

비정규분포하에서의 효과적인 공정관리를 위한
기술체계동향 연구
- A Study of Technology Trends for Effective
Process Control under Non-Normal Distribution -

김 종 결* · 엄 상 준** · 김 영 섭*** · 고 재 규***
Jong-Gurl, Kim* · Sang-Joon, Um** · Young-Sub, Kim*** · Jae-Kyu, Ko***

Abstract

It is an important and urgent issue to improve process capability in quality control. Process capability refers to the uniformity of the process. The variability in the process is a measure of the uniformity of output. A simple, quantitative way to express process capability, the degree of variability from target in specification is defined by process capability index(PCI). Almost process capability indices are defined under normal distribution. However, these indices can not be applied to the process of non-normal distribution including reliability. We investigate current research on the process of non-normal distribution, and advanced method and technology for developing more reliable and efficient PCI. Finally we suggest the perspective for future study.

Keywords : non-normal distribution, statistical process control, process capability indices

* 성균관대학교 시스템경영공학과 교수

** 하이닉스 반도체 / 성균관대학교 대학원 산업공학과

*** 성균관대학교 대학원 산업공학과

1. 서 론

최근 급속한 산업기술의 발전으로 신기술, 신소재 등에 대한 성능평가가 미흡해지는 한편, 신뢰성평가기간의 단축이 요구되는 실정이다. 이에 따라 제조업에서는 공정관리를 통한 품질관리가 기업의 생존을 위한 핵심과제로 고려되고 있다.

통계적 공정관리(SPC)에서 규격(Specification)에 따른 목표값을 중심으로 공정 산포가 작은 정도를 공정능력이라 부르고 공정능력지수(Process Capability Index)라는 정량적 지표로 나타낸다. 그러나 현재 모집단의 분포가 정규성을 따른다는 가정 하에서 개발, 사용되고 있는 공정관리 기술체계로는 제품의 수명과 관련된 신뢰성특성인 비정규분포하에서의 공정능력을 정확하게 평가하고 관리할 수 없게 된다. 즉, 품질특성치가 비정규분포를 따를 때, 정규분포를 기본가정으로하고 있는 통계적 기법을 적용하면 2종 오류와 같은 잘못된 판단으로 인하여 공정품질과 출하품질의 차이가 발생하게 된다. 따라서 비정규분포를 갖는 공정에 맞는 공정능력분석 방법과 비정규분포를 정규분포로 변환시켜 정규분포공정에서 평가할 수 있는 방법 등 비정규분포를 갖는 공정에 대한 효과적 관리를 위하여 다양한 분야에서 연구가 진행되어오고 있다.

본 연구에서는 이와 관련된 연구의 최근 기술동향을 조사 분석하여, 비정규분포하에서 신뢰도 높은 통계적 공정관리와 공정능력평가를 위한 기술체계를 조망하고, 향후 심도 있게 추가 연구 되어야할 기술 분야와 연구방향을 제시하고자 한다.

2. 공정관리의 기본개념

2.1 공정능력분석

통계적 공정관리의 주요 기능 중, 하나는 공정을 관리 상태로 유지하는 것이다. 즉, 제품의 개발 및 제조단계에서 생산 공정의 품질변동 정도를 측정하고 규격과 비교분석하여 변동의 폭을 감소시키기 위해 제반 통계적 방법들을 이용하는 것이 공정능력분석이다. 공정능력분석 자료는 다음과 같은 경우에 유용하게 이용될 수 있다.[1]

공정이 공차(tolerance)를 어느 정도 잘 유지할 수 있는지 예측할 때
 제품개발 및 설계단계에서 공정을 선택하거나 변경할 때
 관리도 운영에 있어서 부분 균 채취간격을 설정할 때
 새로운 장비들이 갖추어야 할 기능상 필요조건을 규정할 때
 제조공정 품질변동의 감소를 원할 때
 거래처를 선정할 때
 고 신뢰성 품질보증을 할 때

2.2 공정능력지수

공정능력지수는 공정능력(6σ)과 규격의 폭에 대한 비율로서 공정이 규격에 맞는 제품을 생산할 능력을 가지고 있는지를 나타내는 지수이다.

