

공정능력의 평가를 위한 개선된 비공정능력지수

신경석 · 김성집 · 강창욱

한양대학교 산업공학과

An Improved Process Incapability Index for the Evaluation of Process Capability

Kyung-seok Shin · Seong-Jip Kim · Chang-wook Kang

Dept. of Industrial Engineering, Hanyang University

Abstract

Process incapability index which is intended to evaluate the process capability by measuring process incapability provides more detailed information by dividing information about the process mean and variance. But when the target value is not consistent with the center of specification, it is very difficult to evaluate the process capability accurately. Thus it is necessary to improve the existing process incapability index.

The improved process incapability index can identify the variation of the process faster than other process capability indices when applied firstly, to the precision process which can be affected sensitively by the change of the process, secondly, to the ordinary process where cost difference from the change of process is noticeable. By using subindices such as inaccuracy index and imprecision index, it is easier for quality manager to find where the cause of the variation of process is, and to take necessary action in advance.

1. 서론

다양한 고객의 요구를 만족시킬 수 있는 고품질과 정밀한 제품을 생산하기 위하여 자동설비의 이용이 확산되고 있다. 이러한 상황에서 단지 규격만을 만족시키는 수준

이 아닌 보다 정밀한 제조공정의 품질관리가 중요시 되고 있다.

따라서, 제품의 개발 및 제조단계에서 생산공정의 품질변동 정도를 측정하고 규격과 비교·분석하여 변동의 폭을 감소시키기 위하여 제반 통계적 방법들이 이용되고 있으며, 특히 규격과 관련하여 공정능력을 평가하는 척도로서 공정능력지수(process capability index)가 이용되고 있다[배도선, 1992].

시간과 비용 등이 많이 소요되어 전수검사가 불가능한 정밀 공정이나 일반적인 제조공정에서도 그 공정의 변화에 따라 비용(또는 원가)의 차이가 많이 발생하는 경우에, 공정의 변화로 인한 이상 발생 전에 그 원인을 사전 제거한다면 더 많은 비용절감을 기할 수 있게 된다. 그러나 기존의 공정능력지수를 이용할 경우에는 공정이 어느정도 변화더라도 공정의 변화에 따른 공정능력의 차이를 찾아 내지 못함으로써 공정을 원상태로 회복하는데 많은 시간과 비용이 소요된다. 특히, 품질관리자의 지속적인 감시가 요구되는 연속생산공정에서 규격 내에 위치하는 공정의 작은 변화도 알 수 있도록 공정의 변화에 좀 더 민감하고 적절하게 반응할 수 있는 보다 정밀하고 세분된 공정능력지수의 개발이 요구된다[강창욱(1992), 김성집과 안광일(1995)].

그러므로, 본 논문에서는 공정의 비공정능력(process incapability)을 측정하여 역(逆)으로 공정능력을 파악하는 비공정능력지수(process incapability index)를 더욱 발전시켜 개선된 비공정능력지수를 제안하고자 한다.

본 논문에서는 목표치(target value)가 규격의 중심에 일치하지 않는 경우에 공정능력의 정확한 평가가 어려운 기존 비공정능력지수의 단점을 보완하고, 공정의 미세한 변화를 측정할 수 있게 하여 보다 정확하고 정밀하게 공정능력을 파악할 수 있는 비공정능력지수를 개발하였다.

2. 기존 연구

2.1 공정능력지수

공정능력(process capability)이란 공정이 관리상태에 있을 때 그 공정에서 생산되는 제품의 품질변동이 어느 정도인가를 나타내는 양으로 전통적인 공정능력지수는 다음 식과 같이 실제 공정산포와 허용가능한 공정산포의 비로 나타난다[박성현(1993), 황의철(1992), Kane(1985)].

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (1)$$

단, σ 는 공정의 산포(편차), USL 은 규격상한, LSL 은 규격하한

그러나, C_p 는 공정의 산포만을 반영하고, 목표치와 공정평균의 차이에 대해서는 고려하지 못하였기 때문에 C_p 의 단점을 보완하여 공정의 산포뿐만 아니라, 평균의 위치를 반영한 C_{pk} 가 제안되었다.

