

SPC이론에 의한 공정능력분석의 사례연구

정 해 운 *

1. 연구의 범위 및 목적

제조기업은 공정관리를 위한 변동의 감소로 목표에 맞는 품질특성이 요구되고 있다. 그러나 목표에 맞는 품질특성을 위한 기술로서 잘 알려진 공정능력은 그 시점에서만 변동을 관리 할 수 있으며 연속적인 변동의 감소에 어려움이 있다. 이러한 어려움을 극복하면서도 변동을 감소시키는 역할이 우수하도록 하기위하여 공정능력의 변동감소에 우수한 SPC의 다양한 기술과 연계하여 효율적인 공정관리를 하고자한다 [4].[5].[6].[7].

공정능력의 기술에서 나온 기존의 관리력은 전통적인 공정능력과 관리도, 히스토그램을 기초하여 문제를 해결하였으나 전통적인 이론은 연속적인 변동의 감소에 한계가 있다. 본 연구에서는 전통적인 이론을 적용하면서도 미니탭을 사용하여 품질특성이 정규분포인가 와이블 분포인가 등의 SPC와 연계 하는 공정관리시스템을 파악하고 적용하여 정확하고 더 효율적으로 가피원인을 탐지하고 목표에 맞도록 품질특성의 변동을 관리 하고자한다. 가장 적절하게 SPC와 연계된 공정능력은 탁월하게 변동을 감소시키는 역할을 하도록 하여 공정능력에 의한 관리력 향상뿐만 아니라 공정개선과 품질향상에 기여 하도록 하는 절차와 적용가능성에 이르기까지를 연구범위로 한다. SPC와 연계하여 적용할 경우 연계된 모형은 목표에 맞도록 가피원인을 탐지하므로 변동의 감소가 탁월할 것으로 예상된다.

2. 공정능력

본 연구에서는 효율적인공정능력을 운용하기 위하여 가장 적합한 SPC를 선정한다. 여기서 SPC는 품질특성이 정규분포인가, 분포의 적용 성, 관리도등이 공정능력지수와 분석과 연계를 위한 사고로 사용된다[1].

공정능력은 규격의 폭에 대한 자연공차의 비율로서 나타내며 규격한계(Specification Limits)에 대비하여 공정이 수행하는 능력을 예측한다. 또한 적절하게 이전에 공정이 안정 되었는지 보증하고 공정능력을 평가한다. 이전에 안정을 기초로 한 수행능력예측은 안정된 관리상태, 예측가능정도, 우연원인에 의한 산포, 등의 공정능력의 관리절차에 따라서 평가의 기준이 달라진다.

* 오산대학 산업경영과

공정능력의 기초이론은 주요공정에 대한 공정 능력을 조사한 후 이를 분석하여 변동의 감소로 공정을 개선하도록 한다. 만약 변동이 덜 감소되었을 경우 SPC의 다양한 기법과 연계하여 공정개선과 품질향상을 꾀하는데 그 목적이 있다. 공정능력 지수의 해석은 공정능력지수의 산출 후 해석한다. 본 연구에서는 주로 품질특성이 정규분포한다고 가정 한다. 공정능력의 관리는 우선 공정능력이 좋아지도록 자연공차를 조절하기 위하여 품질특성의 표준편차를 최적의상태가 되도록 하고 연속적으로 관련부서에 신속히 피드백(FEED BACK) 시스템을 도입한다. 만약 관리 후에도 공정능력이 목표 수준에 미흡 할 경우 SPC와 연계의 전략으로서 품질특성에 대하여 정규분포, 관리도, 공정능력 등이 동시에 나타나는 미니탭의 식스팩(six pack) 적용으로서 관리도에 의한 가피원인의 탐지와 적용, 품질특성에 대한 공정조절의 범위를 명확하게 하는 공정능력에 대한 공정능력도는 목표대로 변동을 감소하도록 하는 판단 자료가 된다. 이와 같은 변동감소의 이론은 공정능력의 공정능력치와 SPC의 역할의 각각의 적용으로서 변동의 감소를 의미한다. 결국 종합적인 변동감소의 효과는 공정능력의 공정능력치와 SPC의 2가지의 방법의 변동감소의 합으로서 나타난다. 여기에서 다른 연계방법으로는 SPC를 통합 할 경우 품질특성에 대한 가피원인의 탁월한 탐지와 공정조절에 의한 우수한 변동의 감소역할을 수행 하도록 하는 이론들이 이미 알려져 있다. 그에 대한 대안으로 공정능력지수에 의한 변동감소의 이론과 SPC통합모형의 연계는 더욱 우수한 품질특성에 대한 자연공차에 의한 표준편차의 조절과 가피원인을 탐지하고 공정조절이 되어 아주 우수하게 변동이 감소되어 공정개선을 하고자 하는 것이다. 공정능력(process capacity)은 공정에 있어서 품질상의 달성능력을 가리키는 것으로 자연공차(natural tolerance)라고 하며, “그 공정이 최상을 이루고 있을 때(관리상태일 때) 제품의 변동이 어느 정도인가를 나타내는 표시량”으로 정의된다. (자연공차는 6σ 로 정의된다.)