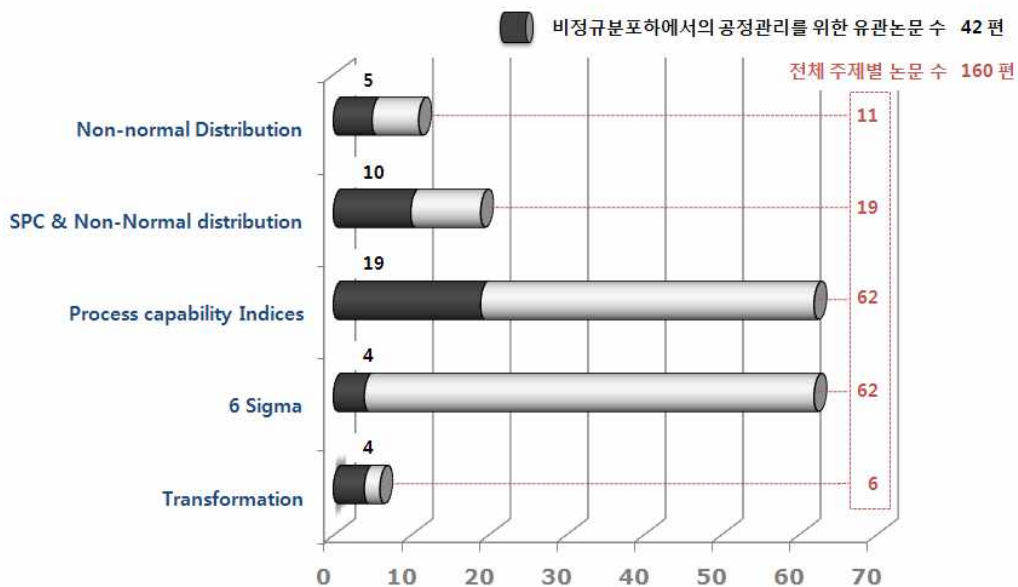
$$C_p = \frac{\text{적용가능한공정산포}}{\text{실제공정산포}}, \quad C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} = \frac{d}{3\sigma}$$

$$C_{pk} = \min(C_{pu}, C_{pl}) = \text{Min}\left(\frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{LSL - \mu}{3\sigma}\right)$$

3. 국외연구의 동향

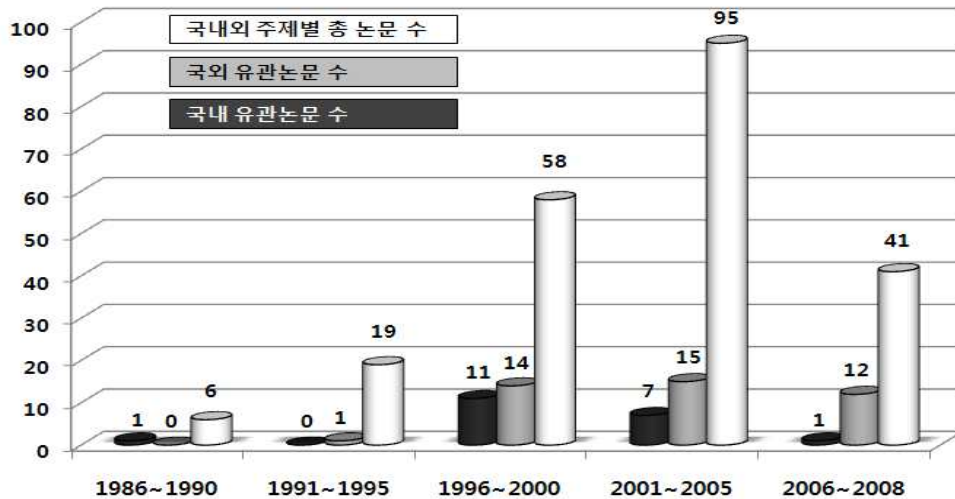
3.1 비정규분포하에서의 공정관리를 위한 유관논문

NDSL을 포함해 총 9곳(Science Direct, IEEE Xplore, Emerald, Black Well Science, Springer Link, WSPC, DBPIA, ACM Portal, AIP&APS)의 연구논문기관 Site에서 ‘비정규분포하에서의 공정관리’에 대한 국외의 유관논문을 조사하였고, 아래의 <그림 1>과 같이 정리되었다.



<그림 1> 국외 주제별 논문 및 유관논문의 수

그 결과, 최초 조사된 논문들을 219개(국외 160개, 국내 59개) 논문으로 연구 범위를 명확히 정할 수 있었고, 본 논문에서는 그 중 62개의 논문(국외 42개, 국내 20개)에 초점을 두고 집중 분석을 진행하였다. 국내외 연도별 연구동향을 살펴보면 다음의 <그림 2>과 같다.



