

PL시대에 있어서 품질보증을 위한 공정관리기법

-Process Control Techniques for Quality Assurance in the Product Liability Age-

정 영 배*
Chung, Young-Bae
김 연 수*
Kim, Yon-Soo

Abstract

In the product liability age the demand on quality is extremely high and inspection and test are automated.

The process capability indices C_p , C_{pk} and p control chart widely used to provide unitless measure of process performance and process control.

Traditional process capability indices C_p , C_{pk} do not represent the process variation from target value.

The conventional p chart for control of fraction nonconforming becomes inadequate when the fraction nonconforming becomes very small such as PPM level production system.

This paper proposes process performance measure considering quadratic loss function and cumulative counts control chart for control of PPM level production system.

1. 서론

제품에 불량이나 결함이 발견되면 그에 대한 책임을 지는 품질의 신시대인 PL(product liability)시대에 있어서 생산자에게는 품질보증에 대한 책임이 더욱 가중되고 있다. 특히 자동차산업이나 항공산업과 같이 많은 부품으로 조립되는 제품은 각 부품의 불량률이 아무리 작다 하더라도 부품의 수가 많아지면 완성품의 양품률은 급격히 떨어지므로, 부품의 수가 많아지면 전 부품이 완전 양품 100%, 즉 불량 제로의 수준이어야 한다. 이와같이 소비자보호운동의 고조, PL문제등으로 고품질, 고신뢰도의 품질의 제품이 요구됨에 따라 제조공정에서 PPM단위의 불량률의 달성이 요구되고 있는 시점이다.

생산현장에서의 PPM관리란 불량률의 단위를 100분의 1인 %단위에서 100만분의 1인 PPM으로 전환함으로써 불량이 발생하지 않게 한다는 무결점 사상에서 출발하는 완벽한 품질수준을 말하고 이는 100% 양품을 생산한다는 의미와도 통하게 된다.

따라서 PPM수준의 품질은 어느 의미에서 샘플링검사를 기초로 하는 기존의 SQC(statistical

* 인천대학교 산업공학과

quality control)방식에서 하나의 도약을 추구하는 품질혁명이라고 할 수 있다. 기존의 SQC에서는 AQL(acceptable quality level)을 제시하게 되고 납품자쪽에서는 이 요구품질을 출하시에 샘플링검사를 실시해서 보증납품을 하는 방식을 채택하고 있기 때문에 불가피한 어느 정도의 불량률의 혼입을 허용하고 있다. 그러나 PPM단위의 품질이란 실질적인 의미에서 무결점의 의미가 강하므로 Parts Per Million의 의미보다는 완전제품화운동이라는 Perfect Production Movement 라는 의미가 더욱 강하다.

따라서 부품의 불량률을 PPM수준으로 유지하지 못하면 조립품은 그 조립부품의 수에 따라 다르겠지만 결국 상당한 불량품을 생산하게 되고, 불량률의 증가는 기업의 신뢰도에 영향을 주고 고객으로 하여금 클레임의 소지가 되고 기업자체의 로스를 유발하여 원가를 절감시키는 데 큰 영향을 미치므로 불량률을 PPM수준으로 유지 관리하는 것은 기업의 필수 요구사항이 된다.

PPM수준의 불량률을 보증하려면 통계적인 샘플링검사의 사고방식으로는 불가능하며, 공정관리를 적극적으로 추진하여 항상 최저수준을 유지시켜야 하며, 이러한 공정관리를 위해서 품질의 달성능력을 평가하는 척도인 공정능력지수와 공정의 해석과 관리에 이용하는 관리도를 활용하고 있다.

그러나 최근 고객의 품질에 대한 인식이 품질특성치의 규격에 대한 합치여부를 보는 객관적인 만족도보다는 제품의 성능이 고객을 만족시키는 고객만족도에 의해 결정되는 추세로 바뀌고, 공정에서 만든 제품도 규격내에서 모두 같은 정도의 적합도를 갖지 못하며, 고객 또한 단지 규격에의 적합여부뿐만 아니라 제품을 평가하지 않고 가능한 선택범위 내에서 가장 높은 적합도를 갖는 제품을 선호하는 경쟁적 시장구조하에서는 품질을 단지 규격에의 적합성으로 평가하는 불량률이나 산포의 크기만으로 평가하는 공정능력지수는 바람직하지 못하다.

