

측정 대상이 여러 규격을 포함하며 고정되지 않는 경우의 공정능력 측정지수 개발[†]

이도경 · 최문석

금오공과대학교 산업공학과

Development of a Process Capability Index in Case of Multi Specifications & Unfixable Objects

Do-Kyung Lee · Moon-Serk Choi

Dept. of Industrial Engineering, Kumoh National Institute of Technology

Recently, a couple of process capability indices are used to evaluate that the outputs of the process satisfy the specifications. An assumption of those indices is that the specifications of the characteristics are given single constant value. The display panel is a highly precise product and all the specifications of measure points are designed by their locations in the panel. So it is very difficult to locate the measurement facility to the exact position. In this paper, we propose a new process capability index in case of multi specifications and unfixable objects.

Keywords : Process Capability Index, Gage R&R, Multi specifications, Unfixable Objects

1. 서 론

급속한 산업구조의 변화와 제품의 서비스 및 품질에 대한 고객의 요구가 다양해짐에 따라 기업은 이에 부응하기 위하여 경영전반에 걸쳐 새로운 개혁과 변신을 위한 노력이 필요하다. 이에 생산현장에서는 고품질 저가격의 제품을 생산하기 위해 자동생산설비를 이용하고 있으며, 검사시스템 또한 다양한 제품을 유연하고 정밀하게 측정할 수 있도록 정밀화되고 자동화되는 추세이다. 따라서 기업은 제조단계 또는 검사단계의 품질변동 정도를 정확히 파악하여 공정이상 시 즉시 조치를 취할 수 있는 효율적인 공정관리가 상당히 중요하게 되었다.

통계적 품질관리의 주요 기능 중의 하나는 공정을 관리상태로 유지하는 것이다. 그러나 그 공정으로부터 생산된 제품들이 규격을 만족하도록 공정을 유도·조정하는 일도 그에 못지않게 중요하다. 생산된 제품들이 얼마

나 규격을 만족하는가?, 그렇지 못하다면 규격을 만족하도록 공정을 조정할 수는 없는가? 하는 문제들이 공정능력분석의 영역에 해당한다. 즉, 제품의 개발 및 제조 단계에서 생산 공정의 품질변동 정도를 측정하고 규격과 비교·분석하여 변동의 폭을 감소시키기 위해 제반 통계적 방법들을 이용하는 것을 공정능력분석이라 한다.

이러한 이유로 부각되는 6시그마의 여러 특성 중 정확한 DATA에 의한 관리 그리고 새로운 평가 시스템 구축의 추진을 강조하고 있다.

본 논문은 다루는 Display Panel공정과 같이 매우 정밀한 측정 단위를 요구하는 분야에서의 측정에 대한 것이다. 측정단위가 미세하므로, 아무리 정밀한 기계를 사용하더라도 위치는 설계상의 자리에 고정 되지 않고 위치산포가 발생된다. 이러한 경우 올바른 공정능력분석을 할 수 없다.

개별 위치의 품질특성치들의 공정능력지수를 구할 것

[†] 본 연구는 2003년 금오공과대학교 교내연구비 지원에 의해 수행되었음.

인지, 그리고 이렇게 구한 각각의 공정능력지수로써 부품전체의 공정능력지수로 나타낼 수 있을 것인지에 대해서 본 논문에서 논의해 보고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 공정능력

공정능력의 정의에 대해서는 여러 가지 견해가 있으나 그 중 몇 가지를 소개하면 다음과 같다. Juran[1]은 그의 저서 「Quality Control Handbook」에서 공정능력에 대하여 “공정이 관리 상태에 있을 때 각각의 제품의 변동이 어느 정도인가를 나타내는 양” 이라고 정의하였으며, 그는 공정능력이라는 말 대신에 자연공차(natural tolerance)라는 용어를 사용하고, 자연공차는 보통 6σ 라고 정의한 바 있다. 또한 Western Electric Co. 의 「Statistical Quality Control Handbook」에서는 “공정능력이란 통계적 관리상태에 있을 때의 공정의 정상적인 움직임(behavior), 즉 외부원인에 방해됨이 없이 조작되었을 때 공정에 의해 만들어진 일련의 예측할 수 있는 결과를 말한다.” 라고 정의하고 있다. 공정능력(process capability)이란 공정이 관리상태에 있을 때 그 공정에서 생산되는 제품의 품질변동이 어느 정도인지를 나타내는 양이며, 이를 하나의 수치로 표현한 것이 공정능력지수이다. 공정능력지수는 공정에서 생산되는 제품의 품질을 평가하는 데 사용된다.

