

Issues on the Calculation of the Process Capability Index

Do-Kyung Lee[†]

School of Industrial Engineering, Kumoh National Institute of Technology

공정능력지수 산정에 있어 고려사항

이 도 경[†]

금오공과대학교 산업공학부

This study is concerned with process capability index in single process. We enumerated issues on the calculation of process capability index and described the effects of these issues. We explained the development process and the reason of the representative existing process capability indices. We investigated whether the indices agree with the concept of process capability and drew the problems from those results. In addition, we proposed alternative and direction to seize the process capability necessary to the field.

Keywords : Process Capability Index

1. 서 론

공정능력지수는 전통적인 의미에서 실제 공정산포와 허용 가능한 공정산포를 비교한 수치이다. 허용 가능한 공정산포는 공정규격의 상한과 하한 사이의 간격이며, 실제 공정산포는 공정이 관리상태에 있을 때 그 공정에서 생산되는 제품의 품질변동을 말한다. 공정능력은 끊임없는 품질과 생산성의 개선을 점검하기 위한 공정관리에 있어 중요한 부분이다. 공정능력지수는 이런 공정능력을 분석하기 위한 중요하고 쉽게 이해할 수 있는 중요한 언어에 해당한다.

공정능력의 개념에 대해 Kirkpatric, Feigenbaum 등 여러 학자들이 정의해 왔다. Juran[8]이 Quality Control Handbook에서 표준편차의 6배를 자연공차(natural tolerance)로 지칭하면서 C_p 라는 공정능력지수를 제시한 이래, 다양한 현장 상황에서 공정능력을 가능한 정확히 표현하려는 공정능력지수들이 많은 학자들에 의해 제시되어 왔다. 공정능력지수는 설정된 규격과 공정의 제품이 얼마나 잘

일치하는가를 보여주며, 또한 공정능력지수를 사용함으로써 품질 목표의 설정과 정보소통을 단순화시킬 수 있기 때문에 산업계에서 폭 넓게 사용되고 있다. 따라서 공정능력을 제대로 파악하기 위해서는 공정능력의 개념과 현장에서의 조건을 잘 살펴볼 필요가 있다.

설계상의 규격과 공정 수행도의 비율로 구성된 공정능력지수를 실무에 적용하기 위해 해당 지수의 특성에 대한 이해가 필요하다. 설계상의 규격은 주어진 상수지만, 공정 수행도는 설비의 정밀도나 작업자의 숙련도 등 4M에 의해서 결정되며 4M은 그 수준이 변화하는 변량들이므로 변동성을 지닌다. 가장 단순한 공정능력지수 C_p 를 산정하더라도 전수조사를 하지 않는 한 동일한 공정에 대해 측정하더라도 매번 달라질 수밖에 없다. 따라서 여러 공정능력지수들에 대한 분포형태나 신뢰구간 등의 연구들이 수행되어 왔다.

공정능력지수 C_p 이후에 제시되어온 여러 공정능력지수들은 결국, C_p 에서 정의한 개념에서의 변형 형태 혹은 C_p 를 산정하기 위한 전제조건을 충족하지 못하는 경우에 대한 것들이다. 그러나 이들 공정능력지수들이 기존의 C_p 이나 C_{pk} 보다 공정능력을 정확하게 반영한다고 제

시하는 기준은 부적합률이다. 그러나 기본적으로 공정능력이 부적합률과 일치해야 할 의무는 없다. 만일 공정능력이 부적합률과 일치해야 한다면, 구태여 복잡한 공식을 사용해야 하고, 그 값이 제공하는 공정능력 정도가 부적합률 보다 불명료한 공정능력지수는 불필요함을 제안하고자 한다.

이를 알아보기 위해, 다음 장에서는 우선 공정능력의 전제조건과 해석에 대해 살펴본다.

2. 공정능력의 전제조건과 해석

공정능력을 측정하기 위해서는 정성적인 방법도 있을 수 있으나, 현장에서 쉽고 간단히 사용하기 위해서는 아무래도 정량적 측정을 수반한 수치화가 필요하다. 공정능력을 측정하기 위한 전제조건은 ‘공정이 안정되어 있을 때’이다. ‘공정이 안정되어 있을 때’의 의미는 공정이 자료가 수집되는 충분히 긴 기간 동안에 해당 공정에 영향의 미치는 4M의 요소들에 이상적인 원인이 작용하지 않아 품질특성치의 산포가 일정한 수준을 유지하고 있음을 의미한다. 우리가 모수인 표준편차 σ 를 알 수 없음에도 불구하고 공정능력지수 모형에 이를 사용하는 이유도 여기에 있다.