또한 기존의 3 σ 법에 의한 P관리도를 활용하여 공정을 관리하는 경우에도 불량률이 아주 작은 경우에는 공정의 변화에 민감하지 못함으로써, 그에 대한 조치가 이루어지지 못하거나, 공정을 관리상태로 유지한다 함은 샘플에 불량품이 하나도 없게하는 현실적으로 불합리한 절대적인 무불량을 요구하게 된다. 따라서 PPM수준의 생산시스템의 공정관리에 3 σ 법에 의한 관리도의 적용은 바람직하지 못하다.

본 연구는 공정관리시 공정을 평가하는 척도로서 목표치로부터의 품질변동으로 인한 이차손실함수(quadratic loss function)를 적용한 기대손실을 이용한 공정능력척도를 제시하고, 기존의 3 σ 법에 의한 P관리도의 적용이 불합리한 불량률이 PPM수준으로 아주 낮은 공정의 관리에 적용할 수 있는 누적수관리도(cumulative count control chart)를 제시한다.

2. 기대손실을 이용한 공정능력척도

공정에서의 품질을 평가하는 방법으로는 불량률, 공정능력지수, 기대손실이 있다.

불량률은 제품의 품질특성이 규격을 벗어난 제품의 비율을 나타내는 척도이나 규격내에서의 분포의 모양이나 상태에 대한 정보는 제공하지 못하고, 공정능력지수는 규격에 대한 산포의 크기로서 공정을 평가하는 단위에 무관하고 비교기준이 명확한 척도이다. 그러나 전통적인 공정능력지수는 품질특성치가 목표치에 어느정도 접근했는가에 대한 정보는 제공하지 못한다. 기대손실은 목표치로부터의 품질특성치의 변동으로 인한 손실의 기대값을 사용함으로써, 목표치로부터의 기대손실로서 공정을 평가하는 현재의 품질의 개념에 적합한 공정능력척도이나 기대손실이 화폐단위로 나타나기 때문에 어느 정도의 기대손실을 갖는 공정을 유지하느냐가 의사결정의 중요한 관건이 되고 이에 대한 비교기준을 정하는 것도 어렵다. 따라서 공정능력척도로서 목표치로부터의 품질의 변동을 평가하여 고객의 요구를 반영하면서 단위에 무관하고 비교기준도 명확한 척도가 요구된다.

Taguchi[9]가 제안한 목표치로부터의 품질변동으로 인한 이차손실함수(quadratic loss function)를 적용하여 목표치로부터의 품질의 변동도 감소시키고 단위에 무관하고 비교기준이 명확한 '최도인' 기대손실을 이용한 공정능력지수 C_{pE} 를 제시한다.

따라서 품질특성의 변동에 따른 기대손실의 비용요인으로서 품질특성의 검사비용, 규격내의 목표치에 대한 변동으로 인한 합격손실비용, 규격을 벗어난 품질특성을 재작업하거나 폐기처분 등의 불합격손실비용의 경제적인 고려를 한 공정능력척도를 가지고 공정관리를 하는 것이 현재의 품질의 개념으로 타당한 방법이라 할 수 있다.

2.1 전통적인 공정능력지수

(1) 양쪽규격이 주어진 경우

품질의 달성능력을 평가하는 척도로 공정능력 6σ 와 규격의 폭 T 와의 비를 구하여 공정능력지수(process capability index)라 하고 C_p 로 표시하며 다음과 같다.

$$C_p = (S_U - S_L) / 6\sigma = T / 6\sigma \tag{1}$$

공정의 평균과 규격의 중심과의 사이에 치우침이 있을 때에도 실제공정의 수율을 정확하게 표현할 수 있는 치우침도를 고려한 공정능력지수를 C_{pk} 로 표시하고 다음과 같다.

$$C_{pk} = \text{Min} \left\{ \frac{S_U - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - S_L}{3\sigma} \right\} = (1 - K)C_p \tag{2}$$

단, $K = |M - \mu| / (T/2)$
 $T = S_U - S_L$
 $M = (S_U + S_L) / 2$

(2) 한쪽 규격이 주어진 경우

한쪽규격이 주어진 경우는 상한규격이 주어진 경우와 하한규격이 주어진 경우로 나누어 다음과 같이 주어진다.

$$C_{pU} = \frac{S_U - \mu}{3\sigma} \tag{3}$$

$$C_{pL} = \frac{\mu - S_L}{3\sigma}$$

2.2 기대손실에 의한 공정능력척도

2.2.1 기호

본연구에서 사용되는 기호는 다음과 같다.