공정능력지수는 본 용어에 포함된 ‘공정’이라는 의미처럼 그 사용처가 현장이다. 즉 수학적 통계적으로 계산이나 개념이 복잡하면, 현장에서는 사용하기 어려워진다. 이러한 이유로 공정능력을 측정하기 위한 지수들은 여러 가지가 소개되고 있으며, 이 중 가장 많이 사용되고 있는 것이 공정능력지수 C_p 이다[2].

시그마(sigma : σ)는 그리스 문자로서, 데이터의 산포를 파악하기 위하여 사용되는 표준편차는 하나의 척도이다. 시그마는 품질의 변동을 의미하는 표준 편차로 사용될 때도 있으나, 보통 ‘몇 시그마 수준’이라고 할 때에는 프로세스의 질을 나타내는 통계 척도의 값이다. 이것은 결함 없는 작업을 수행할 수 있는 프로세스의 능력을 계량화한 값이라고 할 수 있다[3]. 특히 품질특성분포의 σ 를 이용하여 6σ 로 공정의 능력을 정한다.

2.2 공정능력지수

공정능력지수는 규격과 관련하여 공정능력을 평가하는 척도이다. 공정이 관리상태에 있을 때 공정에서 생산

되는 제품의 품질변동이 어느 정도인가를 나타내는 양으로 공정의 자연공차에 대한 규격폭의 비율로 나타낸다. 이 개념에 기초하여, 산업계에서 가장 먼저 사용된 공정능력지수가 Juran[1]이 제시한 C_p 이다.

규격상한(USL)과 규격하한(LSL)이 있고, 제품의 품질특성치의 분포가 그림과 같이 양쪽규격의 중앙에 치우침이 없이 되어 있다고 가정되는 경우에는 공정능력지수(C_p)의 식은 $C_p = (USL - LSL) / 6\sigma$ 이다.

그러나 C_p 는 규격의 중심과 공정평균의 치우침을 고려하지 않고 있기 때문에 공정평균이 규격의 중심에 위치할 때 즉, 치우침이 없을 때에는 공정의 실제수율을 나타내고 있으나 치우침이 있을 때에는 이 치우침을 수정하기 위한 재작업 등 공정에 대한 조정노력이 들어가야 하기 때문에 이 때의 C_p 는 단지 달성 가능한 공정의 잠재수율을 나타내는 척도이다. 따라서 공정의 평균과 규격의 중심과의 사이에 치우침이 있을 때에도 실제공정의 수율을 정확하게 표현할 수 있는 치우침도를 고려한 공정능력지수가 필요하게 되었고 이에 C_{pk} 가 개발되었다. C_p 와 C_{pk} 를 동시에 사용하게 되면 공정범위와 위치에 관해서 올바르게 공정능력을 제시하여 주게 된다.

공정평균의 치우침을 고려하지 않는 공정능력지수 의 단점에 착안하여, Kane[6]은 공정평균의 이탈도를 반영하기 위한 지수 C_{pk} 를 다음과 같이 제안하였다. 그는 지수 C_p 가 공정의 잠재적 성능만을 평가한다는 점에서 제한적이라고 보고, 지수 C_{pk} 를 통하여 공정의 성능을 평가해야 한다고 주장하였다. C_{pk} 의 그림과 식은 다음과 같다.

$$C_{pk} = \min(C_{pu}, C_{pl})$$

$$\text{단, } C_{pu} = \frac{USL - \mu}{3\sigma}, \quad C_{pl} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma}$$

즉, 표준편차 σ 가 일정하다면 지수 C_{pk} 는 $\mu = M$ 일 때 최대값을 가지며, 이때 $C_{pk} = C_p$ 이다. 지수 C_{pk} 의 도입 목적은 공정평균의 이탈도를 고려하여 공정 불량률을 반영하고자 한 것이지만, 공정의 이탈도를 과도하게 반영하여 불량률과 일치하지 않는 특성을 보임으로 말미암아 처음의 의도를 정확하게 반영했다고 볼 수 없다[6].

