

이차손실함수를 이용한 유동적인 공정수행척도 -Flexible Process Performance Measures by Quadratic Loss Function-

鄭 永 培*
Chung, Young-Bae

Abstract

In recent years there has been increasing interest in the issue of process centering in manufacturing process.

The traditional process capability indices C_p , C_{pk} and C_{pu} are used to provide measure of process performance, but these indices do not represent the issue of process centering.

A new measure of the process capability index C_{pm} is proposed that takes into account the proximity to the target value as well as the process variation when assessing process performance. However, C_{pm} only considers acceptance cost for deviation from target value within specification limits, do not includes economic consideration for rejected items.

This paper proposes flexible process performance measures that considered quadratic loss function caused by quality deviation within specification limits, rejection cost associated with the disposition of rejected items, and inspection cost.

In this model disposition of rejected items are considered under perfect corrective procedures and the absence of perfect corrective procedures.

1. 서 론

품질향상이 기업의 경쟁력강화의 중요한 요소로 인식되고 있는 상황에서 기업이 목표로 하는 고객의 요구를 만족하는 품질의 제품을 생산하기 위해서는 설계단계에서의 신제품개발도 중요하지만 제조공정에서의 공정품질의 관리도 중요한 문제로 인식되어 오고있다. 그러나 제조공정에서의 제품의 품질특성은 여러요인이 상호작용하여 그 결과가 나타나기 때문에 어느 공정에서나 품질특성이 완전히 일치하는 제품을 반복해서 생산해낼 수 없고 항상 산포를 하게 된다.

* 인천대학교 산업공학과

최근 품질에 대한 인식은 품질특성치의 규격에 대한 합치여부를 보는 객관적인 만족도보다는 제품의 성능이 고객을 얼마만큼 만족했느냐 하는 고객만족도에 대한 평가로 바뀌고 있다. 그런데 공정에서 만든 제품이 모두 규격을 만족한다 할지라도 모두 같은 정도의 적합도를 갖지 못하며, 고객 또한 단지 규격에 적합여부로만 제품을 평가하지 않고 규격을 만족하는 제품 중에서도 가능한 가장 높은 적합도를 갖는 제품을 선호하게 된다. 따라서 이러한 경쟁적 시장 구조하에서는 품질개선을 단지 규격내에서의 직정한 크기의 산포의 감소에 기본원칙을 두고 규격내에서 품질의 산포의 크기만으로 공정을 평가하는 것은 바람직하지 못하다.

일반적으로 고객의 입장에서 볼 때 바람직스럽다고 여겨지는 이상적인 품질특성치가 있게 된다. 이를 품질특성의 목표치라 부르고, 제품의 품질특성이 목표치에 가까울수록 고객의 만족도는 높아지고 또한 제품의 품질은 고객의 만족도에 의해 결정되므로 제조공정에서는 되도록 목표치에 가까운 균질의 제품을 만드는 노력을 하고 있다.

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 이 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 공정수행척도이나 기대손실이 화폐단위로 나타나기 때문에 어느 정도의 기대손실을 갖는 공정을 유지하느냐가 의사결정의 중요한 관건이 되고 이에 대한 비교기준을 정하는 것도 어렵다. 따라서 공정수행척도로서 목표치로부터의 품질의 변동을 평가하여 고객의 요구를 반영하면서 단위에 무관하고 비교기준도 명확한 척도가 요구된다.