- Y : 품질특성치
- L(y) : Y의 손실함수
- T : Y의 목표치
- S_L : 규격하한

- S_U : 규격상한
- Δ : 허용한계
- A : 규격을 벗어난 제품의 소비자손실
- I : 검사비용
- R_1 : 규격하한에 미달되는 제품의 단위당 처리비용
- R_2 : 규격상한을 초과하는 제품의 단위당 처리비용
- $f(y)$: Y 의 p.d.f., $Y \sim N(\mu, \sigma^2)$
- $\phi(\cdot)$: 표준정규확률밀도함수
- $\Phi(\cdot)$: 표준정규누적분포함수
- TL : 품질특성에 따른 단위당 손실
- ETL : 단위당 기대손실
- C_{PE} : 공정능력척도(양쪽규격이 주어진 경우)
- C_{PEU} : 공정능력척도(규격상한이 주어진 경우)
- C_{PEL} : 공정능력척도(규격하한이 주어진 경우)

2.2.2 비용요인

모형에서 고려할 수 있는 비용요인으로는 규격을 만족하는가의 여부를 검사하는 비용, 규격 내에서 품질특성치의 목표치에 대한 편차로 인한 손실비용, 규격을 벗어났을 때 제품을 처리하는 비용이 있다.

본 연구에서는 규격하한에 미달되는 제품을 처리하는 비용과 규격상한을 초과하는 제품을 처리하는 비용을 각각 고려하면서, 이에 대한 비용요인을 고려하여 모형을 설정한다.

본 연구에서의 비용요인은 다음과 같다.

(1) 검사비용

제품의 품질특성이 규격에의 일치여부를 검사하기 위해 소요되는 비용

(2) 불합격손실비용

규격을 벗어난 제품을 수정하는 데 소요되는 비용

- 1) 품질특성이 규격하한에 미달됨으로서 야기되는 불합격 손실비용
- 2) 품질특성이 규격상한을 초과함으로서 야기되는 불합격손실비용

(3) 합격손실비용

품질특성이 규격은 만족하지만 목표치에 대한 편차로 인한 손실비용

2.3.3 공정능력척도

가. 양쪽규격이 주어진 경우

품질특성의 변동에 따른 기대손실의 비용요인으로서 규격에의 일치여부를 검사하는 검사비용, 규격내의 목표치에 대한 편차로 인한 합격손실비용, 규격을 벗어난 품질특성에 대한 불합격손실비용의 경제적인 고려를 한 공정능력척도를 양쪽규격이 주어진 경우에 대해 다음 식과 같이 나타낸다.

$$C_{PE} = \frac{S_U - S_L}{6\sqrt{ETL}} \tag{4}$$

본 연구에서 제안한 단위당 기대손실 ETL은 다음과 같다.

품질특성에 따른 단위당 손실은 식(5)와 같고

$$TL = \begin{cases} R_1 & , \quad y < S_L \\ L(y) & , \quad S_L \leq y \leq S_U \\ R_2 & , \quad y > S_U \end{cases} \quad (5)$$

단위당 기대손실은 식(6)과 같다.

$$\begin{aligned} ETL &= I + R_1[\Pr(Y < S_L)] + \int_{S_L}^{S_U} L(y)f(y)dy + R_2[\Pr(Y > S_U)] \\ &= I + R_1 \int_{-\infty}^{S_L} f(y)dy + \int_{S_L}^{S_U} L(y)f(y)dy + R_2 \int_{S_U}^{\infty} f(y)dy \end{aligned} \quad (6)$$

단위당 기대손실 식(6)을 유도하기 위해 다음과 같은 표준정규밀도함수 $\phi(z)$ 와 표준정규누적 분포함수 $\Phi(z)$ 을 이용한다.

$$\begin{aligned} \phi(z) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} \\ \Phi(z) &= \int_{-\infty}^z \phi(z)dz \end{aligned} \quad (7)$$

망목특성인 경우 Taguchi의 이차손실함수를 표준정규분포를 이용하여 정리하면

$$\begin{aligned} L(y) &= k(y-t)^2 \\ &= k[(y-\mu) - (T-\mu)]^2 \end{aligned} \quad (8)$$

에서

$(Y-\mu)/\sigma = z$, $(T-\mu)/\sigma = w$ 라 놓으면

$$L'(z) = k\sigma^2(z^2 - 2zw + w^2), \quad k = A/\Delta^2 \quad (9)$$

이 된다.