2.1 공정능력의 개요

2.1.1 공정능력의 분류

공정능력은 정적 공정능력과 동적 공정능력으로 다음과 같이 분류된다.

정적 공정능력 (Static Process Capacity)은 설비의 정밀도 검사 결과 같은 문제의 대상물이 갖는 잠재능력으로 가동이 되지 않는 정지상태의 공정능력이다. 동적 공정능력 (Dynamic Process Capacity)은 현실적인 면에서 실현되는 실제 운전상태의 현실능력으로 시간적 변동 이외에 원재료나 작업자의 대체 등으로 기인하는 변동까지 고려한 공정능력이다[3].

단기공정능력과 장기공정능력에 대하여 살펴보면 단기공정능력은 임의의 일정 시점에 있어서의 공정의 정상상태의 공정능력을 말하며 통계상의 급내 변동에 해당된다. 기업의 보전부분은 단기 공정능력이 유지되도록 설비를 관리해야 한다. 장기공정능력은 정상적인 공구마모의 영향, 재료의 뱃취간 미세한 변동 및 유사한 변동을 포함한 공정능력으로 급내 변동과 급간변동의 합으로서 정의되며 따라서 제조부분은 장기공정능력이 유지되도록 작업·공정관리를 함으로써 공정능력의 크기와 시계열적 변화를 파악해야 한다.

2.1.2 공정능력의 분해

품질에 영향을 미치는 요인은 4M(작업자, 기계, 재료, 방법)으로 대별할 때 공정능력을 나타내는 변동 σ_p^2 은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\sigma_p^2 &= \sigma_{mac}^2 + \sigma_{man}^2 + \sigma_{mat}^2 + \sigma_{met}^2 \\ &= \sigma_{mac}^2 + \sigma_e^2\end{aligned}$$

단, σ_{man}^2 = 사람의 능력을 나타내는 변동
 σ_{mac}^2 = 기계의 능력을 나타내는 변동
 σ_{mat}^2 = 재료의 능력을 나타내는 변동
 σ_{met}^2 = 방법의 능력을 나타내는 변동
 σ_e^2 = 기계 이외의 요인에 의한 변동

2.1.3 공정능력의 전제조건 및 특징

공정능력에 전제조건과 특징의 몇 가지를 다음과 같이 나타낼 수 있다. 공정능력은 장래 예측할 수 있는 결과에 대한 것이며, 과거에 대한 결과를 평가할 수 없다. 공정능력은 특정조건 하에서의 도달 가능한 한계상태를 표시하는 정보여야 한다. 공정능력의 척도는 공정능력의 개념과 결부시켜 결정하게 되며 척도는 반드시 고정된 것이 아니다. 또한 요인의 상태에 대한 규정이 필요하다. 요인상태에 대한 결과로부터의 규정은 공정의 조건에 따라 달라져야 한다.

2.1.4 공정능력 조사의 절차

공정능력에 대한 조사의 절차는 다음과 같다. 먼저, 품질정보측 설계정보, 시장정보, 공정설계, 품질정보, 검사정보 등을 이용하여 중요한 공정을 선정한다. 다음은 품질에 영향을 주는 4M 현상을 조사하고 표준화가 되어있지 않으면 사전에 개선조치를 취한다. 그리고 조사하고 싶은 품질특성 및 조사범위를 명확히 하여 데이터를 수집한다. 다음으로 측정, 조사, 해석, 유지와 개선을 위하여 측정방법의 검토 및 측정오차를 고려하고, 히스토그램, 관리도 등을 이용하여 공정능력을 조사며, 공정능력의 평가 및 해석을 하여 공정능력의 유지 및 개선을 결정한다.