공정능력지수는 실제 공정산포와 허용 가능한 공정산포를 비교한 수치이므로 공정능력을 산정하기 위해서는 주어진 공정의 규격상한과 규격하한 그리고 표준편차 σ 를 알아야 한다. 공정능력지수에서 가장 기본이 되는 C_p 에서 볼 수 있는 것처럼, 규격상한과 규격하한은 공정이나 제품 특성에 의해 상수로 주어지는 부분이므로 이에 대해서는 특성이나 추정과 관련한 방법론에 대해 언급할 여지가 없다. 다만 분모 부분의 σ 의 추정에 따라 공정능력 값은 달라 나오게 된다. 따라서 표준편차의 추정이 정확한 공정능력 산정의 척도가 된다.

2.1 표준편차의 추정과 C_p

표준편차의 추정에는 여러 방법들이 사용되고 있다. 그들 방법에 따라 동일한 자료라 해도 표준편차의 추정값과 특성은 달라진다. 표준편차의 추정에 있어서는 기본적인 방법으로 $s^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 / (n-1)$ 를 사용할 수 있으며, $\frac{(n-1)s^2}{\sigma^2} \sim \chi^2(n-1)$ 를 따름을 알고 있다. 이때 Kenney and Keeping[10]은 정규분포를 따르는 모집단으로부터 추출한 n 개의 샘플의 표본표준편차 s 는 다음의 확률질량함수 임을 제시했다.

$$f(s) = 2 \frac{\left(\frac{n}{2\sigma^2}\right)^{(n-1)/2}}{\Gamma\left\{\frac{1}{2}(n-1)\right\}} e^{-ns^2/2\sigma^2} s^{n-2}$$

함수 $f(s)$ 는 n 과 σ^2 의 값에 따라 분포의 형태가 결정된다. 그리고 이 경우 Kotz and Johnson[11]은 공정능력지수 C_p 의 변화에 대해 그 기댓값을 다음과 같이 제시하였다.

$$E(\hat{C}_p) = C_p / b_f, \quad b_f = \sqrt{\frac{2}{f}} \frac{\Gamma(f/2)}{\Gamma((f-1)/2)}$$

이들은 두 매개변수 표본크기와 모분산을 변화시켜 가면서 분포함수의 추이를 살펴보고, 세 가지 경우의 신뢰수준(90%, 95%, 99%)에서의 표준편차의 신뢰구간을 산출하여 C_p 에 적용시킴으로써 C_p 의 신뢰구간 및 특성에 대해 언급했다.

표준편차 추정에 있어 또 다른 대표적인 방법은 $\bar{X}-R$ 관리도에서처럼 전체 자료에 대해 기간에 따라 부분군으로 나누어 $s = \bar{R}/d_2$ 의 방법으로 구하는 것이다. 이 방법으로 추정한 경우, Patnaik[16]은 $(n-1)\bar{R}/(c^2\sigma^2)$ 이 $\chi^2(n-1)$ 을 따름을 제시하였다. 여기서 n 은 부분군의 크기이며 c 는 부분군 수에 따른 상수이다. 위의 두 가지 표준편차의 추정방법에 따라 공정능력지수 값은 차이를 보인다. 이 때 우리가 고려해야 할 사항은 표본분산으로 $s^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 / (n-1)$ 를 사용하는 경우, 표본분산은 실제로 부분군으로 나눔과 무관하게 전체 기간에서의 산포 즉 장기 및 단기 산포를 포함하는 것이며, $s = \bar{R}/d_2$ 를 사용하는 경우의 공정능력지수는 단기 공정능력만을 반영한다는 것이다. 표준편차의 추정에 있어 고려해야 할 추가의 사항으로 작은 수의 표본크기에 의한 영향력이 있다. Quesenberry[20]는 표본크기가 작을수록 제1종과오가 커지며 평균 런의 길이가 길어짐을 지적하였다. 이와 같은 소표본에 의한 공정능력지수의 효과에 대해서 Kotz와 Johnson[11]은 관리도에서 부분군에서 부분군의 크기가 작아질수록 \hat{c}_p 는 원 공정능력지수에 비해 과대평가됨을 보였다. Baik and Jo[1]는 표준편차의 추정 방법에 따른 공정능력의 변화에 대한 이전 연구들을 정리하였다.

