

統計的技法 活用に 關한 研究

- 工程能力評價를 中心으로 -

성 원 용* · 정 수 일**

*한국능률협회 인증원 · **인하대학교 산업공학과

A Study of Statistical Tools Application

- Evaluation of Process Capability -

Won Yong Seong* · Soo Il Jung**

*Korea Management Association Registration & Assessments Inc.

**Department of Industrial Engineering, Inha University

Abstract

The purpose of this study is to develop a guideline of process capability evaluation and to apply this guideline improving the quality of products, especially in the small and medium enterprises. In this study we deal in the concept of process capability evaluation, the calculation of process capability index, and the application of a case study. Man must compare the state of process with the standards in evaluating of the process capability. Control chart can be used as a yardstick for judgement for the long term period and the distribution shape of histogram for the short term period. Man should regard to the significant figure by the calculation of process capability index.

Keywords : Process capability, Process capability index, Control chart, Long term, Short term

1. 서 론

1.1 연구의 목적

공정능력은 공정의 품질달성능력에 대한 정보로써 품질에 관한 여러 계획이나 관리의 제 계획에 매우 필요한 요소라고 할 수 있으며 기업 내의 거의 모든 부문에 관계를 갖고 있기 때문에 그 정보가 전사적 품질 관리의 총합적 운영에 기여하는 비중은 매우 크다.

공정능력은 신제품의 개발기획과 신규주문의 수주 등의 의사결정에서 설비의 선택, 인원의 배치, 설계변경 요구에 이르기까지의 기업이 행하는 제 활동에 관한 각종의 의사결정의 중요한 수단이 된다. 특히 설계, 구매, 제조, 검사, 구매 등 직접생산에 관여하는 부문의 활동, 품질보증, 기술관리, 설비투자와 보전, 원가절감

등 전사에 걸쳐 제 직능의 목표설정과 관리수단의 제공에 기여하고 그 업무를 일층 개선하는 도구로써 단순히 Cp(Cpk)의 값을 산출하는 것이 아니라 이용목적, 이용자, 이용방법 등을 충분히 고려하여야 한다. 이에 발맞추어 정부에서도 1994년도부터 “100 PPM 품질혁신활동”을 주도적으로 추진하고 있다. 그 의미로는 공정능력지수(Cpk) 1.33 이상 달성 및 100ppm 이하의 불량률 관리로 집약되고 궁극적으로는 회사적 각 직능별 기능을 총합하여 품질향상, 생산성향상, 원가절감, 신기술개발을 통한 국제경쟁력을 강화하기 위함이다.

기술한 바와 같이, 공정능력은 기업 활동, 특히 품질 관련활동의 척도로써 단순한 현상이 아니라 장,단기적 또는 전략, 전술적 가치를 내포하고 있으며 이는 목적과 기능에 맞게 채취되고, 해석되고, 평가되어 적절히 이용되었을 때 비로소 그 역할을 다하게 된다.

† 교신저자: 성원용, 경기도 안산시 단원구 고잔2동 671 주공아파트 803-1002

M · P: 011-990-0747, E-mail: wyseong@yahoo.co.kr

2008년 4월 접수; 2008년 5월 수정본 접수; 2008년 5월 게재확정

따라서, 본 연구에서는 지금까지의 각종 공정능력 평가방법들의 재정리 및 제조현장에서 소홀히 하기 쉬운 공정능력평가의 기본적인 전제조건 및 계산방법 등의 명확화를 통하여 현장관리자에게 올바른 공정능력평가의 지침이 됨으로써 공정품질관리활동에 도움을 주고자 하였다.

1.2 연구의 내용 및 구성

본 연구의 내용은 제조공정을 구성하는 기본요소인 5M (Man, Machine, Material, Method, Measurement) 및 정규분포와 공정능력의 개념의 정립으로부터 공정능력을 평가하기 위하여 공정능력과 규격과의 관계, 계량치 및 계수치의 평가 방법, 불량률의 추정 등을 다루었으며 공정능력조사는 고유기술에 대한 깊은 지식과 경험에 의하여 과학적, 체계적으로 수행되어야 한다.

공정능력평가의 산출절차는 먼저 공정능력을 조사하려는 품질특성을 결정하고 해당공정 5M 조건의 표준화 여부 및 표준대로 작업이 실시되는가, 그리고 공정이 관리 상태에 들어 있는 지를 확인한다. 만일 공정이 관리 상태에 있지 못하는 불안정한 상태라면 이상 원인을 조사하고 5가지 기본요소의 개선, 표준류의 수정을 통해 공정을 관리 상태에 들도록 하는 것이 선결 과제이다. 다음 데이터를 집계하여 공정능력을 산출하고 치우침 계수를 구하여 공정능력을 등급에 따라 판단하고 불량률을 추정한다.

2. 공정능력과 공정능력지수

2.1 공정의 5가지 기본요소

제조공정을 구성하는 기본적인 요소로는 사람 (Man), 설비 (Machine), 재료(Material)이며, 이것들을 총합하는 부가요소로서 작업방법 (Method)과 측정 (Measurement)이 있다.

공정의 5가지 요소가 각각의 변동을 갖고 있으므로 공정은 고유의 변동을 갖게 된다. 즉 동일 공정, 동일 조건하에서 만들어진 제품이라도 모두 품질이 균일한 것은 아니며, 반드시 산포가 생기게 된다. 즉, 품질의 변동은 사람, 설비, 재료, 작업방법, 측정의 5가지 요소의 변동에 의해 발생된다.