다구찌의 손실함수를 기초하여 개발된 공정능력지수 C_{pm} 은 지수 C_{pk} 와 더불어 고려할 만한 제 2세대 공정능력지수이다. C_{pm} 은 공정평균의 이동을 직접 반영하지 않고, 표준편차 대신 평균제곱오차를 사용함으로써 간접

적으로 반영한다. C_p 나 C_{pk} 는 공정의 평균 μ 가 목표치 T로부터 얼마나 떨어져 있는지를 고려하지 않는 지수이다. Hisang and Taguchi와 Chan, Cheng, and Spiring은 각각 다음과 같은 지수를 제안하였다[7][8].

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

또는

$$C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\sigma'}, \quad \sigma' = \sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}$$

여기서, σ^2 과 마찬가지로 σ'^2 도 추정해야 할 모수이다. 따라서 N개의 표본이 있다면 σ' 가 알려져 있지 않은 경우 다음 식으로 σ' 를 추정하며, 이를 이용하여 C_{pm} 을 추정할 수 있다. C_{pm} 에 대한 자세한 특성은 임태진[9]의 연구를 참고하기 바란다.

$$\hat{\sigma}' = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - T)^2}{N-1}}$$

C_{pm} 에서 공정의 목표치 T가 규격상한과 규격하한의 중간값이 아닌 경우에도 Pearn, Kotz and Johnson[10]은 공정의 능력을 평가하기 위해 다음과 같이 일반화시켰다.

$$C_{pmk} = \frac{\min[USL - \mu, \mu - LSL]}{3\sigma'} \\ = C_{pk} / \sqrt{1 + (\mu - T)^2 / \sigma^2}$$

이 식으로부터 공정의 평균 μ 가 규격상한이나 규격하한에 가까이 있을수록, 공정의 평균 μ 가 목표치 T로부터 멀어질수록 C_{pmk} 는 작아진다는 것을 알 수 있다. σ' 가 알려지지 않은 경우에는 추정이 가능하면 또한 C_{pmk} 도 추정할 수 있다. 그런 의미에서 C_{pmk} 는 여러 가지 상황에서 공정능력을 쟁 수 있는 지표이다. 즉, 규격이 한 쪽에만 있는 경우는 물론이고 공정의 목표치가 규격한계선의 중앙에 있지 않은 경우에도 공정능력을 측정할 수 있다. 물론 공정의 목표치가 규격상한과 규격하한의 중앙에 있는 경우 C_{pmk} 와 C_{pm} 은 같게 된다[5].

2.3 다변량 공정능력지수

위에서 단일변량 공정능력지수에 대하여 논해 보았다. 이는 단일 항목에서 주어진 규격에 대한 이의 수행 정

도를 나타내는 척도이다. Samuel 등[11]은 다변량 공정능력지수의 발전과정을 정리한 연구결과를 발표하였다. 또한 Robert D. Plante[12]는 다변량의 제품 및 공정설계 능력으로 구성되는 공정능력에 관한 최근의 연구를 정리하였다. 다변량 공정능력 분석과 공정능력지수에 관한 연구들은 주로 1990년대 이후부터 발표되기 시작하였으며, 실질적인 다변량 해석을 통한 벡터 공정능력지수에 관한 연구와 다변량 공정능력을 단일변량으로 변환한 공정능력지수에 관한 연구로 분류할 수 있다. 전자의 경우를 다변량 공정능력지수(Multivariate Process Capability Index)로 명명하고 후자의 경우를 시스템 공정능력지수(System Process Capability Index)로 구분한다[13].

실질적인 다변량 해석을 통한 다변량 공정능력지수에 관한 연구는 벡터 공정능력지수에 관한 연구를 중심으로 이변량 자료를 바탕으로 벡터 추정량들의 확률분포 함수와 통계적 추정을 중심으로 진행되어 왔으나 계산과정이 너무 복잡한 관계로 제한된 연구결과만이 발표되고 있는 실정이다. 따라서 현재 시점에서 현장에 적용하기에는 아직은 많은 한계점이 있다.

