar{x}_i 으로 한다면 관리도의 성능은 전적으로 관리한계선의 설계에 의존한다고 볼 수 있다. 이제 현실적인 문제(경우)에서 관리한계를 어떻게 설계하는 것이 효과적인지를 살펴보기로 한다.

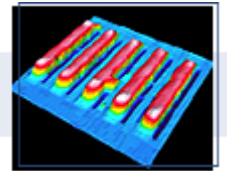
2.1. 집락추출형식에 의한 부분군에서 관리한계: 공정의 개요 및 공정특성

PCB(Printed Circuit Boards)에 소자를 올릴 때 필요한 표면실장기술(SMT; surface mounting technology)은 제품특성에 중요한 역할을 한다. 납 도포(solder pasting)공정

에서 납의 폭과 높이는 프린팅된 납의 부피에 영향을 미치며, 이를 관리(균일성(uniformity) 관리, Does, Roes and Trip(1999))하는 것은 매우 중요한 작업이다.

일반적으로 PCB에 입혀진 납의 폭 및 높이는 SPI(Solder Paste Inspector)에 의하여 레이저를 이용한 비접촉 광학방식으로 측정되며, 이는 SMD(surface mounting device)라인 생산제품 불량률의 주원인인 Solder Pasting 공정상의 문제점 파악과 공정 관리에 중요한 요소이다.

표면실장공정 공정특성인 납의 높이는 SPI에 의하여 자동으로 측정(AOI; automated optical inspection)되며, [그림 2.1]과 같은 PCB에 입혀진 납의 능선들 가운데 한 부분(능선)을 샘플링하여 한번에 n 개의 점을 지정하여 높이를 측정(집락추출(cluster sampling) 방식)하게 된다. 이와 같은 샘플링 측정방식은 앞서 기술한 바와 같이 반도체 공정의 wafer 및 TFT-LCD 공정의 glass(cell)과 같은 곳에서도 흔히 적용될 수 있다.



[그림 2.1] PCB의 Solder Paste 모양

여기에서 관리대상은 PCB에 입혀진 납의 높이가 규격에 맞게 일정하게 도포가 되어 있는가 하는 것이다. 이를 위하여 연속생산공정에서 계통샘플링(systematic sampling)을 통하여 PCB를 추출하며, 여기에서 부분군 또는 로트는 별도로 형성하지 않는다.

이는 LCD 공정에서도 유사하여 로트중심의 관리보다는 glass 또는 cell(glass의 일부분(panel)) 중심으로 glass의 샘플링을 통하여 선택된 glass 내에서 다수의 측정점을 설정하여 공정특성 및 glass 내의 변동 또는 균일성(uniformity)을 모니터링 및 관리하는 방식과 유사하다.

이와 같은 상황에서 공정평균과 공정산포(납의 높이의 균일성)를 관리하기 위하여 $Xw\bar{B}-S$ 관리도를 사용할 수 있다. 여기에서 추출단위를 PCB로 한다면 부분군의 크기는 1이다. 그러나 1개의 PCB내에서 1개의 납을 입힌 부분을 선택하여 n 개의 점에 대하여 높이를 측정하고, 이를 통하여 납의 실장공정을 시계열적으로 관리하고자 하는 것이다.

이 경우에 단순한 $Xw\bar{B}-S$ 관리도를 작성할 경우 어떠한 문제점이 발생할 수 있는지를 살펴보자. 우선 납도포 공정의 특성상 [그림 2.1]의 능선 부분내에서는 도포되는 납의 높이는 매우 동질적이다. 그러나 각 능선별로는 차이가 있을 수 있으며, PCB 별로는 보다 큰 차이가 발생할 수 있다.

여기서 공정 모니터링 시스템은 일정한 간격으로 1개의 PCB를 샘플링하여 그 가운데 1개의 능선 부분을 정하여 n 개의 점에서 높이를 측정/관리하는 형태이다.