2.2 정규분포의 개념

표준편차를 이용해서 데이터가 분포하는 면적 비율

을 구할 수 있으며 일반적으로 ± 3 표준편차의 폭을 취하면 전체의 99.73%가 포함되기 때문에 모든 것이 들어간다고 간주할 수 있다.

2.3 공정능력의 개념

2.3.1 공정능력의 정의

공정이란 생산에 투입된 원재료와 정보 및 에너지를 생산의 주체인 인간이 생산 수단인 기계, 기구, 도구, 공구, 치구 등을 이용하여 정해진 방법에 따라 목표로 하는 제품이나 용역을 창출해 내는 일련의 과정을 말하며 이는 작업 조건과 더불어 하나의 통합된 시스템으로 파악해야 한다. 이러한 공정의 질적 문제, 특히 일치성의 문제를 좌우하는 것은 공정을 이루는 5요소(5M)에 기인하며, 이들은 각각 고유의 산포를 가진다고 할 수 있다.

공정능력은 1953년 Seder와 Cowan으로부터 1982년 Brumbaugh에 이르기까지 수많은 학자들에 의하여 나름대로의 정의가 내려져 있으나, 이들 각자의 견해는 공정능력의 전제조건과 그 범위에 약간씩의 이견이 있을 따름이지 전체적인 의미에는 큰 변화가 없다. 또한, 대부분의 정의는 공정능력의 규명에 치우치고 있을 뿐이며, 용도 면에는 별다른 언급이 없다. 몇몇 대표적인 정의를 소개하면 다음과 같다.

- J. M. Juran ; "Quality Control Handbook "공정이 최상의 조건을 이룰 때 , 즉 관리상태일 때 제품 각각의 변동이 어느 정도인가를 나타내는 양이다.(공정능력 대신 Natural Tolerance 라는 용어를 사용하고 자연공차는 보통 6 σ 라고 정의함)

- E. G. Kirkpatrick : 의미 있는 원인이 제거, 혹은 적어도 최소화된 상황에서 공정의 최선의 성과 (best effort of the process)를 의미한다.

- Western Electric Co., ; "Statistical Quality Control Handbook " : 통계적 관리 상태에서 공정의 정상적인 움직임(behavior) 즉, 외부요인으로부터 방해 받지 않는 정상공정에서 만들어진 일련의 예측할 수 없는 결과이다.

- A. V. Feigenbaum : 일정한 요인에 의해 정상적인 안정 조건에서 그 공정의 품질달성능력이다.

상기의 정의와 같이 공정능력의 평가는 공정이 안정(관리)상태에 있을 때 하여야 한다. 또한 안정(관리)상태의 판단은 장기간일 경우에는 관리도로서 판단하고, 단기간일 경우에는 히스토그램이 정규 분포상태를 하고 있는가로 판단하며 데이터 수는 $n \geq 100$ 개 (최소 50개)이어야 한다.

2.3.2 공정능력의 조사

보통 공정의 현상이 어떻게 되어 있는가를 파악하기 위한 목적으로 품질의 분포를 조사하는 것도 공정능력 조사라 하지만, 엄밀히 말하면 공정능력조사란 작업의 표준화가 진행되어 표준작업이 행해지고 있음에도 불구하고 공정이 관리 상태에 있지 않을 때 왜 관리 상태에 있지 않은가, 그 원인은 5M의 어디에 있는가를 추구하고 조치를 취하고 재발방지를 위한 노력을 기울여 나가는 것과 아울러 공정은 관리 상태에 있지만 불량품이 발생하고 있는 공정이 있을 때 평균치, 산포의 어느 쪽에 문제가 있는가를 파악하여 그에 대한 조치를 취해 나가는 일련의 과정을 말한다. 이러한 공정능력조사는 고유기술에 대한 깊은 지식과 경험에 의하여 과학적, 체계적으로 행하여야 한다.

공정능력조사는 제조단계에서도 매우 중요하다. 본래는 준비단계에서 실시하는 것이나 공정의 개선 등으로 공정능력에 발생할 변화에 대응하기 위하여 정확히 평가해 둘 필요가 있다.

공정능력조사의 목적은 공정능력을 파악하여 규격과 도면공차와 비교, 평가하고 그 결과에 근거하여

(1) 공정개선계획의 입안과 개선의 실시

(2) 불합리한 규격, 도면공차의 변경을 행하는 데 있다. 또한 공정능력의 조사에서 얻어진 데이터는 다음과 같은 면에도 활용된다

- ① 제품개발, 제품설계의 기본으로 되는 기술자료, 공정별 치수차, 공차의 설정기준
- ② 생산준비단계에서의 공정설정, 설비계획을 위한 기준과 기초자료
- ③ 공정관리를 위한 관리수준, 관리방식, 검사방식, 설비의 보전, 조정기준을 설정할 때의 기초자료

따라서 이를 위해서는 공정능력을 산출하기 위한 데이터의 수집 및 정리방법의 표준, 공정능력을 평가하기 위한 표준, 평가결과를 이용하기 위한 표준과 표준 개정절차 등이 정해져 있어야 바람직하다. 공정능력조사에는 공정현상의 파악, 통계적 관리상태의 판정, 원인의 추구가 필요하므로 품질관리의 제 수법이 사용된다.

