

☒ 응용논문

비공정능력지수의 측도에 관한연구 - A Measure of Process Incapability Index -

김 진수*
Kim, Jin Soo
김 홍준**
Kim, Hong Jun
송 서일***
Song, Suh Ill

Abstract

A simple transformation of the C_{pm}^* , C_{pp} can be regard as a process incapability index, provides an uncontaminated separation between information concerning the process accuracy and precision while this kind of information separation is not available with the C_{pm}^* .

Recently, Kyung-seok Shin et. al. introduced an improved process incapability index C_{pmk}^* by the transformation of the C_{pmk} .

Accordingly, in this article process incapability index C_{psk}^* will be proposed by the transformation of the C_{psk} . The motivation behind introduction of C_{psk}^* is that C_{psk} has failed to overcome is that it cannot distinguish process of high conforming output proportions from those of low conforming output proportions. Process incapability index C_{psk}^* can identify a difference between two things by comparison on C_{psk} and C_{psk}^* .

I. 서론

공정능력지수 사용의 주목적은 미리 설정된 규격과 공정의 제품이 얼마나 잘 일치하는가를 결정하는 것이다. 이러한 공정능력지수는 통계적으로 관리된 공정의 성질을 비교할 수 있어 공정의 잠재력과 성능의 단위없는 측도로 사용되어 왔다.

그리고 공정능력지수를 사용함으로써 품질목표의 설정과 정보소통을 훨씬 단순화시키기 때문에 산업체에 폭넓게 확대 사용되어지고 있다. 이러한 공정능력지수들은 다음과 같은 가정하에서 개발되어 왔기 때문에 사용상 주의할 필요가 있다.

*대전산업대학교 산업공학과

**대구산업정보대학 산업안전과

***동아대학교 산업공학과

- ① 공정은 관리상태이다.
- ② 목표치는 규격의 중심이다.
- ③ 공정은 정규분포 한다.

Greenwich 와 Johr-Schaffrath (1995)는 현 공정능력지수들이 갖는 결점을 개선하기 위해서 C_{pm}^* 를 이용하여 역으로 공정의 비공정능력을 나타내는 비공정능력지수(process incapability index) C_{pp} 를 제안하였고, 그 후 신경석(1996)등은 C_{pmk} 를 이용한 새로운 비공정능력지수 C_{pmk}^* 를 제안하였다.

정규공정에 있어서 제 4세대 공정능력지수 C_{psk} 는 목표치로부터 벗어남에 대한 여분의 손실로서 분자에 인자 $|\mu - T|$ 를 도입함으로써, C_{pmk} 로 부터 유도되었다.

그러나 C_{psk} 는 C_{pmk} 와 동일하게 불량률이 높은 공정과 낮은 공정을 식별하지 못하는 결점을 지니고 있다.

따라서 현공정능력지수들은 정규공정에 대해서 정확한 공정능력을 반영시키지 못하는 약점을 지니기 때문에, 본 연구에서는 새로운 비공정능력지수 C_{psk}^* 를 제안하여 사례를 통해 정규공정에서의 공정능력지수와 비공정능력지수를 비교하므로서 C_{psk}^* 가 공정의 비공정능력을 올바르게 평가할 수 있는 새로운 측도임을 확인하고자 한다.

II. 공정능력지수

2.1 정규공정의 공정능력지수

정규공정에서 사용되고 있는 현 공정능력지수들을 식으로 정리하면 식(2.1)~식(2.6)과 같다.

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \tag{2.1}$$

$$C_{pk} = \min\left(\frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma}\right) = \min(C_{pu}, C_{pl}) \tag{2.2}$$

$$C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \tag{2.3}$$

$$C_{pm}^* = \frac{\min(USL - T, T - LSL)}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \tag{2.4}$$

$$C_{pmk} = \frac{\min(USL - \mu, \mu - LSL)}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \tag{2.5}$$

$$C_{psk} = \frac{\min(USL - \mu - |\mu - T|, \mu - LSL - |\mu - T|)}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \tag{2.6}$$

여기서 μ 는 공정의 평균, σ^2 은 공정의 분산, USL, LSL 및 T 는 각각 공정의 규격 상한치, 규격 하한치 및 목표치를 나타낸다.

