

도금공정에서 최소기대손실을 위한 목표치의 설정[†]

박창순¹, 김정준²

¹중앙대학교 수학과통계학부, 중앙대학교 데이터과학연구소

²중앙대학교 수학과통계학부

접수 2010년 8월 9일, 수정 2010년 10월 11일, 게재확정 2010년 10월 15일

요약

도금공정에서는 도금두께의 규격한계는 주어지지만 대부분의 경우 목표치는 주어지지 않는다. 목표치가 주어지지 않았을 때 일반적으로 규격의 중심점이 목표치로 사용된다. 하지만 공정능력치가 크다면 규격의 중심을 목표치로 사용하는 것은 총 손실비용면에서 최선의 선택이 아니다. 이 논문에서는 총 손실비용을 생산비용과 손실함수의 합으로 정의하였고 기대 총 손실비용을 최소화 하는 목표치를 제안하였다. 그리고 그때의 공정능력치의 감소가 미미한 것을 보였다.

주요용어: 공정능력치, 규격한계, 다구찌 손실함수, 생산비용.

1. 서론

도금공정에서는 도금두께인 품질특성치 (Quality Characteristic: QC)의 규격하한과 상한이 주어지지만 목표치는 주어지지 않은 경우가 흔히 있다. 일반적으로 도금두께의 목표치를 규격의 중앙값으로 사용하는데 이는 불량률의 비율을 감소시키는데 최적이라 할 수 있다. 하지만 도금공정의 경우 도금두께가 규격 한계 내에 있으면서 작을수록 생산비용의 절감효과를 갖는다. 일반적으로 도금공정은 관리가 잘 되어져 있어 C_{pk} 가 타 공정보다 큰 값을 가지는 것으로 알려져 있다. 이러한 조건에서는 도금두께의 목표치를 낮추면 도금의 양이 줄어들게 되어 생산비용을 절감할 수 있다. 이 때 목표치가 규격 중앙값에서 벗어나게 되면 C_{pk} 가 감소하여 규격한계를 벗어날 확률이 증가하지만 그 증가량은 매우 작아 불량률의 증가는 우려하지 않아도 된다. 이러한 목적으로 목표치를 결정하기 위해서는 제품의 품질과 도금두께에 따른 생산비용을 같이 고려한 손실비용, 그리고 손실비용을 최소로 하는 목표치에서의 C_{pk} 를 함께 고려할 필요가 있다. 손실비용으로는 제품출하 이전의 비용과 출하 뒤에 사회적으로 끼칠 수 있는 손실 (loss to society)까지 고려하여야 하며, 이는 Taguchi (1987)의 손실함수 (loss function)를 고려한 비용의 계산이 필요하다. 제품출하 이전의 생산비용과 다구찌 손실함수를 이용하여 목표치를 구한 연구로는 Lee (2003)가 발표되었지만 이 논문에서는 손실비용을 최소로 하는 목표치에서의 C_{pk} 를 고려하지 않았다. 본 논문에서는 손실비용을 최소로 하는 목표치에서의 C_{pk} 를 고려하였는데 이유는 다음과 같다. 생산자는 비용을 줄이는 것이 하나의 큰 목표이지만 소비자는 제품생산비용에는 관심이 많지 않고 제품의 품질에 관심이 있다. 이를 나타내는 대표적인 지수가 C_{pk} 이므로 소비자가 원하는 품질을 만족시키기 위해서는 C_{pk} 는 적어도 1이상이 되어야 한다.

[†] 이 논문은 2009년도 중앙대학교 연구장학기금 지원에 의한 것임.

¹ 교신저자: (156-756) 서울시 동작구 흑성동 221, 중앙대학교 수학과통계학부, 교수.

E-mail: cspark@cau.ac.kr

² (156-756) 서울시 동작구 흑성동 221, 중앙대학교 수학과통계학부, 석사과정.

공정능력을 나타내는 여러 종류의 지수, 즉 C_p , C_{pk} , C_{pmk} 등에 관련하여 공정특성에 맞는 지수를 개발하는 연구로는 남호수 (2002), 김희정과 조교영 (2007) 등이 발표되었다. 공정비용을 줄이고자 하는 연구로는 이재현과 양완용 (2004), 차용준 등 (2006) 등이 발표되었고 특히 공정능력지수 C_{pk} 와 관련하여 공정비용을 줄이고자 하는 연구로는 Tannock (1995), Lee와 Wei (1998), Hsieh (2006), Jeang와 Chung (2009) 등이 발표되었으나 C_{pk} 가 일정 값 이상이어야 한다는 가정 하에서 공정비용을 최소화하고자 하는 연구는 현재까지 많이 되고 있지 않다.