$(S_U-\mu)/\sigma = Z_U$, $(S_L-\mu)/\sigma = Z_L$ 라 두고, 식(6)을 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} ETL &= I + R_1 \int_{-\infty}^{Z_L} \phi(z)dz + \int_{Z_L}^{Z_U} L'(z)\phi(z)dz + R_2 \int_{Z_U}^{\infty} \phi(z)dz \\ &= I + R_1 \Phi(Z_L) + k\sigma^2[(1+w^2)\{\Phi(Z_U) - \Phi(Z_L)\} + Z_L \phi(Z_U) \\ &\quad - Z_U \phi(Z_U) + 2w\{\phi(Z_U) - \phi(Z_L)\}] + R_2[1 - \Phi(Z_U)] \end{aligned} \quad (10)$$

나. 한쪽규격이 주어진 경우

한쪽규격이 주어진 경우의 공정능력척도를 규격상한이 주어진 경우 C_{pEU} 와 규격하한이 주어진 경우 C_{pEL} 에 대해 나타내면 다음과 같다.

(1) 규격상한이 주어진 경우

규격상한이 주어진 경우 공정능력척도는 다음 식(11)과 같이 나타낸다.

$$C_{pEU} = \frac{S_U - \mu}{3\sqrt{ETL}} \tag{11}$$

품질특성에 따른 단위당 손실은 다음 식(12)와 같고

$$TL = \begin{cases} L(y) & , y \leq S_U \\ R_2 & , y > S_U \end{cases} \tag{12}$$

망소특성인 경우 Taguchi의 이차손실함수를 표준정규분포를 이용하여 정리하면

$$L'(z) = k(\sigma^2 z^2 + 2\sigma\mu z + \mu^2), k = A/\Delta^2 \tag{13}$$

이므로, 단위당 기대손실은 식(14)와 같다.

$$\begin{aligned} ETL &= I + \int_{-\infty}^{Z_U} L'(z)\phi(z)dz + R_2 \int_{Z_U}^{\infty} \phi(z)dz \\ &= I + \int_{-\infty}^{Z_U} L'(z)\phi(z)dz + R_2[1 - \Phi(Z_U)] \end{aligned} \tag{14}$$

(2) 규격하한이 주어진 경우

규격하한이 주어진 경우 공정능력척도는 다음 식(15)와 같이 나타낸다.

$$C_{pEL} = \frac{\mu - S_L}{3\sqrt{ETL}} \tag{15}$$

품질특성에 따른 단위당 손실은 다음 식(16)과 같고

$$TL = \begin{cases} R_1 & , y < S_L \\ L(y) & , y \geq S_L \end{cases} \tag{16}$$

망대특성인 경우 Taguchi의 이차손실함수를 표준정규분포를 이용하여 정리하면

$$L'(z) = k(\sigma^2 z^2 + 2\sigma\mu z + \mu^2)^{-1}, k = A\Delta^2 \tag{17}$$

이므로, 단위당 기대손실은 식(18)과 같다.

$$\begin{aligned} ETL &= I + R_1 \int_{-\infty}^{Z_L} \phi(z)dz + \int_{Z_L}^{\infty} L'(z)\phi(z)dz \\ &= I + R_1 \Phi(Z_L) + \int_{Z_L}^{\infty} L'(z)\phi(z)dz \end{aligned} \tag{18}$$

3. PPM수준의 공정관리를 위한 누적수관리도

관리도를 이용하여 공정을 관리하고 해석할 때 사용되는 일반적인 계수치관리도로서 Shewhart[6]의 3σ법에 기초를 둔 P관리도는 불량률이 PPM수준의 공정을 관리하는 데는 부적합하다.

Shewhart의 3σ법에 기초를 둔 P관리도는 이항분포의 정규근사의 조건으로 $np \geq 5$ 를 만족해야 하는 데, p 가 아주 작을 때 이 근사조건을 만족할 만큼 n 이 충분히 크지 못하다면 즉, $np < 5$ 가 되면 이항분포의 정규근사는 더이상 유효하지 않으며, 이러한 환경에서 기존의 P관리도 절차에 따른 공정의 관리는 효과적이지 못하다.

따라서 불량률이 PPM수준인 공정에 대한 기존의 P관리도의 적용은 다음과 같은 불합리한 점을 가지고 있다.

첫째, 관리한계선이 중심선에 대해 대칭이 아니다. 이것은 매우 작은 P 에 대해서는 LCL이 음수가 나와 관리도의 통계적인 기본이 더이상 적용될 수 없음을 나타낸다.

둘째, 공정을 관리상태로 유지한다 함은 샘플에 불량품이 하나도 없게 해야 함을 뜻하고 이것은 절대적인 무불량을 요구하는 것과 동일한 것이다. 그러나 이러한 무불량은 실제상황에서는 불가능할 뿐만 아니라 통계적인 관리의 개념에도 일치하지 않는다.