Taguchi[8]가 제안한 목표치로부터의 품질변동으로 인한 이차손실함수(quadratic loss function)를 적용한 기대손실을 이용함으로써 목표치로부터의 품질의 변동도 감소시키고 단위에 무관하고 비교기준이 명확한 척도인 기대손실을 이용한 공정능력지수 Cpm이 Chan, Cheng 과 Spiring[3]에 의해 제시되었다. 그러나 이 공정능력지수 Cpm에서는 품질특성치가 규격내에 있을 때나 규격을 벗어 날때나 일률적으로 이차손실함수를 적용하고 있는 점이 현실적이지 못하다. 실제에 있어서는 규격을 벗어난 제품은 제조공정에서 제작업하거나 폐기처분등의 처리를 하고 있으므로 규격을 벗어난 제품에 대해 목표치로부터의 품질변동에 따른 2차손실함수를 일률적으로 적용하는 것은 실제의 공정을 과대평가 또는 과소평가할 수 있는 오류를 범할 수 있으므로 규격을 벗어난 제품에 대해 제작업이나 폐기처분등의 경제적인 고려를 하여 공정을 올바르게 판단하는 것이 합리적이다. 또한 규격을 벗어난 제품에 대해 제작업을 하는 경우에도 제작업을 받은 제품 모두가 목표치와 일치하는 완전작업이 된다는 가정도 현실적이지 못하다. 이 제작업도 원래의 작업과 마찬가지로 동일 생산설비를 이용하여 이루어지기 때문에 원래의 품질특성과 동일한 분포를 갖는 목표치와 완전히 일치하지 못하는 불완전작업의 경우가 타당하다고 할 수 있다. 또한 규격의 일치여부를 검사하는 방법이나 정도도 품질특성에 따라 다르기 때문에 이에 따른 검사비용도 공정을 평가하는 척도에 고려해 주는 것이 합리적이다.

본연구는 품질특성의 변동에 따른 기대손실의 비용요인으로서 품질특성의 검사비용, 규격내의 목표치에 대한 변동으로 인한 합격손실비용, 규격을 벗어난 품질특성을 처리하는데 발생하는 불합격손실비용의 경제적인 고려를 한 공정수행척도를 제작업시 완전작업의 경우와 불완전작업의 경우로 나누어 제시한다.

2. 공정수행척도의 고찰

2.1 전통적인 공정능력지수

(1) 양쪽규격이 주어진 경우

전통적인 공정능력은 “공정이 관리상태에 있을 때 품질의 변동이 어느정도인가를 나타내는 양”으로, 이를 자연공차라 부르고 6σ 로 정의하여 사용하고 있다. 품질의 달성능력을 평가하는 척도로 공정능력 6σ 와 규격의 폭 T 와의 비를 구하여 공정능력지수(process capability index)라 하고 C_p 로 표시하며 다음 식(1)과 같이 나타낸다.

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

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 제작업등 공정에 대한 조정노력이 들어가야하기 때문에 이 때의 C_p 는 단지 달성가능한 공정의 잠재수율을 나타내는 척도에 불과하다.

따라서 공정의 평균과 규격의 중심과의 사이에 치우침이 있을 때에도 실제공정의 수율을 정확하게 표현할 수 있는 치우침도를 고려한 공정능력지수가 필요하게 되고 이를 C_{pk} 로 표시하고 다음 식 (2)와 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, $K = |M - \mu| / (T/2)$
 $T = S_U - S_L$
 $M = (S_U + S_L) / 2$

만일 $K=0$ 으로 치우침이 없으면 $C_{pk}=C_p$ 이고 C_{pk} 가 음수가 나오면 0으로 정의한다.

(2) 한쪽 규격이 주어진 경우

한쪽규격이 주어진 경우는 상한규격이 주어진 경우와 하한규격이 주어진 경우로 나누어 다음 식(3)과 같이 주어진다.

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

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

2.2 기대손실에 의한 공정능력지수

최근의 좋은품질에 대한 개념이란 규격을 만족하는 제품의 품질에 있지 않고 목표치로부터의 품질변동으로 인한 손실이 작은 제품의 품질을 의미한다. 따라서 규격내의 목표치로부터의 산포의 감소가 기본원칙인 품질개선에 대한 접근방법이 제시되었고 이러한 품질의 달성척도로써 공정의 수율을 나타내는 것과 동시에 공정평균과 목표치와의 일치정도를 나타내는 기대손실

을 이용한 공정능력지수는 다음과 같다.

Taguchi의 2차손실함수를 적용한 기대손실을 이용한 공정능력지수는 다음과 같이 표현할 수 있다.