$Xw\bar{B}$ 관리도를 이용할 경우, 1개의 PCB에서 얻어진 n 개의 납의 높이를 하나의 군을 형성하는 데이터로 보고, 이에 기초하여 납의 평균높이를 모니터링하게 된다. 이때 부분군내의 산포는 매우 작은 값으로 추정되며, 이들의 평균을 이용한 관리한계의

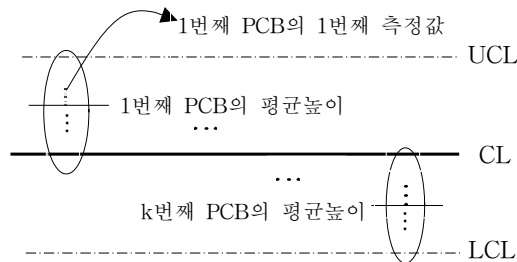
설정은 빈번한 공정의 중단을 초래하게 된다.

물론 납의 능선내의 산포와 능선간의 산포 그리고 PCB 간의 산포가 크게 이질적이지 않게 관리되는 것이 바람직하나, 실제공정의 운영과정에서는 불가피하게 PCB 간의 차이는 4M 요소간의 차이로 인하여 크게 나타나는 반면, 부분군내의 산포로 볼 수 있는 납의 한 개의 능선 내부의 산포는 많은 경우에 매우 작게(동질적이어서) 추정된다.

그러면 이러한 좁은 관리한계선은 제1종오류를 빈번하게 발생시키게 되고, 결과적으로 생산성의 저하로 나타나는 경우가 많다. 여기에서 제1종오류의 현실적인 문제를 살펴보자. 이론적으로 부분군의 형성이 합리적으로 이루어졌거나 이루어 질수 있는 상황에서는 이러한 문제가 발생되지 않는다. 관리한계의 폭이 좁게 설정되어 런검정(runs test) 또는 관리선을 약간 이탈하는 점이 발생하였을 때, 이것이 별다른 품질문제를 야기하지 않는 경우가 빈번하게 발생하는 것이 문제인 것이다.

이 문제를 일반적으로 기술하면, 부분군의 데이터가 너무 동질적이고 부분군간의 변동이 클 경우 전통적인 \bar{X} 관리도는 지나치게 좁은 관리한계를 가지게 되는 경향이 있다는 것이다. 사례에서 기술한 내용에서 부분군의 형성은 사실 일반적인 부분군의 형성과는 다른 개념의 부분군이다.

여기에서 기술된 문제를 그림으로 나타낼 경우 [그림 2.2]와 같이 표현할 수 있다. [그림 2.2]에서 보듯이 각 PCB 내의 납이 입혀진 능선에서 납의 높이는 매우 동질적으로 분포되어 있으며, PCB 간의 평균값은 다소 이질적으로 분포되어 있다. 여기서 편의상 부분군의 크기(측정 point 수)를 $n = 6$ 으로 하자.



[그림 2.2] 측정 데이터의 분포

2.2. 부분군간의 변동을 고려한 관리도

이제 예를 들어 설명한 것과 같은 집락추출 부분군에서 전통적인 \bar{X} 관리도의 문제점을 보완한 관리도를 제안하고자 한다. 이를 기존의 관리도가 부분군내의 산포를 이용하여 관리한계를 설정하는 방법과 비교하여 \bar{X}_b (\bar{x}_b) 관리도라 하자.

\bar{X}_b 관리도는 본 논문에서 처음으로 제안되는 것은 아니며, 몇몇 현장(반도체 및 LCD 공정)에서 사용되는 방법이나 다소간의 문제점을 보완하는 형태로 제시하고자 한다. 또한 최근의 Minitab에서도 I-MR-S(R) 관리도라는 이름으로 같은 개념의 관리도를 제공하고 있는데, 여기서 논의되는 관리도는 I-MR-S 관리도의 I-관리도에 해당되는 것이다.

여기서 논의의 초점은 부분군의 형성배경과 여건, 결측치를 포함한 부분군의 크기 및 공정규격을 고려하여 상황에 따른 효과적인 관리한계의 설계 및 운용에 관한 방법론의 제시이다.