2.4 공정능력의 평가

2.4.1 공정능력과 공차와의 관계

(1) 공정능력과 공차

① 제품의 정밀도와 공차

제품의 산포는 5M에 의하여 생기는 것이므로 설계에서 이를 어느 정도 수용하느냐, 즉 공차를 어느 정도로 하느냐 하는 문제는 공정상에서 뿐만 아니라 대외 품질보증면에서도 매우 중요한 요소가 된다. 여기에는 다분히 경영정책상 요소와 더불어 경제성이 가장 중요한 요인으로 작용된다. 일반적으로 엄격한 공차는 가공 및 유지관리에 너무 많은 비용이 들고, 반면에 느슨한 공차는 자재손실과 함께 제품의 가치와 정밀도를 떨어뜨리게 된다. 따라서 이들 사이의 경제적 균형을 취할 수 있는 범위에서 공차가 설정되어야 할 것이다.

② 공정능력과 공차의 설정

공정능력은 공차의 설정에 따라 다르게 평가될 수 있다. 따라서 공차를 어떻게, 얼마만한 정밀도로 설정하는가가 매우 중요하게 되는 데, 이에는 다음과 같은 두 가지의 제약을 만족해야 한다.

(a) 사용자에게 만족을 주는 제품을 제공하기 위해서는 다음의 관계를 만족시켜야 할 필요가 있다. 즉, 치수공차 $T \leq$ 사용자가 허용할 수 있는 범위 R ,

(b) 제조단계에서 치수공차에 적합한 제품을 경제적으로 제조하기 위해서는 다음의 관계를 만족시켜야 할 필요가 있다.

즉, 치수공차 $T \geq$ 공정능력 6σ

이들 두 제약을 동시에 만족시켜 주는 공차를 일본의 田中 永明 등은 '바람직한 공차'라 부르고 있다. 상기의 제약 (1),(2)를 동시에 만족시키기 위해서는 공차는 적어도 자연공차 6σ 보다는 커야하고, 사용자가 허용하는 범위 R 보다는 작게 잡아야 함을 알 수 있다. 구체적으로 공정능력과 규격과는 어떤 관계여야 하는가에 대하여는 제론이 있으나, 공정능력을 6σ 로 했을 때 설계되는 규격공차는 $8\sigma-9\sigma$ 로 정해 주는 것이 일반적이며, 평가와 취급의 편의상 보통 8σ 를 기준으로 삼고 있다.

(2) 공정능력과 규격과의 비교

규격은 설계단계에서 정해지는 목표품질임에 비해 공정능력은 제조 단계에서 본 현재의 품질수준이다. 따라서 공정능력과 규격을 비교함은 목표와 현실간의 비교라 할 수 있다. 이들 상호간을 비교함에는 직접 비교법과 히스토그램 등의 품질관리수법을 이용한 도시방법이 있으나, 일반적으로는 후자가 널리 사용되고 있다. 품질특성에 따라 규격은 위쪽만 주어진 경우, 아래쪽만 주어진 경우, 그리고 상하 양쪽규격이 주어지는 경우로 볼 수 있다. 상한규격 및 하한규격과 히스토그램과 비교하면 공정능력이 규격에 비하여 부족한 경우와 과잉한 경우, 적절한 경우 등으로 쉽게 구분되며 각각의 경우에 대한 공정관리상의 대책이 필요하다.

2.4.2 계량품질특성치의 평가방법

공정능력이 안정적으로 파악되면 그 공정의 품질달 성능력에 관한 정보로써 공정능력을 평가할 필요가 있다. 이 경우 해당공정의 가치는 그 공정에 요구되는 사항인 품질, 생산성, 납기, 코스트 등의 요구항목을 어느 정도 만족시키는가, 즉 만족도에 의해 평가된다. 공정능력의 평가척도에서 요구항목에 대한 만족도라는 것은 정성적 개념이고 반드시 제품의 불량률 혹은 불량률을 의미하는 것은 아니다. 즉, 만족도라는 것은 정량화된 공정능력의 척도와 요구사항과의 관계를 직접적 혹은 간접적인 어떤 형태로 표시하고 그것이 받아들여지는 것인가, 아닌가의 척도를 일반적으로 지칭하는 것이다.

(1) 직접평가방법

직접평가방법은 만족도의 척도로써 특정의 평가척도를 도입하지 않고 규격과 정량화된 공정능력의 표시척도를 이용하여 상호관계를 직접 비교하는 것으로 양자의 대소 관계를 비교하거나, 그 차의 크기를 보고 만족도를 추정, 또는 규격을 만족할 수 없는 비율(불량률 혹은 불합격율)을 산출하여 공정능력을 평가하는 방법이다. 그러나 예외적인 공정능력의 평가척도로써 Lewis는 공정능력 6σ가 규격의 폭의 2/3이어야 된다고 하고, Hansen은 3/4이하를, Seder 및 Krensky는 규격 폭 대 기계능력의 비 (ratio of tolerance range to machine capability)를 표시하고 있다.

(2) 특정의 평가척도에 의한 평가방법

① T/6σ 척도의 이용

양쪽규격에 있어서 기대치를 자유롭게 조절할 수 있는 경우, 규격의 폭 T와 6σ로 표시된 공정능력과의 비를 공정능력의 척도로써 공정능력지수 (Process Capability Index)라 하고 Cp로 표시한다.

$$Cp = \text{공정의 허용한계} / \text{공정의 실제산포 (공정능력)}$$

$$= T/6\sigma = (SU - SL) / 6\sigma$$

또는, $Cp = (SU - SL) / 6\sqrt{V}$ ----- (2-1)

따라서 공정능력지수(Cp)는 공정의 허용한계(Process Allowable Spread)와 공정의 실제산포 (Actual Spread)와의 비로써 식(2-1)과 같이 표현되며, 정규분포 N (μ , σ²)를 전제로 하는 경우, 공정능력지수 값에 따른 공정능력의 판단기준은 <표 2-1>와 같다.