2.2 자료의 정규성과 공정능력지수

공정능력지수의 산정에 있어 공정의 특성에 따라서는 정규분포라는 전제조건을 위배하는 경우가 존재한다. Gunter[6]가 언급한 것처럼 드릴링 공정, 코팅, 화학공정 그리고 반도체 공정 등에서는 일반적으로 정규성을 충족하지 않는다. 정규성을 충족하지 않는 여러 경우 중에서 가장

일반적인 경우가 분포에 치우침이 있는 경우다. 치우침이 있는 모집단에 대해 정상적인 즉, 정규분포를 따르는 모집단에 의한 공식을 그대로 사용하는 경우, 치우침이 클수록 공정능력을 과다하게 산정한다. 따라서 치우침이 있는 모집단의 경우 이를 공정능력으로 표현하기 위해서는 정규분포를 따르는 경우의 산정 방법을 수정할 필요가 있다.

이렇게 자료가 비정규성을 취하는 경우, 분산의 특성에 대해 Pyzdek[18, 19]이 유용한 정보를 제공하고 있다. Clements[9]는 이러한 비정규분포에서 기존의 공식과 동일하게 공정능력을 구하는 경우, 이에 의한 치우침이 발생함에 무관할 수 있는 방법으로는 백분위수를 사용한 아래의 지수를 소개하였다.

$$\min \left(\frac{USL - P_{0.5}}{P_{0.9987} - P_{0.5}}, \frac{P_{0.5} - LSL}{P_{0.5} - P_{0.0013}} \right)$$

여기서 P_a 는 해당 자료 내에서의 a백분위수에 해당하는 값이며, USL과 LSL은 각각 규격상한과 규격하한이다. 치우침이 발생한 경우, 보다 정확한 공정능력을 나타내기 위해 Jang and Bai[7]는 Sommerville and Montgomery[21]가 제시한 가중 표준편차 방법(weighted standard deviation) 사용하여 아래의 공정능력지수를 제시했다.

$$\min \left(\frac{USL - LSL}{6 \times 2 WSD_U}, \frac{USL - LSL}{6 \times 2 WSD_L} \right)$$

이 방법은 평균을 기준으로 두 부분으로 나누어, 상위 표준편차 $WSD_U = P\sigma$ 와 하위 표준편차 $WSD_L = (1 - P)\sigma$ 를 각기 사용한다. 여기서 $P = \Pr(X \leq \mu)$ 이다. 이 공정능력지수는 기존 C_p 나 Clements의 방법 보다 정확함을 수치 예제를 통해 제시했다. 공정능력지수에 대한 전반적인 내용은 Kotz and Johnson[12], Kotz and Lovelace[13]을 참조하기 바란다.

2.3 자료의 상관성과 공정능력지수

자료의 비정규성 자료에 있어 위의 대표적인 치우침의 문제와 t 분포와 같이 꼬리부분의 두터움 등의 문제 이외에도 자료의 상관성이 존재하는 경우가 있다. 공정의 기계 설비 특성상 전력의 동축에 의한 전달장치의 주기성 등에 의해 연속적으로 생산되는 제품들은 연이은 특성치간에 종속성을 가질 수 있다. Yang and Hancock[22]은 두 변량 X_i 와 X_j 사이의 상관계수 $\text{Corr}(X_i, X_j) = \rho_{ij}$ 라 할 때 표본분산의 특성에 대해 제시하였으며, 이 때 표본분산의

기댓값이 $E(S^2) = (1 - \bar{\rho})\sigma^2$ 임을 보였다. 단, $\bar{\rho}$ 는 $n(n-1)/2$ 개의 ρ_{ij} 의 산술평균을 사용하였다. 이 경우 위의 식에서 볼 수 있는 것처럼 표본분산의 기댓값은 모분산 보다 작게 추정된다. 따라서 이를 C_p 혹은 C_{pk} 모형에 대입하면, 공정능력지수는 과대평가되게 된다. 이는 1차 자기회귀 모형이나 2차 자기회귀 모형에서도 동일한 결과를 초래한다.

