

非正規分布工程에서 메디안特殊管理圖
通用模型設定에 관한 實證的 研究(要約)

Median Control Chart for Nonnormally Distributed Processes

辛 容 伯*

Abstract

Statistical control charts are useful tools to monitor and control the manufacturing processes and are widely used in most Korean industries. Many Korean companies, however, do not always obtain desired results from the traditional control charts by Shewhart such as the \bar{X} -chart, X -chart, \bar{X} -chart, etc. This is partly because the quality characteristics of the process are not distributed normally but are skewed due to the intermittent production, small lot size, etc. In Shewhart \bar{X} -chart, which is the most widely used one in Korea, such skewed distributions make the plots to be inclined below or above the central line or outside the control limits although no assignable causes can be found. To overcome such shortcomings in nonnormally distributed processes, a distribution-free type of confidence interval can be used, which should be based on order statistics. This thesis is concerned with the design of control chart based on a sample median which is easy to use in practical situation and therefore properties for nonnormal distributions may be easily analyzed.

Control limits and central lines are given for the more famous nonnormal distributions, such as Gamma, Beta, Lognormal, Weibull, Pareto, Truncated-normal distributions.

Robustness of the proposed median control chart is compared with that of the \bar{X} -chart; the former tends to be superior to the latter as the probability distribution of the process becomes more skewed. The average run length to detect the assignable cause is also compared when the process has a Normal or a Gamma distribution for which the properties of \bar{X} are easy to verify, the proposed chart is slightly worse than the \bar{X} -chart for the normally distributed product but much better for Gamma-distributed products. Average Run Lengths of the other distributions are also computed.

To use the proposed control chart, the probability distribution of the process should be known or estimated. If it is not possible, the results of comparison of the robustness force us to use the proposed median control chart based on a normal distribution. To estimate the distribution of the process, Sturge's formula is used to graph the histogram and the method of probability plotting, χ^2 -goodness of fit test and Kolmogorov-Smirnov test, are discussed with real case examples. A comparison of the proposed median chart and the \bar{X} chart was also performed with these examples and the median chart turned out to be superior to the \bar{X} -chart.

* Directed by Prof. Eui Cheol, Hwang, Ph.D. Dept. of Industrial Engineering(QC major) Graduate School (Ph.D. course) Hanyang University, December 1986.
接受日: 1987. 12. 10

1. 研究의 目的

일반적으로 計量值管理圖라고 하면 W.A. Shewhart

의 3σ 原則에 입각한 $\bar{X}-R$, X , $\bar{X}-R$ 등의 傳統的인 管理圖를 말하는 바, 이들은 모두 製品이 연속적으로 生産되는 工程이거나 또는 로트의 크기가 큰 공정에서 그 品質特性值의 分布가 正規分布이거나 그에 類似한 分布를 따른다고 간주될 때 使用되는 工程管理用 SQC 의 代表的 技法이다. 위와 같은 관리도를 적용하기 위해서는 먼저 대상제품의 正規性을 입증할 수 있어야만 소기의 目的을 달성할 수 있게 된다. 그러나 제품의 특성치가 非正規性을 나타내고 있는 경우에는 위의 관리도들은 몇가지 문제점을 보이게 된다. 먼저 비정규분포 제품을 전통적인 Shewhart 관리도로서 관리하게 되면 실제로는 製造工程에 異常이 없다 하더라도 管理圖상에는 管理限界 밖으로 打點이 되어 異常要因이 발생한 것처럼 誤報(false alarm)를 주는 경우가 많이 發生한다. 이는 특히 國內의 많은 製造企業(工場)에서 管理圖技法을 적용함에 있어 겪는 어려움이라고 보고 되고 있어, SQC技法의 效果를 감소시키는 결과를 초래하고 있다. 이는 非正規分布의 경우 正規分布보다는 後尾의 確率이 대부분 크게 되기 때문이다.