Kocherlakota와 Kocherlakota[14]는 가장 간단한 형식인 이변량 정규분포 $BN(\mu_x, \mu_y, \sigma_x^2, \sigma_y^2, \rho)$ 하에서 공정능력지수의 추정량인 \hat{C}_{px} 와 \hat{C}_{py} 의 결합 확률분포함수를 계산하고 통계적 추론 방향을 제시하였으며, Shahriari et al.[15]는 Hotelling의 T^2 통계량을 이용하여 실질적인 다변량 공정능력지수를 발표하였다. 또한 국내에서 박병선, 이충훈, 조중재[16]는 이를 기초로 한 2차원 벡터공정능력지수 C_{pk} 의 추정량과 관련된 극한분포 결과를 유도증명하고, 이를 기초로 두 벡터 공정능력지수 C_p 와 C_{pk} 에 대한 근사적인 신뢰영역을 설정하였으며, 모의실험을 실시하였다. 그러나 벡터 공정능력지수에 관한 연구는 계산의 복잡성으로 인하여 주로 이변량 공정능력지수에 관한 연구로 진행되고 있으며 현장 적용에는 아직은 많은 제한점을 나타내고 있다[13].

2.4 시스템 공정능력지수

반면에 다변량 공정능력을 단일변량으로 변환한 공정능력지수에 관한 연구인 시스템 공정능력지수에 관한 연구는 비교적 활발하게 진행되었다. Chen 등[17]은 다변량 공정능력 지수인 MC_p 를 개발하였으며, Wang 등은 Chen 등의 MC_p 를 3차원으로 확장시킨 $MPCI$ 의 다변량 공정능력지수를 발표하였다. Veever는 형상공정영역의 체적(volume of specification region)에 대한 수정공차영역의 체적(volume of window of opportunity)의 비율에 근거한 다변량 공정능력지수와 유사한 다변량 능력지수 V_p

를 발표하였다.

또한 Robert[12]는 다변량의 제품 및 공정설계 능력으로 구성되는 하위의 공정능력을 하나의 상위 개념의 공정능력지수인 MC_{pk} 와 MC_{pm} 으로 나타내었으며, 이도경[2]은 다변량 능력지수의 일종인 다변량 공정능력지수평균(MCPM : multivariate process capability mean)을 제시하였다.

3. 연구내용

매우 정교하고 측정단위 또한 미세한 측정을 요구하는 공정에서는 정확한 위치에서 품질특성치를 측정하는 것은 기술적으로 어렵다[18]. 그리고 품질특성치의 위치에 따라 규격도 달라지도록 설계되어 위치에 따른 규격을 고려해서 분석해야 한다. 또한 패널공정과 같이 한 Panel에서 9개의 품질특성치 위치에서 측정해야 하는 경우 즉, 공정능력을 표현함에 있어 미세하나마 동일한 규격이 아닌 여러 특성치들을 동시에 고려하여 공정능력을 표현하여야 함을 의미한다.

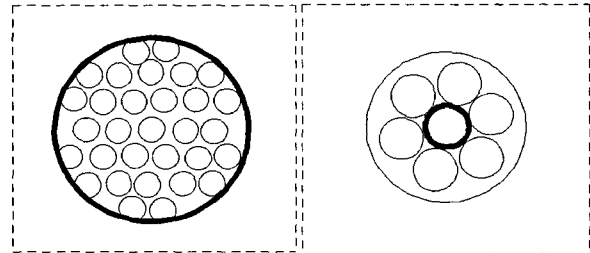
본 연구에서는 이와 같이 복합적인 공정에 대한 공정능력을 제시할 수 있는 지수를 제시한다.

3.1 적용 대상 공정

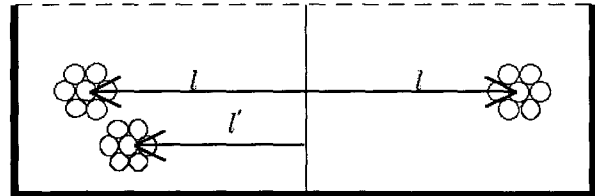
본 연구의 적용 대상 공정은 디스플레이 패널 공정이며, 측정 대상인 셀을 <그림 1>에서 나타내었다. <그림 1>은 위치 산포에 의해서 측정하고자 하는 위치에서의 품질특성치를 잘못 측정할 수 있는 품질특성치들을 나타낸 것이다. 굵은 선으로 이루어진 큰 원은 자동 측정기가 검사 위치로 이동하여 현미경 안에서 보이는 모습이며, 안에 규칙적으로 위치하고 있는 작은 원들은 측정 대상에 해당하는 셀들을 나타낸 것이다.