<그림 2> 연도별 국내외 유관논문의 수

3.2 비정규분포를 갖는 공정에 대한 PCI(공정능력지수)평가 방법

3.2.1 Perceptron Neural Network을 이용한 PCI 평가방법

공정의 pdf를 예측하는 것은 다소 난해한 과정이 필요하며, 예측된 pdf를 통해 추정된 PCI 또한 실제 값과 많은 차이를 가질 수 있다. 가상 신경망 네트워크를 right skewed 분포 공정의 pdf를 예측하기 위해 제안하고, Perceptron Neural Network를 통하여 왜도, 첨도, 상한규격을 갖는 공정의 PCI를 평가한다. Perceptron Neural Network를 비정규 분포의 공정 PCI를 예측하는데 사용하는 ANN Method는 사용하기 쉽고, 공정을 위한 pdf 추정과정이 생략된다는 점이 다른 방법들과의 차이점이다.[15]

3.2.2 가중변수를 이용한 PCI 평가방법

데이터들이 비정규분포를 따를 때 가중변수 관리도를 사용하여 새로운 PCI를 공정 능력향상을 위해 제안하였다. 가중변수방법은 skewed 또는 asymmetric 분포를 평균값이 같은 두개의 새로운 정규분포로 만드는 방법이다.[17]

3.2.3 비정규분포에 대한 새로운 PCI

모든 기초적인 분포에 적용 가능한 새로운 PCI인 Spmk를 제안한다. Spmk에 대한

공식은 다음과 같다.[18]

$$S_{pmk} = \frac{\Phi^{-1}\left(\frac{1 + F(USL) - F(LSL)}{2}\right)}{\sqrt{3} \sigma \sqrt{1 + \left(\frac{\mu - T}{\sigma}\right)^2}} = \frac{\Phi^{-1}(1 - P/2)}{\sqrt{3} \sigma \sqrt{1 + \left(\frac{\mu - T}{\sigma}\right)^2}}$$

3.2.4 이변량 비정규분포에 대한 PCI 평가방법

비정규하의 이변량 PCI를 측정하는 방법을 제시한다. 제시된 방법은 이변량 비정규분포를 이변량 정규분포로 변환하기 위한 Johnson's System의 변환방법에 기초를 두고 있다.[19]

3.2.5 비정규분포의 공정평균이동을 고려한 PCI 평가방법

6 sigma에서 정규분포를 대상으로 공정능력을 추정할 때, 공정평균에 1.5σ shift를 추가해야 한다는 기존 연구를 기초로 신뢰성 특성을 갖는 비정규분포에 대한 정확한 공정능력평가 방법을 제시하였다. 제품품질특성이 gamma 분포를 갖는 반도체 조립공정에 대한 사례를 통해 입증하였다.[16]

3.2.6 비정규 프로세스의 PCI를 평가하기 위한 변환기술

데이터의 변환방식과 비변환방식에 대한 효과를 Monte carlo 시뮬레이션을 통해 비교하여, 비변환방식 보다는 변환방식이 비정규분포의 Tail Behaviour를 올바르게 다룰 수 있는 방법론이라고 증명하였다.[20] 한편 최근의 변환기술의 비교연구에서는 root transformation(근변환)을 사용하여, 비정규공정의 공정능력지수를 추정하는 연구가 gamma, Weibull, beta 분포를 대상으로 실시되었다. Percentile, Box-cox, Root transformation의 방법 중 root transformation 방법이 가장 우수한 것으로 증명되었다.[12] 이외에도 '양측 spec 구간, 편측 spec 구간(target 값을 갖는 또는 갖지 않는)을 갖는 공정의 공정능력지수 평가방법' 등에 대한 연구도 이루어지고 있었다.

3.3 비정규분포를 갖는 공정에 대한 통계적 공정관리 방법

3.3.1 비정규성하에서의 Auto correlated SPC에 대한 연구

자기상관 데이터에 대한 적절한 SPC기술의 개발에 초점이 맞춰져 왔으나 비정규성의 영향을 고려한 연구는 거의 없었다. 따라서 기존 자기상관 SPC기법에서 비대칭도의 결과를 연구하고, 개선하기 위한 SPC기법을 척도가중분산을 고려하여 제공한다.[7]

