

Analysis of Process Capability Index for Multiple Measurements

Do-Kyung Lee[†]

School of Industrial Engineering, Kumoh National Institute of Technology

다측정 공정능력지수의 특성분석

이도경[†]

금오공과대학교 산업공학부

This study is concerned about the process capability index in single process. Previous process capability indices have been developed for the consistency with the nonconforming rate due to the process target value and skewness. These indices calculate the process capability by measuring one spot in an item. But the only one datum in an item reduces the representativeness of the item. In addition to the lack of representativeness, there are many cases that the uniformity of the item such as flatness of panel is absolutely important. In these cases, we have to measure several spots in an item. Also the nonconforming judgment to an item is mainly due to the range not due to the standard variation or the shift from the specifications. To imply the uniformity concept to the process capability index, we should consider only the variation in an item. It is the within subgroup variation. When the universe is composed of several subgroups, the sample standard deviation is the sum of the within subgroup variation and the between subgroup variation. So the range R which represents only the within subgroup variation is the much better measure than that of the sample standard deviation. In general, a subgroup contains a couple of individual items. But in our cases, a subgroup is an item and R is the difference between the maximum and the minimum among the measured data in an item. Even though our object is a single process index, causing by the subgroups, its analytic structure looks like a system process capability index. In this paper we propose a new process capability index considering the representativeness and uniformity.

Keywords : Process capability index, Multiple measurements, Uniformity

1. 서론

공정능력이란 공정이 관리 상태에 있을 때, 그 공정에서 생산되는 제품의 품질 특성치의 변동이 주어진 규격을 어느 정도 만족하고 있는지 나타내는 척도이다. Juran[7]이 최초로 제시한 공정능력의 개념은 규격과의 비교가 아닌 단순한 공정의 산포 수준이었다. Juran은 측정 대상

특성치의 산포를 표준편차 σ 로 나타낼 때, 표준편차의 여섯 배에 해당하는 6σ 로 공정능력을 나타내고 이를 '자연 공차'로 지칭하였다. 이후 수행된 Kane[8]의 연구에서 규격을 공정능력에 포함시켜 현재의 공정능력지수 개념을 정립하였다.

Kane이 제시한 공정능력지수 C_p 이후, 공정능력지수가 보다 더 공정의 상황을 잘 설명할 수 있도록 하는 수정된 공정능력지수들이 많은 연구들에서 제시되었다(이들에 대해서는 공정능력지수에 대한 Palmer and Tsui[17]의 조사 논문과 Kotz and Lovelace[11]의 저서를 참조하기 바란다).

Received 19 February 2016; Finally Revised 9 March 2016;

Accepted 10 March 2016

[†] Corresponding Author : dklee@kumoh.ac.kr

지금까지 제시된 이들 공정능력지수에 대한 연구 방향을 살펴보면, 크게 네 가지 분야로 정리할 수 있다.

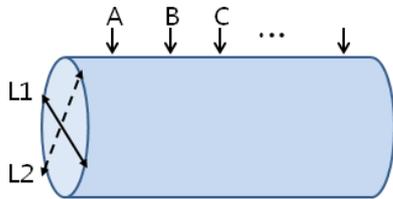
첫째 분야는 공정능력지수의 가장 활발한 연구분야로서 단변량에 대해 규격, 치우침 그리고 목표값 등을 고려하여 공정능력지수가 부적합률에 보다 근사하도록 표현하는 분야다.

둘째 분야는 모든 제품은 하나 이상의 품질 특성을 가지고 있으므로, 여러 품질 특성들의 공정능력을 통합하여 하나의 지수로 나타내기 위한 다변량 공정능력지수 분야다.

셋째 분야는 일련된 순차적 공정에서 관심 대상 공정 전체에 대해 지수화한 시스템 공정능력지수 분야다.

마지막으로 네 번째 분야는 측정 자료들이 정규성을 충족하지 못하여 변수변환을 하거나 분포형태에 따라 구분하여 가중치를 설정하거나(Chang[5]) 자료들 간에 상관성이 있는 경우 등과 같이 공정 자료의 특수 상황을 반영할 수 있는 지수의 개발 분야다.