들예로 전통적인 관리도중 특히 많이 사용되고 있는 \bar{X} 관리도 등을 비대칭정규분포에 적용하면 標本들이 中心線 상한 또는 하한에 치우쳐서 타점되는 경향이 많다. 이는 비정규분포, 특히 비대칭분포에서는 표본평균 \bar{X} 가 중심의 경향을 나타내는 가장 좋은 統計量이라고는 볼 수 없기 때문에 발생된다고 판단된다.

이와 같은 문제점들을 해결하기 위하여 對數管理圖, 最頻數管理圖, Gram-Charlier 및 Pearsonian管理圖 등 非正規分布用 管理圖들이 開發되었다. 그러나 대수관리도는 품질특성치를 對數變換하였을 때 正規性을 가져야 하므로 그 적용범위가 한정되어 있고 또한 모든 품질특성치를 대수변환 하여야 하는 번거로움이 있다. 또 최빈수관리도는 비정규분포에서는 2개의 표준편차를 계산해야 하고, 또 最頻數를 計算하는 과정이 복잡하며, 그리고 관리한계의 폭이 넓어 관리도분석상 민감도가 떨어지는 短點이 있다.

Gram-Charlier 관리도나 Pearsonian 관리도 등은 理論的으로 큰 意味가 있으나 分布 자체의 여러 數學的性質이 대단히 理論的이기 때문에 그 적용 및 실용화가 매우 복잡하다는 短點을 지니고 있다.

本 研究에서는 이러한 점에 착안하여 비정규분포특성을 갖는 工程을 효과적으로 管理할 수 있는 관리도를 개발하고자 한다. 公정의 품질 특성치가 비정규분포를 따르는 것은 품질 규격의 상한이나 하한중 어느 하나만 주어져 있다든가, 公정이 불안정할 때 또 公정의 특정부분에 중점적인 관리 및 검사를 엄격하게 할 경우에 많이 나타나며, 특히 有限母集團이라든가 無限母集團이라 하더라도 각 개체의 분포가 비대칭인 경우

에 해당되는 바, 國內에서는 產業與件이 多品種小量生産, 繼續的 生産體制를 유지해야 한다는 점과 中小企業의 제반 기술수준, 여건의 미비 등으로 말미암아 흔히 발견되고 있는 현상이다. 이와같은 비정규분포공정을 관리하기 위해서는 정규분포의 경우와는 달리 먼저 그 品質特性值의 分布를 정확하게 推定하고 그에 따른 관리도를 설계하여야 한다. 그러나 이러한 과정은 試料의 크기가 충분히 크지 않으면 그 正確性이 기대될 수 없는 바, 이런 分布推定이 약간 잘못되더라도 효율적인 관리를 위해서는 품질특성치의 順序統計量에 의한 관리도를 작성하여 분포에 무관한 適應性(robustness)이 있는 관리기법을 개발하여야 한다. 그러나 관리도는 그 적용대상이 주로 製造現場의 工程이 中心이므로 使用이 간편하고 계산과정도 간단해야 한다. 본 연구에서는 순서통계량 중에서 中心性向을 잘 나타내고 사용하기가 가장 간편한 標本의 中位數에 기초한 메디안特殊管理圖의 模型을 開發하여 비정규분포공정을 효과적으로 관리할 수 있도록 하는 것이 그 目的이다.

2. 研究의 構成

본 연구는 小量生産, 斷續生産 등으로 國內에서 많이 發見되고 있는 非正規分布工程을 효과적으로 관리하기 위하여 전통적인 3σ 관리도 대신 적용하기 간편한 새로운 메디안특수관리도를 開發하고자 하는 것이다.

이를 위하여 第2章에서는 먼저 國內에서의 관리도기법의 適用現況과 問題點을 분석 검토하고, 아울러 傳統的인 標準管理圖와 비정규분포공정을 관리하기 위해 개발된 기존의 특수관리도들을 實際의 事例를 통해 적용함으로써 그 문제점들을 분석·검토한다.