망목특성(nominal-is-best characteristics)인 경우의 손실함수는

$$L(y) = k(y-T)^2, k=A/\Delta^2 \tag{4}$$

이고, 이때의 기대손실은

$$\begin{aligned} E(L) &= kE[(y-T)^2] \\ &= k[\sigma^2 + (\mu-T)^2] \end{aligned} \tag{5}$$

이다. 망소특성(smaller-is-better characteristics)인 경우의 손실함수는

$$L(y) = ky^2, k=A/\Delta^2 \tag{6}$$

이고, 이때의 기대손실은

$$\begin{aligned} E(L) &= kE(y^2) \\ &= k(\sigma^2 + \mu^2) \end{aligned} \tag{7}$$

이다. 망대특성(larger-is-better characteristics)인 경우의 손실함수는

$$L(y) = k(1/y^2), k=A\Delta^2 \tag{8}$$

이고, 이때의 기대손실은

$$E(L) = k(1/\mu^2)(1+3\sigma^2/\mu^2) \tag{9}$$

이다. 따라서 공정능력지수는 양쪽규격이 주어진 경우는 망목특성의 기대손실을 이용하여

$$Cp_E = \frac{S_U - S_L}{6\sqrt{E(L)}} \tag{10}$$

이고, 한쪽규격이 주어진 경우는 상한규격이 주어진 경우 망소특성의 기대손실을 이용하고, 하한규격이 주어진 경우는 망대특성의 기대손실을 이용하면 다음과 같다.

$$Cp_{EU} = \frac{S_U - \mu}{3\sqrt{E(L)}} \tag{11}$$

$$Cp_{EL} = \frac{\mu - S_L}{3\sqrt{E(L)}}$$

Chan, Cheng과 Spiring[3]은 Taguchi의 이차손실함수를 이용하여 양쪽규격이 주어진 경우 기대손실을 이용한 공정능력지수 Cpm을 다음 식 (12)와 같이 표현하였다.

$$\begin{aligned} Cpm &= \frac{S_U - S_L}{6\sqrt{E[(Y-T)^2]}} \\ &= \frac{S_U - S_L}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \\ &= \frac{Cp}{\sqrt{1 + \frac{(\mu - T)^2}{\sigma^2}}} \end{aligned} \tag{12}$$

이 공정능력지수는 Taguchi의 이차손실함수의 망목특성인 경우의 기대손실 식(5)에서 k=1인 경우이고, $\mu=T$ 이면 Cpm은 식(1)의 Cp와 일치한다.

3. 공정수행척도의 모형설정

3.1 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
- R₁ : 규격하한에 미달되는 제품의 단위당 처리비용
- R₂ : 규격상한을 초과하는 제품의 단위당 처리비용
- TL : 품질특성에 따른 단위당 손실
- ETL : 단위당 기대손실
- f(y) : Y의 p.d.f., $Y \sim N(\mu, \sigma^2)$
- $\phi(\cdot)$: 표준정규확률밀도함수
- $\Phi(\cdot)$: 표준정규누적분포함수
- C_{PE} : 공정수행척도(양쪽규격이 주어진 경우)
- C_{PEU} : 공정수행척도(규격상한이 주어진 경우)
- C_{PEL} : 공정수행척도(규격하한이 주어진 경우)

3.2 비용요인

모형에서 고려할 수 있는 비용요인 으로는 규격을 만족하는가의 여부를 검사하는 비용, 규격내에서 품질특성치의 목표치에 대한 편차로 인한 손실비용, 규격을 벗어났을 때 제품을 처리하는 비용이 있다. 그러나 규격을 벗어나는 제품의 처리방법으로 규격상한을 초과하는 제품을 처리하는 방법과 규격하한에 미달하는 제품을 처리하는 방법이 언제나 동일하다고 할 수 없으며, 이 두가지 경우의 처리방법으로 재작업을 한다고 할지라도 규격상한을 초과한 경우와 규격하한에 미달한 경우 재작업비용들은 같을 수도 있고 다를 수도 있다. 또한 규격을 벗어난 제품에 대해 재작업을 하는 경우도 재작업을 받은 제품 모두가 목표치와 일치하는 완전작업의 경우도 있고, 이 재작업도 동일 생산설비를 이용하여 재작업되기 때문에 원래의 품질특성과 동일한 분포를 갖는 불완전작업의 경우도 있다. 따라서 본 연구에서는 규격하한에 미달되는 제품을 처리하는 비용과 규격상한을 초과하는 제품을 처리하는 비용을 각각 고려하면서, 재작업된 제품이 목표치와 일치하는 완전작업의 경우와 재작업된 제품은 원래의 제품의 품질특성과 동일한 분포를 갖는다는 불완전작업의 경우로 나누어 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