산업체에서 사용되고 있는 제 1·2세대 공정능력지수들은 전통적 6 σ 개념을 기초로 한다. 이러한 지수들은 C_p, C_{pk} (Kane(1986)), C_{pm} 과 C_{pm}^* (Chan *et al.* (1988))으로 부터 정의 되었고 Pearn, Kotz, Johnson(1992)은 제 3세대 공정능력지수 C_{pmk} 를 제안하였으며, C_{pmk} 지수는 Choi와 Owen (1990)에 의해 제안된 C_{pm} 지수와 동일하다.

제 4세대 공정능력 지수인 C_{pk} 가 도입된 동기는 $T \neq M$ 인 경우, 공정이 목표치로 부터 변화할 때, 방향에 관계없이 실행 될 수 있기 때문이다[2].

그리고 불량률 P 와 관련되는 공정능력지수인 C_{pl} , C_{pu} , C_{pk} 및 C_p 와의 관계를 언급한다. 여기서 공정분포 X 는 평균 μ 와 표준편차 σ 를 갖는 정규분포 한다고 가정하고, P_L 과 P_U 는 불량품의 하한과 상한으로 둔다.

(1) P 와 C_{pl} 의 관계

하한규격치의 경우에 P_L 은 $P_L = P(X \leq LSL)$ 로 정의 된다. X 를 표준화 시키면

$$P_L = \Phi\left(\frac{LSL - \mu}{\sigma}\right)$$

여기서, $\Phi(X)$ 는 표준화 정규분포 $U(0, 1)$ 의 누적분포함수이다. 식(2.2)에서

$$P_L = \Phi(-3C_{pl})$$

역 누적분포함수로 나타내면 식(2.7)으로 된다.

$$C_{pl} = -\frac{1}{3} \Phi^{-1}(P_L) \tag{2.7}$$

(2) P 와 C_{pu} 의 관계

상한규격치의 경우에 P_U 은 $P_U = P(X \geq USL) = 1 - P(X \leq USL)$ 로 정의된다. X 를 표준화 시키면

$$P_U = 1 - \Phi\left(\frac{USL - \mu}{\sigma}\right)$$

식(2.2)에서

$$P_U = 1 - \Phi(3C_{pu})$$

역 누적분포함수로 나타내면 식(2.8)이 된다.

$$C_{pu} = \frac{1}{3} \Phi^{-1}(1 - P_U) \tag{2.8}$$

(3) P 와 C_p 의 관계

P_L 은 $P_L = \Phi\left(\frac{LSL - \mu}{\sigma}\right)$ 로 정의되기 때문에 식(2.9)으로 변환시킬 수 있다.

$$\frac{LSL - \mu}{\sigma} = \Phi^{-1}(P_L) \tag{2.9}$$

동일하게 $1 - P_U = \Phi[(USL - \mu)/\sigma]$ 로 주어지면, 식 (2.10)으로 변환시킬 수 있다.

$$\frac{USL - \mu}{\sigma} = \Phi^{-1}(1 - P_U) \tag{2.10}$$

식(2.10)에서 식(2.9)를 빼서 6으로 나누면 식(2.11)이 된다.

$$C_p = 1/6 [\Phi^{-1}(1 - P_U) - \Phi^{-1}(P_L)] \tag{2.11}$$

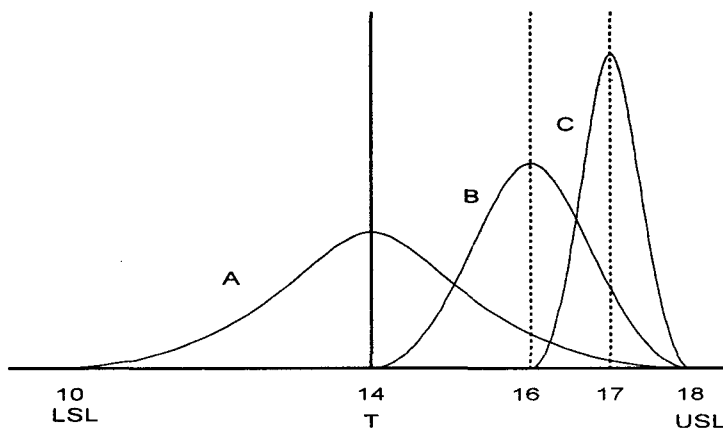
(4) P 와 C_{pk} 의 관계

C_{pk} 는 식(2.2)으로 정의되기 때문에, C_{pk} 는 식(2.12)로 나타낼 수 있다.