특히 현재 國內에서 가장 많이 사용되고 있는 平均値(\bar{X}) 管理圖를 중점적으로 분석하여, 비정규분포공정의 경우에 기존의 표준관리도들의 適用上의 短點을 살펴본다.

第3章에서는 第2章에서 설명된 問題點을 해결하기 위하여 비정규분포공정에서 가장 代表的인 非正規分布인 감마분포, 베타분포, 와이분포, 대수정규분포, 파레토분포, 절단정규분포 등의 公정으로 대별하고 이들을 관리하기 위한 메디안특수관리도를 설계한다. 이를 위하여 中位數(median)의 性質, 各 特殊分布의 特性을 설명하고, 이에 따른 메디안특수관리도 설계에 필요한 각종 數表를 求한다.

第4章에서는 제3장에서 開發된 메디안특수관리도의 특성을 규명한다. 이를 위하여 특히 \bar{X} -관리도와 메

디안특수관리도의 우월성을 比較檢討하는데, 4.1節에서는 공정이 관리상태에 있는데도 管理圖上에서 異常狀態를 표시하는 誤報(false alarm)의 빈도가 어느정도 인가를 비교하며, 4.2節에서는 실제로 공정의 품질수준이 변화하였을 때 어떤 관리도가 이를 더 신속히 탐색할 수 있는가를 비교하고자 한다. 第5章에서는 제3장에서 개발된 메디안특수관리도를 적용하기 위해서는 먼저 그 製品品質特性值 分布의 개략적인 形態를 推定 및 檢定해야 되는 바, 이 方法들 중 가장 많이 사용되는 確率用紙打點法, χ^2 適合度檢定 및 Kolmogorov-Smirnov 適合度檢定을 實際事例를 통하여 실시하고, 또 이들 例를 第3章에서 개발된 메디안특수관리도와 기존의 \bar{X} 관리도를 통해 分析함으로써 메디안특수관리도의 實際適用 및 그 優秀성을 實證의으로 檢討한다. 第6章에는 본 연구의 結論과 檢討, 向後的 研究課題 등에 관해 설명하였다.

3. 研究의 範圍와 背景 및 方法

本 研究의 範圍는 一般 製造工場에서 連續無限母集團을 形成하거나 또는 그 分布의 模樣이 正規分布形態를 이루지 못하는 斷續의이고 非正規分布를 이루는 計量值의 管理圖에 국한하였으며, 本 研究의 背景으로서 는 종래의 傳統的인 Shewhart Control Chart의 3σ 管理限界에 근거한 標準型管理圖($\bar{X}-R, X, \bar{X}-R$ 등)에서 해결할 수 없는 사항을 直感할 수 있다.

本來 計量值管理를 위한 平均值(\bar{X})管理圖는 1931年 Shewhart[80]에 의하여 統計的인 安定狀態를 얻기 위하여 統計的 管理의 概念과 管理圖를 처음 提案하였으며, 그 이후 이 分野의 代表的인 研究背景을 조감하면 1954年 G.H. Weiler[87] [88]의 工程平均을 위한 관리도로서 측차적인 런(run)을 이용하여 큰 試料의 경우와 측차적 方法에 有用한 管理圖法을 開發했으며, 또 1962年 E.S. Page[68]는 工程平均의 變化를 發見하도록 警戒 조치한계를 채택하도록 한 修正管理圖를 提案하였고, 1970년에 J.I. Weidling et al[89]는 規格 또는 管理값을 위하여 工程平均內 작은 變動으로 感度를 증가시키기 위하여 Shewhart Control Chart를 修正한 것이다.