셋째, 매우 작은 P 에 대해 P관리도는 공정의 변화에 민감하지 못함으로써 그에 따른 조치가 이루어지지 못한다는 단점을 가지고 있다.

따라서 이러한 단점을 보완한 누적수관리도(cumulative count control chart)가 Goh[5]에 의해 제시되었다. 따라서 이 누적수관리도를 적용하여 PPM수준의 공정을 관리하는 것이 합리적이다.

3.1 기존의 P관리도

P관리도는 연속적으로 검사된 샘플 중 불량품의 비율을 타점하는 형태로 품질정보를 나타낸다. 3σ법의 관리도는 제1종과오가 0.0027로 아주 작기 때문에 타점한 각각의 군의 불량률 P_i 가 관리한계선 LCL, UCL 밖으로 나가면 공정평균이 변했다고 보고, 즉 공정이 관리상태가 아니라고 보고 조치를 취하기 위해 공정을 멈춘다.

i : 군의 번호 ; 1, 2, 3, ..., k

n_i : i 군의 샘플의 크기

d_i : i 군의 불량품의 수

p_i : i 군의 불량률, $p_i = d_i/n_i$

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^k d_i}{\sum_{i=1}^k n_i}$$

$$CL = \bar{p}$$

(19)

$$LCL_i = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}}$$

$$UCL_i = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}}$$

이 기존의 P관리도를 이용하여 PPM수준의 공정을 관리한다고 하자.

예를 들어 공정의 평균불량률 $\bar{p} = 100ppm$ 이고 각각의 i 군의 크기 $n_i = 200$ 인 공정을 P관리도를 이용하여 관리한다고 하면,

$$CL = 0.0001$$

$$LCL = -0.0020 \text{ (고려하지 않음)}$$

$$UCL = 0.0022$$

가 되어, 관리한계선이 중심선 CL에 대해 대칭이 아니고, 샘플 200개중 불량품이 하나라도 발생하면 UCL 을 넘어가게 되어 관리상태로 간주하려면 불량품이 각각의 샘플에서 하나도 있어서는 안되는 무불량을 요구하게 되어 현실적으로 불합리하다.

또한 불량률이 0.0001에서 0.0002로 2배 늘어 공정의 변화가 생기는 경우도 샘플의 크기 200 을 가지고 샘플에 최소한 1개의 불량품이 나와 공정이 변했다고 판정할 확률은 0.0392가 되어 26개의 군이 불량품이 나오지 않아 공정이 관리상태라고 판정하고 나서 27번째 군에 가서야 그 공정은 관리상태가 아니라고 판정하게 된다. 따라서 공정의 변화를 제때 알아내지 못함으로써 그 만큼 조처도 늦어지게 된다는 단점이 있다.

3.2 누적수 관리도

3.2.1 기호

- n : 불량품이 발견 되었을 때 누적검사개수
- n' : 각각의 군의 검사완료시 불량품으로 인한 계수중단 누적검사개수
- \bar{n} : 평균검사개수
- p : 공정의 불량률
- \bar{p} : 공정평균불량률
- $g(n)$: n 의 p.d.f. : n 번째 아이템이 불량품일 확률
- $G(n)$: n 의 c.d.f. : n 개의 아이템이 검사 되었을 때 불량품일 확률

3.2.2 누적수 관리도

검사도중 n 번째 아이템이 처음 불량품으로 발견될 확률은

$$g(n) = (1-p)^{n-1} p, \quad n=1,2,3,\dots \tag{20}$$

이고, 평균 $1/p$ 인 기하분포를 따른다.

따라서 n 개의 아이템이 검사 되었을 때 불량품이 발견 될 확률은 다음 식(21)과 같다.

$$\begin{aligned} G(n) &= \sum_{i=1}^n (1-p)^{i-1} p \\ &= 1 - (1-p)^n \end{aligned} \tag{21}$$

n 이 크면 $\bar{n} = 1/p$ 을 이용하여

$$\begin{aligned} G(n) &= 1 - [1 - np + \frac{n(n-1)}{2!} p^2 + \dots] \\ &= 1 - \exp(-n/\bar{n}) \end{aligned} \tag{22}$$

를 얻는다. 식 (22)를 n 에 대해서 정리하면

$$n = \bar{n} \ln[1 - G(n)] \tag{23}$$

가 된다.