$$C_{pk} = 1/3 \min[-\Phi^{-1}(P_L), \Phi^{-1}(1 - P_U)] \tag{2.12}$$

2.2 공정능력지수의 약점

C_p 지수의 큰 결점은 공정의 평균을 고려하지 않고 실제 공정산포로 잠재능력을 측정한다. 따라서, C_p 는 실제 공정 성과를 나타내질 못한다. 이 지수는 규격내 제품을 생산하는 공정능력이 갖는 공정평균이 변하는 영향을 반영하지 못하기 때문에 식(2.2)와 같은 C_{pk} 지수가 개발되었다. 그러나 C_{pk} 지수가 갖는 결점은 Pearn et al. (1992)이 제시한 <그림 1>과 같은 $C_{pk}=1$ 인 3가지 정규모집단에 관한 지수 값이 나타난 <표 1>를 보면 쉽게 알 수 있다.



<그림 1> $C_{pk}=1$ 인 3가지 정규모집단의 예(목표치가 규격의 중심에 위치할 때)

< 표 1> $C_{pk}=1$ 인 3가지 정규모집단의 공정능력지수 계산

공정	μ	σ	C_p	C_{pk}	C_{pm}	C_{pm}^*	C_{pmk}	C_{psk}
A	14.00	1.33	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
B	16.00	0.67	2.00	1.00	0.63	0.63	0.32	0
C	17.00	0.33	4.04	1.00	0.44	0.44	0.11	0

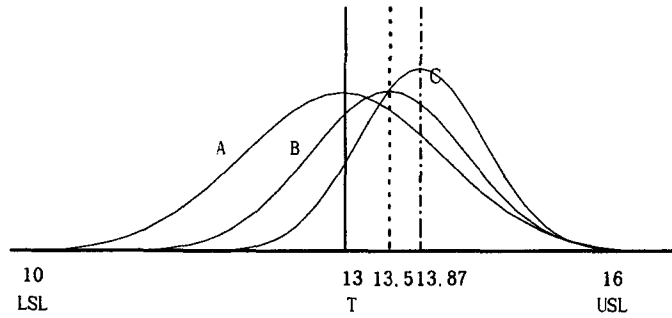
<표 1>에서 알 수 있듯이 C_p 는 목표치의 민감도를 전혀 감지하지 못하고, C_{pk} 는 공정이 목표치에 위치했을 때와 벗어났을 때의 공정차이를 잘못 식별하고 있다. 그래서 목표치로부터 공정의 벗어남에 대한 여분의 손실을 반영시키는 지수인 C_{pm} 이 식(2.3)과 같이 제안되었다.

식(2.3)은 식(2.13)으로 변환시킬 수 있다.

$$C_{pm} = \frac{C_p}{\sqrt{1 + \left(\frac{\mu - T}{\sigma}\right)^2}} \tag{2.13}$$

C_{pm} 지수값은 A, B, C 공정이 각각 1.00, 0.63, 0.44로 나타나 A, B, C공정의 순으로 공정능력이 낮음을 알 수 있다. 따라서 공정이 목표치로부터 벗어남을 감지하는 감도는 ① C_p , ② C_{pk} , ③ C_{pm} , ④ C_{pm}^* , ⑤ C_{pmk} , ⑥ C_{psk} 순으로 좋을 수 있다. 또한 C_{pm} 지수가 갖는 결점은 Pearn et al. (1992)이 제시한 <그림 2>와 같은 정규 모집단의 $C_{pm}=1$ 인 서로 상이한 공정으로

목표치가 규격의 중심에 위치할 때의 공정능력지수 값이 나타난 <표 2>를 보면 알 수 있다.



<그림 2> $C_{pm} = 1$ 인 3가지 정규모집단의 예(목표치가 규격의 중심에 위치할 때)

<표 2> $C_{pm} = 1$ 인 3가지 정규모집단들의 공정능력지수 값

공정	μ	σ	C_p	C_{pk}	C_{pm}	C_{pm}^*	C_{pmk}	C_{psk}
A	13.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
B	13.50	0.87	1.15	0.96	1.00	1.00	0.83	0.66
C	13.87	0.50	2.00	1.42	1.00	1.00	0.71	0.42

<표 2>에서 알 수 있듯이 C_{pm} 은 공정이 목표치에 위치 할 때와 목표치를 벗어날 때를 식별하지 못한다. 즉 공정평균이 목표치로 부터 크게 벗어날수록 ($|\mu - T| > D$) 지수값은 적어져야 되지만 동일한 결과를 보여주고 있다.