2.2 공정능력 산출 및 평가

2.2.1 공정능력의 산출

공정능력은 4M의 변동을 포함하는 정상상태에서의 공정상 품질달성능력으로, 자연 공차 6 σ 로 표시된다.

[공정능력(치)] (단, \bar{R}_s 를 사용하는 경우 $d_2 = 1.128$ 이다)

$$\begin{aligned} 6\sigma &= 6\sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n}} \\ &= 6\sqrt{\frac{\sum f_i u_i^2}{\sum f_i} - \left(\frac{\sum f_i u_i}{\sum f_i}\right)^2} \times h \\ &= 6\left(\frac{\bar{R}}{d_2}\right) \\ &= 6\left(\frac{\bar{R}_s}{d_2}\right) \end{aligned}$$

2.2.2 공정능력의 평가

공정능력의 평가 척도로서 자연공차로 허용공차(규격폭)를 나누어 공정능력의 상태를 수량화한 C_p (공정능력지수)를 사용한다.

(1) 치우침이 없는 경우(C_p)

치우침이란 공정평균(μ)과 규격의 중심(M)의 차이로서 기호로는 b 로 나타낸다. 따라서 $|\mu - M|$ 이 0인 경우이다. ($\mu = M$ 인 경우) ① 양쪽 규격이 주어진 경우

$$C_p = \frac{T}{6\sigma}$$

(단, $T = S_U - S_L$ 이다)

② 한쪽 규격이 주어지는 경우

$$C_p = \frac{S_U - \bar{x}}{3\sigma} = \frac{\bar{x} - S_L}{3\sigma}$$

(2) 치우침이 있는 경우(C_{pk})

공정평균(μ)과 규격의 중심(M)이 차이가 있는 경우로 $|\mu - M|$ 이 0이 아닌 경우이다. ($\mu \neq M$ 인 경우)

① 양쪽 규격이 주어지는 경우

$$C_{pk} = (1 - k) \frac{T}{6\sigma}$$

(단, $k = \frac{|\mu - M|}{T/2}$ 이다)

② 한쪽 규격이 주어지는 경우

$$C_p = \frac{S_U - \bar{x}}{3\sigma} = \frac{\bar{x} - S_L}{3\sigma}$$

(3) 공정능력비 (Dp : Process Capability Ratio)

공정의 평가척도로서 Cp 와 다를바 없으나, σ 미지인 경우 Cp 에 비해 취급이 용이하고 통계적 특성이 파악되기 쉬운 장점이 있다.

$$D_p = \frac{1}{C_p} = \frac{6\sigma}{T}$$

2.2.3 공정능력의 평가방법

자연공차 6σ를 기준으로 할 때 규격이 편차 4 배 거리에 주어지고 있다면

C_p 는 $\frac{4\sigma}{6\sigma}$ 로 0.67 이고 6 배라면 $\frac{6\sigma}{6\sigma}$ 로 1 이 되고, 8 배라면 $\frac{8\sigma}{6\sigma}$ 로 1.33 이며, 10 배

라면 $\frac{10\sigma}{6\sigma}$ 로 1.67 이 된다. 0 급과 1 급은 1 급으로 분류하기도 하며 기업에서는 1 급 이상이 요구되어진다. (1.55 이상을 요구하기도 함) 1 급공정은 개당 가공시간의 단축으로 양적 생산능력을 향상시킬 수 있으며 2 급공정은 관리에 주의를 요구하며 3 급 이하의 공정은 시급히 산포를 개선, 공정능력을 향상시켜야 한다.

