

# 비정규 공정을 위한 공정관리도의 연구동향 분석 Research Results and Trends Analysis on Process Control Charts for Non-normal Process

김 종 곁\* · 김 창 수\*\* · 엄 상 준\*\*\* · 김 형 만\*\*\*\*

최 성 원\*\*\*\*\* · 정 동 구\*\*\*\*\*

Jong-Gurl Kim\* · Chang-su Kim\*\* · Sang-Joon Um\*\*\*

Hyung-Man Kim\*\*\*\* · Seong-Won Choi\*\*\*\*\* · Dong-Gu Jeong\*\*\*\*\*

## Abstract

Control chart is most widely used in SPC(Statistical Process Control), Recently it is a critical issue that the standard control chart is not suitable to non-normal process with very small percent defective. Especially, this problem causes serious errors in the reliability procurement, such as semiconductor, high-precision machining and chemical process etc. Procuring process control technique for non-normal process with very small percent defective and perturbation is becoming urgent. Control chart technique in non-normal distribution become very important issue.

In this paper, we investigate on research trend of control charts under non-normal distribution.

**Keywords :** SPC, Non-normal Process, Process Control Charts

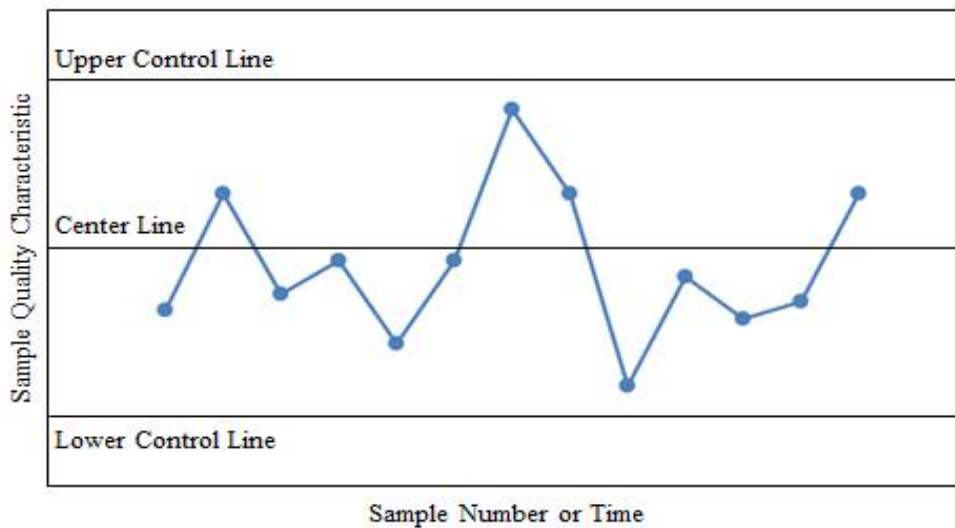
---

\* 성균관대학교 시스템경영공학과 교수  
\*\* 성균관대학교 기술경영학과 겸임교수, 산업공학박사  
\*\*\* 성균관대학교 산업공학박사  
\*\*\*\* 성균관대학교 산업공학과 박사과정  
\*\*\*\*\* 성균관대학교 시스템경영공학과

## 1. 서 론

SPC(Statistical Process Control)는 제조공정단계에서 제품의 주요한 품질특성을 통계적으로 해석하여 공정의 상태를 관리하는 기법이다.

SPC의 중요한 목적중 하나는 제조공정에서 이상요인(assignable causes)에 의한 불량 발생 하였을 때 이를 빨리 감지하여 적절한 조치를 취할 수 있도록 하는 것이다. 이러한 목적을 위하여 사용되는 SPC 기법 중에 대표적인 기법이 바로 관리도(Control Chart)이다. 아래의 [그림 1-1]은 관리도의 일반적인 형태이다.