따라서 CL, LCL, UCL 은 G(n)에 각각 0.50, $\alpha/2$, $1-\alpha/2$ 를 대입하고, 예비데이터나 과거의 기록으로부터 p의 추정치 \bar{p} 를 구하여 대입하면 다음 식 (24),(25),(26)을 얻는다.

$$\begin{aligned} CL &= -\bar{n} \ln(1-0.50) \\ &= 0.6931\bar{n} \\ &\approx 0.7\bar{n} \\ &= 0.7/\bar{p} \end{aligned} \tag{24}$$

$$\begin{aligned} LCL &= -\bar{n} \ln[1 - \frac{\alpha}{2}] \\ &= \frac{\alpha}{2} \bar{n} \\ &= \frac{\alpha}{2\bar{p}} \end{aligned} \tag{25}$$

$$\begin{aligned} UCL &= -\bar{n} \ln[1 - (1 - \frac{\alpha}{2})] \\ &= -\bar{n} \ln \frac{\alpha}{2} \\ &= -\frac{1}{\bar{p}} \ln \frac{\alpha}{2} \end{aligned} \tag{26}$$

누적수 관리도의 적용하는 절차는 그림1.과 같다

4. 적용예

4.1 기대손실을 이용한 공정능력척도

본 연구에서 제시한 공정능력척도를 구해보기 위해 양쪽규격이 주어진 경우 $S_U=8, S_L=2, I=0, R_1=3, R_2=2$ 인 경우에 대해 $(\mu-T)/\sigma=0$ 인 $Y \sim N(5, 1.2^2)$ 인 공정과 $(\mu-T)/\sigma=1$ 인 $Y \sim N(6, 1.2^2)$ 인 공정에 대해 $A=9, 18, 27$ 인 경우에 C_{PE} 를 각각 구하고 공정능력지수 C_p, C_{pk} 와 비교하면 표1, 2와 같다. 기존의 공정능력지수와 비교를 위해 본 연구에서의 검사비용은 $I=0$ 으로 가정했다. 한쪽규격이 주어진 경우는 규격상한이 주어진 경우는 $S_U=8, I=0, R_2=2$ 인 경우와 규격하한이 주어진 경우는 $S_L=2, I=0, R_1=3$ 인 경우에 대해 $Y \sim N(5, 1.2^2)$ 인 공정에서 $A=9, 18, 27$ 인 경우에 C_{PEU} 와 C_{PEL} 를 각각 구하고 공정능력지수 C_{pU}, C_{pL} 과 비교하면 표 3, 4와 같다.

표1. $(\mu-T)/\sigma=0$ 인 경우의 공정능력척도의 비교

A	C_p	C_{pk}	C_{PE}	ETL
9	0.833	0.833	0.868	1.327
18	0.833	0.833	0.617	2.623
27	0.833	0.833	0.505	3.919