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right\} \quad (2)$$

C_{pk} 의 단점은 목표치에 대한 공정평균의 근접도를 고려하지 못한다는 것이다. 이후 Chan *et al.*(1988)에 의해 목표치에 대한 공정평균의 근접도를 고려한 C_{pm} 이 제안되었다.

$$C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\tau} \quad (3)$$

단, $\tau = \sqrt{E[(X - T)^2]} = \sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}$, T 는 목표치

C_{pm} 은 목표치가 규격중심에 일치하는 $(USL - T) = (T - LSL)$ 이라는 가정 하에서 나온 값으로서, $(USL - T) = (T - LSL)$ 이라는 가정 없이 C_{pm} 의 개념을 확장한 C_{pm}^* 가 제안되었다[Boyles(1991), Johnson(1992), Kushler and Hurley(1992), Spiring(1991)].

$$C_{pm}^* = \frac{\min(USL - T, T - LSL)}{3\tau} \quad (4)$$

C_{pm} 과 C_{pm}^* 는 공정평균과 산포의 미세한 변화가 있을 때 민감하게 반응하지 못함으로써 공정능력을 정확히 평가하기 어렵다. 따라서, Pearn *et al.*(1992)에 의해 공정의 미세한 변화가 있을 때도 공정능력을 정확히 평가하기 위한 C_{pmk} 가 제안되었다.

$$C_{pmk} = \frac{\min(USL - \mu, \mu - LSL)}{3\tau} \quad (5)$$

C_{pmk} 는 다른 공정능력지수들과는 달리 공정의 미세한 변화를 측정할 수 있지만 적합한 공정(공정능력이 높은 공정)과 부적합한 공정(공정능력이 낮은 공정)을 구별하지 못하는 단점을 가지고 있다.

예를 들어 관리한계가 $USL = 16$, $LSL = 10$ 에서 $\mu = 13.50$, $\sigma = 0.87$ 인 적합한 공

정과 $\mu = 13.00$, $\sigma = 1.20$ 인 부적합한 공정을 구별하지 못하고 동일한 값으로 나타난다[Greenwich and Jahr-Schaffrath(1995), Rodriguez(1992)].

2.2 비공정능력지수

Greenwich and Jahr-Schaffrath(1995)에 의해 제안된 비공정능력지수(process incapability index) C_{pp} 는 기존의 공정능력지수와는 다른 새로운 개념으로 공정의 비공정능력을 측정하여 역(逆)으로 공정능력을 평가하고자 한 지수로서, $C_{pp} = 0$ 일 때 가장 적합한 공정이 된다. 비공정능력지수 C_{pp} 를 정의하면 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned} C_{pp} &= \left(\frac{1}{C_{pm}^*} \right)^2 \\ &= \left(\frac{\tau}{D} \right)^2 \\ &= \left(\frac{\mu - T}{D} \right)^2 + \left(\frac{\sigma}{D} \right)^2 \\ &= C_{ia} + C_{ip} \end{aligned} \tag{6}$$

단, $D = \min \left\{ \frac{USL - T}{3}, \frac{T - LSL}{3} \right\}$, $C_{ia} = \left(\frac{\mu - T}{D} \right)^2$, $C_{ip} = \left(\frac{\sigma}{D} \right)^2$

비공정능력지수 C_{pp} 는 C_{pm}^* 의 변형으로 얻어지며, 기존의 정보로부터 공정의 평균에 관련되는 지수와 공정의 산포에 관련되는 지수로 분리됨으로써 보다 더 유용하게 이용될 수 있다. 여기서, C_{ia} 는 목표치로부터 공정평균의 벗어난 정도를 측정하며 공정의 부정확도를 나타내는 지수(inaccuracy index)라고 정의된다. 또한, C_{ip} 는 목표치에 대한 공정산포의 크기를 측정하며 공정의 부정밀도를 나타내는 지수(imprecisior index)라고 정의된다.

C_{pp} 는 동일한 정보를 가지고 C_{ia} 와 C_{ip} 로 분리됨으로써 공정변화의 원인을 파악하는데 있어서 관리자에게 좀 더 많은 정보를 제공해 주지만, 목표치가 규격중심이 일치하지 않는 $(USL - T) \neq (T - LSL)$ 인 경우에는 규격한계를 제대로 고려하지 못하고 적합한 공정(공정능력이 높은 공정)을 부적합한 공정(공정능력이 낮은 공정)으로 잘못 측정하는 단점이 있다.

3. 개선된 비공정능력지수

3.1 C_{pmk} 지수를 이용한 새로운 비공정능력지수

공정의 비공정능력(process incapability)을 측정하여 역(逆)으로 공정능력을 평가하고자 한 C_{pp} 가 많은 장점에도 불구하고 $(USL - T) \neq (T - LSL)$ 인 경우에 적합한 공정을 부적합한 공정으로 잘못 측정하는 단점을 가지고 있으므로, 본 논문에서는 기존 비공정능력지수 C_{pp} 의 단점을 보완하여 보다 정확하게 공정능력을 평가할 수 있는 C_{pmk}^* 를 제안하고자 한다.