XbBar (\bar{x}_b) 관리도는 부분군간의 변동(variation between subgroup)을 추정하여 이를 관리한계선의 설계에 반영하는 것이다. 여기에서 부분군의 크기는 가변으로 고려한다. 즉, i 번째 PCB에서 측정점의 수는 n_i 로서 다를 수 있다고 가정한다. 이제 부분군간의 변동은 다음과 같이 추정될 수 있다.

$$\hat{\sigma}_b = \frac{\overline{MR}}{1.128} \quad (2.4)$$

$$\overline{MR} = \frac{1}{k-1} \sum_{i=2}^k MR_i$$

여기서 MR_i 는 i 번째 부분군에서의 평균특성과 $i-1$ 번째 부분군의 평균특성과의 차이(이동범위; moving range)로서 다음과 같이 정의된다.

$$MR_i = |\bar{x}_i - \bar{x}_{i-1}|, i = 2, 3, \dots, k$$

부분군간의 변동에 기초하여 얻어진 산포의 추정량 $\hat{\sigma}_b$ 는 고유의 공정특성 x_i 들의 산포가 아닌 부분군에서 얻어진 \bar{x}_i 들의 산포이다. 따라서 관리선의 설계에서 관리한계선은 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} UCL &= \bar{x} + 3\hat{\sigma}_b \cdot \sqrt{a_i} \\ LCL &= \bar{x} - 3\hat{\sigma}_b \cdot \sqrt{a_i} \end{aligned} \quad (2.5)$$

여기서 a_i 는 다음과 같은 부분군 수정계수(correction coefficient)로서 부분군의 크기를 반영하여 관리한계를 설정하기 위한 값이다.

$$a_i = \frac{\bar{n}}{n_i}, \quad \bar{n} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k n_i \quad (2.6)$$

수정계수 a_i 는 부분군의 크기가 큰 군에서는 관리한계선의 폭이 좁아지고 부분군의 크기가 작은 군에서는 폭을 넓게 하여 군내에서 추정되는 공정평균특성의 정밀도를 반영하는 역할을 한다.

통상적으로 부분군의 크기는 일정하나 계측공정에서 측정장비의 오류로 인하여 결측치가 발생할 수 있는데, 식 (2.6)은 이와 같은 경우에도 부분군의 크기가 달라질 수 있으며, 관리한계의 설계에 이를 반영한 것이다.

만약 x_{ij} 들이 부분군과 무관하게 산포되어 있다면 다음의 관계가 근사적으로 성립하게 된다.

$$\hat{\sigma}_b \approx \frac{\hat{\sigma}_w}{\sqrt{n_i}} \quad (2.7)$$

그러나 [그림 2.1]에서처럼 부분군내에서 데이터가 동질적이고, 부분군간에 이질적으로 분포되어 있다면 대체적으로 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\hat{\sigma}_b > \frac{\hat{\sigma}_w}{\sqrt{n_i}} \quad (2.8)$$

한편, 부분군내의 변동이 매우 크고 부분군간의 변동이 상대적으로 매우 작다면 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\hat{\sigma}_b < \frac{\hat{\sigma}_w}{\sqrt{n_i}} \quad (2.9)$$

그러나 이와 같은 경우는 보기 드문 경우이며, 이는 부분군의 형성에 문제가 있거나 군의 구분이 무의미한 경우에 나타날 수 있는 현상이다.

2.3. 효과적인 관리한계선의 설계

공정평균의 모니터링에서 효과적인 관리한계의 설계는 관리도의 성능을 결정짓는 중요한 요소이다. 앞 절에서 기술한 여러 가지 상황에서 관리한계의 설계가 단순히 이론적이고, 확일적으로 부분군내의 산포의 평균에 기초하여 결정되는 것이 어떠한 문제점을 가질 수 있는지를 언급하였다.