여기서 $D = \min[(USL - T)/3, (T - LSL)/3]$ C_{pk} 보다 C_{pm} 이 선호되는 것은 그 해석이 쉽다는 것이다. C_{pk} 는 하나의 측도에서 위치와 분산의 영향이 복합되어 있는 반면, C_{pm} 은 공정능력에 관한 공정 중심화의 영향을 결정하는데 명확한 기준을 제시한다. 예를 들면, " C_{pm} 이 1이라는 것은 공정평균은 규격중심에서 3σ 규격범위내에 있다는 것을 의미하고, $C_{pm} = \frac{4}{3}$ 라는 것은 공정평균이 규격중심에서 4σ 규격 범위내에 있다는 것을 의미한다"[1].

그리고 목표치가 규격중심을 벗어나는 경우를 고려하여 C_{pm}^* 를 개발하였다.

C_p, C_{pk}, C_{pm} 이 갖는 지수의 결점을 개선하기 위하여 C_p 를 수정하여 만든 C_{pk} 와 C_{pm} 를 합성하여 제 3세대 공정능력지수인 C_{pmk} 가 식(2.5)과 같이 제안되었다.

식(2.5)는 식(2.14)로 변환시킬 수 있다.

$$C_{pmk} = \frac{C_{pk}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\mu - T}{\sigma}\right)^2}} \tag{2.14}$$

목표치로 부터 공정평균의 미세한 변화를 검출하는데 사용되고 있는 C_{pmk} 의 약점은 불량률이 낮은 공정을 식별하지 못한다. 예를들면 동일한 $C_{pmk} = 0.83$ 인 B공정은 불량률이 낮은 반

면, $N(13, 1.20)$ 인 공정은 불량률이 높다. A, B, C공정의 C_{pmk} 값은 1.00, 0.83, 0.71로 A, B, C공정의 순으로 공정능력이 낮음을 나타내지만, 실제 불량률은 A, B, C공정의 순으로 낮아 오히려 A, B, C공정의 순으로 공정능력이 높음을 알 수 있다.

C_{pmk} 에서 목표치로 부터 공정의 벗어남에 대한 여분의 손실로서 분자에 $|\mu - T|$ 를 도입하여 제 4세대 공정능력지수인 C_{psk} 가 식(2.6)과 같이 제안되었다.

C_{psk} 가 도입된 동기는 2.1절에서 언급하였듯이 공정이 목표치로 부터 변화할 때, 방향에 관계없이 실행하는 것이다. 예를들면 $USL = 58, LSL = 26$, 공정평균이 46과 54이고, $\sigma = 1.93$ 를 갖는 A, B공정의 경우 C_{pm} 은 A, B공정 다같이 1.2이나 A공정의 C_{pmk} 와 C_{psk} 는 0.9 및 0.60이고, B공정의 C_{pmk} 와 C_{psk} 는 0.3 및 0이다. 목표치로 부터 동일하게 벗어난 공정이라 하더라도 A공정은 규격치를 만족하고, B공정은 규격상한을 만족시키지 못한다.

이러한 문제를 해결하기 위해서 C_{psk} 를 제시하며 규격상한을 벗어난 B공정의 C_{psk} 는 0임을 알 수 있으며, 대칭과 비대칭 허용차 2가지 모두 사용할 수 있다.

<표 2>에서도 <표 1>과 동일하게 공정이 목표치로 부터 벗어남을 감지하는 감도는 ① C_p , ② C_{pk} , ③ C_{pm} , ④ C_{pm}^* , ⑤ C_{pmk} , ⑥ C_{psk} 순으로 좋음을 알 수 있다. <표 1>과 <표 2>에서 알 수 있듯이 공정이 목표치로 부터 벗어남을 감지하는 감도는 C_{psk} 가 C_{pmk} 보다 훨씬 민감하여 <표 1>에서 B, C공정의 C_{psk} 는 공정능력이 있는 공정인데도 모두 0으로 나타난다. 이와같이 C_{psk} 는 C_{pmk} 와 마찬가지로 불량률이 높은 공정과 낮은공정을 식별하지 못하는 결점을 지니고 있다.