3.3.2 기하분포 품질특성을 위한 Data 변환연구

기하분포는 누적합을 기반으로 하는 공정을 모니터링 하는데 유용하다. 그러나

control limit을 3σ 로 사용하는 정규분포는, 기하분포를 갖는 데이터에 대해 효과적으로 사용할 수 없다. 기하분포를 갖는 데이터에 대해 정규로 사용할 수 있는 변환기술이 연구되었다. 변환된 데이터를 통해, 3σ 를 기반으로 control limit이 계산된 표준 SPC software가 사용될 수 있다.[8]

3.3.3 비정규성 하에서의 공정평균 관리도의 경제적 최적설계

큰 비대칭도를 갖는 분포는 작은 샘플링 간격과 간격이 좁은 control limit을 필요로 한다. 또한, 첨도계수의 증가는 표본수와 샘플링 간격의 증가 그리고 control limit과 관계가 있다. 비정규성을 비롯한 통계적 제약이 관리도의 경제적 설계에 어떤 영향을 미치는지에 대한 전반적 개념을 제공한다.[9]

3.3.4 품질손실에 의한 비정규 Data의 X-Bar관리도 최적설계

Duncan의 비용모델에 (손실모델을 제시하는) 다구찌 손실함수를 결합시켜, 신뢰성 품질특성의 X-Bar 관리도에 대한 경제적 최적설계 모델을 제시한다.[10]

3.3.5 비정규분포의 표준편차에 대한 근사신뢰구간

일반적인 비정규성하에서의 뛰어난 small-sample 특성으로 인해 표준편차에 대한 근사신뢰구간은 정규성하에서 정확하게 추정가능하게 된다. 제안된 구간에서 small-sample 특성은 첨도 정보를 사용함으로써 보다 더 향상될 수 있다.[13]

3.3.6 비정규 변동계수 관리도

변동계수의 통계적 특성에 대한 개요를 정리하고, 비정규분포를 기반으로 하는 통계적 관리도의 설계를 제시한다. 와이블과 감마분포에 대한 변동계수의 특징에 의해 다품종소량생산과 같은 공정을 모니터링 할 수 있는 관리도를 제시한다. 변동계수 관리도는 비정규분포의 다품종소량생산 공정을 모니터링 하는데 효과적인 관리도이다.[14]

이외에도 ‘비정규성하에서의 VSI X-Bar Control Chart에 대한 설계’, ‘Weibull 분포를 갖는 X-Bar관리도의 경제적 설계에 대한 비정규성의 영향’, ‘비정규분포하에서의 X-Bar관리도의 다양한 표본크기와 간격의 설계에 대한 연구’ 등 다양한 관리도에 대한 연구가 진행되어오고 있다.[6][11]

4. 국내연구의 동향

4.1 비정규분포를 갖는 공정에 대한 PCI(공정능력지수)평가 방법

4.1.1 비정규공정의 PCI 평가

Pearson system과 Johnson system을 통해, 기존 공정능력지수들(C_p , C_{pk} , C_{pm} ,

Cpmk 등)과 최근 제시된 Cs, Cpsk를 비교하여 목표치로부터 공정 메디안이 벗어남을 감지하는 것은 Cpsk가 가장 우수하다고 증명하였다.[2]

또, 규격 한계치이내인지 아닌지를 식별하는 제4세대 공정능력지수 Cpsk는 공정이 목표치로부터 변화할 때 방향에 관계없이 실행되는 지수로 평가받고 있다.[4]

$$C_{psk} = \min \left[\frac{USL - M_e - |M_e - T|}{\sqrt{3} \sigma \left(\frac{U_p - M_e}{3} \right)^2 + (M_e - T)^2}, \frac{M_e - LSL - |M_e - T|}{\sqrt{3} \sigma \left(\frac{M_e - L_p}{3} \right)^2 + (M_e - T)^2} \right]$$

4.1.2 변수변환을 이용한 공정능력지수 분석

존슨변환을 이용하여 비정규분포를 정규분포로 변환한 다음, 정규분포에서 사용하는 공정능력지수 및 불량률을 분석하는 방법을 제시하고 있다.[1]

4.2 비정규분포를 갖는 공정에 대한 SPC(통계적 공정관리)방법

4.2.1 불량률 추정을 통한 공정능력 평가 방법

Pearson system, Johnson system 및 Burr 분포를 사용하여 규격을 벗어나는 불량률을 추정하고, 이런 불량률 척도를 비정규공정의 추가적 공정능력평가척도로 제시하고 있다.[5]