3. 공정능력지수 모형

본 장에서는 공정능력지수 중에서 가장 잘 알려진 것들에 대해 모형의 공식과 그 출현 배경에 대해 간단히 소개한다. 우리에게 가장 익숙한 공정능력지수는 아래의 모형이다.

$$C_p = (USL - LSL) / 6\sigma$$

Kane[9]은 C_p 가 공정평균의 치우침을 반영하지 않는 단점을 보완한 지수 C_{pk} 를 제안하였다.

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

Chan et al.[3]은 공정의 목표값이 규격의 중간점이 아닌 경우, 이를 반영한 지수 C_{pm} 을 제안하였다.

$$C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\sqrt{E[(X - T)^2]}} = \frac{USL - LSL}{6\sqrt{\sigma + (\mu - T)^2}}$$

이 지수는 산포 측정에 있어 공정평균으로부터의 산포에 더해 목표치 T와의 산포를 고려했으며, 이는 다구치 2차 손실함수 개념을 도입한 것이다. 이 연구를 시작으로 공정능력지수가 단순히 공정능력을 나타내는 지수가 아닌 비용분석의 지수로도 응용되기 시작한다. Pearn et al.[17]은 C_{pm} 에 공정 평균 위치의 치우침 정도를 추가로 고려한 복합 형태의 지수 C_{pmk} 를 제안하였다.

$$C_{pmk} = \frac{\min(USL - \mu, \mu - LSL)}{3\tau} = C_{pk} / \sqrt{1 + (\mu - T)^2 / \sigma^2}$$

Benson[2]은 '0' 혹은 '1'을 취하는 매개변수 u, v, w를 모형에 추가로 설정함으로써 앞서의 모든 공정능력지수를 나타낼 수 있도록 일반화하였다.

$$C_{pk}(u, v, w) = \frac{\min(USL - \mu - |\mu - T|, \mu - LSL - |\mu - T|)}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}$$

$$= \frac{d - u|\mu - M| - w|M - \mu|}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}$$

단, $d = \frac{(USL - LSL)}{2}, M = \frac{(USL + LSL)}{2}$

위에서 언급한 4개의 대표적인 공정능력지수 모형은 자료의 산포에 의한 통계적 모형이다. 즉, 주어진 규격의 상한과 하한에 대해 공정중심, 공정평균, 목표값, 분산에 의해 그 지수값이 결정된다. 다구치 품질공학의 손실함수를 공정능력지수 산정에 응용한 C_{pm} 이 발표되면서, Bolyes[3]는 이를 비용측면을 고려한 아래 모형을 제시하였다.

$$C_{pm}^+ = \frac{USL - LSL}{6\sqrt{E(L)}}$$

Bolyes의 모형 이후 많은 연구들이 공정능력지수 산정에 이를 응용하고 있으나, 이들은 손실함수에 기초한 기대값 $E(L)$ 에 비용관련 매개변수를 추가하여 이의 변화를 살피는 비용모형이므로 주어진 규격에 대한 공정의 통계적 수행능력을 직접적으로 나타내지는 않는다. 그러므로 본 연구의 범위에서는 제외하도록 한다.

4. 공정능력과 공정능력지수의 정확성

앞 장에서 우리는 공정능력의 개념에서 시작하여, 공정능력 산정에 있어 다양한 현실 상황을 고려한 여러 공정능력지수들이 개발되어온 이유와 과정에 대해 살펴보았다. 본 장에서는 공정능력에 대한 기본 개념과 그간에 발표된 공정능력지수 모형들에 대해 근본적인 문제점들을 제시한다.

가장 근원적인 질문은 ‘공정능력지수가 필요한가?’이다. 제품을 제조하기 위해서는 설계상의 규격이 있어야 하며, 이를 현재 공정이 어느 정도 수행할 수 있는가를 알고자 하는 것은 지극히 당연하다. 따라서 이런 필요성에 부응하는 공정능력을 어떻게 구성할 것인가를 판단해야 하며, 이는 공정능력의 개념으로부터 공정능력지수는 설계상의 규격과 공정 수행도의 비율로 나타냄이 당연할 것이다.

다음으로 고려해야 할 점은 ‘공정능력지수는 어떤 상황에서 측정하는가?’이다. 이에 대해 대답은 ‘공정이 안

정되어 있을 때’이다. 그 이유는 실무적 통계적으로 당연한 것이므로 부연 설명은 생략하도록 한다.