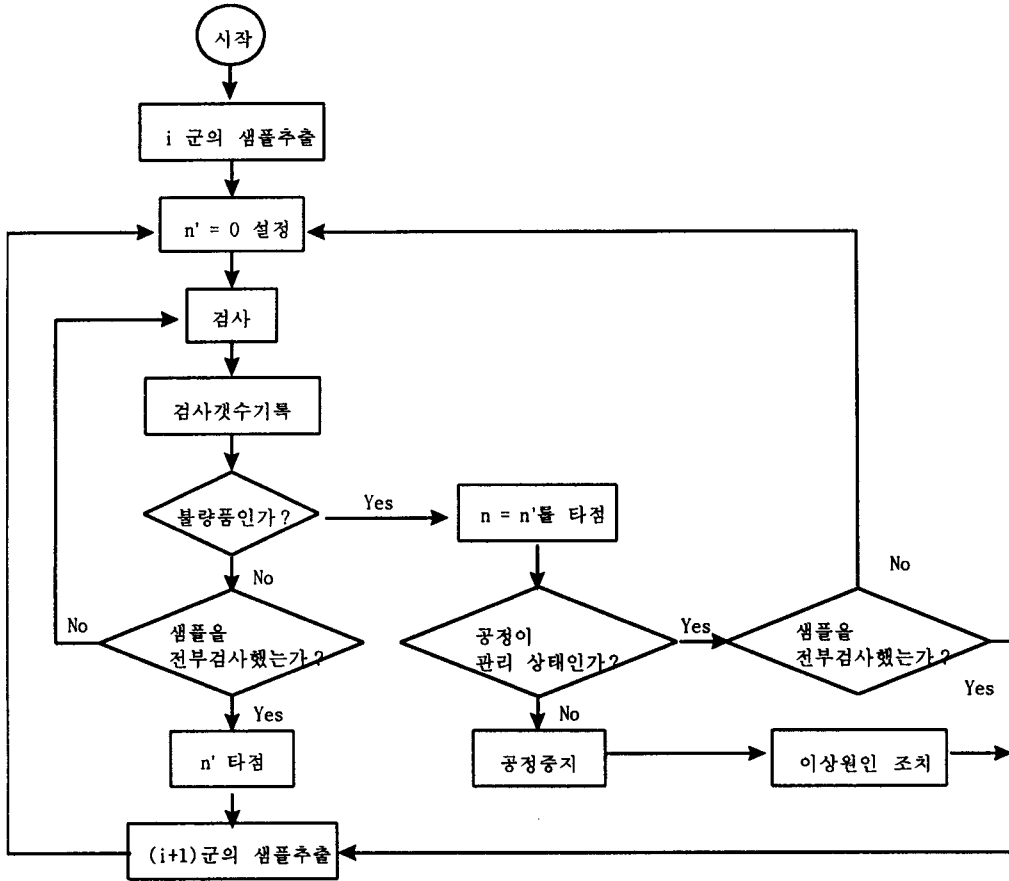


그림1. 누적수 관리도의 적용절차

표2. $(\mu-T)/\sigma=1$ 인 경우의 공정능력척도의 비교

A	C _p	C _{pk}	C _{pE}	ETL
9	0.833	0.333	0.679	2.167
18	0.833	0.333	0.488	4.199
27	0.833	0.333	0.400	6.230

표3. 상한규격이 주어진경우의 공정능력척도의 비교

A	C _{pu}	C _{pEU}	ETL
9	0.833	0.522	3.669
18	0.833	0.369	7.326
27	0.833	0.302	10.982

표4. 하한규격이 주어진경우의 공정능력척도의 비교

A	C _{PL}	C _{DEL}	ETL
9	0.833	0.758	1.740
18	0.833	0.538	3.461
27	0.833	0.439	5.182

양쪽규격이 주어진 경우 공정의 중심과 목표치가 일치할 때 Cp,Cpk는 같은 결과를 보이고, 공정의 중심과 목표치가 일치하지 않을 때는 Cp는 잠재공정수율을 나타내고, Cpk는 실제공정수율을 나타내지만 두 경우 모두 규격내에서의 목표치에 대한 편차로 인한 손실은 고려하지 못하며, 한쪽규격이 주어진 경우도 기존의 공정능력지수 C_{pu}, C_{pl}은 규격내에서의 편차로 인한 경제적손실과 규격을 벗어난 제품의 처리비용을 고려하지 못하고 있다. 본 연구는 규격내의 손실함수가 정해지고 각 공정과 제품의 특성에 따라 규격을 벗어난 제품에 대한 처리방침이 결정되면 그에 적합한 공정능력을 평가할 수 있는 현실적인 공정능력척도를 보여주고 있다.

4.2 PPM수준의 공정관리를 위한 누적수관리도

기존의 p관리도와 비교하기 위해 α=0.0027인 경우에 대해서 적용한다.

공정평균불량률이 100PPM인 공정을 관리하는 경우 p관리도와 누적수관리도의 CL, LCL, UCL은 다음과 같다.

p관리도

$$CL = 0.0001$$

$$LCL = -0.0020 \text{ (고려하지 않음)}$$

$$UCL = 0.0022$$

누적수 관리도

$$CL = 0.7 / \bar{p} = 7000$$

$$LCL = \alpha / 2\bar{p} = 13.5$$

$$UCL = -\frac{1}{\bar{p}} \ln \frac{\alpha}{2} = 66076.5$$

각각의 군의 크기 n_i=200에 대한 p관리도와 누적수관리도의 공정관리용 관리도의 적용예를 나타내면 표5와 같다.