4.2.2 공정능력지수 관리도의 설계

기존 관리도의 기능과 공정능력분석을 동시에 수행하는 공정능력지수 관리도를 제시하고 있다. 공정평균 변화 탐지를 위해 Cpk값을 타점하고, 산포의 변화를 탐지하기 위해 Cp값을 타점하는 관리도를 제안한다.[3]

5. 연구사례

5.1 비정규분포에 대한 공정능력 평가에 관한 연구사례

기존의 정규분포 특성을 갖는 공정능력지수(PCI: Process Capability Index)를 대신할 수 있는 제품의 신뢰성과 관련된 비정규분포 특성 하에서의 공정능력지수를 평가하는 방법론에 대한 다양한 연구가 진행되어 왔으나, 이에 대한 포괄적인 평가와 방법론들 간의 비교분석 연구가 부족하였다.

그러나 Computing Process Capability Indices for Non-normal Data: Review and Comparative Study(1999)에서는 PCI 중 비정규성을 다루는 7가지의 Data변환방식의 효과를 비교하여, 가장 핵심이 되는 비정규분포의 Tail Behaviour를 올바르게 다룰 수 있는

최선의 방법론을 Monte carlo 시뮬레이션을 통하여 도출하였다. 여기서 다른 방식은 Data Transformation 방식과 Non-transformation 방식으로 크게 나뉘며, Transformation 방식으로는 Clement's Method, Box-Cox Power Transformation, Johnson Transformation 이 있고, Non-transformation 방식은 Probability Plot, Distribution Free Tolerance Interval, Weighted Variance Method, Wright's Process Capability Index C_s 가 있다.[20] 이 연구논문에서는 Non-transformation 방식보다는 Transformation의 방식이 Tail Behaviour를 다루는데 효과적이며, 적정표준 Size $n \geq 100$ 인 다양한 비정규분포에 대하여 Box-Cox Power Transformation 방식이 매우 일관성 있고, 정확한 비정규분포에서의 PCI값을 얻는다고 하였다.

그리고 최근의 A Transformation technique to estimate the process capability index for non-normal process(2008)논문에서는 Gamma, Weibull, Beta분포를 대상으로 비교된 3가지 Transformation방법(Percentile, Box Cox, Root) 중에서 Root Transformation방식이 가장 우수한 것으로 나타나 있으며, Box Cox Transformation은 비교적 작은 표준편차를 갖는 장점을 가지고 있다.[12]

그러나 특정 비정규분포에 대하여 효과적으로 적용되는 방법이 다른 비정규분포에서는 잘못된 결과로 이어질 수 있으므로, 비정규분포별 특성에 따른 Tail Behaviour를 효과적으로 다루는 변환방법론에 대한 연구를 통하여, 다양한 제품의 신뢰성특성에 맞는 제조 공정능력평가에 대한 기술적 대안을 제시해 줄 수 있는 연구가 필요하다.

5.2 신뢰성 6 Sigma를 위한 연구사례

일반적으로 6 Sigma에서 Process Capability를 추정/산출 할 때 장기적 관점의 정확한 공정능력지수를 구하기 위하여 공정평균에 1.5σ shift를 추가하는 것이 필요하다는 연구가 정규분포를 대상으로 Statistical Reason For The 1.5σ Shift(2002, Bothe)를 통해 실시되었고, 이 연구논문을 기초로 신뢰성 특성을 갖는 비정규분포에 대한 정확한 공정능력지수를 산출하기 위한 연구가 Gamma 분포를 갖는 반도체 조립공정(Wire Bonding)의 제품 품질특성을 사례로 Capability adjustment for gamma process with mean shift consideration in implementing Six Sigma Program(2008)에서 진행되었다.[21] 이 연구논문은 Bothe의 연구논문을 응용하여 비정규 분포 특히 Gamma 분포에 있어서의 공정평균 1.5σ Shift에 고정된 50%의 Detection power 값을 갖도록 하는 다양한 Sample Size와 Gamma분포 모수별 조합을 제시해 주고 있다. <표 1>참조