<그림 2>는 계측기가 측정 위치에 고정되었을 때, 큰 원의 가운데 부분에 위치한 셀들을 나타낸 것이다. 여기서 측정 대상의 특성치는 정중앙의 셀의 지름이다. 실제 현장에서는 시간과 비용이라는 측면을 고려하기 때문에 한 곳의 위치에서 1개 셀만을 선택하여 왔다. 이의 문제점은 앞에 언급한 것과 같이, 셀들이 설계상의 값과 동일하게 만들어 졌어도, 측정 위치가 그 정밀도에 따라 제자리에서 어긋나는 경우 공정능력은 실제 값보다 나쁘게 나오게 된다. 이의 설계상 특성은 <그림 3>과 같이 기준점(T)에서 화살표 방향으로 갈수록 커지도록 설계되어 있다. 즉 거리 l 떨어진 위치의 품질특성치의 규격의 크기가 거리 l' 떨어진 위치의 품질특성치의 규격의 크기보다 크도록 설계되어 있다. 측정하고자 하는 정확한

위치에서 품질특성치를 측정하는 것은 기술적으로 불가능하거나 고정밀 측정기에 따른 많은 비용을 수반한다.

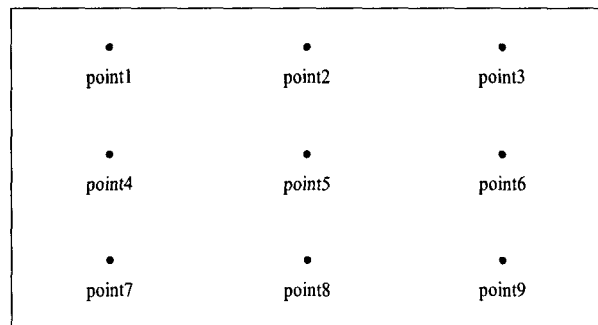


<그림 1> 계측기를 통해서 본 <그림 2>거리 추정에 사용되는 7개 측정 셀들의 구조



<그림 3> 기준점(T)로부터의 품질특성치에서의 규격 변화

한 장의 패널에는 <그림 4>의 9개의 품질특성치 측정 위치가 있다. 측정해야 할 위치는 설계상에 주어진 한 셀이지만, 측정기의 위치 오차에 따라 <그림 1>과 같이 현미경 내의 여러 셀들 중 가운데의 한 셀을 측정하고 있다.



<그림 4> 디스플레이 패널에서 설계상 품질특성치의 측정 위치

3.2 공정능력 지수 개발

본 연구에서의 공정능력 실험 대상은 패널에 위치한 셀들의 지름이다. 여기에는 유사하면서 상이한 3가지 개념이 포함되어야 한다. 첫째 아홉 곳의 위치 중 한 곳에

서의 공정능력 둘째, 이들 아홉 개의 위치별 공정능력으로 나타내어야 하는 한 장의 패널로의 전개 셋째, 여러 장의 패널로 나타내어야 하는 궁극적인 세 지름에 대한 공격능력이다.

3.2.1 기호 설명

- T : 설계기준점
- l : T 로부터 측정위치까지의 거리
- \hat{l} : l 의 추정량
- a : T 에서의 규격공칭
- b : T 에서의 규격공차
- c : 공칭의 단위 거리 당 증가계수
- d : 공차의 단위 거리 당 증가계수
단, 설계상 주어진 상수, $c, d \geq 0$
- x : T 로부터 측정위치까지의 관측 값 $\sim N(l, \sigma_m^2)$
- y_{ijk} : i 번째 panel의 j 번째 point에서 측정 가능한 k 번째 셀 지름의 측정값
($i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, 9, k = 1, 2, \dots, 7$)
- \bar{y}_{ij} : i 번째 패널의 j 번째 point에서 측정 가능한 일곱 개 셀 지름 측정값의 평균
- USL_l, LSL_l : T 로부터 거리 l 만큼 떨어진 셀 지름의 품질특성치의 규격 상한 및 하한
- C_{ij} : i 번째 패널의 j 번째 위치의 정밀도
- C_i : i 번째 패널의 품질특성치의 정밀도
- $C_{p(a)}$: 전체 공정능력지수