[그림 1-1] 일반적인 슈와트(Shewhart)관리도

관리도란 위 [그림 1-1]과 같이 관리하고자 하는 품질 특성치를 측정하여 정해진 공식으로 계산한 값을 샘플링 순서 또는 시간에 따라서 꺾은 선형의 그래프로 타점하여 보여주는 것이다. 중심선은 공정의 평균을 나타내고 상한선(Upper Control Line)과 하한선(Lower Control Line)은 관리하고자 하는 공정의 관리한계(Control Limit)를 나타낸다. 관리도의 타점이 관리선을 벗어났을 때, 우리는 공정의 평균이 이동했으며, 공정이 이상요인에 의해서 이상상태에 있다는 것을 알 수 있다. 또한 관리도의 타점들은 우연원인(chance causes)에 의해 무작위로 타점되어야 정상이다. 만약 타점들이 어떤 경향(trend)을 보이거나 치우침(bias)을 보인다면 이것 또한 공정에 어떤 변화가 나타났다는 것을 의미한다.

관리도는 공정의 이상원인을 감지하는 탁월한 능력을 가지고 있다. Montgomery는 관리도가 미국 산업에서 오래된 기간 동안 사용된 이유를 다음과 같이 정리하고 있다.[1]

- ① 관리도는 생산성을 향상하기 위한 기술이며, 입증된 기술이다.
- ② 관리도는 결함(defect)을 예방하는데 효과적이다.
- ③ 관리도는 공정의 불필요한 조정(adjustment)을 예방한다.
- ④ 관리도는 진단적인(diagnostic) 정보를 제공한다.
- ⑤ 관리도는 공정능력에 대한 정보를 제공한다.

이러한 관리도는 모집단의 분포가 정규분포라고 가정을 하고 있다. 기존의 제조업 중에서 초정밀 성을 요구하지 않는 제조공정에서는 공정의 품질 특성이 정확히 정규 분포를 따르지 않는다 하더라도 정규분포라고 가정을 해도 무방하다. 하지만 초정밀 공정관리를 요구하는 반도체관련 공정, 화학공정 등 최근의 제조공정에서는 제조공정의 품질 특성이 다음과 같은 특징을 따르는 경우가 빈번하다.

- ① 품질의 특성이 정규분포와는 크게 차이가 날 경우(예를 들어 품질특성이 수명 데이터, 화학공정일 경우)
- ② 초정밀 공정관리가 필요하여 공정의 품질특성을 정확히 파악해야 하는 경우
- ③ ppm 단위의 극소불량률 관리가 필요한 경우(단위 불량개수 당 피해손실이 크다고 판단되는 경우 )

위와 같은 경우에는 공정이 비정규성을 따를 수 있다는 가정을 고려하여 관리도를 설계, 해석해야 하며 그렇지 못 한 경우 심각한 경제적 손실을 가져올 수 있다.

따라서 본 논문에서는 비정규 공정에 대한 다양한 공정관리기법(특히 관리도 기법을 중심으로)을 조사하여 추후 비정규 관리도 기법에 대한 활용을 용이하게 하고, 추후 연구방향을 제시하고자 한다.

## 2. 비정규 공정에 대한 유관논문 조사 방법

### 2.1 유관연구논문의 조사

비정규 분포에서 관리도 기법의 이론 체계를 정리하고자 NDSL을 포함한 총 9곳 (Science Direct, IEEE Xplore, Emerald, Springer Link, DBPIA, Informaworld, ACM Digital Library, Wiley Inter Science, ASQ)의 논문검색 Web-Site에서 해외 유관 논문을 수집하였다. 이론 체계를 정리하고 자하는 작업이므로 최초 1950년대의 논문부터 현재까지의 논문들을 고루 조사 하였고, 중복이 되는 연구주제는 배제하였다.

### 2.2 비정규 공정의 연구영역

본 논문에서는 비정규 공정과 관련한 논문 중 대표적인 논문 60 여편을 조사하여 비정규 공정에서 관리도 적용에 관한 연구영역을 5가지로 분류해 보았다. 5가지 연구영역은 다음과 같다.

- ① 분포의 종류에 따른 연구
- ② 관리모수에 따른 연구
- ③ 샘플링 기법에 따른 연구
- ④ 경제적 설계에 관한 연구
- ⑤ 다변량 데이터에 관한 연구

본 논문에서는 위의 각 영역의 논문들 중 대표적인 논문만 10여편을 선택하여 주요 내용을 소개하였다.