이 논문에서는 도금공정과 같이 공정이 잘 관리된 상태에서 규격하한과 상한이 주어지지 않지만 목표치가 주어지지 않은 경우 목표치에 따라 발생할 수 있는 손실비용과 이를 최소화 하는 목표치를 제안하고자 한다. 2장에서는 도금공정에서 발생할 수 있는 손실비용을 제품생산비용과 다구찌 손실함수를 고려하여 제안하였고 공정이 잘 관리된 상태를 가정하여 손실비용을 최소화하는 목표치를 근사적으로 구하였다. 3장에서는 모의실험을 통해 최소손실비용과 2장에서 구한 근사 목표치를 사용하였을 때의 손실비용을 비교하고 그 때의 C_{pk} 가 만족할 만한 수준인지 확인하여 2장에서 제안한 목표치의 효율성을 비교하고자 한다.

2. 손실비용 함수

2.1. 다구찌 손실함수

제품특성치의 목표치를 m , 규격한계를 $m \pm \Delta_0$ 라 할 때 규격한계를 기준으로 제품의 품질을 판단하는 경우에는 다음과 같은 계단함수 (step function)로 손실을 표현할 수 있다.

$$L(x) = \begin{cases} 0, & |x - m| \leq \Delta_0 \\ A_0, & |x - m| > \Delta_0 \end{cases} \quad (2.1)$$

여기서 x 는 제품특성치, A_0 는 보수 또는 대체비용을 나타낸다. 이와 같은 손실함수는 규격한계 내의 특성치들은 동일하게 좋은 것으로 나타내므로 품질손실을 수량화하는 데 적절한 방법이 되지 못한다. 따라서 목표치에 가까운 정도에 따라 손실이 달라지는 제곱오차를 이용한 다구찌 (Taguchi)의 손실함수는 다음과 같이 정의되었다.

$$L(x) = k(x - m)^2 \quad (2.2)$$

여기서 k 는 품질손실계수라 한다. 제품특성치가 목표치 (즉, $x = m$)이면 손실이 0이 되고, 목표치로부터 멀어지면 오차 ($|x - m|$)의 제곱에 비례한다. 따라서 이러한 손실함수를 제곱손실함수 (quadratic loss function)라 한다. 식 (2.2)가 실제 손실을 잘 나타낼 수 있기 위해서는 품질손실계수가 적절히 결정되어야 한다. 품질손실계수를 결정하는 한 가지 방법으로 기능적 한계 (functional limit)를 사용한다. 특성치의 기능적 한계는 일반적으로 제품의 50%가 사용 중 불량으로 판단되는 품질특성치의 수준을 의미한다. 즉, 기능적 한계를 $m \pm \Delta_0$ 라 하면 $x = m \pm \Delta_0$ 일 때 사용자의 50%가 제품이 불량이라고 판단하는 것을 의미한다. 이 때 품질손실계수 k 를 결정하기 위해 기능적 한계에서의 손실을 $L(m \pm \Delta_0) = A_0$ 라 한다. 식 (2.2)로부터 품질손실계수는

$$k = A_0/\Delta_0^2$$

가 되고 손실함수는 다음과 같이 표현된다.

$$L(x) = (x - m)^2 A_0/\Delta_0^2$$

2.2. 도금공정에서의 총 손실비용

도금공정에서의 총 손실비용은 제품 출하 이전의 비용뿐만 아니라 출하 이후의 사회적으로 끼칠 수 있는 손실까지도 고려되어야 한다. 제품 출하 이전의 비용은 도금제품의 생산비용으로 원부자재의 재료비와 도금 두께에 따른 원료의 재료비로 표현가능하고 출하 이후의 사회적 손실은 다구찌의 손실함수를 이용한다.