본 연구에서는 지금까지 여러 연구에서 제시하는 공정능력지수들이 주장하는 ‘보다 정확한 공정능력지수’의 기준에 대해 생각해 보고자 한다.

Kane[9]이 제시한 공정평균의 치우침이 있는 경우, 지수 C_p 는 부적합률 기준에서 치우침이 없는 경우에 비해 공정능력이 과대평가되므로 ‘치우침을 반영한 지수 C_{pk} 가 C_p 보다 더 정확하다.’란 것이며 우리는 이를 지극히 당연시 받아들여 왔다. 여기서 근본적으로 두 가지를 생각해 볼 필요가 있다. 우선 공정평균의 치우침이 발생한 것을 공정능력 산정의 전제조건인 ‘공정이 안정되었을 때’로 간주할 수 있는가의 문제와 ‘ C_{pk} 가 C_p 보다 더 정확하다.’는 기준이 무엇인가를 생각할 필요가 있다. 매우 특수한 상황이 아니면, 공정의 목표치는 규격 중간값 $M = (USL + LSL)/2$ 에 맞추는 것이 당연하며, 이를 체크하는 것이 관리도의 역할이다. 따라서 공정관리 중에 공정평균이 규격 중간값을 벗어나면 이를 이상상태로 간주하여 시정했어야 한다. 즉, 기본적으로 공정에서 공정평균의 이동(shift)이 발생하면 이는 ‘공정이 안정되었을 때’로 볼 수 없다는 것이다.

다음으로 공정평균이 이동하여 규격 중간값이 아닌 경우 C_p 가 과대평가되어 C_p 가 정확한 공정능력지수가 아니라 는 기준은 공정평균의 이동에 의해 제품들 중 많은 비율이 규격 바깥으로 나가서 부적합률이 증가함에도 불구하고 C_p 가 이를 반영하지 못한다는 것이다. 이 의미는 공정능력의 정확성은 그 기준이 부적합률임을 의미한다.

예를 들어, 임의 공정의 표준편차의 6배 즉 $6\sigma = (USL - LSL)$ 의 경우, 공정평균이 규격상한의 중간에 위치할 때의 부적합률 p 는 규격 상한과 하한을 벗어나는 부적합률 $pl = 0.135\%$ 와 $pu = 0.135\%$ 를 합한 0.27% 이다. 만일 공정평균이 규격 중심에서 0.5σ 정도 규격상한으로 치우침이 발생한 경우에는 공정의 부적합률은 $pl = 0.0233\%$ 와 $pu = 0.62\%$ 의 합인 0.6433% 이므로 치우침이 발생한 경우, C_p 로 공정능력을 나타내면 공정능력이 부적합률 기준하에서 0.5083% 정도 과대평가 된다는 것이다. 따라서 이 차이를 부적합률 기준으로 맞추고자 하는 지수로 C_{pk} 가 제시되었다.

위의 C_{pk} 의 예에서와 같이 지수 C_p 이후의 공정능력지수들은 공정평균의 이동과 정규분포를 기본으로 하는 공정 안정성의 결여에 대한 공정능력의 산정방법들이며, 이 지수들의 공정능력 정확성의 근거는 공통적으로 이 지수들의 부적합률이 C_p 를 사용할 때보다 정확하다는 것이다.

앞서 공정이 정규분포와 다른 모습을 취하는 경우에 있어 대표적인 논문들을 소개하였다. Kotz and Johnson[11]은

표본크기가 작을수록 \hat{c}_p 는 C_p 에 비해 과대평가됨을 지적하였다. 치우침이 있는 모집단에 있어 Clements[5] 모형의 제시 배경이나, 공정의 비대칭성의 경우에 있어 Pyzdek [19]과 Sommerville[21] 등의 연구 및 Yang and Hancock [14]의 변량들 간에 상관성이 존재하는 하는 경우에서도 공통적인 결과는 한결같이 C_p 에 의한 공정능력이 과대평가된다는 것이다.

이외에 분포함수가 정규분포를 벗어나는 일양분포나 카이제곱 분포 및 t 분포 경우에 대해 제시한 연구들에서도 공통적인 결과는 C_p 가 공정능력을 과대평가한다는 것이다. 이에 대해 해당 연구들은 예제를 들고 시뮬레이션 등을 통해 C_p 의 과대평가 정도를 제시하였다.