<표 2-1 공정능력의 평가기준(예)>

Cp값 (CPK,CPU,CPL)	등 급	Cp의 평가	조 처
Cp > 1.67	특급	매우충분	원가절감 연구
1.67 ≥ Cp > 1.33	1 급	충 분	현 공정 유지토록 노력
1.33 ≥ Cp > 1.00	2 급	만 족	결점방지를 위한 연구필요
1.00 ≥ Cp > 0.67	3 급	부 족	100% 공정점검에 의한 공정개선 필요
0.67 ≥ Cp	4 급	매우부족	불만족상태 원인의 규명과 긴급한 대책이 필요

② (한쪽규격 - μ) / 3σ 척도의 이용

양쪽규격에 있어서 기대치가 자유로 조절이 안 되는 경우 분포의 기대치와 규격의 중심치와의 차와 허용차 (공차의 1/2)와의 비를 치우침도라하고, 공정능력지수를 Cpk로 표시하여 사용되고 있다. 즉, 그림2-4에서 규격의 중심치를 μ, 치우침도를 K로 표시하면 공정능력지수 Cpk는 식 (2-2)와 같다.

$$Cpk = (1 - K) \times Cp \quad (0 < K < 1) \quad \text{-----} \quad (2-2)$$

$Cpk = 0 \quad (K \geq 1)$ 단, $K = |M - \mu| / (T/2) = |(SU + SL) - 2\mu| / (SU - SL)$ 이고, 식(2-2)에 의해 결정되는 Cpk값은 <표 2-2>에 준해서 공정능력을 평가한다. 기대치가 규격의 중심에서 좌우 어느 쪽에 치우쳐 있을 경우, 규격을 벗어날 위험율이 높은 쪽을 생각하여 기대치에 보다 가까운 측의 규격치를 SN, 보다 먼 측의 규격치를 SF로 표시하면 식 (2-2)는 식(2-3)과 식(2-4)로 된다.

$$Cpk = (SF - \mu) / 3\sigma \quad (\mu < SF)$$

$$Cpk = 0 \quad (\mu \geq SF) \quad \text{-----} \quad (2-3)$$

및 $Cpk = (\mu - SN) / 3\sigma \quad (\mu < SN)$

$$Cpk = 0 \quad (\mu \leq SN) \quad \text{-----} \quad (2-4)$$

기대치가 규격의 중심에 치우쳐 있을 때, 규격의 폭이 공정능력에 비교 해서 극단적으로 작은 경우를 제외하고 통상은 식 (2-2)를 식(2-3) 혹은 식 (2-4)로 놓고 Cpk를 생각해도 좋으므로, 한쪽규격의 경우는 그림 2-5 및 식(2-2)에 관련해서 유추되듯이 위쪽규격에 대

해서는 식(2-5)와 같이, 아래쪽규격에 대해서는 식(2-6)과 같이 표시한다.

$$CPU=(SU-\mu)/3\sigma$$

또는, $CPU=(SU-\bar{X})/3\sqrt{V}$ ----- (2-5)

$$CPL=(\mu-SL)/3\sigma$$

또는, $CPL=(\bar{X}-SL)/3\sqrt{V}$ ----- (2-6)

식(2-5) 및 식(2-6)에 있어서는 각각 $\mu > SU$ 혹은 $\mu < SL$ 의 경우, CPU 또는 CPL은 부등호를 취급할 수 없다. 따라서, 원칙적으로 CPU 또는 $CPL \leq 1$ 은 불만족이지만 특히, CPU 또는 $CPL < 0$ 의 경우

$|CPU|$ 또는 $|CPL|$ 이 클수록 불만족의 정도가 크게 된다. CPU 또는 CPL의 값에 대해서는 <표 2-1>의 판단기준에 의해서 공정능력을 평가할 수 있다.

한편, Kane는 목표치가 있는 경우에 대하여 공정능력을 평가하는 지표를 <표 2-2>과 같이 Cp, CPU, CPL, K, Cpk의 5가지를 들고 있다. 공정이 정상적인 분포를 하고 있고, 양쪽규격이 주어졌 있는 경우는 Cp가 그 평가척도가 되며, 한쪽규격이 주어진 경우는 CPU 또는 CPL이 그 지표가 된다. 또한, 공정의 분포에 치우침이 있는 경우는 K도 하나의 평가척도가 되며, 특히 규격의 설정에 있어서 상하한측 허용차가 같지도 않고 치우침이 있을 때는 Cpk는 CPU와 CPL중 작은 쪽의 값을 취하여 공정능력을 평가한다.

<표 2-2 공정능력지수>

구 분	평 가 식	용 도
Cp	$(SU - SL) / 6\sqrt{V}$	양쪽규격한계
CPU	$(SU - \bar{X}) / 3\sqrt{V}$	위쪽규격한계
CPL	$(\bar{X} - SL) / 3\sqrt{V}$	아래쪽규격한계
K	$2 M - \bar{X} / (SU - SL)$	규격의 중심으로부터 치우쳐 있는 정도
Cpk	$\text{Min}\{CPL, CPU\} = Cp(1-K)$	양쪽규격한계에 있어서의 치우침이 있는 경우

③ 한쪽규격의 할증 Cpk : 한쪽규격만으로 산출된 Cpk를 양쪽규격의 치우침이 없는 경우와 비교할 경우, 불량률의 차이를 해소하기 위해 한쪽규격의 Cpk를 조금 할증시켜 사용한다. 할증으로 구한 Cpk값은 데이터로부터 구한 Cpk값과 구별하기 위해 '할증 Cpk'로 이

름을 붙인다.