이들 분야 모두 나름의 의미가 있으나, 이 지수들을 전개하기 이전에 우선해야 할 기본적인 문제점에 대해 Baik and Jo[1]와 Lee[16] 등이 지적하였다. 공정능력의 필요 대상은 그 용어에서 의미하듯이 산업체 현장이며, 그 용도는 공정이 공차를 어느 정도 만족할 수 있을지 예측할 때를 비롯하여 제품 개발 및 설계 단계에서 설비의 선택, 그리고 부적합률의 예측 등에 사용된다.

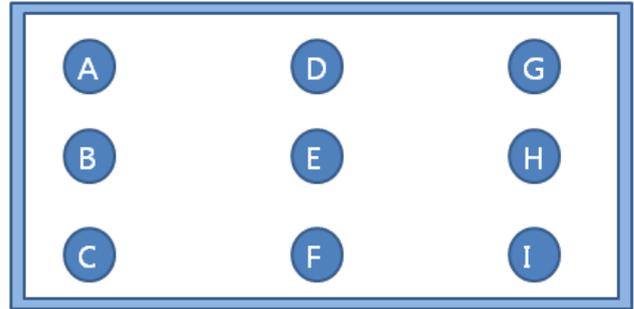


<Figure 1> Measure Positions in a Cylinder

위의 < Figure 1>에서 원통형 부품을 제조하는 선반공정의 예에서 원통부품의 직경이 품질 특성이다. 이 공정의 측정작업 표준에서는 해당제품의 좌측 기준점에서 5cm 우측 B지점의 직경을 측정하도록 되어 있다.

개별 원기둥 당 한 지점의 직경 L을 측정하여 n개 원기둥의 표본수 n개에 대해 표본표준편차 s를 산정하여 C_p 와 C_{pk} 를 계산했을 때, ‘단일 측정위치의 한 개 자료가 개별 부품을 대표할 수 있는 공정능력지수로 나타낼 수 있는가?’라는 의구심이 들 수밖에 없다. 이 점은 실제 대부분의 현장에서 고민하는 사항이다.

위의 그림에서 지점 B 이외에 A 혹은 C지점의 공정능력이 다를 수 있으며, 또한 동일한 한 지점이라 할지라도 L1이나 L2와 같이 측정 각도 위치 또한 공정능력의 대표성에 문제를 제기 할 수 있다.



<Figure 2> Measure Positions in FPD

원기둥 예제처럼 개별부품당 한곳의 측정에 의한 공정능력 산출 시 대표성의 문제점에 더하여, 한 부품 안에서 위치별 상대적 균질성이 중요한 경우에는 단일 측정에 의해 공정능력을 나타내기 불가능하다. <Figure 2>의 평판 디스플레이 공정의 휘도 특성의 경우, A~I의 9개 위치의 개별 휘도가 중요한 것이 아니라 이들 사이의 휘도 차이 즉, 균질도가 중요하다. 이 경우 기존의 지수들은 공정능력과 그에 따른 부적합 정도를 나타내는 연관성을 전혀 제시할 수 없다.

그러므로 본 연구에서는 단일 부품에 대해 여러 위치에서 품질 특성치를 측정하여 공정능력지수로 전환하는 방안을 제시하고 그 특성을 살펴보도록 한다.

2. 기존 연구 고찰

서론에서 언급한 공정능력지수의 연구분야 중에서 본 연구와 연관성이 있는 분야는 첫 번째 단변량에 대한 공정능력지수와 세 번째의 시스템 공정능력지수 분야이다. 측정 자료들로부터 공정능력지수를 산정하기 위해 관심 대상 변량 즉, 품질 특성치에 대한 공정능력지수 산정은 필수적인 사항이다. 본 연구의 대상은 단변량에 대한 것이지만, 하나의 부품에서 여러 위치를 측정하여 공정능력지수를 산정하기 때문에 구조적으로는 시스템 공정능력지수 분야의 성격을 가진다.

2.1 단변량(개별) 공정능력지수

단일 품질 특성치에 대한 공정능력지수는 규격 대비 공정의 산포의 상대적 값을 의미한다. 이들 지수들은 이미 널리 사용되고 있는 지수들이므로 공식과 개념만 간략하게 정리한다.