이들 지수들이 C_p 에 비해 부적합률 기준하에서 과대평가되는 이유는 위에서 예시한 C_p 와 C_{pk} 의 관계와 동일한 맥락이다. 그러나 이들 경우에 있어서 C_p 기준으로 공정능력이 과대평가됨은 구태여 특성 분석을 해보지 않더라도 예상 가능한 것이다. 일양분포나 카이제곱 분포 및 t-분포의 경우 중심 밀집도가 정규분포에 비해 떨어지므로, 이들 분포의 산포는 정규분포보다 커진다. 따라서 이들의 경우 규격을 벗어나는 비율 즉, 부적합률이 정규분포를 간주할 때보다 커지는 것은 당연한 결과이다.

공정능력지수 모형에 있어서 C_{pk} 및 C_{pm} 을 포함한 이후의 연구들에서 제시한 지수들은 공정의 여러 여건에 따라 이를 반영하므로 보다 정확한 공정능력을 표현한다고 주장한다. 당연하게도 이들 지수 모형은 C_p 의 공식에 위치모수와 척도모수 그리고 형상모수를 계속적으로 추가함으로써 정교하고 복잡한 공식을 취한다. 따라서 이들 지수들이 단순한 공식에 기인함에 따른 둔감 지수인 C_p 에 비해 공정능력을 정확하게 나타낸다는 주장은 부적합률 기준으로 비교할 때 당연한 것이다.

그러면 이들 공정능력지수들은 주장처럼 부적합률 기준에서 정확한 공정능력을 제공하고 있는가를 점검해 볼 필요가 있다. 결론은 ‘그렇지 않다.’이다. 이들 지수들은 심지어 이들이 제시하는 공정 상황에 대해서조차 모든 부적합률과 일치하지는 않는다. 결국 공정능력지수들이 섬세하고 복잡한 형태로 진화(?)하고 있지만, 분포함수나 분산 심지어 평균도 고려할 필요 없이 산정되는 부적합률 이상의 정보를 전혀 제공하지 못함을 직시해야 한다.

5. 결론

식스시그마에서는 공정능력을 Z_{st} , Z_L 그리고 Z_{shift} 등의 Z값들이나 Zbench로 표현한다. 아는 바와 같이 Zbench는 규격을 벗어나는 상한 부적합률 pu와 하한 부적합률 pl을

합하여 전체 부적합률(pu+pl)의 백분위 값에 해당하는 표준정규분포 상에서의 Z(pu+pl)값을 의미한다. 우리나라에서도 식스시그마를 도입하면서 많은 기업들이 한 때 공정능력을 Zbench로 나타내었으나 지금은 거의 사용하고 있지 않다. 그 이유는 Zbench가 부적합률과 동일한 정보를 제공하면서 통계적 지식과 여러 단계의 중간 산정 단계를 필요로 하며 부적합률과의 연결성이 명확하지 않기 때문이다.

공정능력지수에서도 이와 같은 상황은 동일하다. C_p 와 C_{pk} 이후에 제시되어온 공정능력지수들은 위치모수와 척도모수 그리고 형상모수 등을 추가함으로써 모형의 공식이 매우 복잡하여 현장에서 이를 사용하기 난해하다. 또한 이 지수들이 제시하는 수치값이 대상 공정의 공정능력이 어떤 수준인가에 대한 연결 개념 또한 명료하지 않다. 심지어 이들이 제시하는 공정 상황에 대해서조차 부적합률과 일치하지도 않는다. 그래서 Lee[15]에서 보는 바와 같이 이들 공정능력지수들은 제시한 모형의 공정능력 지수값에 해당하는 C_p 나 C_{pk} 값이나 시그마 수준으로 변환하는 공식이나 표를 병행 표시하는 것이 일반적이다.

앞서 언급한 것처럼 우리가 부적합률 이외에 공정능력을 필요로 하는 이유는 실제 공정산포와 허용 가능한 공정산포를 비교하고자 함이다. 그러므로 기본적으로 공정능력이 부적합률과 일치해야 할 의무는 없다. 만일 공정능력이 부적합률과 일치해야 한다면, 구태여 복잡한 공식을 사용해야 하고, 그 값이 제공하는 공정능력 정도가 불명료한 공정능력지수는 필요 없다. 정확하다고 주장하는 이들 공정능력지수들이 현장이나 미니탭의 메뉴의 공정능력 분석에서도 외면 받고 있음은 이를 잘 설명하고 있다.