### 3. 비정규 분포의 연구동향 분석

#### 3.1 분포의 종류에 따른 연구

공정의 분포 특성에는 다양한 분포가 존재한다. 각각의 분포특성에 따른 관리도의 설계를 하는 것이 일반적인 방법이지만 분포의 종류가 너무 많아서 다양한 공정을 포괄할 수 없다는 단점과 높은 수준의 통계적 지식기반이 필요하다는 단점이 있다.

Schilling and Nelson(1976)는 균등분포(the uniform distribution), 삼각분포(right triangular distribution), 감마분포( $\lambda=1, r=0.5, 1, 2, 3, 4$  일 때), 그리고 두 개의 정규 분포가 혼합된 것처럼 보이는 이봉분포(bimodal distribution)를 조사했다. 위에서 조사한 대부분의 경우에서 샘플 사이즈가 4 ~ 5 인 경우 정규분포라는 가정을 가지고 관리도를 설계하여도 적당한 강건성을 보였다. 그러나 감마분포에서  $r=0.5, 1$  일 경우 (이 경우 분포의 모양이 지수분포와 같다)에는  $\bar{x}$  관리도의 성능이 현저히 저하되는 것을 발견할 수 있었다. 감마분포에서  $r=0.5$ 이고 샘플의 수가 4보다 작거나 같을 때, 정규분포에서 이론적인  $\alpha-risk$ 의 값은 0.0027 이지만 실제로는 0.014가 되거나 더 작아지는 것을 알 수 있었다.[17]

최성원(2012)은 비정규 공정에서 누적합 관리도 적용에 관한 연구를 하였다. 비정규 분포 중에서도 와이블 분포인 경우 Box-Cox 변수변환방법을 사용하여 누적합 관리도를 설계하였다. 시뮬레이션 방법으로 변수변환을 하지 않은 누적합 관리도와 Box-Cox 변수변환을 사용한 누적합 관리도의 ARL을 비교하였다. 비정규성을 고려하여 누적합 관리도를 설계하는 것이 비정규성을 고려하지 않은 것보다 더 좋은 성능을 보인다는 것을 연구하였다.[5]

#### 3.2 관리모수 따른 연구

관리도의 관리모수는 일반적으로 평균과 범위, 표준편차 등이 있다. 하지만 불량률이나 분산 등 다양한 모수의 통계량을 계산하여 관리도를 설계한다면 비정규 공정의 강건성을 높일 수 있다. [3]

장영순(2002)는 비대칭 분포를 서로 다른 표준편차를 갖는 두개의 정규분포를 이용하여 근사화하는 가중표준편차 방법을 제안하고, 이를 이용하여  $\bar{x}$ , 누적합, 지수가중 이동평균 관리도를 설계했다. 이 방법은 분포의 치우침 정도에 따라 공정평균 위쪽 부분의 퍼짐 정도와 아래쪽 부분의 퍼짐 정도가 서로 다르다는 점에 착안하여 공정의 표준편차를 둘로 나눈 후, 이를 이용하여 관리도의 타점통계량 혹은 관리한계선을 조정하는 것이다. 제안된 관리도들은 대칭인 모집단에 대해서 기존의 관리도들과 동일한 타점통계량 및 관리한계선을 제공한다. 비대칭 모집단으로부터 얻어진 부분군 자료로부터 표준편차를 추정하는데 사용되는 관리도상수를 제안하고, 모집단이 대수정규, 와이블, 감마분포를 따르는 경우에 대해 제안된 관리도들을 기존의 관리도들과 거짓경보 비율 측면에서 비교하여 타당성을 제시했다.[4]

### 3.3 샘플링 기법에 따른 연구

샘플링 기법 연구 또한 비정규 분포에 대응하여 강건성(robustness)을 확보하는 좋은 방법 중 하나이다. 공정으로부터 추출할 표본의 크기(sample size)와 표본추출간격(sampling interval)에 대해서는 상당히 많은 연구들이 이루어져왔다. 만약 주어진 공정목표에 대해 공정의 흐름에서 어떤 편향(drift)이 나타난다면, 그 시점에서부터는 좀 더 빠르게 표본을 추출해나가거나 혹은 추출할 표본의 크기를 늘려야 할 것이다. 이런 방식을 통해 공정변동에 대해 신속하게 대응할 수 있지만 한편으로는 공정모니터링계획이 복잡해진다는 단점이 있다.[2]