이제 전통적인 관리한계선의 설정방식인 부분군내의 산포에 기초한 관리한계와 부분군간의 산포에 기초한 관리한계의 설계가 어떠한 경우에 효과적인 방법이 되는지를 살펴보기로 한다. 참고로 관리한계의 설계는 공정특성의 규격과는 무관하게 이루어지는 것이 일반적이다. 그러나 최적이고 합리적인 관리한계의 설계는 공정규격과 무관하게 결정될 수는 없는 것이다.

먼저 전통적인 방식의 생산공정에서 합리적인 부분군이 형성되고 이에 기초하여 관리도를 작성하고자 한다면 \bar{X}_w 관리도가 큰 무리 없이 적용될 수 있을 것으로 생각된다. 그러나 합리적인 군의 형성이 곤란하거나 사례에서와 같이 집락추출형태의 부분군에서 어떤 방법으로 관리한계를 설계하는 것이 옳은지가 모호해 질 수 있는데, 이에 관한 의사결정방법으로 다음과 같은 절차를 고려해 보자.

- (1) 다수의 형성된 부분군에 대하여 부분군내의 산포를 추정하여 평균을 구한다.
산포의 추정방법은 부분군의 크기에 무관하게 표준편차를 이용하는 것이 추정의 효율성을 높이는 방법으로 추천된다. 부분군내 공정산포는 식 (2.3)과 같은 방법에 의하여 $\hat{\sigma}_w$ 로 추정할 수 있다.
- (2) 부분군간의 산포 $\hat{\sigma}_b$ 를 식 (2.4)에 의하여 구한다.
- (3) [그림 2.2]와 같은 형태의 개개의 측정값 타점그림(individual plot)을 작성하여 부분군내의 산포와 부분군간의 산포를 시각적으로 검토해 본다.
- (4) 평균특성에 대한 허용차(tolerance)와 $3 \frac{\hat{\sigma}_w}{\sqrt{n}}$ 및 $3\hat{\sigma}_b$ 를 비교해 본다.

이는 부분군의 평균크기를 통하여 전반적으로 군간 및 군내 산포, 그리고 규격을 비교하는 것이다. 여기서 공정특성에 대한 평균을 μ 라 하고, 허용차를 δ_x 라 할 때, 공정평균특성에 대한 허용차는 다음과 같고,

$$\delta_x = \frac{1}{\sqrt{n}} \delta_x$$

만약 i 번째 부분군과 비교한다면 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\delta_{x_i} = \frac{1}{\sqrt{n_i}} \delta_x$$

(5) 효과적인 관리한계의 설정

이제 공정평균에 대한 허용차, 부분군내의 변동에 기초한 관리한계 설계방법 및 부분군간의 변동에 의한 관리한계의 설계방법간의 차이와 효과에 대하여 살펴보자. 다음의 관계식에서 부등호는 상대적으로 다소 큰 차이가 있을 경우에 의미를 가진다.

① $\delta_x > 3 \frac{\hat{\sigma}_w}{\sqrt{n}} > 3\hat{\sigma}_b$ 일 경우:

부분군내의 변동이 부분군간의 변동보다 큰 경우로서 부분군의 형성에 큰 문제가 없다면, 그리고 평균에 대한 허용차와의 간격이 크다면 XwBar 관리도를 이용하는 것이 좋다.

② $\delta_x > 3\hat{\sigma}_b > 3 \frac{\hat{\sigma}_w}{\sqrt{n}}$ 일 경우:

부분군간의 변동이 부분군내의 변동보다 큰 차이를 보인다면 부분군의 형성방법을 검토하는 것이 필요하다. 본 논문에서 고려하는 것과 같은 집락추출형 부분군의 경우에는 불가피하게 부분군내의 변동이 작아질 수 있으며, 이러한 경우에는 XbBar 관리도를 이용하는 것이 관리도의 오류율(제1종오류)을 줄일 수 있는 방안이 될 수 있다.