<표 1> values for several subgroup sizes and various N values

AS_{50} values for several subgroup sizes n and various N values

n	N										$N(0, 1)$	
	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9		10
2	4.182	3.611	3.185	2.992	2.876	2.797	2.738	2.692	2.655	2.625	2.599	2.12
3	3.127	2.732	2.443	2.313	2.236	2.182	2.143	2.113	2.088	2.067	2.050	1.73
4	2.553	2.252	2.034	1.936	1.878	1.838	1.808	1.785	1.767	1.752	1.738	1.50
5	2.188	1.944	1.769	1.690	1.644	1.612	1.588	1.570	1.555	1.543	1.532	1.34
6	1.932	1.727	1.581	1.515	1.476	1.450	1.430	1.415	1.403	1.392	1.384	1.22
7	1.741	1.565	1.439	1.383	1.350	1.327	1.310	1.297	1.286	1.278	1.270	1.13
8	1.592	1.438	1.328	1.279	1.249	1.229	1.215	1.203	1.194	1.186	1.180	1.06
9	1.473	1.336	1.237	1.194	1.168	1.150	1.137	1.127	1.118	1.112	1.106	1.00
10	1.375	1.251	1.162	1.123	1.100	1.084	1.072	1.063	1.055	1.049	1.044	0.95
11	1.292	1.179	1.099	1.063	1.042	1.027	1.016	1.008	1.001	0.996	0.991	0.90
12	1.222	1.118	1.044	1.011	0.992	0.978	0.969	0.961	0.955	0.950	0.945	0.87
13	1.160	1.064	0.996	0.966	0.948	0.936	0.927	0.920	0.914	0.909	0.905	0.83
14	1.107	1.018	0.954	0.926	0.910	0.898	0.890	0.883	0.878	0.874	0.870	0.80
15	1.059	0.976	0.917	0.891	0.875	0.864	0.857	0.850	0.846	0.842	0.838	0.77
16	1.017	0.939	0.883	0.859	0.844	0.834	0.827	0.821	0.817	0.813	0.810	0.75
17	0.979	0.905	0.853	0.830	0.816	0.807	0.800	0.795	0.790	0.787	0.784	0.73
18	0.944	0.875	0.826	0.804	0.791	0.782	0.775	0.770	0.766	0.763	0.760	0.71
19	0.913	0.847	0.801	0.780	0.768	0.759	0.753	0.748	0.744	0.741	0.738	0.69
20	0.884	0.822	0.778	0.758	0.746	0.738	0.732	0.728	0.724	0.721	0.718	0.67
21	0.858	0.798	0.756	0.738	0.726	0.719	0.713	0.709	0.705	0.702	0.700	0.65
22	0.834	0.777	0.737	0.719	0.708	0.701	0.695	0.691	0.688	0.685	0.683	0.64
23	0.811	0.757	0.718	0.701	0.691	0.684	0.679	0.675	0.672	0.669	0.667	0.63
24	0.790	0.738	0.701	0.685	0.675	0.669	0.664	0.660	0.657	0.654	0.652	0.61
25	0.771	0.721	0.685	0.670	0.660	0.654	0.649	0.646	0.643	0.640	0.638	0.60
26	0.753	0.704	0.670	0.655	0.646	0.640	0.636	0.632	0.629	0.627	0.625	0.59
27	0.736	0.689	0.656	0.642	0.633	0.627	0.623	0.619	0.617	0.615	0.613	0.58
28	0.720	0.675	0.643	0.629	0.621	0.615	0.611	0.608	0.605	0.603	0.601	0.57
29	0.704	0.661	0.631	0.617	0.609	0.604	0.599	0.596	0.594	0.592	0.590	0.56
30	0.690	0.648	0.619	0.606	0.598	0.593	0.589	0.586	0.583	0.581	0.579	0.55

또한, 비정규분포에 대한 정확한 PCI(Cpk)를 산출하기 위하여, 본 논문에서는 Data 변환 방식으로 Quantile Transformation 방식을 사용하였고, 정규분포의 Cpk 산출방식에 비정규분포의 특성을 고려한 Dynamic Cpk Index를 제시하였다.

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{USL - (F_{0.5} + AS_{50\sigma})}{F_{0.99865} - F_{0.5}}, \frac{(F_{0.5} - AS_{50\sigma}) - LSL}{F_{0.5} - F_{0.00135}} \right\}$$

$$= \min \left\{ \frac{USL - F_{0.5}}{F_{0.99865} - F_{0.5}} - \frac{AS_{50\sigma}}{F_{0.99865} - F_{0.5}}, \frac{F_{0.5} - LSL}{F_{0.5} - F_{0.00135}} - \frac{AS_{50\sigma}}{F_{0.5} - F_{0.00135}} \right\}$$

공정의 품질특성이 비정규분포 특히 Gamma분포를 따를 때, 공정평균이 Shift 된 것을 Control Chart의 검출력을 통해 검출하는 과정에서 정확하게 검출하지 못할 경우, PCI를 과대평가하게 되며 이것은 결국 실제공정이 가지고 있는 Yield 보다도 높게 평가하게 되므로, 출하품질을 보증하는 측면에서는 2중 오류 β 가 증가하게 된다. 따라서 신뢰성 6 Sigma를 통하여 신뢰성분포를 갖는 공정의 Target을 조정하고, 산포를 관리하기 위한 기술적 대안으로 공정별 제품품질특성이 정규분포가 아닌 비정규분포의 특성에 맞는 정확한 공정능력평가가 필수적이다.