개선된 비공정능력지수 C_{pmk}^* 는 C_{pmk} 를 이용하여 공정의 비공정능력(process incapability)을 측정하고 역(逆)으로 공정능력을 평가하고자 한 지수로서, $C_{pmk}^* = 0$ 일 때 가장 적합한 공정이 된다. 개선된 비공정능력지수 C_{pmk}^* 를 정의하면 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned}
 C_{pmk}^* &= \left(\frac{1}{C_{pmk}} \right)^2 \\
 &= \left(\frac{\tau}{D^*} \right)^2 \\
 &= \left(\frac{\mu - T}{D^*} \right)^2 + \left(\frac{\sigma}{D^*} \right)^2 \\
 &= C_{ia}^* + C_{ip}^*
 \end{aligned} \tag{7}$$

$$\text{단, } D^* = \min \left\{ \frac{USL - \mu}{3}, \frac{\mu - LSL}{3} \right\}, \quad C_{ia}^* = \left(\frac{\mu - T}{D^*} \right)^2, \quad C_{ip}^* = \left(\frac{\sigma}{D^*} \right)^2$$

개선된 비공정능력지수 C_{pmk}^* 는 C_{pmk} 의 변형으로 얻어지며, 기존의 정보로부터 공정의 평균에 관련되는 지수와 공정의 산포에 관련되는 지수로 분리됨으로써 보다 더 유용하게 이용될 수 있다. 여기서, C_{ia}^* 는 목표치로부터 공정평균의 벗어난 정도를 측정하며 공정의 부정확도를 나타내는 지수(inaccuracy index)라고 정의한다. 또한, C_{ip}^* 는 공정평균에 대한 공정산포의 크기를 측정하며 공정의 부정밀도를 나타내는 지수(imprecision index)라고 정의한다.

예를 들어 관리한계가 $USL = 16$, $LSL = 10$ 이고, $\mu = 13.50$, $\sigma = 0.87$ 인 적합한 공정(공정능력이 높은 공정)과 $\mu = 13.00$, $\sigma = 1.20$ 인 부적합한 공정(공정능력이 낮은

공정)에서 식 (7)을 이용하면, 적합한 공정은 $C_{pmk}^*(1.44) = C_{ia}^*(0.36) + C_{ip}^*(1.08)$ 의 값이 나오고, 부적합한 공정은 $C_{pmk}^*(1.44) = C_{ia}^*(0.00) + C_{ip}^*(1.44)$ 의 값이 나오게 된다. 즉, C_{pmk}^* 의 값이 서로 동일하더라도 C_{pmk}^* 를 구성하고 있는 2개의 부지수(subindex) C_{ia}^* 와 C_{ip}^* 를 각각의 기준과 비교해 봄으로써 적합한 공정과 부적합한 공정을 명확히 구별할 수 있으며, 공정능력을 정확히 평가할 수 있다.

또한 기존의 비공정능력지수 C_{pp} 는 $(USL - T) = (T - LSL)$ 인 경우에 공정능력의 합리적인 값을 찾아내지만, $(USL - T) \neq (T - LSL)$ 인 경우에는 규격한계를 제대로 고려하지 못하고 공정의 산포가 과대평가되어 적합한 공정을 부적합한 공정으로 잘못 측정하는 단점이 있다. 기존의 비공정능력지수 C_{pp} 에서 공정의 부정밀도를 나타내는 지수(imprecision index) C_{ip} 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 C_{ip} &= \left(\frac{\sigma}{D} \right)^2 \\
 &= \left[\sigma / \min \left(\frac{USL - T}{3}, \frac{T - LSL}{3} \right) \right]^2 \\
 &= \left[\frac{3\sigma}{\min(USL - T, T - LSL)} \right]^2 \tag{8}
 \end{aligned}$$

C_{ip} 는 목표치에 대한 공정산포의 크기를 평가하므로, 목표치가 규격중심에 일치하는 경우에는 공정산포의 크기를 정확히 평가할 수 있다. 그러나, 공정산포가 실제 규격한계에 만족하는 수준이라도 목표치와 규격중심이 일치하지 않는 경우에는 규격한계를 제대로 고려하지 못하고 공정산포가 과대평가되어 규격내 공정을 불량으로 잘못 판단하는 제1종과오(type I error)가 발생하게 된다.

반면에, 본 논문에서 제안한 개선된 비공정능력지수 C_{pmk}^* 에서 공정의 부정밀도를 나타내는 지수(imprecision index) C_{ip}^* 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 C_{ip}^* &= \left(\frac{\sigma}{D^*} \right)^2 \\
 &= \left[\sigma / \min \left(\frac{USL - \mu}{3}, \frac{\mu - LSL}{3} \right) \right]^2 \\
 &= \left[\frac{3\sigma}{\min(USL - \mu, \mu - LSL)} \right]^2 \tag{9}
 \end{aligned}$$

C_{ip}^* 는 공정평균에 대한 공정산포의 크기를 평가하므로, 공정산포의 크기뿐만 아니라 규격한계에 얼마나 적합한지 고려하게 된다. 따라서, C_{ip}^* 와는 달리 목표치와 규격중심이 일치하지 않는 경우에도 공정산포가 실제 규격한계를 고려하여 공정능력을 정확히 평가한다.