(a) 한쪽규격에 있어서 Cpk = 1.0인 경우 불량률은 0.13%이다. 한편, 양쪽규격에서 치우침이 없는 경우 Cpk = Cp = 1.0이 되며 불량률은 0.26%이다. 즉, 같은 Cpk라도 불량률은 달라지므로 이 양자를 비교하는 경우 그 차이를 보정하기 위해 Cpk를 산출하는 것이다.

예로써 한쪽규격만으로 산출된 Cpk = 1.0의 경우 할증 Cpk = 1.08로 해야 불량률이 0.13%가 되어 비교 가능하다.

(b) 양쪽규격에서도 치우침이 발생하는 것이 보통이므로 규격상한 또는 규격하한 어느 쪽인가로 불량이 집중되는 경우가 많다. 따라서 양쪽규격에서 치우침이 있는 경우 Cpk를 할증시켜 얻은 할증 Cpk를 비교한다.

예로써, Cpk = 1.0, 치우침계수 = 0.1일 때 총불량률은 0.14%이지만 할증 Cpk = 1.08인 경우 < Cpk와 불량률표 >에 따르면 불량률은 0.13%로 유사하다.

2.4.3 계수치 데이터에 의한 공정능력평가

木暮 正夫 博士는 표2-3와 같은 계수치 데이터에 의한 공정능력의 판단 방법을 제시하고 있으나, 이는 계량치 데이터에 의한 판단방법에 비해 너무 단순할 뿐만 아니라 p 및 u의 값이 날짜에 따라, 그리고 시점에 따라 변하고 있다는 점을 무시하고 있다. 이러한 것을 계량치 데이터에 의한 공정능력의 평가기준으로 가장 널리 이용되고 있는 표2-2의 형태로 나타낸 것이 표 2-4의 계수치 데이터에 의한 공정능력평가기준(1)이다.

그러나, 상술한 바와 같이 p 및 u의 값이 날짜나 시점에 따라 변하고 있고 그 변화의 폭이 상대적으로 계량치 데이터에 의한 공정능력 평가시에 사용되는 평균치의 변화의 폭 보다 크므로, 이 기준은 안심하고 사용할 수 없다. 따라서 p 및 u의 날짜나 시점에 따른 변화를 감안해서 평가기준을 작성하여 활용하는 것이 더욱 바람직하다.

잘 알려진 바와 같이 p 및 u의 분포는 단봉성 (unimodal) 분포 이고, 그 표준 편차의 점 추정치가 각각 $\sqrt{p \text{ bar}} / \sqrt{n}$ 및 $\sqrt{u \text{ bar}} / \sqrt{n}$ 이므로 캠프-미델의 부등식(Camp-Meidel's extension of Tchebychev's inequality)에 따라 p bar 및 u bar의 값은 각각 $p \text{ bar} + 3\sqrt{p \text{ bar}} / \sqrt{n}$ 및 $u \text{ bar} + 3\sqrt{u \text{ bar}} / \sqrt{n}$ 의 값 내에 거의 대부분 (최소한 95.06%)이 포함된다.

따라서, ppm급의 불량률, 더 나아가서는 ppb급의 불량률을 유도하기 위한 공정능력의 평가방법으로서 불량률과 결점수에 대한 공정능력지수 Dp 및 Du를 다음의 공식에 의해 구할 수 있다.

즉, $D_p = p \text{ bar} + 3\sqrt{p \text{ bar} (1-p \text{ bar})/\Sigma n}$ 및 $D_u = u \text{ bar} + 3\sqrt{u \text{ bar}/\Sigma n}$ 와 같이 구한다.

<표 2-3 공정능력유무의 판단기준>

구 분	보 안 특 성	기 타 특 성
$p \text{ bar}, u \text{ bar} = 0$ ($1.33 \leq C_p$)*	공정능력은 충분 공정능력의 유지가 필요	공정능력은 충분 공정능력의 유지가 필요
$0 < p \text{ bar}$ ($1.0 \leq C_p < 1.33$)	공정능력이 불충분, 공정능력의 개선이 필요	공정능력은 충분, 공정능력의 유지가 필요
$0.003 < p \text{ bar},$ $u \text{ bar} = 0$ ($C_p < 1.0$)	공정능력이 불충분, 공정능력의 개선이 필요	공정능력이 불충분, 공정능력의 개선이 필요

* ()는 계량치 데이터에 대한 기준임

<표 2-4 계수치 데이터에 의한 공정능력 평가기준(1)>

p bar 또는 u bar	등 급	판 단	조 처
- 0.000001	특 급	충 분	제품 고급화
0.000002- 0.000063	1 급	만 족	공정관리 간소화
0.000064- 0.002700	2 급	겨우 만족	공정관리에 유의
0.002699- 0.045500	3 급	부 족	공정개선 및 규격 재검토
0.045501-	4 급	매우 부족	

** p 또는 u 관리도는 안정상태일 것, 관리도의 군의 수는 $K \geq 30$ 일 것

<표 2-5 계수치 데이터에 대한 공정능력 평가기준(2)>

* $D_p = p \text{ bar} + 3\sqrt{p \text{ bar}(1-p \text{ bar})/\Sigma n}$,
 $D_u = u \text{ bar} + 3\sqrt{u \text{ bar}/\Sigma n}$