3.3 공정수행최도의 모형설정

3.3.1 양쪽규격이 주어진 경우

품질특성의 변동에 따른 기대손실의 비용요인으로서 규격에의 일치여부를 검사비용, 규격내의 목표치에 대한 편차로 인한 합격손실비용, 규격을 벗어난 품질특성에 대한 불합격손실비용의 경제적인 고려를 한 공정수행최도를 양쪽규격이 주어진 경우에 대해 다음 식(13)과 같이 나타낸다.

$$Cp_E = \frac{S_U - S_L}{6\sqrt{ETL}} \tag{13}$$

본 연구에서 제안한 단위당 기대손실 ETL을 제작업시 완전작업의 경우와 불완전작업의 경우로 나누어 제시한다.

(1) 완전작업시 단위당 기대손실

품질특성에 따른 단위당 손실은 식(14)와 같고

$$TL = \begin{cases} R_1 & , & y < S_L \\ L(y) & , & S_L \leq y \leq S_U \\ R_2 & , & y > S_U \end{cases} \tag{14}$$

단위당 기대손실은 식(15)와 같다.

$$\begin{aligned} ETL &= I + R_1 [\Pr(Y < S_L)] + \int_{S_L}^{S_U} L(y)f(y)dy + R_2 [\Pr(Y > S_U)] \\ &= I + R_1 \int_{-\infty}^{S_L} f(y)dy + \int_{S_L}^{S_U} L(y)f(y)dy + R_2 \int_{S_U}^{\infty} f(y)dy \end{aligned} \tag{15}$$

단위당 기대손실 식(15)를 유도하기 위해 다음과 같은 표준정규밀도함수 $\phi(z)$ 와 표준정규누적분포함수 $\Phi(z)$ 을 이용한다.

$$\begin{aligned} \phi(z) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} \\ \Phi(z) &= \int_{-\infty}^z \phi(z)dz \end{aligned} \tag{16}$$

망목특성인 경우 Taguchi의 이차손실함수를 표준정규분포를 이용하여 정리하면

$$\begin{aligned} L(y) &= k(y-t)^2 \\ &= k[(y-\mu)-(T-\mu)]^2 \end{aligned} \tag{17}$$

에서

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

$$L'(z) = k\sigma^2(z^2-2zw+w^2), k=A/\Delta^2 \tag{18}$$

이 된다.

$(S_U-\mu)/\sigma = Z_U$, $(S_L-\mu)/\sigma = Z_L$ 라 두고, 식(15)를 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} ETL &= I + R_1 \int_{-\infty}^{Z_L} \phi(z) dz + \int_{Z_L}^{Z_U} L'(z)\phi(z) dz + R_2 \int_{Z_U}^{\infty} \phi(z) dz \\ &= I + R_1 \Phi(Z_L) + k\sigma^2 [(1+w^2)\{\Phi(Z_U) - \Phi(Z_L)\} + Z_L \phi(Z_L) \\ &\quad - Z_U \phi(Z_U) + 2w\{\phi(Z_U) - \phi(Z_L)\}] + R_2 [1 - \Phi(Z_U)] \end{aligned} \tag{19}$$

(2) 불완전작업시 단위당 기대손실

품질특성에 따른 단위당손실은 재작업된 제품이 원래의 제품의 품질특성과 동일한 분포를 갖는 불완전작업의 경우이므로 재작업후의 제품도 기존제품과 똑같은 종류의 손실이 발생한다. 따라서 단위당 기대손실은 식(20)과 같고

$$TL = \begin{cases} R_1 + ETL & , & y < S_L \\ L(y) & , & S_L \leq y \leq S_U \\ R_2 + ETL & , & y > S_U \end{cases} \tag{20}$$