또한, 공정이 규격한계 내에 있다고 가정하면 C_{ip}^* 는 목표치의 치우침에 관계없이 항상 $0 < C_{ip}^* \leq 1$ 의 범위 값을 갖게 된다.

개선된 비공정능력지수 C_{pmk}^* 는 기존의 비공정능력지수 C_{pp} 와는 달리 목표치가 규격중심에 일치하는 $(USL - T) = (T - LSL)$ 인 경우뿐만 아니라, 목표치가 규격중심에 일치하지 않는 $(USL - T) \neq (T - LSL)$ 인 경우에도 적합한 공정과 부적합한 공정의 측정이 가능하며 더욱 정밀한 값을 제시해 준다. 그리고, C_{pmk}^* 는 기존의 공정능력지수에서 사용되는 동일한 정보를 가지고 C_{ia}^* 와 C_{ip}^* 로 분리됨으로써 공정평균의 변화와 공정산포의 변화를 각각 감지할 수 있어서 공정능력의 변화를 파악하는데 좀 더 정확한 값을 제공해 줄 뿐만 아니라, 동일한 정보를 세분화함으로써 품질관리자가 공정 변화의 원인을 좀 더 쉽게 찾아낼 수 있다.

3.2 모의실험

본 논문에서는 통계분석패키지 SAS Ver 6.04를 이용하여 모의실험을 하였다. SAS 프로그램은 임의의 공정평균 μ 와 편차 σ 를 주었을 때 기존 공정능력지수들과 C_{pmk}^* 를 구할 수 있게 하였고, 기존 공정능력지수들과 C_{pmk}^* 를 비교하여 C_{pmk}^* 의 판정기준을 마련하였다.

위의 SAS 프로그램으로 모의실험한 결과 $(USL - T) = (T - LSL)$ 일 때 C_{pmk}^* 의 판정기준은 다음 <표 1>과 같다.

< 표 1 > C_{pmk}^* 의 판정기준

| | | | |
|------------------------------|------------|-----------------------------|----------------------|
| $C_{ia}^* = 0$ | : 가장 좋은 공정 | $C_{ip}^* = 0$ | : 가장 좋음(실제공정에서는 불가능) |
| $0 < C_{ia}^* \leq 0.074$ | : 매우 만족 | $0 < C_{ip}^* \leq 0.36$ | : 매우 만족 |
| $0.074 < C_{ia}^* \leq 0.36$ | : 만족 | $0.36 < C_{ip}^* \leq 0.56$ | : 만족 |
| $0.36 < C_{ia}^* \leq 1.0$ | : 양호 | $0.56 < C_{ip}^* \leq 1.0$ | : 양호 |
| $1.0 < C_{ia}^*$ | : 공정능력 부족 | $1.0 < C_{ip}^*$ | : 공정능력 부족 |

$(USL - T) = (T - LSL)$ 인 경우에 공정의 부정확도를 나타내는 지수(inaccuracy index)의 C_{ia}^* 판정기준은 다음과 같다. $C_{ia}^* = 0$ 인 경우는 $\mu = T$ 인 경우로 목표치 T

로부터 공정평균 μ 의 차이로 인한 손실이 전혀 없음을 나타낸다. $0 < C_{ia}^* \leq 0.074$ 인 경우는 목표치 T 로부터 공정평균 μ 의 차이가 $\pm 0.25\sigma$ 범위 내에 있음을 나타낸다.

$0.074 < C_{ia}^* \leq 0.36$ 인 경우는 목표치 T 로부터 공정평균 μ 의 차이가 $\pm 0.25\sigma \sim \pm 0.5\sigma$ 범위 내에 있음을 나타낸다. $0.36 < C_{ia}^* \leq 1.0$ 인 경우는 목표치 T 로부터 공정평균 μ 의 차이가 $\pm 0.5\sigma \sim \pm 0.75\sigma$ 범위(25%) 내에 있음을 나타낸다. 즉, C_{ia}^* 가 1 이하의 값을 갖는다면 <표 1>과 같이 목표치에 대한 공정평균의 변화를 양호한 것으로 판정할 수 있다. 목표치 T 가 규격중심 m 과 일치하는 경우 즉, $(USL - T) = (T - LSL)$ 인 경우에 공정평균의 변화를 양호한 것으로 판정하는 C_{ia}^* 의 범위 값 ($C_{ia}^* \leq 1.0$)은 <그림 1>의 (1)과 같다. 여기서, $C_{ia}^* = 1$ 이 되는 점은 목표치 T 를 기준으로 좌우대칭이 된다.