Yu-Chang Lin and Chao-Yu Chou(2004a)는 가변샘플링기법(variable sampling methods)을 활용한, 가변표본크기 및 간격(VSSI : variable sample size and sampling interval) 관리도를 제안하였고, 비정규에서의 VSSI 관리도의 설계를 위해 Burr분포를 사용하였다. 대칭한계차트(symmetric-limit chart)와 비대칭한계차트(asymmetric-limit chart)의 2가지 형태 관리도로 연구를 실행했고, VSSI 관리도가 표준 SS(standard Shewart) 관리도 보다 효과적이며, 공정평균의 변화에도 민감하고 비정규에 대해서도 보다 강건하다고 증명하였다.[14]

Yu-Chang Lin and Chao-Yu Chou(2004b)는 SS 관리도와 VSS 관리도의 비교를 통해, 가변샘플링기법(variable sampling methods)의 유효성을 언급하였고, VSS 관리도에 대한 고찰을 통해 표본크기와 관리한계를 동시에 변경하는 기법(VSSCL 관리도)을 제안했다. 이 가변표본크기 및 관리한계(VSSCL : variable sample size and control limit) 관리도가 가변표본크기(VSS) 관리도보다 공정변동에 민감하다고 증명하였고, VSSCL 관리도는 실제로 허위경보에 대한 위험이 적다고 언급했다.[15]

최인수(1995)는 연구의 서론에서 관리도 그리고 공정능력지수와 같은 'SPC기법들에 대한 비정규성의 영향'에 대한 문헌고찰을 통해 비정규분포에서의 SPC기법 적용에 대한 중요성을 언급하였다. 가중분산(WV)의 개념에 근거한 휴리스틱(heuristic)방법을 통해 관리도의 관리한계선을 설정방식을 제안했고, 가중분산-가변표본간격 관리도(WV VSI charts)와 분포에 제약 없이 사용할 수 있는 공정능력지수 결정방법을 제안하였다.[6]

Kinji Takagi(1972)는 상당히 다양한 종류의 비정규분포에 대한 시그마 샘플링 계획

을 연구하였고, 왜도와 첨도가 주어진 특정 비정규분포에 대해 누구나 일반적으로 샘플링계획을 할 수 있는 방안을 제시했다. 수치 예를 통해, 감마, 와이블 그리고 Burr 분포에 대해 일반적인 해결방안을 설명했다.[18]

[표 3-1] 샘플링방법을 적용한 연구

논문 제목	연도	저자	적용 목적
On the Design of Variable Sample size and Sampling Intervals $\bar{x}$ charts under Non-normality	2004 a	Yu-Chang Lin and Chao-Yu Chou	VSSI $\bar{x}$ 관리도 설계
Robustness of The Variable Sample Size and Control Limit $\bar{x}$ chart to Non Normality	2004 b	Yu-Chang Lin and Chao-Yu Chou	VSSCL $\bar{x}$ 관리도 설계
비대칭 모집단에 대한 통계적 공정관리	1995	최인수	WV VSI $\bar{x}$ 관리도 설계
On Designing Unknown-Sigma Sampling Plans based on a Wide Class of Non-Normal Distributions	1972	Kinji Takagi	새로운 샘플링계획 설계, 제안

### 3.4 관리도 경제적 설계에 관한 연구

비정규 분포를 통계적으로 해석하고 설계하기 위해서는 현실적으로 한계가 있다. 분포의 모양이 너무나 다양해서 그 다양한 분포의 모양과 특징을 포괄하여 통계적으로 대응하기가 어렵기 때문이다. 경제적 설계는 또 하나의 좋은 대안이 될 수 있다.