이고, 단위당 기대손실은 식(21)과 같이 된다.

$$\begin{aligned} ETL &= I + (R_1 + ETL)[\Pr(Y < S_L)] + \int_{S_L}^{S_U} L(y)f(y)dy + (R_2 + ETL)[\Pr(Y > S_U)] \\ &= I + (R_1 + ETL) \int_{-\infty}^{S_L} \phi(z) dz + \int_{S_L}^{S_U} L'(z)\phi(z) dz + (R_2 + ETL) \int_{S_U}^{\infty} \phi(z) dz \\ &= \frac{I + R_1 \int_{-\infty}^{S_L} \phi(z) dz + \int_{S_L}^{S_U} L'(z)\phi(z) dz + R_2 [1 - \int_{-\infty}^{S_U} \phi(z) dz]}{\int_{-\infty}^{S_U} \phi(z) dz - \int_{-\infty}^{S_L} \phi(z) dz} \\ &= \frac{I + R_1 \Phi(Z_L) + k\sigma^2 [(1+w^2)\{\Phi(Z_U) - \Phi(Z_L)\} + Z_L \phi(Z_L)]}{\Phi(Z_U) - \Phi(Z_L)} \\ &\quad + \frac{k\sigma^2 [-Z_U \phi(Z_U) + 2w\{\phi(Z_U) - \phi(Z_L)\}] + R_2 [1 - \Phi(Z_U)]}{\Phi(Z_U) - \Phi(Z_L)} \end{aligned} \tag{21}$$

3.3.2 한쪽규격이 주어진 경우

한쪽규격이 주어진 경우의 공정수행최도를 규격상한이 주어진 경우 C_{PEU} 와 규격하한이 주어진 경우 C_{PEL} 에 대해 재작업시 완전작업의 경우와 불완전작업의 경우로 나누어 제시한다.

(1) 규격상한이 주어진 경우

규격상한이 주어진 경우 공정수행최도는 다음 식(22)와 같이 나타낸다.

$$Cp_{EU} = \frac{S_U - \mu}{3\sqrt{ETL}} \quad (22)$$

(가) 완전작업시 단위당 기대손실

품질특성에 따른 단위당 손실은 다음 식(23)과 같고

$$TL = \begin{cases} L(y) & ; y \leq S_U \\ R_2 & ; y > S_U \end{cases} \quad (23)$$

망소특성인 경우 식(6)의 이차손실함수를 표준정규분포를 이용하여 정리하면

$$L'(z) = k(\sigma^2 z^2 + 2\sigma\mu z + \mu^2), \quad k = A/\Delta^2 \quad (24)$$

이므로, 단위당 기대손실은 식(25)와 같다.

$$\begin{aligned} ETL &= I + \int_{-\infty}^{Z_U} L'(z)\phi(z)dz + R_2 \int_{Z_U}^{\infty} \phi(z)dz \\ &= I + \int_{-\infty}^{Z_U} L'(z)\phi(z)dz + R_2[1 - \Phi(Z_U)] \end{aligned} \quad (25)$$

(나) 불완전작업시 단위당 기대손실

품질특성에 따른 단위당 손실은 다음 식(26)과 같고

$$TL = \begin{cases} L(y) & ; y \leq S_U \\ R_2 + ETL & ; y > S_U \end{cases} \quad (26)$$

이때의 단위당 기대손실은 식(27)과 같다.

$$\begin{aligned} ETL &= I + \int_{-\infty}^{Z_U} L'(z)\phi(z)dz + (R_2 + ETL) \int_{Z_U}^{\infty} \phi(z)dz \\ &= \frac{I + \int_{-\infty}^{Z_U} L'(z)\phi(z)dz + R_2[1 - \Phi(Z_U)]}{\Phi(Z_U)} \end{aligned} \quad (27)$$