목표치 T 가 규격중심 m 과 일치하지 않는 경우 즉, $(USL - T) \neq (T - LSL)$ 인 경우에 $C_{ia}^* \leq 1.0$ 은 주어진 목표치 T 가 규격중심 m 의 $\pm 1\sigma, \pm 1.5\sigma, \pm 2\sigma$ 에 위치할 때 목표치 T 로부터 공정평균 μ 의 차이가 각각 1.5σ 범위(25%), 1.125σ 범위(18.75%), 0.75σ 범위(12.5%) 내에 있음을 판단할 수 있다. 이 범위 값은 <그림 2>의 (2), (3), (4), (5)와 같이 목표치가 관리한계선으로 가까워질수록 산포를 고려하여 범위 값이 합리적으로 감소하는 것을 보여준다. 여기서, $C_{ia}^* = 1$ 이 되는 점은 목표치 T 가 규격중심 m 과 일치하지 않기 때문에 목표치 T 를 기준으로 좌우비대칭이 된다.

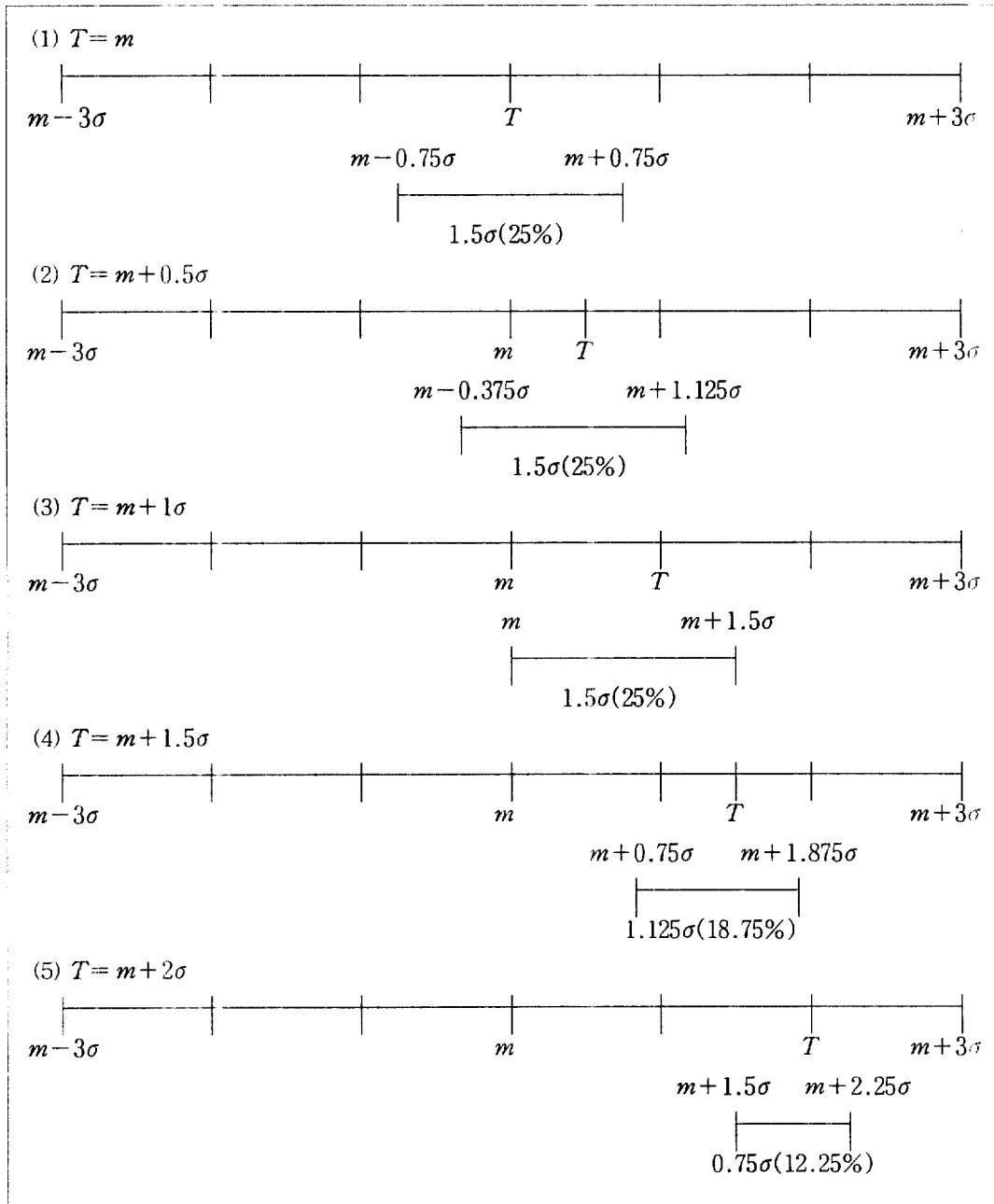
공정의 부정밀도를 나타내는 지수(imprecision index) C_{ip}^* 의 판정기준은 목표치 T 의 치우침에 관계없이 다음과 같다. $C_{ip}^* = 0$ 인 경우는 공정의 산포가 전혀 없는 경우로 실제 공정에서는 불가능하다. $0 < C_{ip}^* \leq 0.36$ 인 경우는 규격한계의 폭이 10σ 일 때 공정의 산포가 6σ 범위 내에 있음을 나타낸다. $0.36 < C_{ip}^* \leq 0.56$ 인 경우는 규격한계의 폭이 8σ 일 때 공정의 산포가 6σ 범위 내에 있음을 나타낸다. $0.56 < C_{ip}^* \leq 1.0$ 인 경우는 규격한계의 폭이 6σ 일 때 공정의 산포가 6σ 범위 내에 있음을 나타낸다 [Behara *et al.*, 1995].