그러므로 앞으로 공정능력의 파악에 있어 매우 특수한 상황이 아니라면, 구태여 복잡하고 어려운 공정능력 지수 보다는 부적합률과 C_p 및 C_{pk} 로서 충분하리라 판단되며, 부적합률에 보다 가까운 복잡한 공정능력 지수의 개발 보다는 Lee and Lee[14]이 제시하는 것처럼 가장 기본적인 단일 규격에 대해 측정 수의 결정과 같은 공정의 실제 능력을 제대로 반영할 수 있는 지수개발이 보다 더 중요하리라 생각한다.

Acknowledgement

본 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문임.

References

- [1] Baik, J.W. and Jo, J., Criticism and Guideline for the Use of Process Capability Index. *Journal of the Korean*

- Society for Quality Management*, 1999, Vol. 27, No. 2, p 81-100.
- [2] Benson, E.D., Statistical Properties of a System of Fourth-Generation Process Capability Indices $C_{pk}(u, v, w)$. *Dissertation*, University of Maryland, 1994.
- [3] Boyles, R.A., The Taguchi Capability Index. *Journal of Quality Technology*, 1991, Vol. 23, No. 1, p 17-26.
- [4] Chan, L.K., Cheng, S.W., and Spring, F.A., A New Measure of Process Capability. *Journal of Quality Technology*, 1988, Vol. 20, p 162-175.
- [5] Clements, J.A., Process Capability Calculation for Non-Normal Distribution. *Quality of Progress*, 1989, Vol. 22, p 98-100.
- [6] Gunter, B.H., The use and abuse of C_{pk} . *Quality of Progress*, 1989, Vol. 8, No. 1, p 72-73.
- [7] Jang, Y.S. and Bai, D.S., Process Capability Indices for Skewed Population. *Korean Institute of Industrial Engineering*, 2000, Spring Conference, p 365-368.
- [8] Juran, J.M., *Quality Control Handbook*, 3rd Ed. McGraw-hill, New York, 1974.
- [9] Kane, V.E., Process Capability Indices. *Journal of Quality Technology*, 1986, Vol. 18, No 1, p 41-52.
- [10] Kenney, J.F. and Keeping, E.S., *The Distribution in Mathematics of Statistics*, 2nd ed, Princeton, NJ : Van Nostrand, 1951, p 170-173.
- [11] Kotz, S. and Johnson, N.L., *Process Capability Indices*. Champion and Hall, 1993.
- [12] Kotz, S. and Johnson, N.L., Process Capability Indices - A Review 1999~2000. *Journal of Quality Technology*, 2002, Vol. 34, No. 1, p 2-19.
- [13] Kotz, S. and Lovelace, C.R., *Introduction to Process Capability Indices*. Arnold, London, U.K. : 1998.
- [14] Lee, D.K. and Lee, H.S., Process capability index for single process with multiple measurement location. *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2007, Vol. 30, No. 3, p 28-36.
- [15] Lee, D.K., A Study on the Expression of Process Capability and Sigma Level. *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2009, Vol. 30, No. 3, p 28-36.
- [16] Patnaik, P.B., The Use of Mean Range as an Estimator of Variance in Statistical Test. *Biometrika*, 1950, Vol. 37, No. 1, p 78-87.
- [17] Pearn, W.L., Kotz, S., and Johnson, N.L., Distributional and Inferential Properties of Process Capability Indices. *Journal of Quality Technology*, 1992, Vol. 24, No. 4, p 216-231.
- [18] Pyzdek, T., How Do I Compute sigma? Let Me Count The Ways. *Quality Digest*, 1998, May.
- [19] Pyzdek, T., Why normal distributions aren't-All that normal. *Quality Engineering*, 1995, Vol. 7, p 769-777.
- [20] Quesenberry, C.P., The Effect of Sample Size on Estimated Limits for and \bar{X} bar control Charts. *Journal of Quality Technology*, 1993, Vol. 25, p 237-247.
- [21] Sommerville, S.E. and Montgomery, D.C., Process Capability Indices and non-normal distributions. *Quality Engineering*, 1996, Vol. 9, p 305-316.
- [22] Yang, K. and Hancock, W.M., Statistical Quality Control for Correlated Samples. *International Journal Production Research*, 1990, Vol. 28, p 595-608.