Kane[8]은 규격상한 USL과 규격하한 LSL의 차이 즉, 공차를 표준편차의 6배 값으로 나눈 값을 공정능력지수로 나타내었다.

$$C_p = (USL - LSL) / 6\sigma \quad (1)$$

또한 Kane은 C_p 가 공정평균의 치우침을 반영하지 않아 부적합률과 차이를 낼 수 있는 단점을 보완하여 지수 C_{pk} 를 제안하였다.

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

Chan et al.[4]은 공정의 목표값 T 가 규격의 중간점이 아닌 경우, 이를 반영한 지수 C_{pm} 을 제안하였다.

$$C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\sqrt{E[(X - T)^2]}} = \frac{USL - LSL}{6\sqrt{(\sigma + (\mu - T)^2)}} \quad (3)$$

Pearn et al.[19]은 C_{pm} 에 공정 평균 위치의 치우침 정도를 추가로 고려한 복합 형태의 지수 C_{pmk} 를 제안하였다.

$$\begin{aligned} C_{pmk} &= \frac{\min(USL - \mu, \mu - LSL)}{3\sigma} \\ &= C_{pk} / \sqrt{1 + (\mu - T)^2 / \sigma^2} \end{aligned} \quad (4)$$

Benson[2]은 '0' 혹은 '1'을 취하는 매개변수 u, v, w 를 모형에 추가로 설정함으로써 앞서의 모든 공정능력지수를 나타낼 수 있도록 일반화하였다. d 는 규격폭의 절반값이며, M 은 공정의 중앙값이다.

$$\begin{aligned} C_{psk}(u, v, w) &= \frac{\min(USL - \mu - |\mu - T|, \mu - LSL - |\mu - T|)}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \\ &= \frac{d - u|\mu - M| - w|M - \mu|}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \end{aligned} \quad (5)$$

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

다구치 품질공학의 손실함수를 공정능력지수 산정에 응용한 C_{pm} 이 발표되면서, Boyles[3]는 비용을 고려한 공정능력지수 C_{pm}^+ 를 제시하였다.

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

Boyles[3]의 모형 이 후, 많은 연구들이 공정능력지수 산정에 이를 응용하고 있으나, 이들은 손실함수에 기초

한 기대값 $E[(L)]$ 에 비용 관련 매개변수를 추가하여 이의 변화를 살피는 비용모형이므로 주어진 규격에 대한 공정능력지수와 같은 통계적 수행능력을 직접적으로 나타내지는 않는다.

2.2 시스템 공정능력지수

여러 개별 공정을 통합하여 하나의 공정능력으로 표현한 공정능력지수를 시스템 공정능력으로 분류한다. 이 개념은 이산형 자료들에 대해 '기회 수'에 대한 '성공 횟수'의 상대적 비율로 공정능력을 나타낸다.

동일한 공정에서 하나의 부품을 생산할 때, 단일 부품에 설정된 기회가 많은 경우 기회가 적은 부품에 비해 실패의 경우수 또한 늘어난다. 이는 기회의 많고 적음에 무관하게 단일 부품 입장에서는 부적합률이 되므로 공정的高유능력과 무관하게 부적합률이 높아지게 되어 공정능력을 제대로 반영할 수 없다. 따라서 계수형 자료에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 개별공정의 공정능력을 Y_{FT} (first time yield)를 이용하여 나타내고, 전체 공정의 공정능력은 이들의 기하평균인 Y_{NA} (normalized yield)로 표현한다. 이러한 개념을 연속형 자료로 확장한 것이 시스템 공정능력지수라 할 수 있다.

개별공정능력지수와 시스템 공정능력지수의 중간 개념으로 다변량(혹은 다특성) 공정능력지수가 있다. 다변량 공정능력지수는 하나의 부품에서 여러 개의 품질 특성치를 동시에 고려하여 공정능력지수로 나타내는 것이다. 다변량 공정능력지수는 여러 품질 특성치를 취급하는 면에서 시스템 공정능력지수와 유사하며, 여러 특성치를 순차적이 아닌 동시에 고려함이 시스템 공정능력지수와 다르다. Shiao et al.[23]는 기존 연구들의 지수가 실제 수율과 많은 차이가 발생함을 지적하고, 이변량에 대해 수율과 유사하도록 하는 지수를 제시하고 이를 다변량으로 확장하는 연구를 제시하였다.