도금두께를 X (단위: μm)라 할 때 도금공정에서 제품당 총 손실비용 함수 $L(X)$ 는 다음과 같이 표현한다.

$$L(X) = \begin{cases} C_0 + C_1X, & \text{if } X < l_x \text{ or } X > u_x \\ C_0 + C_1X - C_2 + k(X - m)^2, & \text{if } l_x < X < u_x \end{cases} \quad (2.3)$$

단, C_0 : 원부자재 재료비,

C_1 : 도금공정 생산단가/ μm

C_2 : 도금공정 양호품 판매단가,

k : 다구찌 손실함수 계수

l_x, u_x : 규격하한, 규격상한

$m = (l_x + u_x)/2$ (규격중앙값)

제품의 규격검사는 제품출하 직전에 전수조사를 실시하여 규격을 벗어난 제품은 출하지 않는다는 것을 가정한다. 도금두께의 목표치를 T 로 설정하면 도금두께 X 는 $N(T, \sigma^2)$ 분포를 따른다고 가정한다. 식 (2.3)에서 도금두께가 규격밖에 있을 때 제품은 출하되지 않으므로 제품의 손실비용은 도금제품의 생산비용만 포함된다. 그리고 도금두께가 규격 내에 있을 때 제품의 손실비용은 출하 이전 제품의 생산비용과 출하 뒤의 사회적 손실비용의 합에서 도금공정의 양호품 판매단가를 제해준 비용이다. 도금두께의 목표치가 T 일때 기대손실함수는 다음과 같이 표현된다.

$$E(L(X)) = C_0 + C_1T \quad (2.4)$$

$$+ \int_{l_x}^{u_x} (km^2 - 2mkx + kx^2 - C_2) \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-T)^2}{2\sigma^2}} dx$$

식 (2.4)에서 $\frac{x-T}{\sigma}$ 를 y 로 치환하여 표현하면 다음과 같다.

$$E(L(X)) = C_0 + C_1T + k(m^2 - 2mT + T^2) - C_2 \quad (2.5)$$

$$+ k\sigma \int_{\frac{l_x-T}{\sigma}}^{\frac{u_x-T}{\sigma}} (-2my + 2Ty + \sigma y^2) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(y)^2}{2}} dy$$

도금공정은 일반적으로 관리가 잘되어서 C_{pk} 가 상당히 만족할만한 수준이다. 그리고 서론에서 언급했듯이 생산비용을 줄여도 소비자가 원하는 품질을 만족시키지 못하면 안 되기 때문에 소비자가 원하는 품질을 만족시킨다는 가정 하에서 생산비용을 최소로 하는 도금공정의 목표치를 찾는 방법이 타당하다. 즉, C_{pk} 가 1이상 이라면

$$C_{pk} = \min\left(\frac{u_x - T}{3\sigma}, \frac{T - l_x}{3\sigma}\right) \geq 1$$

즉 $(l_x - T)/\sigma \leq -3$, $(u_x - T)/\sigma \geq 3$ 을 만족하고 식 (2.5)는 다음과 같이 근사된다.

$$\begin{aligned} E(L(X)) &\approx C_0 + C_1T + km^2 - 2mkT + kT^2 - C_2 \\ &\quad - 2mk\sigma E[y] + 2k\sigma TE[y] + k\sigma^2 E[y^2] \\ &= C_0 + C_1T + km^2 - 2mkT + kT^2 - C_2 + k\sigma^2 \end{aligned} \quad (2.6)$$

여기서 근사된 기대손실함수를 최소화 하는 T 를 \hat{T}_{opt} 이라 하고 \hat{T}_{opt} 을 구하기 위해 식 (2.6)을 T 에 대해 편미분하면

$$\frac{\partial E[L(X)]}{\partial T} \approx C_1 - 2mk + 2kT$$

이 된다. $C_1 - 2mk + 2kT = 0$ 의 조건으로부터

$$\hat{T}_{opt} = m - \frac{C_1}{2k} \quad (2.7)$$

이 된다. 위의 식 (2.7)은 공정이 상당히 잘 관리되었다는 가정을 통하여 도출되었다. 그러므로 다음 장에서는 타당한 여러 C_0 , C_1 , C_2 , k 값을 설정하여 C_p (공정의 표준편차의 의해 결정, $T = m$ 일 때의 C_{pk})수준이 변화할 때 도금두께 목표치에 따른 손실비용과 그때의 C_{pk} 가 만족할 만한 수준인지를 알아 본다.