以外的 Shewhart Control Chart의 다른 分枝方法들을 正規分布의 假定下에서 이루어졌다. 여기서 非正規分布를 하거나 다양한 非正規分布에서 傳統的 $\bar{X}-R$ 管理圖法에 어떠한 영향을 미치느냐 하는 본격적인 調査 및 研究가 1967年 I.W. Burr[6]에 의해서 檢討되었고, Burr는 작은 母集團에서는 試料의 分布를 事前에 알고 있어야 한다고 수많은 論文에서 申明하였으며,

$\bar{X}-R$ 管理圖는 그 母集團의 分布가 正規分布를 한다는 假定下에 計算된 것이다.

1958年 E.S. Ferrell[29]은 품질특성치의 分布가 아주 非對稱的인 경우를 고려하여 正規分布에 기초한 傳統的 管理圖들은 이러한 경우에 管理의 不足을 지적하였으며, 이때에 管理圖分析은 이러한 非對稱 영역에서 正規性보다 對數正規分布에 近似되었을때의 對數特殊 管理圖를 考案하였다.

이보다 앞서 非正規分布에서 確率限界法으로 研究한 것은 英國의 統計學者인 E.S. Pearson의 B.S. 600-1935[8]과 600R-1942[9]를 管理圖法에 관한 英國工業規格으로 최초로 制定·實施하였다.

1950年 Dorian Shainan[22]의 最頻數管理圖의 考案과 1954年에서 1957年 E.S. Pearson과 Gram-Charlier [11]에 의한 確率論的理論에 근거한 Gram-Charlier 確率管理圖 및 Pearsonian 確率管理圖등이 考案되었으며 그 이후 傳統的인 Shewhart Control Chart를 여러 學者들에 의하여 1959年이후 계속 修正變型되었고, 1961年 E.S. Page[67]累積和管理圖의 考案과 이들의 經濟的 側面의 많은 연구가 있었고, 1956年 A.J. Duncun [21]은 \bar{X} 管理圖의 經濟的 計算에 대한 최초의 연구 이래로 1960~1970年代에 이르기까지 최근 몇년동안 \bar{X} -管理圖의 經濟的 計算에 관심이 많았다. 1980年 D.C. Montgomery[59]의 관리도의 경제적 설계와 1985年 R.W. Traver[81]의 $\bar{X}-R$ 管理圖에 代替的인 豫防管理에 관한 研究가 있었다.

그러나 現在까지 國內外를 막론하고 非正規分布에서 의 管理圖 研究가 소극적이었고, 이는 先進外國의 경우 連續無限母集團의 繼續生産體制下에서는 非正規分布의 制限을 받지 않으나 특히 우리나라와 같은 生産 條件上 大部分의 中小製造企業에서는 小量生産 Lot의 斷續生産시스템 下에서 非正規分布를 이루는 경우가 많고 또 이러한 경우에는 確率論的으로 고려된 特殊 管理圖의 開發이 必要한 것이다. 既開發研究된 主要 特殊管理圖의 문헌조사는 다음과 같다.

一般的으로 品質特性和 로트로부터 얻어진 데이터에 따라 管理圖의 標準型 種類는 計數型管理圖나 計量型 管理圖로 區分되며 특히 韓國工業規格(KS)에 制定되어 있는 管理圖는 KS A 3201(관리도법)-'63에 $\bar{X}-R, P, Pn, C, U$ 관리도와 KS A 3202(X 관리도)-'66과 KS A 3203($\bar{X}-R$)-'72의 7種이 制定되어 있다. 여기서 特殊管理圖라고 이름한 것은 前述한 管理圖의 代表的인 標準的 管理圖, 즉 $\bar{X}-R, P, Pn, C, U, X, \bar{X}-R$ 관리도 以外的 特殊目的으로 應用되거나 變用된 관리도를 통칭하여 特殊管理圖라고 하며, 그 種類로서 Shewhart관리도 유형인 6點法管理圖, 4點法管