4. 수치 예제

기존의 공정능력지수와 비교하기 위하여 Kane(1986)과 Chan *et al.*(1988) 그리고 Pearn *et al.*(1992) 등이 사용한 예를 응용하여 사용하였다.

첫번째 예는 목표치 T 가 규격중심 m 과 일치하는 $(USL - T) = (T - LSL)$ 인 경우로 $USL = 16, LSL = 10, T = 13$ 이다. 여기서, 공정평균 μ 는 목표치 T 로부터 0.5씩 증가시켰고, 공정평균을 13, 13.5, 14로 변화시켰을 때 규격한계에 일치하도록 공정산

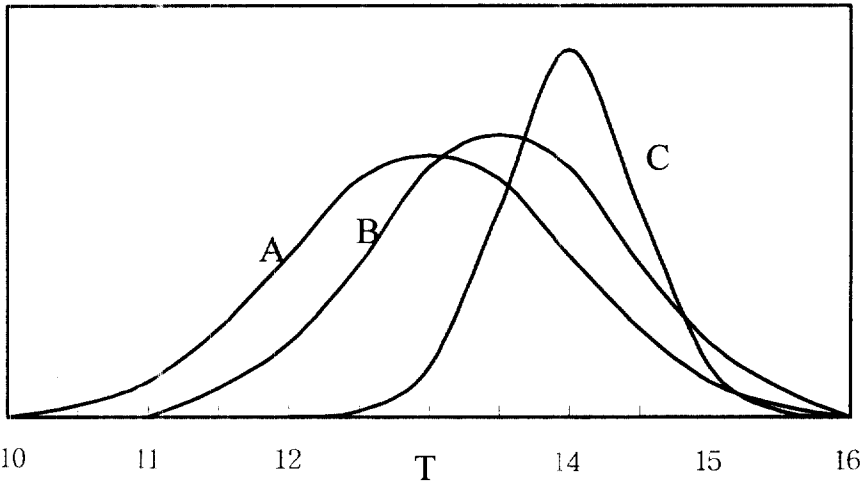
또 σ 를 1, 0.83, 0.67로 구하여 나타냈다. SAS 프로그램에 의해 분석한 결과는 <표 2>와 같다.



< 그림 1 > 양호한 공정 평균의 변화를 나타내는 부정확지수 C_{ia}^* 의 범위 ($C_{ia}^* \leq 1.0$)

< 표 2 > 목표치가 규격중심에 일치하는 경우의 공정능력지수의 비교

| | μ | σ | C_p | C_{pk} | C_{pm} | C_{pm}^* | C_{pmk} | C_{pp} | C_{ia} | C_{ip} | C_{pmk}^* | C_{ia}^* | C_{ip}^* |
|---|-------|----------|-------|----------|----------|------------|-----------|----------|----------|----------|-------------|------------|------------|
| A | 13.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 1.00 |
| B | 13.50 | 0.83 | 1.20 | 1.00 | 1.03 | 1.03 | 0.86 | 0.94 | 0.25 | 0.69 | 1.36 | 0.36 | 1.00 |
| C | 14.00 | 0.67 | 1.50 | 1.00 | 0.83 | 0.83 | 0.55 | 1.44 | 1.00 | 0.44 | 3.25 | 2.25 | 1.00 |