관리도의 경제적 설계에 대해 지금까지도 많은 논문들이 발표되고 있고 대부분의 연구가 처음 이 개념을 제시하였던 Duncan(1956)의 이론을 기반으로 하고 있다. 경제적 모델에서는 샘플링, 부적합에 대한 처리, 수리 등에 대한 비용과 그 외의 다양한 비용들이 설정된다.[2]

Y.-K. Chen(2003)은 비정규공정데이터의 모니터링을 위해 관리도에 가변샘플링방법을 적용시켰다. 그러나 가변샘플링간격(VSI : Variable Sampling Interval) 관리도의 사용에 있어서 여전히 비용적인 문제가 존재함으로써, 사용하기 이전에 적절한 설계를 해야 한다고 언급했다. 이에 VSI 관리도의 경제적 통계적 설계를 제안하였고, Burr분포에 기초한 품질비용모델을 사용했으며 통계적인 제약 하에 비용함수의 최적화를 목적으로 VSI 관리도를 설계하였다. 설계모수로는 표본크기, 분할 공간, 샘플링 구간을 설정하였고 Bai의 비용모델을 사용하였다. 또 실제 비정규공정데이터를 활용해 FSI 관리도와 VSI 관리도의 왜도와 첨도의 비교하였다.[9]

Chao-Yu. Chou et al.(2001)은 비정규데이터에 대한 관리도의 경제적 · 통계적 설계

를 위해, Duncan의 비용모델을 목적함수로 사용하였고 통계적 제약을 위한 목적함수 도출을 위해 다양한 비정규분포를 나타낼 수 있는 Burr분포를 사용하였다.[11]

Huifen Chen and Yuyen Cheng(2004)은 비정규품질특성의 모니터링을 위해 관리도의 경제적 · 통계적 설계를 연구했다. 표본평균이 존슨(Johnson)분포라고 가정하고 최적설계변수의 결정에 있어 Rahim의 일반론과 McWilliams에 의해 제안된 비용모델을 사용하였다.[8]

Y. Nagendra and G. Rai(1971)는 관리도의 폭이 주어진 관리한계의 시그마수준을 나타내는 로 고정되었을 때, 예지위스 급수에 의해 생기는 비정규변수의 밀도함수에 대한 공정평균이 변동되는 것을 감지하기 위해, 최적 표본크기(sample size)과 추출간격(sampling interval)의 설정에 대해 연구하였다.[16]

Chao-Yu Chou et al.(2002)은 Alexander의 손실모델을 사용하여 비정규데이터에 대한 관리도의 최소손실설계를 개발하였다. 관리도의 최적설계에 대한 비정규성의 영향을 분석하기위해 상관계수를 통한 민감도분석을 했다.[13]

[표 3-2] 경제적 설계에 관한 연구

논문 제목	연도	저자	적용 목적
An Evolutionary Economic-Statistical Design for VSI X Control Charts under Non-Normality	2003	Yan-Kwang Chen	VSI $\bar{X}$ 관리도 경제적 설계
Economic Statistical Design of Average Control Charts for Monitoring a Process under Non-normality	2001	Chao-Yu Chou et al.	$\bar{X}$ 관리도 경제적 설계
Non-normality Effects on the Economic-Statistical Design of $\bar{X}$ charts with Weibull in-control time	2005	Huifen Chen and Yuyen Chng	$\bar{X}$ 관리도 경제적 설계
Optimum Sample Size and Sampling Interval for Controlling the Mean of Non-Normal Variables	1971	Y. Nagendra and G. Rai	표본크기와 추출간격 설정
Minimum-Loss Design of X-Bar Control Charts for Non-Normal Correlated Data	2002	Chao-Yu Chou et al.	$\bar{X}$ 관리도 최소손실 설계
Economic Design of $\bar{X}$ Control Charts for Non-normal Data using Variable Sampling Policy	2003	Chen Y. K.	VSI $\bar{X}$ 관리도 경제적 설계
Economic Statistical Design of X-Charts for Non-normal Data by considering Quality Loss	2008	Chao-Yu Chou	$\bar{X}$ 관리도 경제적 설계

Yan-Kwang Chen(2004)은 공정데이터의 정규성을 가정할 수 없을 때, VSI 관리도의 경제적설계를 통해 공정데이터를 다룰 수 있도록 Burr분포를 사용한 비용모델을 제안하였다. 공정과 비용에 대한 모수, 모집단의 왜도와 첨도 수준에 대해 사례를 통

해 설계절차와 민감도분석을 설명하였다. 제안한 모델은 비정규공정 데이터뿐만 아니라 정규분포데이터에도 적용이 가능하다고 언급하였다.[10]