Dp 또는 Du	등 급	수준 또는 판단
- 0.00000	특 급	ppb 불량수준
0.000001-0.000009	1 급	1 - 9 ppm 불량수준
0.000010-0.000099	2 급	10 - 99 ppm 불량수준
0.000100-0.000999	3 급	0.010-0.099% 불량수준
0.001000-0.009999	4 급	0.100-0.999% 불량수준
0.010000-0.099999	5 급	1.000-9.999% 불량수준
0.100000-1.000000	6 급	10.00-100.0% 불량수준

* p 또는 u 관리도는 안정상태일 것, 관리도의 군의 수는 $K \geq 30$ 일 것

그리고 <표 2-5>의 계수치 데이터에 의한 공정능력 평가기준(2)에서와 같이 등급을 부여하면 이 평가기준은 p 및 u의 날짜나 시점에 따른 변화에 별로 구속됨이 없이 안심하고 사용할 수 있다.

2.4.4 불량률의 추정

(1) 공정능력지수로부터 불량률을 추정 (간이방법) ; 양쪽규격에서 치우침이 없는 경우 (평균치가 규격의 중심치와 일치함) 공정능력지수로부터 'Cpk와 불량률' 그래프를 활용하여 불량률을 추정할 수 있다. 한쪽규격, 양쪽규격의 치우침이 있는 경우는 데이터로부터 산출한 Cpk를 '한쪽규격의 할증Cpk' 그래프를 이용하여 Cpk를 구한 다음, 'Cpk와 불량률' 그래프를 이용하여 불량률을 추정할 수 있다.

(2) 정규분포표로부터 불량률을 추정 ;

* 불량률 추정 $P = P_U + P_L$ (P_U : 상한불량률 추정치, P_L : 하한불량률 추정치)

* 규격상한(SU)의 표준정규분포표값(UU) 및 불량률(PU), $UU = (SU - X \text{ bar}) / \sqrt{V}$, $P_U = P(UU)$ 의 값을 정규분포표에서 찾는다.

* 규격하한(SL)의 표준정규분포표값(UL) 및 불량률(PL), $UL = (X \text{ bar} - SL) / \sqrt{V}$, $P_L = P(UL)$ 의 값을 정규분포표에서 찾는다.

따라서, 전체 불량률은 $P = P_U + P_L$ 이 된다.

2.4.5 공정능력비(Process Capability Ratio):Dp

국내에서는 지금까지 완전히 실용화되지는 못했지만 미국에서는 "공정능력비"라 불려 이용된 예가 Juran과 Gryna에 의해 보고되었다. 이 평가척도는 $T/6\sigma$ 를 사용하는 방법과 본질적으로 다르지는 않지만 나중에 나타난 것과 같이 대상으로 하는 σ 의 변화의 대소에 따라 감도가 다르므로 문제에 따라 양자를 구분하는 것이 좋다. 종래부터 사용되어 온 C_p 에 대하여 그의 역수 ($1/C_p = 6\sigma/T$)를 새롭게 D_p 라고 하는 기호로 나타내며 D_p 와 C_p 와는 역수관계가 있으므로 σ 를 알고 있는 경우, 평가척도로는 본질적으로 다르지 않기 때문에 C_p 가 갖는 평량성, 보편성, 간편성 등은 그대로 가지고 있으며 σ 를 모르는 경우의 취급은 C_p 에 비하여 쉽고 통계적 특성도 파악하기 쉽다. 예를 들면 σ 의 추정치로서 \sqrt{V} 를 사용하면 D_p 의 추정치 $D_p (=6\sqrt{V}/T)$ 는 확률적으로 변화하지만 D_p 의 분포는 기본적으로 \sqrt{V} 의 분포 즉, χ^2 분포에 벗어나지 않음을 알 수 있다.

2.4.6 기계능력지수 (Cm)

(1) 기계능력을 조사함으로써 공정능력으로 나타난 변동은 기계에 기인하는 변동과 그 이외의 요인에 의한 변동으로 나눌 수가 있다.

(2) 공정능력으로 나타낸 변동을 σ_p^2 , 기계능력으로 나타낸 변동을 σ_m^2 , 기계 이외의 요인에 의한 변동을 σ_o^2 라고 하면, $\sigma_p^2 = \sigma_m^2 + \sigma_o^2$ 가 된다. (분산의 가법성)

(3) 공정능력의 표시방법으로서는 평균치의 조절이 용이한 경우가 많기 때문에 보통은 공정능력 = $6\sigma_p$, 기계능력 = $6\sigma_m$ 로 나타낸다.

(4) 기계능력지수 $C_m = T / 8\sigma_m$ 로 나타낸다.

2.4.7 공정능력의 개선

(1) 지속적인 공정개선 :

모든 공정의 이상적인 목표는 지속적으로 공정개선을 추구하는 것이다. 일반적으로 공정개선에서는 시방이나 규격을 수정하지 않고 표준편차 즉, 공정의 퍼짐 (Spread)을 줄이기 위해 C_p 와 C_{pk} 을 증대 시킨다. 이는 공정의 중심을 목표치에 두고 규격과 관련하여 공정의 퍼짐을 줄이는 것을 의미하는 데, 이 때 경제적인 고려가 반드시 있어야 한다. 공정의 중심을 바로 잡을 것인가 아니면 공정의 퍼짐을 잡을 것인가에 대한 결정은 간단치 않다. 가령 공정의 퍼짐이 크고 공정중심이 규격 한계부근에 자리 잡고 있다면, 공정의 중심을 바로잡는 것이 우선 고려되어야 한다. 한편 공정이 중심을 약간 벗어나고 공정의 퍼짐이 크다면, 공정의 퍼짐을 좁히는 것이 적절한 조치일 것이다.