③ $3 \frac{\hat{\sigma}_w}{\sqrt{n}} > \delta_x > 3\hat{\sigma}_b$ 일 경우:

부분군내의 변동이 지나치게 큰 경우로서 XwBar 관리도를 적용할 경우 관리한계선이 공정평균특성에 대한 허용차를 벗어나므로 관리도로서 의미를 상실하게 된다. 이 경우에는 XbBar 관리도를 적용하기보다는 근본적으로 공정규격(허용차)을 검토하거나 부분군의 형성방법을 재검토하는 것이 필요하다.

④ $3\hat{\sigma}_b > \delta_x > 3 \frac{\hat{\sigma}_w}{\sqrt{n}}$ 일 경우:

부분군간의 변동이 지나치게 큰 경우로서 부분군이 합리적으로 형성되었다면 4M1E 요소간의 변동을 중점적으로 관리하되, 부분군내의 변동에 기초한 XwBar 관리도를 이용하는 것이 합리적이다.

⑤ $Min[3\hat{\sigma}_b, 3 \frac{\hat{\sigma}_w}{\sqrt{n}}] > \delta_x$ 일 경우:

부분군의 형성에 문제가 있거나 또는 4M1E 요소간의 변동이 관리가 제대로 되지 않는 상태 또는 공정규격의 설계에 문제가 있는 경우로서 전면적인 검토가 이루어져야 한다. 이러한 경우에 관리도의 사용은 전혀 무의미하다.

한편, 보다 다양한 경우들에 대하여 관리한계의 효과적인 설계를 위하여 적절한 rule의 개발이 필요한데, 이에 관한 유사연구로는 수정된 관리도(배도선 등(2002, p. 245))를 들 수 있다. 수정된 관리도는 공정규격에 비하여 공정능력이 충분하여 불필요한 이상발의(제1종오류)를 줄이기 위한 방안으로 고안된 것이다. 이는 공정산포의 추정과 정규분포이론에 기초한 확률한계의 개념으로 공정산포의 추정방법에 따라 다양한 관리한계를 설계할 수 있다.

그러나 이는 다른 관리도와 마찬가지로 공정산포의 추정방법에 크게 영향을 받으며, 공정산포가 안정적이지 못하고 변화가 클 경우에는 작은 오류가 발생할 수 있다. 이에 관한 비교실험은 추후 연구대상으로 남긴다.

3. 예제

본 절에서는 지금까지 논의된 관리한계의 설계방법과 관련한 2개의 예를 들어 합리적이고 효과적인 관리한계의 설계방법을 논하고자 한다.

예제 1: 공정특성 데이터(지면상 생략)는 PCB의 solder pasting 공정에서 도포되는 납의 높이를 3차원 레이저 장비로 측정한 것이다. 높이에 대한 규격은 $110 \pm 24.5(\mu m)$ 이고, 따라서 6개의 점에서 측정한 평균특성에 대한 허용차는 $\delta_x = 24.5/\sqrt{6} = 10.0$ 이다.