시스템 공정능력지수 산정의 기본 접근 방식은 개별 항목들에 대해 공정능력지수들을 계산하고, 이들 개별 공정능력지수들을 조합하여 대상 시스템(모듈)의 공정능력을 나타내는 방식이다. 시스템 공정능력지수들은 하위의 여러 개별공정에 대해 단변량 공정능력지수들로 나타내고 이들을 하나의 대푯값으로 나타내는 방식이다. 대푯값으로의 산정은 산술평균, 기하평균, 절사평균 및 대상 공정의 성격이나 나타내고자 하는 의도에 따라 최소값이나 최댓값으로 선정하고 있다.

Lee[12]는 대상 전체 공정이 f 개의 개별 항목으로 구성되고, 이들 개별 항목의 공정능력지수를 C_p 로 나타낼 때, f 개의 개별 공정에 의한 산술평균 개념의 $\overline{C_p}(f)$ 를 제시했다.

$$\overline{Cp}(f) = \sum_{i=1}^f \alpha_i Cp(i) \quad (7)$$

단, α_i 는 공정 i 의 가중치로서 $\sum_{i=1}^f \alpha_i = 1$ 이며, 모든 개별 항목이 불량과 관련된 공정이라면, $\alpha_i = 1/f$ 이 된다. 시스템 공정능력지수 $\overline{Cp}(f)$ 는 f 개의 개별 항목의 $Cp(i)$ 들에 의한 가중평균으로 표현되기 때문에, 그 식의 표현이나 개념이 매우 단순한 장점을 가진다. 그리고 그 계산에 있어, $Cp(i)$ 들에 대해 불량률로 환산 절차가 필요하지 않아 시스템 공정능력지수 산정 계산 자체도 매우 간단하다.

SC_{psk} : Plante[20]는 개별공정능력지수 C_{pk} 를 사용하여 계산하고, m 개의 개별공정으로 구성되는 시스템 공정능력을 이들 하위 공정능력들의 기하평균으로 산정한 SC_{psk} 를 제시하였다.

$$SC_{psk} = [\prod_{i=1}^m C_{pk}(i)]^{1/m}$$

$$= \left[\prod_{i=1}^m \min \left(\frac{USL_i - \mu_i}{3\sigma_i}, \frac{\mu_i - LSL_i}{3\sigma_i} \right) \right]^{1/m} \quad (8)$$

SC_{psk} : Cho and Lee[6]은 개별공정능력지수를 $C_{psk}(i)$ 로 나타내고 시스템 공정능력지수는 기하평균으로 나타내었다.

$$SC_{psk} = [\prod_{i=1}^m C_{psk}(i)]^{1/i} \quad (9)$$

$C_{psk}^T(m)$: Lee and Lee[13]는 단일공정이지만 측정위치가 한곳이 아닌 여러 곳의 경우를 설정하고 이를 시스템 공정능력의 개념으로 해석할 수 있음을 보였다. 이들은 전체 공정능력지수를 여러 개의 개별공정능력지수들에 대해 $C_{psk}(i)$ 로 계산하고 시스템 공정능력지수는 이들의 최소값으로 설정하였다.

$$C_{psk}^T(m) = \min C_{psk}(i), i = 1, 2, \dots \quad (10)$$

이는 패널 공정의 특성상 한 곳의 개별 위치에서라도 불량이 발생하면 대상 모듈 전체가 부적합품으로 처리되기 때문이다. Lee[14]은 위의 식 (10)에서 개별 위치공정능력지수에 대해 $C_{psk}(i)$ 대신 $C_{pmk}(i)$ 로 대체하고, 이때의 시스템 공정능력지수값을 시뮬레이션을 통해 식스시그마에서의 시그마 수준값과 비교하였다.