理圖, 壓縮限界管理圖, 標準值管理圖, F分布用管理圖, χ^2 管理圖, 移動平均·移動範圍의 管理圖, 修正데이터管理圖, 警戒限界管理圖, 平均值管理圖(control chart for means), 和의 管理圖(control chart for sums), 中間範圍管理圖(control chart for mid-ranges), 標準偏差管理圖(control chart for standard deviations), 分散管理圖(control chart for variances), 極大值管理圖, 高低中間範圍管理圖, Gridless管理圖 등이 應用開發되어 있으며 이들중 非正規分布用特殊管理圖를 包含한 代表的인 것은 規格值管理圖, \bar{X} -S管理圖, 對數管理圖, Mode管理圖, L-S管理圖, Stevens管理圖, Gram-Charlier確率管理圖, Pearsonian Type III 確率管理圖, Pearsonian Percentage Points管理圖, Acceptance管理圖, Cumulative Sum管理圖, Multi-Characteristics管理圖, 와이블分布工程에서 管理圖 등이 特히 研究開發되어 있다.

本 研究의 方法은 非對稱分布下의 特殊管理圖 適用에 關하여 종래의 既開發된 \bar{X} 管理圖, \bar{X} -R管理圖, 對數管理圖, Gram-Charlier管理圖 등의 現實適用에 있어서 그들의 制限된 條件下에서 이용되어야 하는 限界性과 非對稱分布形態에 따른 多様な 고려가 없었던 點을 着眼하여 非對稱分布工程의 管理圖適用을 통한 製造工程管理를 위하여 品質特性值의 中心的 性向을 나타낼 수 있는 代表的인 記述의 測定值인 算述平均, 中位數, 最頻數들 중에서 사용하기 簡便하고 비교적 分포에 무관하게 적응성이 있는 中位數(median)를 기초로 한 管理圖法을 고려한다. 여기서 現實的인 問題로 대두되는 計量值의 品質特性值 管理를 위한 製造工程管理上 샘플링하는 시료의 크기가 적은 경우와 연속생산이 아닌 단속적생산이거나 그 생산로트로부터 作成된 히스토그램(histogram)의 分布가 分명한 非對稱正規分布일 경우를 重點 着眼하여 이의 經濟的 適應性이 있는 特殊管理圖의 模型을 設計하고자 하였다.

특히 非對稱分布工程에서 計量值管理圖適用上 平均值選擇은 算述平均值(\bar{X})보다 中位數(\tilde{X})가 使用上의 容易성이 있고, 또 製造工程(母集團)의 대표적인 平均值의 性質을 규명하기 쉽고, 確率論的으로도 中位數(\tilde{X})가 算述平均(\bar{X})보다 우월하다는 것이 컴퓨터 시뮬레이션(computer simulation)으로 立證이 되어, 메디안特殊管理圖의 模型을 設計하기로 하였다. 但, 現實的 適用의 便宜를 위하여 試料의 크기는 홀수인 경우만으로 制限하였고, 어떤 生産로트(母集團)에서 뽑은 確率標本의 累積確率分布函數(cumulative probability distribution function : c.d.f)를 求하여 이로부터 確率密度函數(probability density function : p.d.f)를 유도, 이들로부터 標本中位數의 모든 성질을 쉽게 규명할 수

있으나, 本 研究에서는 Pearson 確率限界法을 導入하고, Shewhart관리도에서 傳統的인 \bar{X} 管理圖의 管理限界 근거인 正規分布下에 3σ 밖으로 나갈 確率값으로 規定하여 管理限界(管理上限 : UCL, 管理下限 : LCL)를 兩側規格值(規格上限 : S_U , 規格下限 : S_L) 한쪽 規格值(S_L 또는 S_U 만 指定)가 주어진 경우로 區分하여 求하고, 中心線(CL)은 標本中位數가 母中位數(population median)의 좋은 推定值이므로 標本中位數(\tilde{X})를 中心線으로 하였다.

여기서 兩側規格值가 주어진 경우, 確率 P는

$$P(\tilde{X} \geq UCL) + P(\tilde{X} \leq LCL) = 0.0027$$

이 되도록 設計하였다.