표5. p관리도와 누적수 관리도의 비교

군번호	p 관리도				누적수 관리도				
	n_i	pn	p_i	판정	검사개수	n'	n	평가	판정
1	200	0	0	관리상태	200	200			관리상태
2	200	0	0	관리상태	200	400			관리상태
3	200	0	0	관리상태	200	600			관리상태
4	200	1	0.005	이상상태	190	790	790	$n > LCL$	관리상태
					10	10			
5	200	1	0.005	이상상태	2	12	12	$n < LCL$	이상상태
		0			198	198			
6	200	0	0	관리상태	200	398			관리상태
7	200	0	0	관리상태	200	598			관리상태
8	200	0	0	관리상태	200	798			관리상태
9	200	0	0	관리상태	200	998			관리상태
10	200	0	0	관리상태	200	1198			관리상태
11	200	0	0	관리상태	200	1398			관리상태
12	200	0	0	관리상태	200	1598			관리상태
13	200	0	0	관리상태	200	1798			관리상태
14	200	0	0	관리상태	200	1998			관리상태
15	200	0	0	관리상태	200	2198			관리상태
16	200	0	0	관리상태	200	2398			관리상태
17	200	0	0	관리상태	200	2598			관리상태
18	200	0	0	관리상태	200	2798			관리상태
19	200	0	0	관리상태	200	2998			관리상태
20	200	1	0.005	이상상태	180	3178	3178	$n > LCL$	관리상태

5. 결론

본 연구는 품질을 단지 규격에 대한 합치여부로 판단하지 않고 제품성능의 고객만족도에 대한 평가로 바꾸고, 제품의 불량이나 결함으로 인한 손실에 대한 책임을 지는 PL시대에 있어서 품질보증을 위한 공정관리기법을 제시하였다.

전통적인 공정능력지수 C_p , C_{pk} 는 공정의 수율을 나타내는 척도로서는 적합하지만 공정이 목표치에 있는가 벗어나있는가는 구별하지 못하는 단점이 있었으나, 본 연구의 공정능력척도는 단지 규격에의 적합여부로만 품질을 판단하지 않고 규격내에서도 목표치에 가까운 가장 높은 적합도를 갖는 제품을 선호하는 경쟁적시장구조 하에서나, 항공우주산업과 같이 많은 부품들의 조립을 필요로하여 부품들의 목표치로부터의 편차가 큰손실을 가져오는 부품의 제조공정에서는 합리적인 공정평가척도라고 할 수 있다.

따라서 이러한 품질특성의 변동에 따른 기대손실의 비용요인으로서 품질특성의 검사비용, 규격내의 목표치에 대한 변동으로 인한 합격손실비용, 규격을 벗어난 품질특성을 처리하는데 발생하는 불합격손실비용의 경제적인 고려를 한 공정능력척도를 가지고 공정관리를 하는 것이 현재의 품질의 개념으로 타당한 방법이라 할 수 있다.

불량품으로 인한 손실이 큰 제품을 생산하는 기업에서는 제조공정을 PPM수준의 아주 작은 불량률을 갖도록 공정을 관리하려고 한다. 그러나 이러한 PPM수준의 공정의 관리에 기존의 p 관리도를 적용하는 것은 현실적으로 불합리한 절대적인 무불량을 유지하여야 만이 관리상태로 판정이 난다든가, 공정의 변화에 민감하지 못하는 단점을 가지고 있다. 본 연구에서는 이러한 PPM수준의 공정을 관리하는 데 적합한 누적수관리도를 제시하였다.

본 연구는 공정을 PPM수준으로 개선, 유지하는 데 필요한 평가척도인 기대손실을 이용한 공정능력척도와 PPM수준의 공정을 관리하기 위한 누적수관리도를 이용하여 PL시대에서 요구하는 품질보증을 위한 PPM수준의 생산시스템에서의 공정관리를 하는 방법을 제시하였다.

참 고 문 헌

1. Barker, T.B., "Quality Engineering by Design: Taguchi's Philosophy", *Quality Assurance*, Vol.13, No.3, pp.72-80, 1987.
2. Boyles, R.A., "The Taguchi Capability Index", *Journal of Quality Technology*, Vol.23, No.1, pp.17-26, 1991.
3. Burt, P.R., "Towards The Zero Defect Culture", *Quality Forum*, Vol.13, No.2, pp.60-66, 1991
4. Chan, L.K., Chung, S.W. and Spiring, F.A., "A New Measure of Process Capability : Cpm", *Journal of Quality Technology*, Vol.20, No.3, pp.162-175, 1988.
5. Goh, T.N., "Statistical Monitoring and Control of A Low Defect Process", *Quality and Reliability Engineering International*, Vol.7, pp.479-483, 1991
6. Grant, E.L. and Leavenworth, R.S., *Statistical Quality Control*, McGraw-Hill, New York, 1980
7. Johnson, T., "The Relationship of Cpm to Squared Error Loss", *Journal of Quality Technology*, Vol.24, No.4, pp.211-215, 1992.
8. Kane, V.E., "Process Capability Indices", *Journal of Quality Technology*, Vol.18, No.1, pp.41-52, 1986.
9. Taguchi, G., *Introduction to Quality Engineering*, Asian Productivity Organization, Tokyo, Japan.