III. 비공정 능력지수

1. C_{pp}

Greenwich 와 Jahr-Schaffrath(1995)는 C_{pm}^* 를 변환시켜 비공정능력지수 C_{pp} 를 식(3.1)과 같이 제안하였다.

$$\begin{aligned} C_{pp} &= \left(\frac{1}{C_{pm}^*}\right)^2 \\ &= \left(\frac{\tau}{D}\right)^2 \\ &= \left(\frac{\mu - T}{D}\right)^2 + \left(\frac{\sigma}{D}\right)^2 \\ &= C_{ia} + C_{ip} \end{aligned} \tag{3.1}$$

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

$$C_{ia} = \left(\frac{\mu - T}{D}\right)^2, \quad C_{ip} = \left(\frac{\sigma}{D}\right)^2$$

C_{pp} 와 C_{pm}^* 의 차이는 C_{pp} 는 식(3.1)에서 알 수 있듯이 공정의 비공정능력(Process incapability)를 나타내는 지수로 공정평균이 목표치로 부터 벗어남을 반영시키는 공정부정확도

지수 (process inaccuracy index) C_{ia} 와 공정변동의 크기를 나타내는 공정 부정밀도 지수 (process imprecision index) C_{ip} 로 정보를 분리하여 제시하고 있는 반면, C_{pm}^* 는 이러한 정보분리가 되질 않고 공정 정확도 측면에서 공정능력을 평가하는 공정능력지수 이다.

C_{pp} 는 이와 같이 C_{ia} 와 C_{ip} 로 분리됨으로써 공정능력 평가에 보다 구체적인 정보를 제시하는 장점이 있는 반면, 목표치가 규격중심에 위치하지 않을 때, 공정평균이 목표치로부터 벗어남에 대해 과대 평가되어 공정능력이 높은 공정을 반대로 낮은 공정으로 잘못 식별되는 단점을 지니고 있다.

C_{pp} 값은 공정능력이 낮은 공정은 보다 큰 값을 갖고, 공정능력이 높은 공정은 보다 작은 값을 갖는다. 공정능력이 매우 높을 때의 $C_{pp}=0$ 이다. 이값은 $\mu = T, \sigma^2 = 0$ 일때이다. 그리고 상기 C_{ia} 와 C_{ip} 2가지 부지수를 사용하여 동일한 공정능력지수 값을 나타내는 상이한 공정들을 구분하는 측도로 공정의 양품률(conforming output proportions)를 식(3.2)와같이 계산함으로써 공정능력을 평가 할 수 있다[6].

$$C_{cop} = \frac{3\sqrt{C_{ip}}}{3 - \sqrt{C_{ia}}} \tag{3.2}$$

$C_{cop} \leq 1$ 이면, 공정은 적어도 99.73%의 양품률을 갖는다.

$C_{cop} = 0.75$ 이면 양품률은 99.73%보다 커져서 공정능력이 높은 공정임을 알 수 있다.

2. C_{pmk}^*

C_{pp} 의 단점을 보완하기 위하여 C_{pmk} 를 사용하여 공정의 비공정능력을 나타내는 측도로 식 (3.3)와 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned} C_{pmk}^* &= \left(\frac{1}{C_{pmk}}\right)^2 \\ &= \left(\frac{\tau}{D^*}\right)^2 \\ &= \left(\frac{\mu - T}{D^*}\right)^2 + \left(\frac{\sigma}{D^*}\right)^2 \\ &= C_{ia}^* + C_{ip} \end{aligned} \tag{3.3}$$

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

여기서, C_{ia}^* 는 공정 부정확도 지수이고, C_{ip}^* 는 공정 부정밀도 지수이다.

종래의 C_{pp} 는 목표치가 규격중심을 벗어나는 경우에 C_{ia} 와 C_{ip} 값은 목표치와 규격과를 고려하기 때문에 공정평균이 목표치로 부터 벗어남에 대한 변화를 민감하게 작용함으로써 큰 값이 발생되어 공정능력을 정확히 평가할 수 없는 단점이 있으나, 개선된 C_{pmk}^* 는 공정평균과 규격과를 고려하기 때문에 목표치가 규격중심을 벗어나는 경우에도 C_{ia}^* 와 C_{ip}^* 값은 C_{ia} 와 C_{ip} 값보다 매우 적은 값을 갖게된다.

따라서 공정이 규격을 만족하고 있으면 C_{ia}^* 와 C_{ip}^* 값은 1을 크게 벗어나지 않는다. 그러므로 C_{pmk}^* 는 목표치가 규격중심에 위치 할 때와 벗어날 때 모두 적용할 수 있어 C_{pp} 보다 정확하게 공정능력을 평가할 수 있다. 그러나, C_{pmk}^* 는 공정평균과 목표치를 고려하지 못해 C_{ip}^* 값이 잘못 계산되어 짐으로써 공정변화에 대한 올바른 정보를 제시하질 못하게 된다.