非正規分布들은 一般的으로 非對稱分布들이므로 上記 式을 만족하는 UCL과 LCL값을 찾기가 매우 어려우므로 經濟的 方法으로

$$P(\tilde{X} \geq UCL) = P(\tilde{X} \leq LCL) = 0.00135$$

가 되도록 UCL과 LCL을 決定하였다.

한쪽 規格值가 주어진 경우의 UCL과 LCL을

$$P(\tilde{X} \leq LCL) = 0.0027$$

$$P(\tilde{X} \geq UCL) = 0.0027$$

이 되도록 UCL과 LCL을 決定하였다.

이를 근거로 非正規分布들 중 代表的인 감마分布, 베타分析, 對數正規分布, 와이블分布, 파레토分析, 切斷正規分布 등에 대한 메디안特殊管理圖를 設計하고, 이들 각각에 대한 適應性을 檢討分析하여 \bar{X} 管理圖와 比較하여 그 우월성을 立證하고 또 그 汎用性을 위하여 實證問題로서, 本 研究에서 模型設定한 메디안特殊管理圖의 事例研究로 그 效用性을 確認하였다.

4. 結 論

本 研究에서는 品質特性值가 計量值이고 그 分布가 非對稱正規分布인 工程을 管理하기 위하여 試料의 크기가 적은(3 또는 5개) 경우에 標本中位數를 基礎로 한 메디안特殊 管理圖를 開發하였다. 非對稱正規分布의 工程은 特히 生産로트의 크기가 작거나 단속적인 生産을 할 수밖에 없는 國內 여러 企業의 製品에서 흔히 發見될 수 있는 바, 이와 같은 分布에서는 標本の 平均보다 標本中位數가 模型 開發에 必要한 假定에 훨씬 영향을 덜 받는다는 것은 잘 알려진 事實이다. 本 研究에서는 이와같은 點을 利用하여 非對稱 正規分布中에서 使用하기 쉽고 널리 알려진 감마分布, 베타分布, 對數正規分布, 와이블分布, 파레토分布, 左右切斷正規

分布 등에서 管理限界 밖으로 벗어날 確率이 0.0027이 되도록 메디안特殊管理圖를 設計하였다.

다음 Table-1은 本 研究에서 模型設計한 메디안特殊管理圖의 中心線 및 管理限界를 나타낸 公式들이다.

本 研究에서는 위와같은 形態의 中心線과 管理限界를 갖는 메디안特殊管理圖의 現實適用을 위하여 각 設計變數(design parameter)들에 대한 數值表를 計算하였다.

이와같이 設計된 메디안特殊管理圖의 性質을 科明하기 위하여 먼저 \bar{X} 管理圖에 대한 適應性を 따른다는 假定下에 設計된 傳統的인 \bar{X} 관리도와 本 研究의 메디안特殊管理圖에서 工程分布가 正規分布가 아닌 非對稱分布로 變化하였을 경우에 1000번의 試料를 取해 管理限界線을 벗어난 回數를 分析한 結果, \bar{X} 管理圖는 分布의 變化에 따라 그 形態가 많이 變하는 反面 메디안特殊管理圖는 假定分布에 많은 影響을 받지않는 適應性이 있음을 컴퓨터 시뮬레이션으로 入證하였다. 따라서 工程의 分布가 正規分布라는 假定이 確實하지 않은 경우에는 \bar{X} 관리도 보다 메디안特殊管理圖를 使用하는 것이 훨씬 바람직하다는 것을 보였다.