- (1) $C_p \geq 1.67$: 0 급 — 공정능력이 넘칠 정도로 충분하다. (매우 여유가 있다)
- (2) $1.67 > C_p \geq 1.33$: 1 급 — 공정능력이 충분하다. (여유가 있다)
- (3) $1.33 > C_p \geq 1$: 2 급 — 공정능력이 보통이다. (여유가 없다)
- (4) $1 > C_p \geq 0.67$: 3 급 — 공정능력이 부족하다. (불충분하다)
- (5) $C_p < 0.67$: 4 급 — 공정능력이 매우 부족하다. (매우 불충분하다)

2.2.4 공정성능지수(PPI)와 설비성능지수(MPI)

공정능력지수는 통계학상 급내변동인 σ_w 를 기준으로 하지만, 공정성능지수는 σ가 급내변동과 급간변동의 합인 σ_T 로 표현된다.

(1) 공정능력지수(PCI)

$$\textcircled{1} C_p = \frac{T}{6\sigma_w} \quad \textcircled{2} C_{p_k} = (1-k) \frac{T}{6\sigma_w}$$

$$\textcircled{3} C_{p_u} = \frac{S_u - \mu}{3\sigma_w} \quad \textcircled{4} C_{p_l} = \frac{\mu - S_L}{3\sigma_w}$$

(2) 공정성능지수(PPI)

$$\textcircled{1} P_p = \frac{T}{6\sigma_T} \quad \textcircled{2} P_{p_k} = (1-k) \frac{T}{6\sigma_T}$$

$$\textcircled{3} P_{p_u} = \frac{S_u - \mu}{3\sigma_T} \quad \textcircled{4} P_{p_l} = \frac{\mu - S_L}{3\sigma_T} \quad (\text{단 } \sigma_T = \sqrt{\sigma_w^2 + \sigma_b^2} \text{ 이다})$$

(3) 설비성능지수(MPI)

$$\textcircled{1} C_{p_m} = \frac{T}{6\sigma_m} \quad (\text{단 } \sigma_m^2 = \sigma^2 + (\mu - M)^2 \text{이다})$$

3. 공정능력(Process Capability) 적용

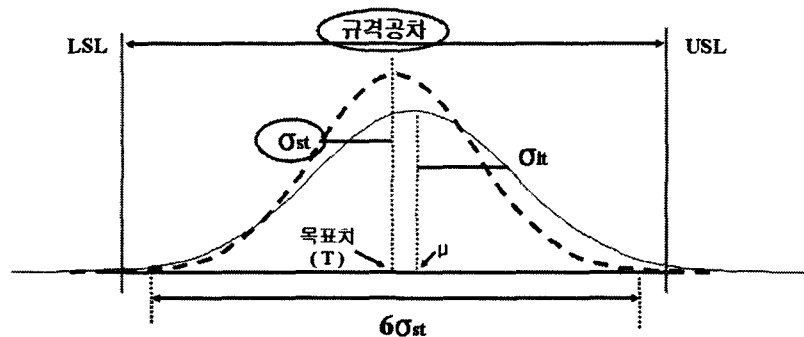
공정능력 평가는 규격한계(Specification Limits)에 대비하여 공정이 수행하는 능력이 얼마인지 예측하는 것이다. 만일 과거의 공정이 안정상태로 유지되었다면 미래에도 그러리라는 것을 쉽게 예측할 수 있다. 특히 공정의 상한규격과 하한규격을 정함에 있어서 적당한 방법에 의해 공정이 안정되도록 정해야하며 경제적인측면과 관리적인 측면을 충분히 고려해야 하며, 다음으로 공정능력평가를 진행하는 것이 적절하다.

과거의 데이터가 안정된 관리상태이며 가피원인에 의한 측면만을 고려한다면 공정능력의 수행예측 할 때 에는 다음과 같은 특성이 있다. 만약 과거에 공정이 관리이탈(Out-Of-Control) 상태였다면 미래에 관리상태(In-Control)가 되리라는 가정은 적당하지 못하다[2]. 이전의 불안정은 미래의 공정이 규격한계에 대해 어떻게 수행할지 예측하는 능력을 여러 가지로 제한한다. 만일 과거에 공정이 특수원인에 의해 산포에 영향을 받았다면 우리가 할 수 있는 한 가지 예측은 미래에도 공정에 기대하지 않은 변화가 나타난다. 그래서 어떤 평가도 능력을 제대로 반영하지 못하고, 가정 또한 최선이 아니다.