3. C_{psk}^*

C_{psk}^* 의 단점을 보완하기 위해서 C_{psk} 를 사용하여 공정의 비공정능력을 나타내는 측도를 식 (3.4)와 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned}
 C_{psk}^* &= \left(\frac{1}{C_{psk}}\right)^2 \\
 &= \left\{\frac{\tau}{(D^*)}\right\}^2 \\
 &= \left\{\frac{\mu - T}{(D^*)}\right\}^2 + \left\{\frac{\sigma}{(D^*)}\right\}^2 \\
 &= C_{(ia)}^* + C_{(ip)}^* \tag{3.4}
 \end{aligned}$$

단, $(D^*) = \min\left\{\frac{USL - \mu - |\mu - T|}{3}, \frac{\mu - LSL - |\mu - T|}{3}\right\}$,

$C_{(ia)}^* = \left\{\frac{\mu - T}{(D^*)}\right\}^2$, $C_{(ip)}^* = \left\{\frac{\sigma}{(D^*)}\right\}^2$

여기서, $C_{(ia)}^*$ 는 공정 부정확도 지수이고, $C_{(ip)}^*$ 는 공정 부정밀도 지수이다. C_{psk}^* 는 공정평균과 목표치와의 차를 반영시키지 못하는 단점을 지니고 있어 공정평균이 목표치로 부터 벗어남에 대한 여분의 손실을 고려 함으로써 보다 공정변화에 대해 가장 올바르게 공정의 비공정능력을 제시 할 수 있는 진보된 새로운 측도라 판단된다.

IV. 공정능력지수와 비공정능력지수의 비교분석 및 고찰

1. 목표치가 규격중심에 위치하는 경우

Pearn et al. (1992)이 제시한 목표치가 규격의 중심에 위치할 때의 $C_{pm} = 1$ 인 3가지 정규모집단의 예에서 공정능력지수와 비공정능력지수 계산의 결과를 정리하여 <표 3>과 같이 나타냈다.

<표 3> $C_{pm} = 1$ 인 목표치가 규격중심에 위치할 때의 3가지 정규모집단들의 공정능력지수와 비공정능력지수 값

지수	C_{pm}^*	C_{pp}	C_{ia}	C_{ip}	C_{cop}	C_{pm}	C_{pm}^*	C_{ia}^*	C_{ip}^*	C_{cop}	C_{psk}	C_{psk}^*	$C_{(ia)}^*$	$C_{(ip)}^*$	C_{cop}
A	1.00	1.00	0	1.00	1.00	1.00	1.00	0	1.00	1.00	1.00	1.00	0	1.00	1.00
B	1.00	1.00	0.25	0.75	1.04	0.83	1.46	0.36	1.10	1.31	0.66	2.26	0.56	1.70	1.73
C	1.00	1.00	0.75	0.25	0.70	0.71	2.00	1.50	0.50	1.19	0.42	5.71	4.29	1.42	3.85

<표 3>에서 알 수 있듯이 비공정능력지수 C_{pp} 는 공정능력지수 C_{pm}^* 이 갖지 못하는 공정평균이 목표치로 부터 벗어남을 반영시키는 공정부정확도 지수 C_{ia} 와 공정변동의 크기를 나타내는 공정부정밀도 지수 C_{ip} 로 정보를 분리하여 나타내고 있다. 그러나 C_{pp} 는 이와 같이 정보분리는 되나 C_{pm}^* 의 단점인 공정평균이 목표치로 부터 벗어남의 정도를 식별하지 못하고 있어 3가지 공정 모두 동일함을 보여준다. 실제 공정의 불량률 측도로 공정능력을 판단하면 A, B, C공정의 순으로 공정능력이 높다.

따라서 C_{ia} 와 C_{ip} 의 2가지 부지수를 사용하여 동일한 C_{pp} 값을 나타내는 서로 상이한 공정들을 구분하는 측도를 C_{cop} 가 제안되어 공정능력의 평가 측도로 유용하게 활용 할 수 있다.

C_{cop} 값이 작은 C공정이 공정능력이 높은 것으로 판정한다.