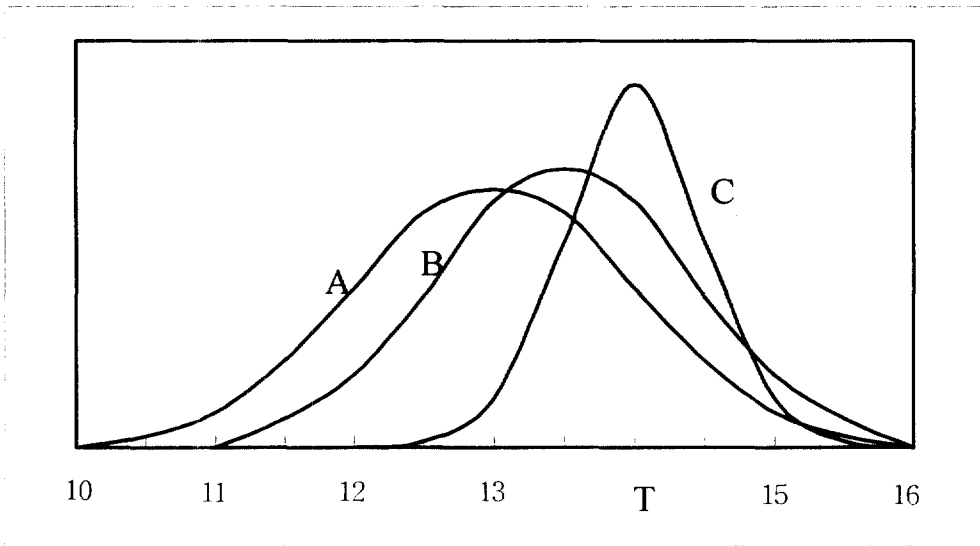
< 그림 2 > $(USL - T) = (T - LSL)$ 인 경우의 공정의 분포

목표치가 규격의 중심과 같은 경우로, C_{pmk}^* 는 1.5σ (25%)범위 내에서 목표치로부터 공정평균의 차이에 따른 합리적인 C_{ia}^* 와 규격한계를 고려한 공정산포의 합리적인 C_{ip}^* 를 제시하고 있다. A, B, C 공정에서 C_{ip}^* 는 모두 규격에 일치하는 공정산포를 가지고 있으므로 동일한 값으로 나타나지만, 각 공정의 차이는 C_{ia}^* 를 동시에 고려함으로써 구별할 수 있다. 즉, 공정이 규격한계 내에 있을 때 C_{ip}^* 는 $0 < C_{ip}^* \leq 1$ 의 범위 값을 갖게 되므로 C_{ip}^* 가 1 이하의 값을 갖는다면 공정이 규격한계 내에 있다는 것을 알 수 있고 A, B, C 공정과 같이 세 공정에서 동일한 C_{ip}^* 가 나타날 때 C_{ia}^* 를 동시에 고려하여 A공정이 공정능력이 보다 높다는 것을 판정할 수 있다. 기존의 비공정능력지수 C_{pp} 는 2σ (33.3%)범위 내에서 목표치에 대한 공정평균의 차이에 따른 합리적인 C_{ia} 를 제시하고 있으며, 목표치가 규격중심에 일치하는 경우에는 규격한계를 고려하여 공정산포의 합리적인 C_{ip} 를 제시하고 있다.

두번째 예는 목표치 T 가 규격 중심 m 과 일치하지 않는 ($USL - T$) \neq ($T - LSL$)인 경우로 $USL = 16$, $LSL = 10$, $T = 14$ 이다. 여기서, SAS 프로그램에 의해 분석한 결과는 <표 3>과 같다.

< 표 3 > 목표치가 규격중심에 일치하지 않는 경우의 공정능력지수의 비교

| | μ | σ | C_{pm}^* | C_{pmk} | C_{pp} | C_{ia} | C_{ip} | C_{pmk}^* | C_{ia}^* | C_{ip}^* |
|---|-------|----------|------------|-----------|----------|----------|----------|-------------|------------|------------|
| A | 13.00 | 1.00 | 0.47 | 0.71 | 4.50 | 2.25 | 2.25 | 2.00 | 1.00 | 1.00 |
| B | 13.50 | 0.83 | 0.69 | 0.86 | 2.12 | 0.56 | 1.56 | 1.36 | 0.36 | 1.00 |
| C | 14.00 | 0.67 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 1.00 |



< 그림 3 > ($USL - T$) \neq ($T - LSL$)인 경우의 공정의 분포

목표치 $T = 14$ 인 경우로, C_{pmk}^* 는 1.5σ (25%)범위 내에서 목표치로부터 공정평균의 차이에 따른 합리적인 C_{ia}^* 와 규격한계를 고려한 공정산포의 합리적인 C_{ip}^* 를 제시하고 있다. A, B, C 공정과 같이 세 공정에서 동일한 C_{ip}^* 가 나타날 때 C_{ia}^* 를 동시에 고려하여 C 공정이 공정능력이 보다 높다는 것을 판정할 수 있다.