SC_{pm} : Kotz and Lovelace[11] 및 Palmer and Tsui[17]의 지적처럼 공정능력지수 C_{pmk} 는 공정의 부적합률이 공정이 정규성에서 멀어질수록, 동일한 부적합률에 대해 지수가 상대적으로 넓은 영역의 값

을 갖기 때문에 신뢰도가 떨어진다. 그러므로 Lee [15]는 이들의 단점을 보완하기 위해, 표본분산에 대해 합동추정량 s_p^2 을 적용하고 또한 위치 공정능력지수로서는 C_{pm} 을 적용한 최소 기준의 시스템 공정능력지수를 다음과 같이 제안하였다.

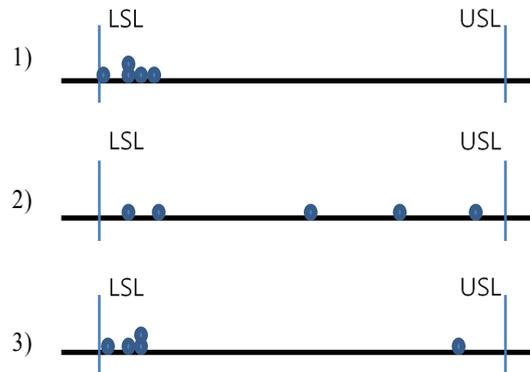
$$SC_{pm}(m) = \min C_{pm}(i), i = 1, 2, \dots, m \quad (11)$$

3. 다측정에 의한 공정능력지수

서론에서 개별부품에서의 단일 측정에 의한 공정능력지수의 산정은 대표성이 결여될 수 있음을 지적하였었다. 단순히 일부 위치 혹은 작은 수의 자료에 의한 공정능력 산정에 문제가 야기된다면 시간과 비용을 추가로 투입하여 단일 부품에 대해 여러 위치에서 측정을 시행하고 이들 자료들로 하여금 기준의 단변량 즉, C_p, C_{pk}, C_{pm} 등의 개별공정능력지수들을 산정하면 될 것이다.

그러나 <Figure 2>와 같이 단일 부품 내의 개별 측정점들이 주어진 규격을 만족하더라도 측정값들 사이에 산포가 크다면, 한 장의 패널에서의 휘도 균질성에 문제가 발생하여 좋은 등급을 확보할 수 없다. 이러한 문제는 <Figure 1>의 원기둥과 같은 형상에서도 곡률의 균질성 문제와 유사하며 대부분의 산업현장에서 고민하는 일반적인 현상이다. 이 경우 기준과 같이 여러 부품에서 부품당 한 곳을 측정하여 산정한 공정능력지수로는 공정능력을 표현할 수 없다. 단일 부품에서 여러 위치의 측정 즉, 다측정이 필수적이다.

본 연구의 목적은 한 부품 안에서의 균질도를 반영한 공정능력지수 개발이다. 공정능력지수는 규격 대비 산포의 정도이며, 규격은 고정되어 있으므로 산포에 의해 그 값이 결정된다. 결국 본 연구에서 제시한 공정의 경우, 균질도를 산포에 어떻게 반영할 것인가의 문제로 귀결된다.



<Figure 3> Types of Dispersion in an Item

본 연구에서 제시한 공정의 경우에는 공정 산포에 대해 기존의 모든 공정능력지수들에서 적용한 표본표준편차를 사용하기 곤란하다. 그 이유는 표본표준편차 값이 작더라도 여러 측정값들 중에서 적어도 하나의 값이 다른 자료들에 비해 매우 크거나 작은 경우, 균질도가 나쁘므로 해당부품은 적합품으로 처리하기 어렵기 때문이다. 그러므로 산포의 기준으로 범위 R(range)을 사용함이 타당하다.

위의 <Figure 3>에서 1)은 공정 목표치에서 치우침 정도가 심하지만, 산포가 작음으로 인해 균질도가 높아 적합품으로 처리된다. 2)의 경우, 모든 값들이 규격을 충족시키고 평균이 공정 목표치에 거의 일치하지만, 그들 사이에 산포가 큼으로 인해 균질도가 낮아 특성검사 단계에서 부적합품으로 처리된다. 3)의 경우, 공정 목표치와 많은 차이가 있으나 이는 문제시 되지 않는다. 또한 산포의 측면에서 하나의 측정값만 차이가 있으므로 표본분산 s^2 은 작다. 그러나 균질도가 낮아 부적합품으로 처리된다.