(2) 규격하한이 주어진 경우

규격하한이 주어진 경우 공정수행최도는 다음 식(28)과 같이 나타낸다.

$$Cp_{EL} = \frac{\mu - S_L}{3\sqrt{ETL}} \quad (28)$$

(가) 완전작업시 단위당 기대손실

품질특성에 따른 단위당 손실은 다음 식(29)와 같고

$$TL = \begin{cases} R_1 & ; y < S_L \\ L(y) & ; y \geq S_L \end{cases} \quad (29)$$

망대특성인 경우 식(7)의 이차손실함수를 표준정규분포를 이용하여 정리하면

$$L'(z) = k(\sigma^2 z^2 + 2\sigma\mu z + \mu^2)^{-1}, \quad k = A\Delta^2 \quad (30)$$

이므로, 단위당 기대손실은 식(31)과 같다.

$$\begin{aligned}
 ETL &= I + R_1 \int_{-\infty}^{Z_L} \phi(z) dz + \int_{Z_L}^{\infty} L'(z) \phi(z) dz \\
 &= I + R_1 \Phi(Z_L) + \int_{Z_L}^{\infty} L'(z) \phi(z) dz
 \end{aligned}
 \tag{31}$$

(나) 불완전작업시 단위당 기대손실
 품질특성에 따른 단위당 손실은 다음 식(32)와 같고

$$TL = \begin{cases} R_1 + ETL, & y < S_L \\ L(y), & y \geq S_L \end{cases}
 \tag{32}$$

단위당 기대손실은 식(33)과 같다.

$$\begin{aligned}
 ETL &= I + (R_1 + ETL) \int_{-\infty}^{Z_L} \phi(z) dz + \int_{Z_L}^{\infty} L'(z) \phi(z) dz \\
 &= \frac{I + R_1 \Phi(Z_L) + \int_{Z_L}^{\infty} L'(z) \phi(z) dz}{1 - \Phi(Z_L)}
 \end{aligned}
 \tag{33}$$

4. 수치예

본 연구에서 제시한 공정수행척도를 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}, C_{pm} 과 비교하면 표 1, 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_{DU}, C_{DL} 과 비교하면 표 3, 4와 같다.

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

A	C _p	C _{pk}	C _{pm}	ETL	완전작업		불완전작업	
					C _{PE}	ETL	C _{PE}	ETL
9	0.833	0.833	0.833	1.440	0.868	1.327	0.865	1.335
18	0.833	0.833	0.589	2.880	0.617	2.623	0.616	2.639
27	0.833	0.833	0.481	4.320	0.505	3.919	0.504	3.943

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

A	Cp	Cpk	Cpm	ETL	완전작업		불완전작업	
					C _{PE}	ETL	C _{PE}	ETL
9	0.833	0.333	0.589	2.88	0.679	2.167	0.656	2.322
18	0.833	0.333	0.417	5.76	0.488	4.199	0.417	4.499
27	0.833	0.333	0.340	8.64	0.400	6.230	0.387	6.677

표3. 상한규격이 주어진경우의 공정수행최도의 비교

A	C _{pu}	완전작업		불완전작업	
		C _{PEU}	ETL	C _{PEU}	ETL
9	0.833	0.522	3.669	0.520	3.692
18	0.833	0.369	7.326	0.368	7.371
27	0.833	0.302	10.982	0.301	11.051

표4. 하한규격이 주어진경우의 공정수행최도의 비교

A	C _{pl}	완전작업		불완전작업	
		C _{PEL}	ETL	C _{PEL}	ETL
9	0.833	0.758	1.740	0.756	1.751
18	0.833	0.538	3.461	0.536	3.482
27	0.833	0.439	5.182	0.438	5.214

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, Cpm은 규격내에서의 목표치에 대한 편차로 인한 손실은 고려하지만 규격을 벗어난 제품에 대해서도 모두 규격내와 동일한 2차손실함수를 적용함으로써 공정능력을 과소평가 또는 과대평가하는 단점이 있다. 한쪽규격이 주어진경우도 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 공정수행능력을 평가할 수 있는 현실적인 공정수행평가 척도를 보여주고 있다.