本 研究에서는 또한 工程에 異常 要因이 생겼을 경우 이를 管理圖上에서 얼마나 빨리 찾아낼 수 있는가를 分析하였다. 이를 評價하기 爲해서는 흔히 平均런그 타임 ARL이 使用되어지던 바, 本 研究에서는 \bar{X} 의 性質을 쉽게 알 수 있는 正規分布와 감마分布에 있어서 \bar{X} 관리도와 메디안特殊管理圖의 ARL을 比較하였다. 그 結果 分布의 非對稱度가 심해질수록, 標本의 수가 작을수록 메디안特殊管理圖가 우수함을 實證하였다. 本 研究에서는 또한 위의 두 分布外의 特殊分布들에 대한 ARL도 아울러 計算分析하였다.

메디안特殊管理圖를 現場에 適用하기 爲해서는 먼저

그 工程의 品質特性值의 分布函數를 推定하여야 하는바, 本 研究에서는 既存에 開發되어 있는 여러 方法中 가장 많이 使用되어지는 確率紙利用法 χ^2 -適合度檢定, Kolmogorov-Smirnov 適合度檢定等의 方法을 國內 여러 企業의 실제 資料를 利用하여 實證적으로 그 節次를 說明하였다. 또 이 資料들을 위 方法으로 推定된 分布函數에 맞는 메디안特殊管理圖을 設計하여 打點한 結果 \bar{X} 管理圖보다 本 研究의 管理圖가 管理의 效果面에서 훨씬 優秀함을 實證하였다.

5. 向後의 研究課題

本 研究에서 開發한 메디안特殊管理圖는 위와같은 長點을 지니고 있으나, 向後 다음과 같은 分野의 研究가 계속 進行될 수 있으리라 판단된다.

먼저 非對稱正規分布工程을 管理하기 爲해서는 그 分布函數를 正確히 推定하여야 하는바, 이를 손쉽게 해결할 수 있도록 하는 技法이나 컴퓨터 프로그램의 開發이 必要하다. 둘째, 本 研究에서는 몇개의 特殊分布에 관한 管理圖를 設計하였는바, 本 研究에서 고려되지 않은 다른 分布들에 관한 研究도 必要하다고 본다. 셋째, 本 研究에서는 便宜上 試料의 크기를 3과 5로 限定하였는 바 이를 다른 작수의 경우에도 확장하는 것이 좋다고 判斷된다. 넷째, 中心極限定理에 의하면 標本平均 \bar{X} 는 試料의 크기가 커지면 正規分布를 따르게 되는바 어느 程度로 크게 하여야 하는가가 興味로운 課題이다.

아울러 메디안特殊管理圖의 適用에는 각 母數들의 좋은 推定值가 必要한 바, 이에 대한 效率의인 方法도 研究되어야 할 것으로 判斷된다.

Table-1. Equation of Control Limits for Non-Normal Distributions.

분포의 종류	중심선 (CL)	관리상한 (UCL)	관리하한 (LCL)
1. 감마분포	$\hat{\beta} CL_G + \hat{\delta}$	$\hat{\beta} UCL_G + \hat{\delta}$	$\hat{\beta} LCL_G + \hat{\delta}$
2. 베타분포	$\hat{a} + (\hat{b} - \hat{a}) CL_B$	$\hat{a} + (\hat{b} - \hat{a}) UCL_B$	$\hat{a} + (\hat{b} - \hat{a}) LCL_B$
3. 정규분포	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}} + UCL_N A_2 \bar{R}$	$\bar{\bar{X}} + LCL_N A_2 \bar{R}$
4. 대수정규분포	$\exp(\bar{\bar{x}})$	$\exp(\bar{\bar{x}} + UCL_N A_2 \bar{R})$	$\exp(\bar{\bar{x}} + LCL_N A_2 \bar{R})$
5. 와이불분포	$\hat{\delta} + (\frac{CL_w}{\hat{\alpha}}) \sqrt{\hat{\beta}}$	$\hat{\delta} + (\frac{UCL_w}{\hat{\alpha}}) \sqrt{\hat{\beta}}$	$\hat{\delta} + (\frac{LCL_w}{\hat{\alpha}}) \sqrt{\hat{\beta}}$
6. 파레토분포	$\hat{k} \exp(CL_p / \hat{a})$	$\hat{k} \exp(UCL_p / \hat{a})$	$\hat{k} \exp(LCL_p / \hat{a})$
7. 절단정규분포			
① 좌측	$\hat{\mu} + CL_T \hat{\sigma}$	$\hat{\mu} + UCL_{LT} \hat{\sigma}$	$\hat{\mu} + LCL_{LT} \hat{\sigma}$
② 우측	$\hat{\mu} + CL_T \hat{\sigma}$	$\hat{\mu} + UCL_{RT} \hat{\sigma}$	$\hat{\mu} + LCL_{RT} \hat{\sigma}$
③ 양측	$\hat{\mu}$	$\hat{\mu} + UCL_{DT} \hat{\sigma}$	$\hat{\mu} + LCL_{DT} \hat{\sigma}$