3.1 기술력과 관리력

3.1.1 기술력 평가

공정의 기술력은 해당 공정이 구현할 수 있는 최적의 수준이다. 최적의 수준에서는 산포와 공정 중심이 안정적으로 관리되고, 해당 공정의 중심은 목표치에 일치하게 되는 최적의 상태이다. 이러한 상태를 표현하는 공정능력 지수로 Cp가 사용된다. 다음그림<1>은 규격공차에 대한 그림으로 목표치와 모수에 대한 비교를 나타낸 것이다.

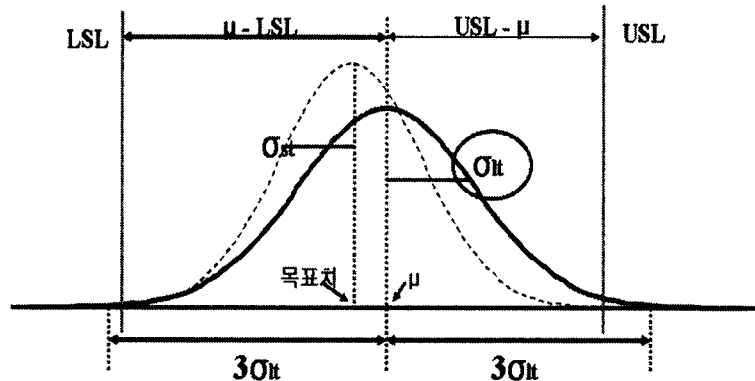


<그림 1> 규격공차

3.1.2 현재 상태 평가

공정의 현재 상태는 관리적인 문제(Loss)가 개입된 상태를 표현한다. 산포와 공정 중심이 안정적으로 유지 되지 못 할 수도 있고, 공정 중심이 목표치에 일치하지 않는 경우도 발생한다. 그 내용은 그림<2>와 같이 나타낸다.

-이러한 상태를 표현하는 공정능력 지수로 Ppk가 사용된다.



<그림 2>공정의 현재 상태

3.1.3 관리력의 평가

관리력은 공정을 운영하는 시스템의 능력을 말한다. 기술력과 현재 상태와의 Gap를 분석함으로써 평가 할 수 있다.

-관리력(Gap) = 기술력 지표(Cp) - 현재상태 지표(Ppk).

$$\text{관리력} = C_p - P_{pk}$$

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad \text{---} \quad P_{pk} = \min\left(\frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma}\right)$$

4. 공정능력과 관리력 향상을 위한 사례

사출업체의 경우 품질특성에 대한 계수형 데이터나 계량형 데이터가 많이 존재 한다. 이러한 품질특성의 데이터 값 에 대하여 공정능력은 정상적인상황 하에 구하여진 Cp, Cpk,와 정상적이지 못한 상태의 Pp, Ppk를 산출하여 두 공정 능력을 차감한 값을 관리력으로 한다.

공정능력지수를 해석하고 기술력과 현재의 상태를 파악하여 평가하고 관리력을 평가하여 Block Diagram을 작성하여 공정개선과 품질향상을 목표로 한다. 공정능력이 만약 과거에 공정이 관리이탈(Out-Of-Control) 상태였다면 미래에 관리상태(In-Control)

가 되리라는 가정은 적당하지 못하다. 이전의 불안정은 미래의 공정이 규격한계에 대해 어떻게 수행할지 예측하는 능력을 여러 가지로 제한한다.

만일 과거에 공정이 특수원인에 의해 산포에 영향을 받았다면 우리가 할 수 있는 한 가지 예측은 미래에도 공정에 기대하지 않은 변화가 나타난다는 것이다. 그래서 어떤 평가도 능력을 제대로 반영하지 못하고, 가정 또한 최선이 아니다.

지도과제 및 목표에 따른 지도내용을 살펴보면 공정능력의 이론적 적용 및 판정기준의 확립과 미니탭의 적용방법과 활용에 중점을 두었다.

4.1 공정능력 적용 시 기대효과

다음은 공정능력의 적용 전후를 아래와 같이 표로 작성하였다. 다음과 같다.