3.2.2 디스플레이 패널의 설계상 규격 설정

디스플레이 패널의 설계상 규격은 <그림 3>의 기준점 (T)에서 화살표 방향으로 갈수록 공칭과 공차 규격이 커지도록 설정이 되었다. 기준점에서의 규격은 $(a \pm b)$ 이며, 기준점으로부터 거리 l 만큼 떨어져 있는 품질특성치의 규격은 공칭의 단위거리 당 증가계수와 공차의 단위거리 당 증가계수에 의해 다음과 같다.

$$\text{품질특성치의 규격} = (a + cl) \pm (b + dl) \dots\dots\dots (1)$$

3.2.3 디스플레이 패널의 정밀도

공정능력지수(C_p)를 구하기 위해서는 규격의 폭과 표준편차의 추정이 필요하다.

기준점으로부터 l 만큼 떨어진 품질특성치의 위치에서 설계상 규격의 폭은 $(U_l - L_l) = 2(b + dl)$ 이다.

앞서의 언급한 상황 설정에 의해 측정 기기가 설계상의 위치 l 에 정확히 위치한다는 보장이 없으므로, 공정능력 측정을 위한 개별 위치 point에서의 셀 지름에 대한 규격은 설계상의 주어진 상수가 아닌, 추정이 필요하다. 결국, 이 단계에서는 규격 설정의 기준을 어디에 둘 것인가를 결정해야 한다. 기존에는 위치측정기의 산포를 무시하고 항상 설계상의 위치 point로 간주하여 설계상의 규격을 사용해왔다. 이 경우, 앞서의 문제점이 발생하게 된다. 본 연구에서는 반대의 경우를 기준으로 규격을 추정한다. 그러므로 j 번째 point에서의 품질특성치의 평균은 $\bar{y}_{ij} = a + d$ 이다. 이로부터 거리의 추정량 및 규격의 폭 ($U_l - L_l$)은 다음과 같이 추정할 수 있다.

$$\hat{l} = (\bar{y}_{ij} - a) / c \dots\dots\dots (2)$$

$$(U_l - L_l) = \{b + d \times (\bar{y}_{ij} - a) / c\} \dots\dots\dots (3)$$

공정능력의 산출을 위해서는 또한 표준편차의 추정이 필요하다. 본 연구에서는 군 구분이 없는 경우이므로 i 번째 Panel의 j 위치의 산포를 7개의 측정값으로부터 표본표준편차(s_{ij})를 이용해서 구할 수 있다. 공정능력이란 공정이 안정되었을 때를 기준하므로, 우선 셀 지름의 값이 안정되어 있다고 가정하여, 역으로 이를 기준으로 l 을 추정한다. 이 경우는 공정이 안정되었더라도 단일 측정값으로 l 을 추정할 경우, 개별 위치 point에서의 정밀도라는 문제점이 야기된다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 l 의 추정에 있어 <그림 3>의 정중앙 한 셀의 지름이 아닌 주변 6개의 지름 값들을 포함한 7개 특성값의 평균으로 추정한다. 이는 아홉 곳의 point로의 측정기기 이동은 시간이 걸리지만, 일단 위치한 후의 개별 셀의 지름 측정은 자동화 되어있어, 한 번에 7개 셀의 측정에는 추가의 시간과 비용이 거의 소요되지 않기 때문이다. 셀 지름들로부터의 i 번째 패널의 j 번째 point

에서의 표본표준편차는 $s_{ij} = [\sum(y_{ijk} - \bar{y}_{ij})^2 / 6]^{0.5}$ 이

다. i 번째 패널의 j 번째 point에서의 정밀도 개념(적은 수의 자료와 패널 공정 전체에 대한 최종 공정능력지수 산출을 위한 중간 단계이므로 이를 정밀도로 표현)의 C_{ij} 는 식 2)와 3) 및 위의 표준편차의 추정량에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_{ij} = (U_l - L_l) / 6\hat{\sigma}$$

$$= [2b + d(\bar{y}_{ij} - a) / c] / 6 [\sum(y_{ijk} - \bar{y}_{ij})^2 / 6]^{0.5}$$