Chao-Yu Chou et al.(2008)는 Burr분포를 사용하여 관리도의 경제적 · 통계적 설계를 연구했다. Alexander의 손실함수를 목적함수로 사용하였으며, Burr분포의 누적함수를 설계의 통계적 제약조건으로 적용시켰다. 왜도가 작을 때와 달리 왜도가 클 때는 관리한계와 표본크기 그리고 추출구간을 크게 유도하는 등 설계에 중요한 영향을 준다고 언급하였고, 첨도의 증가는 표본크기와 관리한계의 증가를 유도시킨다는 결과를 얻었다.[12]

### 3.5 다변량 데이터에 관한 연구

비정규 분포인 경우 때때로 데이터의 특성이 자기상관 데이터(Autocorrelated Data)인 경우가 있다. 일반적으로 관리도의 기본가정은 각각의 샘플이 독립적(independent)이고 동등한(identically)분포라는 가정을 한다. 하지만 현실적으로 실제의 데이터가 완벽하게 독립적이고 동등한 샘플링 분포를 가질 수는 없다. 그러므로 다변량에 대한 연구가 필요하며, 이는 비정규 공정을 대응하는 또 하나의 방법이다.

Philippe Castagliola and Fugee Tsung(2005)는 현재의 자기상관 SPC기법에서 비정규성의 영향을 평가했다. 또 공차범위 내에 분포의 비대칭이 존재할 때 자기상관 SPC기법 사용여부를 판단할 수 있는 가이드라인을 제공했다. 특히 왜도가  $3\sigma$ 공차범위를 벗어날 때, 분포가 무거운 꼬리형태를 가진다면 척도가중분산(SWV : scaled weighted variance)개념을 통해 비정규성을 다루도록 권고하고 있다.[7]

## 4. 결 론

본 논문에서는 정규분포가 아닌 비정규분포를 따르는 품질 특성치를 관리하기 위한 관리도 기법의 연구 동향을 살펴보았다. 기존의 제조업은 다루고자하는 품질 특성치가 비교적 단순하고 엄격한 공정관리를 요구하지 않았다. 그래서 일반적인  $\bar{x}-R$  관리도가 상당히 효율적인 관리기법이였다.  $\bar{x}-R$  관리도는 컴퓨터가 필요 없을 정도로 계산이 간단하다. 관리도용 계수표를 활용하면 누구나 손쉽게 관리도를 설계하고 해석할 수 있을 뿐만 아니라 상당히 뛰어난 검출력과 강건성을 가지고 있다. 하지만 최근의 산업은 반도체, 통신, 항공, 화학 산업 등 첨단 산업이 주를 이루고 있다. 이들 산업의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

- ① 각 산업에서 중요시되는 품질특성치가 반드시 정규분포는 아니며, 심한 경우 정규분포와는 완전히 다른 분포를 가지고 있다.(예를 들어 수명, 강도처럼 신뢰성과 관련된 품질특성)
- ② 기존 관리도에서 기본적으로 가정하고 있는 iid(independent identically distributed)를 따



르지 않는 경우가 많다. 즉, 자기상관 데이터이거나 다변량 데이터인 경우가 많이 있다.

- ③ 항공, 화학, 원자력, 방위산업처럼 고가의 제품/부품이거나 인간의 생명에 치명적인 위협을 줄 수 있는 산업이 많다.

이러한 산업에서는 기존의  $\bar{x}-R$  관리도의 기본가정인 iid와 정규성이 위배되므로 심각한 오류를 발생 할 수 있다. 또한 미세변동 및 극소불량을 감지하기에는 통계적 구조가 상당히 취약하다. 최근에는 컴퓨터의 발달로  $\bar{x}-s$  관리도나  $I-MR$  관리도가 쓰이고 있지만 이것 역시 위에서 언급한 산업에 대응하기는 어렵다. 이제는 본 논문에서 언급하고 있는 비정규 공정에 대한 더욱더 활발한 연구가 필요한 시점이며, 미세변동과 극소불량을 관리할 수 있는 관리도 기술 또한 시급한 과제이다.