그러나 현재까지의 비정규분포에 대한 장기공정능력지수 평가 방법은 Gamma분포에 대한 사례가 유일하며, 일반적 비정규분포특성이라 할 수 있는 지수분포, 와이블 분포에 대한 공정능력지수를 정확하게 산출할 수 있는 추가 연구가 필요한 시점이다.

또한, 공정평균 Shift되는 경우뿐만 아니라, 산포가 동시에 변화하는 신뢰성 특성을 갖는 공정능력을 정확하게 판단할 수 있는 추가 연구도 필요하다.

6. 결 론

정규분포를 따른다는 가정 하에서 개발되어온 현재까지의 공정능력지수들은 공정의 분포가 비정규분포를 따를 경우 분포의 변환 없이 적용하면 일반적으로 공정능력을 과대평가하여 공정능력을 정확하게 평가 할 수 없게 된다.

본 조사연구논문의 목적은 ‘비정규분포하에서의 효과적 공정관리를 위한 기술체계’와 이와 관련한 국내외 연구 결과들을 조사하여, 향후 신뢰성 품질특성을 공정 내에서 효과적으로 관리할 수 있는 기술적 대안을 모색하는데 도움을 주고자 하는 것이다. 이에 비정규분포에서의 ‘공정능력지수’와 ‘공정관리방법’으로 분류하여 주요기술체계들의 내용을 정리하였으며, 연구사례로 변수변환과 신뢰성 Six Sigma관련 내용을 추가하였다. 공정능력지수(PCI)와 통계적 공정관리방법에 대한 연구동향은 <표 2>과 <표 3>와 같다.

<표 2> 공정능력지수에 대한 연구동향

비정규분포를 갖는 공정에 대한 PCI 평가방법		연도
국외	Perceptron Neural Network를 이용한 PCI 평가방법	2008
	가중변수를 이용한 PCI 평가방법	1999
	비정규분포에 대한 새로운 PCI	2001
	이변량 비정규분포에 대한 PCI 평가방법	2008
	비정규분포의 공정평균이동을 고려한 PCI 평가방법	2008
	비정규공정의 PCI를 평가하기 위한 변환기술	1999
	근변환을 활용한 비정규분포의 공정능력지수 추정	2007
국내	비정규공정의 PCI 평가 연구	2002
	변수변환을 이용한 공정능력지수 분석	1999

<표 3> 공정관리 방법에 관한 연구동향

비정규분포를 갖는 공중에 대한 통계적 공정관리 방법		연도
국외	비정규성하에서의 Auto Correlated SPC에 대한 연구	2005
	기하분포 품질특성을 위한 data transformation	2000
	비정규성하에서 공정평균관리도의 경제적 최적설계	2001
	품질손실에 의한 비정규 data의 X-bar 관리도 최적 설계	2000
	비정규분포의 표준편차에 대한 근사신뢰구간	1995
	비정규 변동계수 관리도	2006
	비정규성하에서의 X-bar 관리도	2005
국내	불량률 추정을 통한 공정능력 평가 방법	1998
	공정능력지수 관리도의 설계	1999

비정규분포의 효과적인 공정관리를 위한 다양한 방법론과 사례연구가 진행되어 왔으나, 대부분이 특정분포에 대한 부분적 연구로 이루어져 있어, 최적화된 통계적 공정관리기법이더라도 다른 분포에 적용할 경우 잘못된 결과로 이어질 수 있다. 따라서 다양한 제품의 품질과 신뢰성분포특성에 맞는 기술적 대안들이 제시되도록 앞으로 더 많은 연구가 필요하다.

현재 신뢰성 품질특성을 대상으로 설계단계와 제조공정단계의 상호연계를 통하여 보다 효율적이고, 효과적으로 관리할 수 있도록 하는 기술연구가 진행되고 있으며, 이것은 본 조사연구논문의 연구동향에서 보듯이 앞으로 연구되어야 할 필수적인 기술분야로 판단되어 진다.