개별공정능력지수들의 발전 방향은 중간값이나 목표값 대비 치우침을 고려함으로써 부적합률과 유사한 성질을 나타내도록 진행되어 왔다. 그러나 본 연구에서 제시한 경우에는 한 부품 안에서의 균질성이 중요하기 때문에 규격을 매우 벗어나지 않는 이상, 개별 부품 안에서의 치우침을 고려할 필요가 없다.

공정능력은 해당 공정에서 생산하는 다수의 제품들에 대한 것이다. 그러므로 개별 부품에 대한 산포를 산정한 후 이를 근간으로 여러 부품들에 의한 실제 공정능력을 나타내어야 한다.

Pyzdek[21]이 분류한 표준편차 추정 기준 다섯 가지 중에서 부분군 형성이 가능한 경우의 세 가지 기준은 S_p (표본분산의 합동 추정량), \bar{R}/d_2 및 \bar{s}/c_4 이다. 본 연구에서는 공정능력지수에 적용할 산포의 추정에 있어, 전체 자료에 대해 기간에 따라 부분군으로 나누고 범위 R로 계산하는 의한 방법인 \bar{R}/d_2 를 사용한다. 그 이유는 산포의 기준으로 표본분산 $s^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 / (n-1)$ 을 사용하는 경우, 표본분산은 실제로 부분군으로 나눔과 무관하게 전체 자료의 산포 즉, 장기 및 단기 산포를 포함하지만 \bar{R}/d_2 는 단기 변동인 군내 변동만 포함하기 때문이다.

본 연구의 대상 공정의 경우, 한 개의 부품은 부분 군에 해당하며, 개별 부품간의 산포는 군간 변동에 해당한다. 그러므로 생산되는 부품들에서 측정된 자료들로부터 군내변동만을 고려해야 하는 본 연구의 공정 특성상, 산포의 추정에 있어 기존의 $s^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 / (n-1)$ 가 아닌 범위 \bar{R}/d_2 을 반드시 적용해야 한다.

이상의 배경을 바탕으로 한 부품 안에서 균질성이 보장되어야 하는 공정의 경우, 그 공정능력을 나타내는 다음의 지수를 제시한다.

$$C_{PR} = \frac{(USL - LSL)}{6\bar{R}/d_2} \quad (12)$$

이 지수에서 유일한 매개변수는 범위 R을 계산하는 개별 부품에서 측정점의 개수이다. d_2 는 측정점 수에 기인하는 상수로서 <Table 1>과 같다.

<Table 1> Coefficient for Estimating the Process Variation

| Size of subgroup | d_2 | Size of subgroup | d_2 | Size of subgroup | d_2 |
|------------------|-------|------------------|-------|------------------|-------|
| 2 | 1.128 | 8 | 2.847 | 14 | 3.407 |
| 3 | 1.693 | 9 | 2.970 | 15 | 3.472 |
| 4 | 2.059 | 10 | 3.078 | 16 | 3.532 |
| 5 | 2.326 | 11 | 3.173 | 17 | 3.588 |
| 6 | 2.534 | 12 | 3.258 | 18 | 3.640 |
| 7 | 2.704 | 13 | 3.336 | 19 | 3.686 |

부분군에 의한 산포의 추정에 있어 고려 사항으로 표본크기의 영향력이 있다. Quesenberry[22]는 표본크기가 작을수록 제1종과오가 커지며, 평균 런의 길이가 길어짐을 지적하였다. 부분군의 크기가 5 이하의 소표본에 의한 효과에 대해서 Kotz and Johnson[9]은 관리도에서 부분군의 크기가 작아질수록 \bar{R}/d_2 는 표본분산에 비해 과소평가됨을 보였다. 본 연구와 Kotz and Johnson과의 차이점은 범위 R 산정 대상에 있다. 그들이 사용하는 범위는 공정에서 생산하는 전체 부품들에 대해 이중 일부를 합리적으로 그룹핑하고, 그룹화된 하나의 군을 구성하는 여러 개별 부품에서 한 개를 측정하여 범위를 산정한다. 따라서 이 경우 산정된 범위 R에는 개별 부품의 균질성이 아닌 한 부분군 내의 부품들간의 산포가 포함되어 본 연구에서 제시한 범위 R과는 성격이 다르다. 산포의 추정 방법에 따른 공정능력의 변화에 대한 자세한 내용은 Baik and Jo[1], Kenney and Keeping[9] 그리고 Patnaik[18] 등을 참조하기 바란다.