두 번째 단계인 하나의 패널을 대표하는 패널 정밀도 C_i 는 위의 과정을 통해서 구한 C_{ij} 의 값 중에서 최소값을 가지는 C_{ij} 가 패널을 대표한다고 할 수 있다.

$$C_i = \min(C_{i1}, \dots, C_{i9})$$

C_i 역시 정밀도로 표현하는 이유는 산출은 공정능력 지수를 근간으로 하지만, 개별 패널에 대한 것이기 때문이다. C_{ij} 중에서 최소값으로 C_i 를 나타내는 것은 하나의 패널에는 9개의 측정 position이 있으며, 어느 한 곳에서도 불량인 경우 해당 패널은 불량처리 되기 때문이다.

3.2.4 새로운 전체 공정능력지수 $C_{p(T)}$

본 연구에서 제시하는 마지막 단계는 다수의 패널로 구성되는 진정한 의미의 공정능력지수를 선정하는 것이다. 이 단계에서의 전체 공정능력지수 $C_{p(T)}$ 는 n 개의 C_i 의 산술평균으로 정의한다. 조립 부품에서와 같이 여러 특성 중 어느 한 부품의 불량이 전체 제품의 불량을 유발하는 경우, 이를 반영하여 전체 공정능력을 기하평균 개념으로 접근하는 것이 타당하다. 이는, 앞서의 다변량 공정능력지수 중에서 시스템공정능력지수들의 개념에 해당한다. 그러나 본 연구에서의 C_i 들은 각자 독립적인 공정정밀도를 나타내므로 전체공정능력지수 산출에서는 산술평균을 사용하는 것이 타당할 것이기 때문이다. 새로운 전체 공정능력지수 $C_{p(T)}$ 는 다음과 같다.

$$C_{p(T)} = \sum_{i=1}^n C_i / n$$

4. 결 론

본 연구는 디스플레이 패널공정과 같이 고도의 정밀한 측정단위로 인해 기술적으로 위치고정이 불가능하고, 위치에 따라 달라지는 설계상 규격 및 이들을 통합하여 올바른 공정능력지수를 구하는 경우에 대해 연구하였다. 여러 곳의 측정위치에서 정밀도 C_{ij} 를 정의하고 이들 정밀도들을 이용하여 개별 패널의 정밀도 C_i 를 나타내었으며, 이들로써 해당 공정의 공정능력을 나타낼 수 있는 새로운 공정능력지수 $C_{p(T)}$ 를 제시하였다.

많은 측정을 통하여 9개의 측정위치에서 C_{ij} 의 값을 구하게 된다면 C_{ij} 의 값은 정확하게 나타날 것이다. 그러나 측정위치의 정밀도를 보정하기 위해 여러번의 측정 위치에서의 자료 수집의 경우 많은 시간과 비용이 소요되어 현실성이 결여된다. 그러므로 본 연구에서는

공정이 안정된 상태라는 가정 하에 개별 position에 대해 한 번의 측정기를 위치시키고 대신 추가의 시간과 비용은 필요치 않은 주변 7개 셀들의 측정치의 평균을 이용하여 거리를 추정하였다.

여러 개의 평균(\bar{y}_{ij})을 이용한다면 셀들 자체에 의한 산포는 서로 상쇄되어 기준점으로부터의 거리를 편기 없이 추정 할 수 있다. 그러나 거리에 의한 산포보다 셀들에 의한 산포가 클 경우 확률적으로는 계산 가능하지만 실제로 어느 것으로 인한 산포가 더 큰지에 대해서는 알 수 없다. 따라서 판단기준은 제1종 오류와 제2종 오류를 고려해서 확률적으로 판단해야 한다. 실제의 경우, 두 가지(거리, 셀의 크기)에 의해서 측정치의 산포는 영향을 받는다. 이러한 경우 설계상의 값(규격 공차와 규격 공차의 증가계수)의 크기에 따라서 판단을 내릴 수 있다. 설계상의 증가계수가 클수록 본 연구에서 제시하는 것처럼 셀 크기의 산포보다 위치오차로 간주하는 것이 타당성을 갖게 된다. 판단기준에 관련해서는 제1종 오류와 제2종 오류의 결과에 의한 비용모델로의 확장 전개가 필요하며 이는 추후 과제로 남긴다.