7. 참 고 문 헌

- [1] 박은하, 비정규분포하에서 변수변환을 이용한 공정능력지수 분석, 성균관대학교 석사학위논문, 1999
- [2] 김진수, “비정규 공정능력 평가의 종합적 측도”, 한밭대학교, 논문집 제19권, 2002
- [3] 안동근, 장중순, “공정능력지수 관리도” Journal of the Korean institute of Plain Engineering, Vol.4 No.4, Dec 1999
- [4] 전창희, “Pearson 분포를 이용한 비정규 공정능력의 평가 측도”, 경일대학교 산업시스템공학부 논문집, Vol.18 No.-, 2002
- [5] 허성관, 김홍준, 채규용, “Burr 분포와 Pearson 분포를 이용한 비정규 공정능력의 평가”, 科學技術研究, Vol.5 No.4, 1998
- [6] Y. -K Chen, “An evolutionary economic-statistical design for VSI X control X_charts under non-normality”, Int J Adv Manuf Technol(2003) 31: 602-610
- [7] Philippe Castagliola and Fugee Tsung, “Autocorrelated SPC for Non-Normal Situations”, Qual. Reliab. Engng. Int. 2005; 21:131 - 161
- [8] M. XIE, T. N. GOH AND X. Y. TANG, “Data transformation for geometrically distributed quality characteristics”, Qual. Reliab. Engng. Int. 2000; 16: 9-15
- [9] C.-Y. Chou, M.-H. C. Li and P.-H. Wang, “Economic Statistical Design of Average Control Charts for Monitoring a Process under Non-normality”, Int J Adv Manuf Technol (2001) 17:603 - 609
- [10] CHAO-YU CHOU, CHUNG-HO CHEN & HUI-RONG LIU, “Economic-statistical design of X-charts for non-normal data by considering quality loss”, Journal of Applied Statistics, Vol. 27, No. 8, 2000, 939±951
- [11] Yu-Chang Lin, Chao-Yu Chou, “On the design of variable sample size and sampling intervals X-charts under non-normality”, Int. J. Production Economics 96 (2005) 249 - .261
- [12] S. Z. Hosseinifard & Babak Abbasi & S. Ahmad & M. Abdollahian, “A transformation technique to estimate the process capability index for

- non-normal processes", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 0268-3768(Print) 1433-3015(Online), 2007
- [13] Luis Armando Rosas Rivera, Norma F. Hubele, PhD, Frederick P. Lawrence, PhD, "Cpk index estimation using data transformation", Computers ind. Engng Vol. 29, No. 1-4, pp. 55-58, 1995
- [14] Jae-Won Baek, Chang W. Kang, Jong-Min Oh, Dong-Hyun Baek, and Chang-Yong Song, "Non-normal CV Control Charts", 2006 IEEE International Conference on Management of Innovation and Technology
- [15] Babak Abbasi, "A neural network applied to estimate process capability of non-normal processes", Expert Systems with Applications(2008)
- [16] Ya-Chen Hsu, W.L. Pearn, Pei-Ching Wu, "Capability adjustment for gamma processes with mean shift consideration in implementing Six Sigma program", European Journal of Operational Research 191 (2008) 517 - 529
- [17] HSIN-HUNG WU, JAMES J. SWAIN, PHILLIP A. FARRINGTON AND SHERRI L. MESSIMMER, "A weighted variance capability index for general non-normal processes", Qual. Reliab. Engng. Int. 15: 397-402 (1999)
- [18] Jann-Pygn Chen, Cherng G. Ding, "A new process capability index for non-normal distributions", International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 18 No. 7, 2001, pp. 762-770.
- [19] Philippe Castagliola, Jose´-Victor Garcia Castellanos, "Process capability indices dedicated to bivariate non normal distributions", Journal of Quality in Maintenance Engineering Vol. 14 No. 1, 2008 pp. 87-101
- [20] LOON CHING TANG AND SU EE THAN, "Computing process capability for non-normal data; review and comparative study", QUALITY AND RELIABILITY ENGINEERING INTERNATIONAL, 15, 339-353 (1999)
- [21] Ya-Chen Hsu, W.L. Pearn, Pei-Ching Wu, "Capability adjustment for gamma process with mean shift consideration in implementing Six Sigma Program", European Journal of Operational Research 191, 517 - 529 (2008)