목표치에 대한 민감도는 C_{pm}^* , C_{pmk} , C_{psk} 의 순으로 좋음을 알 수 있고, 비공정능력지수의 경우도 C_{pp} , C_{pmk}^* , C_{psk}^* 의 순으로 일치하고 있어, 공정능력은 A, B, C 공정의 순으로 낮음을 나타내고 있다. 그러나 실제공정은 A, B, C 공정의 순으로 공정능력이 높다.

그러므로 C_{cop} 값은 목표치가 규격중심에 위치할 때, C_{pp} 경우에 매우 합리적임을 알 수 있다.

2. 목표치가 규격 중심을 벗어나는 경우

Pearn et al. (1992)이 제시한 목표치가 규격의 중심으로 벗어날 때(T=14)의 $C_{pm}=1$ 인 3가지 정규 모집단의 예에서 공정능력지수와 비공정능력지수 계산이 결과를 정리하여 <표 4>와 같이 나타냈다.

<표 4> $C_{pm}=1$ 인 목표치가 규격중심을 벗어날때의 3가지 정규모집단들의
공정능력지수와 비공정능력지수값 (T=14)

공정 \ 지수	C_{pm}^*	C_{pp}	C_{ia}	C_{ip}	C_{cop}	C_{pmk}	C_{pmk}^*	C_{ia}^*	C_{ip}^*	C_{cop}	C_{psk}	C_{psk}^*	C_{ia}^*	C_{ip}^*	C_{cop}
A	0.47	4.5	2.25	2.25	1.3	0.71	2.00	1.00	1.00	1.50	0.47	4.50	2.25	2.25	3
B	0.66	2.26	0.56	1.70	1.74	0.83	1.45	0.36	1.09	1.31	0.66	2.26	0.56	1.70	1.74
C	1.29	0.60	0.04	0.56	0.80	1.37	0.53	0.03	0.50	0.75	1.29	0.60	0.04	0.56	0.80

<표 4>에서 알 수 있듯이 비공정능력지수 C_{pp} 는 목표치가 규격중심을 벗어나는 경우에 공정평균이 목표치로 부터 벗어남을 반영시키는 공정 부정확도 지수 C_{ia} 는 A공정의 경우 C_{pmk}^* 의 공정부정확도지수인 C_{ia}^* 보다 과대평가하여 공정능력이 높은 공정인데도 낮은 공정으로 잘못 제시하고 있는 단점을 지닌다.

C_{psk} 는 C_{pmk} 보다 민감도가 좋기 때문에 비공정능력지수의 경우도 동일하게 C_{psk} 는 공정의 미세한 변화를 민감하게 감지하는 C_{pmk} 의 변환으로 도출된 C_{pmk}^* 의 경우 보다 A공정의 경우 공정 부정확도 지수 C_{ia}^* 및 공정부정밀도지수 C_{ip}^* 값이 높게 평가됨을 알 수 있다.

따라서 목표치에 대한 민감도는 공정능력지수의 경우 C_{pm}^* 과 C_{psk} , 비공정능력지수의 경우 C_{pp} 와 C_{psk}^* 가 가장 좋음을 나타내고 있으며, 공정능력은 A, B, C공정의 순으로 높음을 알 수 있다. 그리고 실제 공정도 A, B, C공정의 순으로 공정능력이 높은 것과 동일함을 보여준다. 또한 C_{cop} 값에 의한 공정능력 평가도 목표치가 규격중심에 위치할 때 보다 오히려 실제 공정의 공정능력과 동일하게 A, B, C공정의 순으로 공정능력이 높음을 올바르게 제시하고 있다. 현실 문제에서 공정능력지수와 불량률의 관계를 나타내기 위해서 $T=M=\mu$ 일때(M은 규격중심) C_{psk} 를 사용하여 불량률의 측도와 병행해서 공정능력을 평가할 수 있는 기준을 <표 5>과 같이 제안한다.