References

1. Arolan, L.A., and Levene, H., "The Effectiveness of Quality Control Charts", *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 45, No. 252, December 1950, pp. 520-529.
2. Barton, D.E. and Dennis, K.E., "The condition under which Gram-charlier and Edge worth curve are positive definite and unimodal", *Biometrika*, Vol. 39, December 1952, p. 425.
3. Burr, I.W., *Engineering Statistics and Quality Control* McGraw-Hill Book Company, New York, 1953.
4. Baker, K.R., "Two Process Models in the Economic Design of an \bar{X} -Chart", *AIIE Transactions*, Vol. 3, No. 4, December 1971, pp. 257-263.
5. Barnard, G.A., "Control Charts and Stochastic Processes", *Journal of the Royal Statistical Society, Series B* 21, No. 24, 1959, pp. 239-271.
6. Burr, I.W., "The Effect of Non-Normality on Constants for \bar{X} and R Charts", *Industrial Quality Control*, Vol. 23, No. 11, May 1967, pp. 563-569.
7. Bisgaard, S., Hunter W.G and Pallesen, L., "Economic Selection of Quality of Manufactured Products", *Technometrics*, Vol. 26, No. 1, 1981, pp. 9-18.
8. BS 600(1935): The Application to Industrial Standardization and Quality Control, p. 161.
9. BS 600R(1942): Quality Control Chart, p. 89.
10. BS 2645(1955): Quality Control Chart Technique When Manufacturing to a Specification.
11. Weindling, J.L., Littauer, S.B., and Tiago de Oliveira, J., "Mean Action Time of the \bar{X} -Control Chart with Warning Limits", *Journal of Quality Technology*, Vol. 2, No. 2, April 1970, pp. 79-85.
12. Vance, L.C., "A Bibliography of Statistical Quality Control Chart Techniques", *Journal of Quality Technology*, Vol. 15, No. 2, April 1983, pp. 59-62.
13. Yang, C.H. and Hillier, F.S., "Mean and Variance Control Chart Limits Based on Small Number of Subgroups", *Journal of Quality Technology*, Vol. 2, 1970, pp. 9-16.
14. 日本規格協會, 品質管理便覽, 1966, pp. 157-159.
15. 大韓商工會議所, 企業經營隘路要因調查報告 (1984.4~1985.4), pp. 11~14.
16. 工業振興廳, KS A 3201(관리도법)-1963.
17. 工業振興廳, KS A 3202(X관리도)-1966.
18. 工業振興廳, KS A 3203(\bar{X} -R관리도)-1972.
19. 金正年, 統計學, 經文社, 1983, 9, 19.
20. 黃義徹, 最新品質管理, 博英社, 1980, pp. 305-373.
21. 辛容伯, 中小企業을 위한 效果的인 TQC適用方案에 관한 研究, 安養商工會議所·安養地域經濟研究中心, 1985, p. 15, pp. 89-94.
22. 辛容伯·黃義徹, 非對稱와이블分布工程에서 메디안特殊管理圖의 設計, 品質管理學會誌, Vol. 14, No. 2, 1986, pp. 2-8.