4. 수치예제 및 결론

본 연구에서 제시한 다측정에 의한 공정능력지수 산정을 위해 한 부품당 다측정 지점을 5회, 측정대상 부품 수는 10개의 예제를 제시한다. 예제의 데이터는 평균 = 10, 표준편차는 1의 정규분포로 50개를 랜덤 생성하였다. 규격상한 USL = 13이며 규격하한 LSL = 7이다. 이들 자료에 대한 통계량들을 <Table 2>에 정리하였다.

<Table 2> A Couple Statistics of the Example

| No. of Subgroup | Sample mean | Minimum | Maximum | Range |
|-----------------|-------------|---------|---------|-------|
| 1 | 9.985 | 9.687 | 10.408 | 0.721 |
| 2 | 9.911 | 8.613 | 10.989 | 2.376 |
| 3 | 10.019 | 8.073 | 11.861 | 3.789 |
| 4 | 9.385 | 8.521 | 10.291 | 1.77 |
| 5 | 10.04 | 8.234 | 11.144 | 2.91 |
| 6 | 9.453 | 8.253 | 10.507 | 2.254 |
| 7 | 10.359 | 9.838 | 10.744 | 0.906 |
| 8 | 9.805 | 8.492 | 11.28 | 2.788 |
| 9 | 10.658 | 9.011 | 12.132 | 3.121 |
| 10 | 9.188 | 8.803 | 9.643 | 0.84 |

10개 범위 R의 평균 $\bar{R} = 2.1475$ 이며 전체 자료의 표본표준편차 $s = 0.957$ 이다. 식 (1)에 의한 기존 공정능력지수 $C_p = 1.0264$ 이며, 본 연구의 식 (12)의 $C_{PR} = 1.0831$ 이다. 예상한 대로 부품(군)간 변동이 제외된 개념인 C_{PR} 이 총변동 개념인 C_p 에 비해 높은 공정능력을 보임을 알 수 있다. 이 예제에서의 두 공정능력지수 값의 차이는 작게 나타났다. 그 이유는 군을 나눌 때는 군간의 특성이 반영될 수 있도록 즉, ‘합리적 군 구분’을 해야 하는데, 본 예제에서는 군간 변동이 반영되도록 인위적 군 구분을 하지 않고, 동일한 분포에서 랜덤하게 생성한 50개 자료에 대해 일률적으로 5개씩 나누었기 때문이다. 부분군들 간에 의미 있는 차별성이 있는 실제 공정이라면, 두 지수의 차이는 보다 더 확연할 것이다.

본 연구는 단변량 품질 특성치에 대한 개별공정능력지수에 대한 것이다. 기존 연구 고찰을 통해 기존의 개별공정능력지수들을 소개하고 그 특징에 대해 간단히 소개하였다.

C_p 이후 소개 되어온 여러 공정능력지수들은 그 값이 가능한 부적합률과 일치성에 관점을 두었다. 부적합품의 기준은 규격이므로 생산 제품의 치우침과 목표값에 연동되어 있다. 따라서 이를 반영하기 위해 그간의 지수들은 보다 많은 매개변수를 추가해 왔다.

본 연구에서는 기존의 공정들과는 달리 한 부품 안에서 규격에 비해 특성값의 균질성이 상대적으로 중요시되는 공정을 소개하였다. 균질성은 한 부품 안에서의 성질이므로 이를 측정하기 위해서는 한 부품 안에서 다측정의 필요성을 제시하고 이에 적합한 공정능력지수를 제시하였다.