<표 5> 공정능력 지수와 불량률의 관계

C_{psk} 값 (이하)	σ 의 배수	공정의 유무판정	불량률 (PPM)	비 고 ($T = M \neq \mu$ 일때 T 에 대한 μ 의 변화 에 따른 C_{psk} 의 값)		
				$\pm 1\sigma$	$\pm 2\sigma$	$\pm 3\sigma$
0.33	1	매우부족	317,300	0	0	0
0.67	2	다소부족	45,500	0	0	0
1.00	3	부족	2,700	0.24	0	0
1.33	4	만족	63	0.47	0	0
1.67	5	다소만족	0.6	0.71	0.15	0
2.00	6	매우만족	0.002	0.94	0.30	0

V. 결 론

정규공정에 있어서 제 4세대 공정능력지수 C_{psk} 는 목표치로부터 공정의 벗어남에 대한 여분의 손실로서 분자에 인자 $|\mu - T|$ 를 도입함으로써, C_{pmk} 로부터 만들어졌다. 목표치로부터 동일하게 떨어진 공정이라하더라도 공정이 규격한계치 이내에 있는 경우와 그렇지 못한 경우를 식별하기 위해서 C_{psk} 가 제시되어 대칭인 경우와 비대칭인 경우, 공정이 목표치로부터 변화할 때, 방향에 관계없이 실행되는 지수로 C_{psk} 는 평가 받고 있다.

그러나 C_{psk} 는 C_{pmk} 와 마찬가지로 불량률이 높은 공정과 낮은 공정을 식별하지 못하는 결점을 지니고 있다.

따라서 이러한 공정능력지수들이 갖는 결점을 개선시키기 위해서 공정의 공정능력을 역으로 공정의 비공정능력을 나타내는 비공정능력지수 C_{pp} 가 도입되어 공정평균이 목표치로부터 벗어남을 반영시키는 공정부정확도 지수와 공정변동의 크기를 나타내는 공정부정밀도 지수로 정보를 분리 함으로써 공정능력 평가에 보다 구체적인 정보를 제공하고 있다. 그러나 C_{pp} 는 목표치가 규격 중심에 위치하지 않을 때, 공정평균의 목표치로부터 벗어남에 대해 과대 평가되어 공정능력이 높은 공정을 잘못 식별하는 단점을 지니고 있어 이것을 개선시키기 위해 차례로 C_{pmk}^* , C_{psk}^* 를 개발시켜 목표치가 규격중심에 위치할 때와 벗어날 때 2가지로 구분하여 정규공정에서의 공정능력지수와 비공정능력지수를 비교해 본 결과 목표치에 대한 민감도는 목표치가 규격중심에 위치하는 경우, 공정능력지수는 C_{pm}^* , C_{pmk} , C_{psk} 순으로, 비공정능력지수는 C_{pp} , C_{pmk}^* , C_{psk}^* 순으로 좋음이 일치하고 있으나 실제공정은 A, B, C 공정의 순으로 공정능력이 높아 잘못 판정하고 있다.

그러나 목표치가 규격 중심을 벗어나는 경우도 공정능력지수 C_{psk} 와 비공정능력지수 C_{psk}^* 는 동일하게 목표치에 대한 민감도를 가장 좋게 나타내고 있으며, 공정능력 또한 A, B, C 공정의 순으로 실제 공정과 일치한다.

따라서 C_{psk}^* 는 공정평균이 목표치 벗어남에 대한 여분의 손실을 고려함으로써 공정변화에 대해 비공정능력을 제시하는 보다 개선된 측도라 여겨진다.

참 고 문 헌

- [1] 신경석, 김성집, 강창욱; "An Improved Process Incapability Index for the Evaluation of Process Capability", 품질경영학회지, 24(4), pp. 90-102, 1996.
- [2] Benson, E. D.; "Statistical Properties of a System of Fourth-Generation Process Capability Indices $C_{psk}(U,V,W)$.", Ph. D. Dissertation, University of Maryland, 1994.
- [3] Boyles, R. A.; "The Taguchi Capability Index", Journal of Quality Technology, 23(1), pp. 17-26, 1991.
- [4] Chan, L. K., Cheng, S. W., and Spiring, F. A.; "A New Measure of Process Capability: C_{pm} ", Journal of Quality Technology, 20(3), pp. 162-175, 1988.
- [5] Choi, B. C., and Owen, D. B.; "A Study of New Process Capability Index", Communication in Statistics. -Theory and Method, 19(4), pp. 1231-1245, 1990.
- [6] Greenwich, M. and Jahr-Schaffrath, B. L.; "A Process Incapability Index", International Journal of Quality & Reliability Management, 12(4), pp. 58-71, 1995.
- [7] Kane, V.; "Process Capability Indices", Journal of Quality Technology, 18(1), pp. 41-52, 1986.
- [8] Pearn, W. L., Kotz. S. and Johnson, N. L.; "Distibutional and Inferential Properties of Process Capability Indices", Journal of Quality Technology, 24(4), pp. 216-231, 1992.