TQC를 전개하고 있는 일본기업의 특징은 회사전체를 통하여 품질개선활동을 꾸준히 실천하고 있다는 점이다. 현재 공정이 최고의 성능을 발휘하고 있다 하더라도 항상 개선의 여지는 있게 마련이다. 그래서 일본기업에서는 “마른 수건도 쥐어짜서 물이 나오게 한다”고 말하는 데, 손으로 쥐어 짠 후 다시 탈수기로 돌리고, 그 다음에는 건조기를 이용하여 수분이 다 증발할 때까지 이른바 “가이젠(개선)” 즉, 지속적인 개선활동을 전개한다. 사실 믿어지지 않겠지만 어떤 일본기업에서는 C_p 가 8.0에 이르고 있다고 하는데 우리도 “지속적인 공정개선 (Continuous process improvement)”을 생활화해야 되겠다.

(2) 지속적인 개선단계 :

TQM의 특징은 지속적인 개선에 있는 것으로 TQM에서는 공정품질을 끊임없이 개선하여 이른바 지속적인 개선을 추구한다. 따라서 공정의 지속적인 개선은 궁극적으로 높은 품질의 제품을 보다 낮은 비용으로

산출할 수 있게 한다. 공정의 지속적인 개선단계를 제시하면 다음과 같다.

- ① 공정을 측정한다. 히스토그램이나 관리도를 작성해 본다.
- ② 공정을 통계적으로 관리한다. 변동의 이상 원인을 제거한다.
- ③ 필요한 경우 공정운영의 중심을 잡는다.
- ④ 변동이 너무 커서 공정능력이 여의치 않으면 공정을 개선하는 데 보다 우수한 통계적 기법 (예: 다구찌 방법)을 사용한다.
- ⑤ 공정변동의 감축을 경제적으로 가능한 선에서 지속한다.

품질을 기업전략에 총합하여 경쟁력을 강화시킨 모토로라(Motorola)에서 “6시그마에 이르는 6단계”(The six steps to six sigma)를 통해서 고객만족을 획득하는 데 성공한 바 있다. “6시그마에 이르는 6단계”의 기본적 특성은 지속적인 개선으로 이것은 전체적 품질혁신을 위한 기준이 된다.

(3) 6시그마 관리와 100PPM 관리

품질경쟁력을 획기적으로 강화하기 위해 중소기업청은 “100PPM 목표 관리”를 1994년부터 자동차 및 전기전자부품업체를 대상으로 추진하여 1998년까지 5,500부품업체가 불량률 100ppm(parts per million)목표를 달성 하는 이른바 “100PPM 운동”을 추진하고 있다. 1991년에 발간된 “품질관리백서”에 따르면, 100ppm이하의 품질수준을 목표로 하는 업체(등급관리 및 KS표시허가 업체)는 2.3%로서 전자업체의 품질수준이 가장 높고 수송기계를 비롯한 기계업종이 대체로 높은 것으로 나타났다. 중소기업청에서 1994년에 조사한 자료에 위하면 자동차, 전기, 전자, 기계업종의 5,524업체중 12.8%에 해당하는 706업체에서 “100PPM 운동”을 하는 것으로 보고되었다. 조립산업의 경우 부품업체의 품질수준 제고없이 고품질의 확보는 불가능한 것으로 현대자동차는 1992년에 42개 계열사를 중심으로 “100PPM 운동”을 착수하여 1994년부터는 전업체 전품목에 추진중이다. 이에 따라 업체 완성품 불량률 300ppm 수준으로 대폭 개선되었으나, 애프터서비스 불량률은 아직도 4,000ppm 수준이다.

기아자동차에서는 1993년부터 “Q-133 운동”을 전개하고 있는데, 이는 불량률 목표 66ppm, 공정능력지수로는 $C_p=1.33$ 을 목표로 하는 품질혁신운동으로 모토로라의 개념으로 보면 “4시그마 운동”이다.

전술한 모토로라(Motorola)가 추구하고 있는 6시그마

관리는 공정품질 특성치의 평균값이 정규분포의 중심에 위치하고 있다는 가정 아래 불량률 2 ppb(parts per billion) 즉, 0.002ppm을 추구하는 것이다. 그러나 현실적으로 공정의 중심과 규격의 상하한 값이 일치하기는 쉽지 않은 것으로 공정이 1.5시그마 만큼 이동한 경우 불량률은 3.4ppm이 된다. 따라서 모토로라의 6시그마 관리에서는 3.4ppm의 불량률 추구를 하는데, 이 경우 공정능력지수 $C_p = 2.0$ 의 공정능력을 목표로 한다.

PPM사상은 일본의 마쯔시다 전자부품(松下電子部品)이 1960년 후반에 전자부품의 품질향상에 노력한 결과, ppm수준의 품질수준이 실현될 수 있게 되었던 것에 근원을 두고 있다. 불량률 0.001%미만을 ppm으로 표현할 수 있는 데, 이 수준의 품질을 보증하려면 설계와 원자재의 완벽은 물론 철저한 공정관리로 제조공정능력의 강화,유지가 필요하다. 따라서 PPM관리에는 부품업체와 모기업의 완벽한 공정관리의 추진이 기본이 된다. ppm수준의 품질확보를 위해서는 다음의 두 가지 방법을 기본으로 하여 관리, 개선활동을 추진하는 것이 필요하다.