본 연구에서 제시한 공정능력지수는 지금까지의 공정능력지수들과는 달리 산포 측도로서 다측정 값에 의한 범위 R 사용을 제시하였는데, 이는 다측정 값들에 대해

표본분산을 사용하는 경우, 범위 R에 비해 상대적으로 균질성을 나타내는 정도가 떨어지기 때문이며, 그 이유를 본문을 통해 밝혔다.

Acknowledgement

This study has been supported by the research fund of Kumoh National Institute of Technology, Korea.

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, pp. 81-100.
- [2] Benson, E.D., Statistical Properties of a System of Fourth-Generation Process Capability Indices $C_{psk}(u, v, w)$, [Dissertation], Univ. of Maryland, 1994.
- [3] Boyles, R.A., The Taguchi Capability Index, *Journal of Quality Technology*, 1991, Vol. 23, No. 1, pp. 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, pp. 162-175.
- [5] Chang, Y.S., Heuristic Process Capability Indices Using Distribution-decomposition Methods, *Journal of the Korean Society for Quality Management*, 2013, Vol. 41, No. 2, pp. 233-248.
- [6] Cho, N.H. and Lee, Y.H., A New Multivariate System Process Capability Index (SC_{psk}), *Korea Safety Management and Science*, 2003, Vol. 5, No 3, pp. 145-156.
- [7] Juran, J.M., *Quality Control Handbook*, 3rd Ed., McGraw-hill, New York, 1974.
- [8] Kane, V.E., Process Capability Indices, *Journal of Quality Technology*, 1986, Vol. 18, No 1, pp. 41-52.
- [9] Kenney, J.F. and Keeping E.S., *The Distribution in Mathematics of Statistics*, 2nd ed., Princeton, NJ : Van Nostrand, 1951, pp. 170-173.
- [10] Kotz, S. and Johnson, N.L., Process Capability Indices-A Review 1999~2000, *Journal of Quality Technology*, 2002, Vol. 34, No. 1, pp. 2-19.
- [11] Kotz, S. and Lovelace, C.R., *Introduction to Process Capability Indices*, Arnold, London, U.K., 1998.
- [12] Lee, D.K., A new Multivariate Process Capability Index, *KNUT Research Journal*, 1999, Vol. 20, pp. 153-160.
- [13] Lee, D.K. and Lee, H.S., Process capability index for single process with multiple measurement location, *Jour-*

- nal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2007, Vol. 30, No. 3, pp. 28-36.
- [14] Lee, D.K., A Study on Expression of Process Capability and Sigma Level, *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2009, Vol. 32, No. 1, pp. 111-116.
- [15] Lee, D.K., The Process Capability Index of Minimum Base on the Multiple Measuring Locations, *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2011, Vol. 34, No. 4, pp. 114-119.
- [16] Lee, D.K., Issues on the Calculation of the Process Capability Index, *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2014, Vol. 37, No. 1, pp. 127-132.
- [17] Palmer, K. and Tsui, K.L., A Review and Interpretations of Process Capability Indices, *Annals of Operation Research*, 1999, Vol. 87, pp. 31-47.
- [18] Patnaik, P.B., The Use of Mean Range as an Estimator of Variance in Statistical Test, *Biometrika*, 1950, Vol. 37, No. 1, pp. 78-87.
- [19] 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, pp. 216-231.
- [20] Plante, R.D., Process Capability : A Criterion for Optimizing Multiple Response Product and Process Design, *IIE Transactions*, 2001, Vol. 33, pp. 497-509.
- [21] Pyzdek, T., Why normal distributions aren't- All that normal, *Quality Engineering*, 1995, Vol. 7, pp. 769-777.
- [22] Quesenberry, C.P., The Effect of Sample Size on Estimated Limits for and X bar control Charts, *Journal of Quality Technology*, 1993, Vol. 25, pp. 237-247.
- [23] Shiau, J.J., Yen, C.L., Pearn, W.L., and Lee, W.T., Yield-Related Process Capability Indices for Processes of Multiple Quality Characteristics, *Quality and Reliability Engineering International*, 2013, Vol. 29, No. 4, pp. 487-507.

ORCIDDokyung Lee | <http://orcid.org/0000-0003-3255-0261>