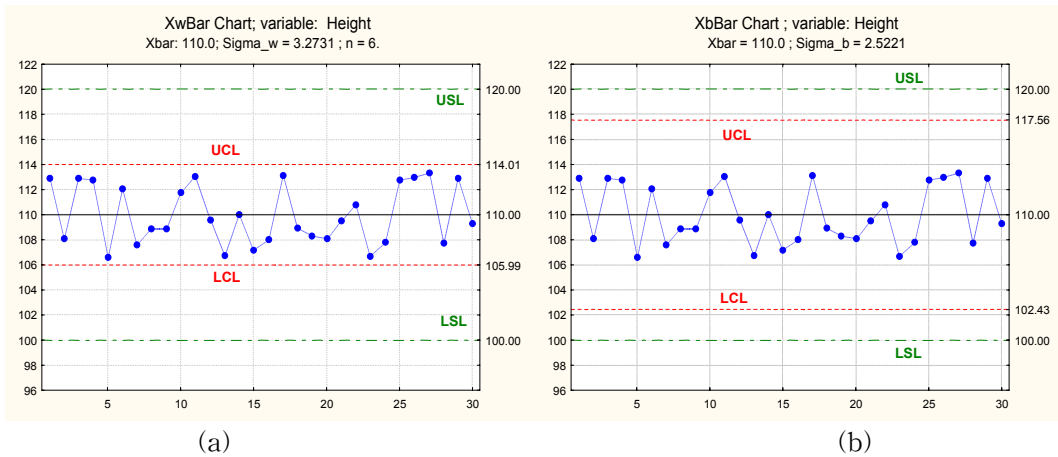
또한, $\hat{\sigma}_b = 2.523$ 이고, 표준편차에 기초하여 추정된 부분군내의 산포(식 2.3)는 $\hat{\sigma}_w/\sqrt{6} = 3.273/\sqrt{6} = 1.336$ 이다. 따라서 [그림 3.1]의 (a) 및 (b)와 같이 $\delta_x > 3\hat{\sigma}_b > 3\hat{\sigma}_w/\sqrt{n}$ 이 성립함을 알 수 있다. 참고로 [표 3.1]의 (a)와 (b)는 각각 XwBar 및 XbBar 관리도를 적용하였을 때의 7 rules에 의한 런검정 결과(STATISTICA ver. 6(2002) 이용)이며, XwBar 관리도를 적용할 경우 관리한계에 인접하여 다수의 점들이 나타나며, 런검정 결과 이상징후가 빈번하게 나타남을 알 수 있다. 이와 같은 경우에는 XbBar 관리도를 이용하는 것이 제1종오류를 줄일 수 있는 한 방법이 될 수 있겠다.

예제 2: 두 번째 예제는 Montgomery (1991, p.207) 및 송문섭, 남호수(2002, p. 222)에 있는 자동차 엔진의 피스톤 링의 내경에 관한 데이터이다. 여기서 내경에 대한 규격은 $74.000 \pm 0.050(mm)$ 이며, 따라서 부분군의 크기가 5일 경우($n=5$)에 대한 허용차는 $\delta_x = 0.05/\sqrt{5} = 0.022$ 이다.

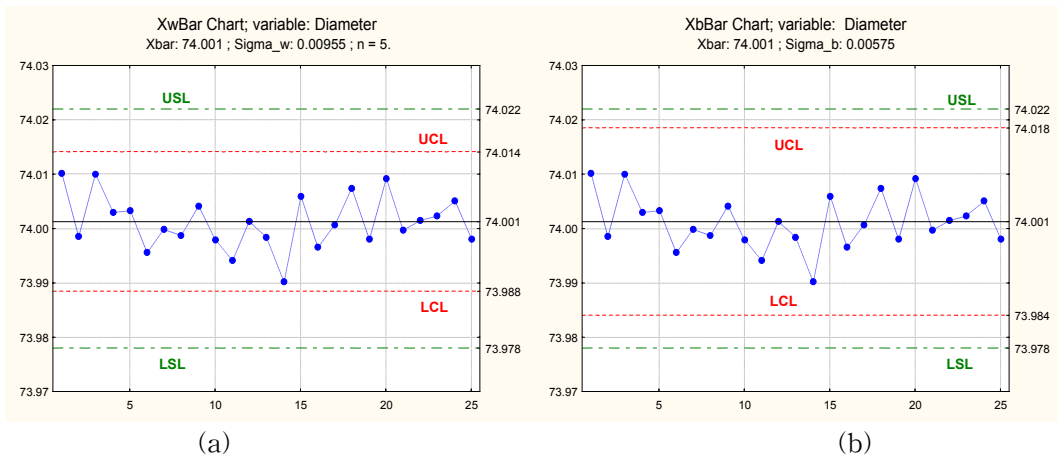
이 경우에 $\hat{\sigma}_b = 0.00575$ 이고, $\hat{\sigma}_w/\sqrt{5} = 0.00955/\sqrt{5} = 0.00427$ 이며, 역시 $\delta_x > 3\hat{\sigma}_b > 3\hat{\sigma}_w/\sqrt{n}$ 이 역시 성립하나 그 차이가 크지 않다. [그림 3.2]의 (a) 및 (b)를 보면 XwBar 또는 XbBar 관리도의 관리한계선이 비슷함을 알 수 있다. 일반적으로 부분군의 형성과정의 합리적으로 이루어지고, 공정특성이 모형 (2.1)과 같이 설명되어 질 수 있다면 XwBar 관리도가 가장 합리적일 것이다. 또한, 이러한 경우에는

XbBar 관리도와 XwBar 관리도의 결과(관리한계선)는 큰 차이를 보이지 않게 된다.