5. 결론

전통적인 공정능력지수 Cp, Cpk는 공정의 수율을 나타내는 척도로서는 적합하지만 공정이 목표치에 있는가 벗어나있는가는 구별하지 못하는 단점이 있고, Taguchi의 손실함수를 이용한 새로운 개념의 공정능력지수 Cpm은 품질특성치가 규격내에 있을 때 목표치로부터의 변동을 고려한 기대손실의 개념을 도입한 비교기준이 명확한 단위가 없는 척도이지만 규격을 벗어난 제품에 대한 제조공정에서의 제작업이나 폐기처분등의 경제적인 고려가 없고, 규격을 벗어난 제품에 대해서도 일률적으로 Taguchi의 이차손실함수를 적용함으로써 현실성이 부족하다는 단점을 가지고 있다.

본연구는 품질특성의 변동에 따른 기대손실의 비용요인으로서 규격에의 일치여부를 검사하는 검사비용, 규격내의 목표치에 대한 편차로 인한 합격손실비용, 규격을 벗어난 품질특성을 처리하는 데 소요되는 불합격손실비용의 경제적인 고려를 한 기대손실을 이용한 공정수행최도를 제시하였다.

규격을 벗어나는 제품의 처리방법으로 규격을 벗어난 제품을 모두 폐기처분한다는 것과 규격을 벗어난 제품 모두 제작업이 가능하다는 것은 둘다 현실적이지 못하며, 규격을 벗어난 제품은 제작업하는 경우나 폐기처분을 하는 등의 여러가지 다른 경우가 있다는 것이 현실적이다. 또한 규격을 벗어난 제품을 제작업시 제작업을 받은 제품 모두가 목표치와 일치하는 완전작업 보다는 이 제작업도 동일 생산설비를 이용하여 제작업되기 때문에 원래의 품질특성과 동일한 분포를 갖는다는 것이 현실적이다. 따라서 본 연구에서는 규격을 만족하지 못하는 제품을 처리하는 방침이 규격상한을 초과할 때와 규격하한을 미달할 때의 각각 다를 때 그때의 각각의 다른 처리비용을 고려할 수 있고, 제작업된 제품도 목표치와 일치하는 완전작업의 경우와 제작업된 제품은 원래의 제품의 품질특성과 동일한 분포를 갖는다는 불완전작업의 경우로 나누어 이에 대한 비용요인을 고려하여 모형을 설정하므로써 보다 현실적인 공정수행최도를 제시하고 할 수 있다.

따라서 이 척도는 단지 규격에의 적합여부뿐만 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.

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. 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.
4. Fabian, R., "SPC-Guided Purchasing", *Quality*, November, pp.32-34, 1987.
5. Johnson, T., "The Relationship of Cpm to Squared Error Loss", *Journal of Quality Technology*, Vol.24, No.4, pp.211-215, 1992.

6. Kane,V.E., "Process Capability Indices", *Journal of Quality Technology*, Vol.18, No.1, pp.41-52, 1986.
7. Rodriguez,R.N., "Recent developments in Process Capability Analysis", *Journal of Quality Technology*, Vol.24, No.4, pp.176-187, 1992.
8. Taguchi,G., Intoduction to Quality Engineering, *Asian Productivity Organization*, Tokyo,Japan.
9. 구분철,송서일, "다구찌의 손실함수를 이용한 공정능력지수의 최적화에 관한 연구", 한국품질관리학회지, Vol.20, No.1, 1992.
10. 류문찬, "공정평균의 목표치가 주어진 경우 규격한계의 경제적 선정", 대한산업공학회지, Vol.15, No.2, 1989.
11. 정영배, "손실함수를 고려한 생산자의 최적규격한계의 결정", 인천대학교 공업개발연구논문집, Vol.9, No.1, 1994.
12. 정영배, "기대손실을 이용한 공정능력최도", 인천대학교 공업개발연구논문집, Vol.10, No.1, 1995.