- ① 공정의 품질능력을 확보하여 품질을 보증하는 방법
- ② 가능한 것은 검사에 의해 보증하는 방법

다만 ②에 대한 방법으로는 파괴검사항목, 가령 검사를 할 수 없는 목표에 대한 보증은 불가능하며, ppm수준의 품질목표달성을 위해서는 한계가 있기 때문에 ①의 방법을 토대로 하여 품질보증 활동을 추진해서 달성하는 것이 필요하다.

3. 결 론

본 연구는 공정능력평가의 기본적인 내용의 정리를 통하여 중소기업 제조 현장의 실무관리자가 공정능력평가지침으로 활용하여 품질혁신에 기여토록 하기 위해 수행하였다.

공정능력은 공정의 질적인 수용능력을 뜻하므로 이의 정도를 구체화하기 위해서는 정량화되어야 하며, 표준으로 정한 규격에 대비시켜 볼 필요가 있다. 전자를 '공정능력의 정량화'라고 하고 후자를 '공정능력지수'로 표현하여 평가의 지표로 사용하고 있다. 공정능력평가 시에 가장 주의하여 고려할 사항은 공정능력을 평가하고자 하는 대상 공정이 반드시 안정(관리)상태에 있어야 한다. 안정(관리)상태의 판단기준은 장기간일 경우에는 관리도로서, 단기간일 경우에는 히스토그램의 정규분포 상태여부로서 판단한다. 또한 공정능력지수를

계산할 시에는 유효수자관리에 유의하여야 한다.

공정능력지수는 현재의 공정에 대한 관리활동의 실적을 평가하는 척도로서 각 공정 구조상의 특징이나 관리상의 경제성은 전혀 고려되지 않은 상태에서 획일적이고 무조건적인 기준을 적용하게 되는 문제점이 있다. 따라서, 주어진 특정의 공정조건하에서 가장 경제적인 공정능력지수의 설정방법의 정립이 필요하며 생산시스템이 자동화됨에 따라 대량생산방식으로 바뀌어지고 국내외의 경쟁이 치열해 지는 제품류 등은 고품질보증체제가 요망되며, 높은 수준의 공정능력을 유지, 관리함으로써 이를 구현할 수 있다.

즉, Computer를 활용하여 제조현장의 공정능력을 평가하는 단계로 현재의 단순한 PC를 활용한 공정능력지수 산출만이 아닌 자동화된 Line에 계측시스템과 자동보정시스템을 갖추어 현장에서의 공정능력수준이 유지, 관리가 될 수 있도록 하여야 하겠다.

4. 참 고 문 헌

- [1] 김성국, "현대자동차 100PPM 품질경영활동", 12회 품질경영심포지엄, 1994
- [2] 박병기, 김영균, 염인선, 품질경영, 삼우사, 1996
- [3] 송서일, 현대품질관리, 학문사, 1986 경제적인 품질보증수준확보를 위한 공정능력지수의 최적화에 대한 연구, 한양대학교 대학원, 1988
- [4] 윤덕균, "PPM활동 어디까지 왔나", 품질경영, 1994.10
- [5] 이순룡, 품질경영론, 법문사, 1996
- [6] 정수일, 품질보증에 관한 실증적 연구, 홍익대학교 대학원, 1989
- [7] 중소기업청, 품질관리백서, 1991
- [8] 황의철, 품질경영, 박영사, 1992
- [9] 朝尾 正, 品質設計と 工程能力, 品質管理, Vol.17, NO.7, 1966.
- [10] 大順賀 豊, 工程能力調査の 進め方と結果の 利用法, 品質管理, Vol.28, NO.8, 1977
- [11] 木暮 正夫, 工程能力の 理論と その應用, 科技連, 1984
- [12] 白根 禮吉, 品質設計と 工程能力, 品質管理, Vol.17, NO.7, 1966
- [13] 田中 永明, 中川 善明, 狩野 紀昭, 工程能力の 公差決定への 反映, 品質管理, Vol.35, NO.5, 1984
- [14] 中西 浩, 慶 永雄, 程能力と 公差, 品質管理, Vol.25 NO.4, 1974
- [15] 尾關 和夫, 工程能力, 品質管理, Vol.35, NO.4, 1984
- [16] Cartin, T.J., Principles & Practices of TQM, American Society for Quality Control, 1993

- [17] Hanson, B.L., Quality Control, Theory and Applications, Prentice-Hall, 1963
- [18] Kane, V.E., Process Capability Indices, Journal of Quality Technology, Vol.18,NO.1,1986
- [19] Seder, L.A. & D.Cowan, The Span Plan-A New Method of Process Capability Analysis, Quality Control Conference Paper, 7th Annual Convention, ASQC,1963

저 자 소 개

성 원 용



인하대학교에서 기계공학 학사, 산업공학 석사학위를 취득하였고, 산업공학과 대학원 박사과정에 재학 중이며, 현재 한국능률협회인증원에서 품질경영체제심사원으로 활동 중이다. 관심분야는 품질경영, 통계적 공정관리 및 측정시스템 분석 등이다.

주소: 경기도 안산시 단원구 고잔2동 671

정 수 일



서울대학교에서 화학공학 학사, 석사학위를 취득하였고, 미국 미네소타대학원에서 산업공학 석사학위를 홍익대학교에서 경영학박사학위를 취득하였음. 현재는 인하대학교 산업공학과 교수로 재직 중이다.

주소: 인천시 남구 용현동 인하대학교 산업공학과