두 가지 예제를 통하여 살펴 본 바를 정리하면, 우선 합리적인 부분군의 형성에 기초하고 공정특성이 정규분포를 따른다는 가정이 만족될 경우 전통적인 XwBar 관리도는 유용한 도구일 것이다. 그러나 현실적으로 그러한 경우는 매우 드물며, 상황에 따른 적절한 관리한계에 대한 조절이 필요한데, 첫 번째 예제의 경우에는 부분군의 형성과정과 공정규격을 고려할 때, XbBar 관리도의 사용이 추천된다고 볼 수 있다. 그리고 이러한 규칙은 공정의 개선 및 공정규격의 수정에 따라 적절한 관리계획(control plan)을 가지고 정기적으로 검토/변경되는 것이 바람직하다.



[그림 3.1] (예제 1)에 대한 XwBar(a) 및 XbBar(b) 관리도



[그림 3.2] (예제 2)에 대한 XwBar(a) 및 XbBar(b) 관리도

[표 3.1] (예제 1)의 XwBar 관리도(a) 및 XbBar 관리도(b)에서 런건정 결과

Zones A/B/C: 3.000/2.000/1.000 * Sigma Tests for special causes (runs rules)	from sample	to sample
9 samples on same side of center	OK	OK
6 samples in row in/decreasing	OK	OK
14 samples alternating up & down	OK	OK
2 of 3 samples in Zone A or beyond	1	3
	13	15
	24	26
	27	29
4 of 5 samples in Zone B or beyond	25	29
15 samples in Zone C	OK	OK
8 samples beyond Zone C	OK	OK

(a)

Zones A/B/C: 3.000/2.000/1.000 * Sigma Tests for special causes (runs rules)	from sample	to sample
9 samples on same side of center	OK	OK
6 samples in row in/decreasing	OK	OK
14 samples alternating up & down	OK	OK
2 of 3 samples in Zone A or beyond	OK	OK
4 of 5 samples in Zone B or beyond	25	29
15 samples in Zone C	OK	OK
8 samples beyond Zone C	OK	OK

(b)

4. 결론

본 논문에서는 합리적인 부분군의 형성이 용이하지 않고, 군의 데이터가 집락추출 형태로 샘플링되는 경우에 관리한계의 효율적인 설계방법 및 운용방법에 관하여 논하였다.

공정평균을 관리하는 문제에 있어서 전통적인 XwBar 관리도와 부분군간의 변동을 반영한 XbBar 관리도의 합리성에 관하여 예를 들어서 설명을 하였으며, 관리한계의 설계가 일반적이고 확립적으로 적용되는 것이 아니라 현실에 맞게 상황에 따라 효과적으로 설계되는 것의 정당성을 기술하였다.

참고문헌

1. 배도선 등 (2002), 통계적 품질관리, 영지문화사, 서울.
2. 송문섭 남호수(2002), 통계적 품질관리, 영지문화사, 서울.
3. Does, R., Roes, K. and Trip, A. (1999), Statistical Process Control in Industry, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, Netherlands.
4. Minitab Inc.(2003), Minitab Reference Manual, Rel. 13.3.

5. Montgomery, D. C.(1991), Introduction to Statistical Quality Control, Wiley.
6. STATISTICA system reference(2002), StatSoft Inc.
7. Trietsch, D.(1999), Statistical Quality Control, World Scientific, Singapore.

[2003년 9월 접수, 2003년 11월 채택]