<표 1> 공정능력 전·후

적용 영역	적용 전 내용	적용 후 내용	비고
공정개선	1.제조품이 주문생산형태 2.형식적인 공정능력 3.형식적인 관리력 4.막연한 기술력	1. 과학적인 주문생산 2.적합한 공정능력 3.적합한 관리력 4.최적의 기술력	1.주문생산에 의존. 2.외주생산형태의 경우 공정능력/기술력 향상
공정능력	1. Pp, Ppk1.공정능력에 대하여 비체계화 2.공정능력의 현장적용 성 결여 3. 규격의 조절을 주문업체가 함 4. 산포관리에 미흡	1. Cp값에 따른 적정 규격을 생산현장에 적용 2. Pp, Ppk 값의 적용	1. 미니탭을 사용. 2. 정규분포/비정규분포로 구분 3. 관리력과 기술력

다음은 관리력, 기술력, 규격의 조절, 효과를 SPC와 공정능력지수로 현장에 적용 전후로 구분하여 그 특성을 나타낸 것이다.

<표 2> 적용내용의 적용 전후 비교

	적용 전	적용 후	비고
관리력(Gap)	0.5-1 사이	0.2	0에서1로 갈수록 나쁨
기술력(Cp)	0-1.67 사이	1.8	0에서2로 갈수록 좋음
관리력과 기술력	(0.4 , 0.6)(관리력, 기술력)	(0.2,1.8)(관리력, 기술력)	지도후가 관리력/기술력이 우수
규격조절	눈대중	표준에 맞게	규격을 조절
효과	품질미흡 공정개선이 불분명.	품질향상과, 공정개선 방향제시	평균과 산포 관리/ 공정개선

5. 결 론

공정능력은 효율적인 공정관리를 위한 가장 적용 가능한 SPC와 병행 사용할 가치가 있다. 공정능력지수를 산출하고 그에 맞도록 자연공차를 조절하거나 규격의 폭을 조절하여 최적공정능력을 산출하여 변동의 폭을 적절하게 조절 할 수 있게 되었다. 물론 전통적인 산업공학의 기술인 공정능력은 하나의 과제 안에서 공정능력을 분석하기 위하여 히스토그램이나 관리도등과 병행하여 사용되며 산포나 평균치가 쉬프트 할 경우 까지 문제를 해결 할 수 있다.

이 때, 이러한 도구들은 품질 특성에 대하여 가피원인을 탐지하거나 목표에 맞도록 품질특성을 조절하여 변동을 감소하도록 하여 효율적인공정관리를 한다. 공정능력에 필요한 데이터가 관리도로서 타점된다는 점에서는 SPC와 유사하다. 만약에 SPC와 연계하여 효율적인 측면고려 한다면 공정능력지수가 1급에 못 미치거나 관리력 이 정상치를 벗어날 경우 또는 단순공정에서 혼성공정이나 연속공정의 형태로 전환되거나 단순공정 이라도 반복되는 공정산업에 SPC를 적용하여 더 효율적인 가피원인을 탐지와 공정조절을 통하여 목표대로 변동이 감소시키고 효율적인 공정개선을 도모한다.

6. 참 고 문 헌

- [1] 김종걸, 정해운(2002),자기회귀 각란모형을 고려한 EPC 와 SPC의 통합시스템, 성균관대학교, 박사학위논문.PP1~134
- [2] 김종걸, 채호식(1988), CUSUM 관리도에 관한 조사연구, 성균관대학교 과학기술연구소 과학기술편, 제39집 No. 2.
- [3] 정해운, 정해두, (2006.1.20), 통계적 공정관리, 책, 민영사, PP1~390
- [4] 이승훈, (2006.6.1) ,Minitab을 이용한 공학적 통계 자료분석, 책, 이레테크,pp1~882
- [5] MacGregor, J. F. and T. J. Harris(1990), "Discussion of 'EWMA Control Schemes: Properties and Enhancement' by Lucas and Saccucci". Technometrics 32, pp.23~26.
- [6] MacGreger, J.F.1987)."Interface Between Process Control and On-Line Statistical Process Control", A.I.Ch.E. Cast Newsletter, 9-19
- [7] MacGregor, J.F. (1988). "On-line Statistical Process Control", Chemical Engineering Progress 84, pp.21-31.
- [8] YASHCHIN, E. (1993b), "Statistical Control Schemes: Methods, Applications and Generalizations", International Statistical Review 61, pp.41-66.