또한 패널 공정에서는 설계기준점을 중심으로 화살표 방향으로 멀어질수록 규격의 값이 선형적으로 커졌다. 패널공정과 달리 여러 곳에 측정위치가 존재할 때, 해당 측정 position의 규격이 비선형으로 설계된 경우에 대해서는 추가의 연구가 수행되어야 할 것으로 생각한다.

참고문헌

- [1] Juran, J.M., Ed., Quality Control Handbook, 3rd Ed. Mcgraw-hill, New York, 1974.
- [2] 이도경, “공정능력지수 개발”, 금오공과대학교 논문집, 제20집, pp.153-160, 1999.
- [3] 박성현 외, “6시그마 설계를 위한 DFSS”, KSA한국 표준협회, pp.17, 2002.
- [4] Design for Manufacturability, Motorola, Inc. Eng 123Participant Guide, Motorola Training and Education Center, Motorola, Inc., Illinois, 1986.
- [5] 백재욱, 조진남, “공정능력지수에 대한 비평가 올바른 공정능력분석 절차”, 품질경영학회지, 27권 2호, pp.81-101, 1999.
- [6] Kane, V.E, “Process Capability Indices,” Journal of Quality Technology, Vol.18, No.1, pp.41-52.
- [7] Hisang and Taguchi, “A Tutorial on Quality Control and Assurance the Taguchi Methods,” ASA Annual Meeting, Las Vegas, 1985.
- [8] Chan, Cheng, and Spiring, “A New Measure of Process Capability,” Journal of Quality Technology,

- V.20, pp.162-175, 1988.
- [9] 임태진 외, “불량률과 일치하는 공정능력지수 C_{pd} ,” 품질경영학회지, Vol.28, No.2, 1996.
- [10] Pearn, W. L. etc., “Distributional and Inferential Properties of Process Capability Indices,” Journal of Quality Technology, Vol.24, No.4, pp.216-231, 1992
- [11] Samuel, H., Hubele, N. F., Lawrence, F. P., Miskulin, J. A. O, and Shariari, H., “Comparison of Three Multivariate Process Capability Indices,” Journal of Quality Technology Vol.32, pp.2-19, 2002
- [12] Robert D. Plante, “Process Capability : A Criterion for Optimizing Multiple Response Product and Process Design,” IIE Transactions, Vol.33, pp.497-509, 2001.
- [13] 조남호, 이용훈, “다변량 시스템 공정능력지수 (SCpsk) : A New Multivariate System Process Capability Index,” 안전경영과학회지, 제5권 제3호, pp.145-156, 2003.
- [14] Kocherlakota, S. and Kocherlakota, K., “Process Capability Indices : Bivariate Normal Distribution”, Communication in Statistics : Theory and Methods, Vol.20, pp.2529-2547, 1990.
- [15] Shahriari, H., Hubele, N. F. and Lawrence, F. P., “A Multivariate Process Capability Vector”, Proceedings of the 4th Industrial Engineering Research Conference, Nashville, TN, pp.303-308. 1995.
- [16] 박병선 외, “2차원 벡터 공정능력지수 C_p 와 C_{pk} 의 근사 신뢰영역”, 품질경영학회지, 제30권 제4호, pp.44-57, 2002
- [17] Chan, L. K., Cheng, S. W., and Spring, F. A., “A Multivariate Measure of Process Capability,” International Journal of Modeling and Simulation, Vol.11, pp.1-6, 1991.
- [18] 이도경, 장성호, 고남제, “스크린 프린팅 적용을 위한 패널 평탄도와 BM 일치성의 공정능력 분석,” 한국산업경영시스템학회지, 제27권 제1호, pp.32-37, 2004.
- [19] 김성규, “주성분 분석에 기초한 다변량 공정능력지수”, 석사학위논문, 금오공과대학교, 2003.