기존의 비공정능력지수 C_{pp} 는 1.35σ (22.5%)범위 내에서 합리적인 C_{ia} 를 제시하고 있으나, C_{ip} 에 있어서는 목표치에 대한 공정산포의 크기를 평가하므로, 목표치가 치우침이 있는 경우에 규격한계를 제대로 고려하지 못하고 C_{ip} 가 과대평가되어 규격내 공정을 불량으로 잘못 판단하는 제1종과오(type I error)가 발생하게 된다. 두번째 예

제에서 A와 B공정은 규격을 만족하는 공정산포의 크기를 가지고 있으나, 목표치 14를 기준으로 공정산포가 비교됨으로써 실제 공정산포가 규격 내에 있더라도 C_{ip} 값이 2.25와 1.56으로 과대평가되어 공정산포가 규격을 벗어난 것으로 잘못 측정되고 있다.

5. 결론

목표치의 치우침에 관계없이 공정능력을 정확하게 평가할 수 있는 개선된 비공정능력지수 C_{pmk}^* 의 장점을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 기존의 공정능력지수에서 이용하는 동일한 정보를 가지고 각각 평균과 산포에 관련되는 부정확지수(inaccuracy index) C_{ia}^* 와 부정밀지수(imprecision index) C_{ip}^* 로 분리할 수 있다. 이를 부지수(subindex)를 이용하여 적합한 공정과 부적합한 공정의 구별이 어려운 공정능력지수 C_{pmk} 의 단점을 보완할 수 있다.

둘째, 부정밀지수(imprecision index) C_{ip}^* 에서 목표치의 치우침에 관계없이 규격한계가 고려됨으로써 공정평균의 변화에 따라 공정산포에 대한 합리적인 값이 제시된다. 목표치가 규격중심에 일치하지 않는 경우에 부정밀지수가 과대평가되는 비공정능력지수 C_{pp} 의 단점을 보완할 수 있다.

결론적으로, C_{pmk}^* 는 공정의 민감한 변화에도 영향을 받는 정밀한 공정이나 일반적인 제조공정이라도 공정변화에 따라 비용의 차이가 많이 발생하는 공정 등에 적용하면 다른 공정능력지수의 이용 때보다 공정능력을 정확히 평가할 수 있고, C_{pmk}^* 의 부지수(subindex)인 부정확지수(inaccuracy index) C_{ia}^* 와 부정밀지수(imprecision index) C_{ip}^* 를 이용하여 공정변화의 원인이 어디에 있는지 쉽게 찾아낼 수 있어서 품질관리자로 하여금 필요한 조치(action)를 빠르게 취할 수 있게 한다.

참고문헌

- [1] 박성현(1993), 「나구찌방법과 통계적 공정관리를 중심으로 한 품질공학」, 민영사.
- [2] 배도선(1992), 「최신 통계적 품질관리」, 영지문화사.
- [3] 황의철(1992), 「품질경영」, 박영사.
- [4] 강창욱(1992), “평균과 분산의 변화를 체크할 수 있는 EWMA관리도,” 「한양대학교 생산공학논문집」, Vol. 1, No. 1, pp. 153-160.
- [5] 김성집, 안광일(1995), “생산성 향상을 위한 합리적인 Target Value 결정에 관한 연구,” 「한국경영과학회 추계학술대회 발표논문집」, p. 87.

- [6] Behara, R.S., Fontenot, G.F., and Gresham, A.(1995), "Customer satisfaction measurement and analysis using six sigma," *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 12, No. 3, pp. 9-18.
- [7] Boyles, R.A.(1991), "The Taguchi Capability Index," *Journal of Quality Technology*, Vol. 23, No. 1. pp. 17-26.
- [8] Chan, L.A., Cheng, S.W., and Spiring, F.A.(1988), "A New Measure of Process Capability: C_{pm} ," *Journal of Quality Technology*, Vol. 20, No. 3, pp. 162-175.
- [9] Greenwich, M. and Jahr-Schaffrath, B.L.(1995), "A Process Incapability Index." *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 12, No. 4, pp. 58-71.
- [10] Johnson, T.(1992), "The Relationship of to Squared Error Loss," *Journal of Quality Technology*, Vol. 24, No. 4, pp. 211-215.
- [11] Kane, V.E.(1986), "Process Capability Indices," *Journal of Quality Technology*, Vol. 18, No. 1. pp. 41-52.
- [12] Kushler, R.H. and Hurley, P.(1992), "Confidence Bounds for Capability Indices" *Journal of Quality Technology*, Vol. 24, No. 4, pp. 188-195.
- [13] Pearn, W.L., Kotz, S., and Johnson, N.L.(1992), "Distributional and Inferential Properties of Process Capability Indices," *Journal of Quality Technology*, Vol. 24, No. 4, pp. 216-231.
- [14] Rodriguez, R.N.(1992), "Recent Developments in Process Capability Analysis." *Journal of Quality Technology*, Vol. 24, No. 4, pp. 176-187.
- [15] Spiring, F.A.(1991), "Assessing Process Capability in the Presence of Systematic Assignable Cause," *Journal of Quality Technology*, Vol. 23, No. 2, pp. 125-134.