위에서 언급한 산업의 특징은 점차 그 영역을 넓혀 갈 것이다. 그렇다면 통계적 공정관리 분야도 이런 변화에 발맞춰 그 연구영역을 맞춰나가야 한다. 본 논문에서 제시한 비정규분포의 연구영역은 지난 50여 년간 연구되어진 비정규 관련 논문을 분석하여 제시하였다.

추후 연구방안으로는 실제 제조업의 비정규 분포를 따르는 제조데이터를 사용하여 본 논문에서 제시한 영역별로 관리도 설계방안을 연구하고 통계적 검증뿐만 아니라 경제적 분석을 통한 시뮬레이션과 타당성 연구를 제안한다. 또한 관리도의 설계와 해석의 편의성을 확보하기 위한 연구도 추가적으로 제시하는 바이다.

## 5. 참 고 문 헌

- [1] Douglas C. Montgomery, Introduction to Statistical Quality Control, Seventh Edition, John Wiley & Sons, Inc., 2013.
- [2] 김영섭, 비정규공정에서의 SPC기법 적용에 관한 연구, 성균관대학원 : 산업공학과, 2008.
- [3] 엄상준, 공정평균과 극소불량률 동시관리체계에 관한 연구, 성균관대학원 : 산업공학과, 2012.
- [4] 장영순, 가중표준편차를 이용한 비대칭 모집단에 대한 통계적공정관리 기법의 개발, 한국과학기술원 : 산업공학과, 2002.
- [5] 최성원, 비정규공정에서의 누적합 관리도 적용에 관한 연구, 성균관대학원 : 산업공학과, 2012.
- [6] 최인수, 비대칭 모집단에 대한 통계적 공정관리, 한국과학기술원 : 산업공학과, 1995.
- [7] Castagliola Philippe and Tsung Fugee, "Autocorrelated SPC for Non-Normal Situations", Quality and Reliability Engineering International, Vol. 21, No. 2, pp. 131-161, 2005.
- [8] Chen Huifen and Cheng Yuyen, "Non-normality effects on the economic-statistical design of charts with Weibull in-control time", European Journal of Operational Research, Vol. 176, No. 2, pp. 986-998, 2005.
- [9] Chen Yan-Kwang, "An evolutionary economic-statistical design for VSI X control charts under non-normality", The International Journal of Advanced

- Manufacturing Technology, Vol. 22, No. 7-8, pp. 602-610, 2003.
- [10] Chen Yan-Kwang, "Economic design of control charts for non-normal data using variable sampling policy", International Journal of Production Economics, Vol. 92, No. 1, pp. 61-74, 2004.
- [11] Chou Chao-Yu. et al., "Economic Statistical Design of Average Control Charts for Monitoring a Process under Non-normality", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 17, No. 8, pp. 603-609, 2001.
- [12] Chou Chao-Yu, "Economic Statistical Design of X-Charts for Non-normal Data by considering quality loss", Journal of Applied Statistics, Vol. 27, No.8, pp. 939-951, 2008.
- [13] Chou Chao-Yu, et al., "Minimum-loss design of X-bar control charts for non-normal correlated data", Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers, Vol. 19, No. 1, pp. 16-24, 2002.
- [14] Lin Yu-Chang and Chou Chao-Yu, "On the design of variable sample size and sampling intervals charts under non-normality", International Journal of Production Economics, Vol. 96, No. 2, pp. 249-261, 2004.
- [15] Lin Yu-Chang and Chou Chao-Yu, "Robustness of the Variable Sample Size and Control Limit Chart to Non Normality", Communications in Statistics-Theory and Methods, Vol. 34, No. 3, pp.721-743, 2004.
- [16] NAGENDRA Y. and RAI G., "Optimum Sample Size and Sampling Interval for Controlling the Mean of Non-Normal Variables", Journal of the American Statistical Association, Vol. 66, No. 335, pp. 637-640, 1971.
- [17] Schilling Edward G., Nelson Peter R., "The effect of non-normality on the control limits of charts", Journal of Quality Technology, Vol. 8, No. 4, pp. 183-188, 1976.
- [18] Takagi Kinji, "On Designing Unknown-Sigma Sampling Plans Based on a Wide Class of Non-Normal Distributions", Technometrics, Vol. 14, No. 3, pp.669-678, 1972.