3. 도금두께 목표치에 따른 손실비용

식 (2.3)의 총 손실비용 함수에서 C_1 (도금공정 생산단가)은 공정 종류에 따라 다양한 값을 가질 수 있다. 예를 들어 금도금공정과 구리도금공정의 경우 C_0 (원부자재 재료비)는 공정 차이로 인한 값의 큰 변화는 없지만 C_1 의 경우 도금원료의 가격차이로 인해 금도금공정의 C_1 이 구리도금공정의 C_1 보다 큰 값을 갖는다. 이처럼 C_1 은 공정 종류에 따라 다양한 값을 가질 수 있으므로 $C_0=1$ 을 기준으로 C_0 보다 작은 ($C_1=0.1$) 경우와 C_0 보다 큰 ($C_1=10$) 2가지 경우로 설정한다. C_1 을 0.1이나 10이 아닌 0.2나 5같은 수로 설정할 수 있지만 두께에 따른 손실비용의 비교에는 차이가 없으므로 0.1이나 10인 경우만 설정한다. C_2 (도금공정 양호품 판매단가)의 경우는 일반적으로 생산비용의 110%에서 150%사이로 설정하는 것으로 알려져 있다. 따라서 C_2 는 다음과 같이 설정한다.

$$C_2 = p_1(C_0 + C_1m) \quad (3.1)$$

단, $p_1 = 1.1, 1.5$.

이 때 생산비용은 도금두께가 규격의 중앙값 m 일 때의 비용 $C_0 + C_1m$ 으로 설정한다.

다음으로 다구찌 손실함수계수 k 를 설정하려면 먼저 식 (2.1)의 A_0 (보수, 대체비용)를 결정해야 한다. A_0 는 도금품의 보수 가능유무에 따라 값의 차이가 있다. 보수가 가능한 도금품의 경우 보수가 불가능한 도금품에 비해 A_0 가 작게 결정되어야 한다. 이유는 보수 가능한 경우 품질에 이상이 생겼을 때 보수의 경우와 대체의 경우로 나뉘지므로 A_0 는 생산비용보다 작다고 할 수 있지만 보수 불가능의 경우 품질 이상시 대체의 경우만 가능하므로 A_0 는 생산비용보다 크다고 할 수 있기 때문이다. 그러므로 A_0 는 제품의 보수가 가능한 경우 생산비용의 0.5배, 보수가 불가능한 경우 생산비용의 1.5배로 설정한다.

$$A_0 = p_2(C_0 + C_1m)$$

단, $p_2 = 0.5, 1.5$.

식 (3.1)과 마찬가지로 생산비용은 도금두께가 규격의 가운데인 m 일 때의 비용 $C_0 + C_1m$ 으로 설정한다.

제품 출하 뒤 도금두께에 따른 손실비용인 $k(X - m)^2$ 은 X 가 규격한계와 일치할 때 A_0 와 같아진다. 즉, $k(l_x - m)^2 = A_0$, 따라서 k 는 다음과 같이 A_0 의 값에 따라 결정된다.

$$k = \frac{A_0}{(l_x - m)^2}$$

4. 모의실험

도금공정에서 도금두께의 규격한계는 주어지지 않지만 목표치는 주어지지 않아 목표치를 흔히 규격의 가운데인 m 으로 설정한다. 그러므로 T (도금두께 목표치)가 m 일 때의 손실비용, $E(L(X)|T = m)$, 식 (2.7)의 \hat{T}_{opt} 일 때의 손실비용, $E(L(X)|T = \hat{T}_{opt})$, 그리고 모의실험을 통한 최소손실비용인 $E(L(X)|T = T_{opt})$ 를 비교하여 T 를 \hat{T}_{opt} 로 설정하는 것이 손실비용을 줄이는데 타당하다고 할 수 있는지, 그때의 C_{pk} 가 만족할 만한 수준인지 알아보고자 한다. 모의실험은 $l_x = 5, u_x = 15$ 로 정하였고 T 를 3부터 17까지 1/1000 간격으로 변화시키면서 식 (2.4)를 토대로 각 C_p 에서의 기대손실을 계산하였다. C_p 는 0.5부터 1/2 간격으로 10까지 변화시켰다.

4.1. 도금공정 생산단가가 작은 공정 ($C_0=1, C_1 =0.1$)

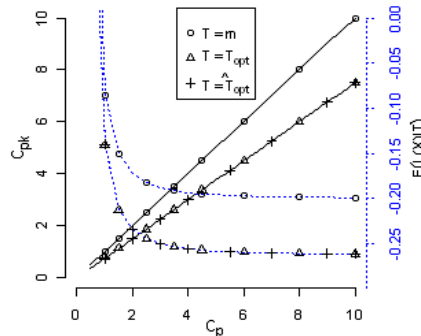


그림 4.1 C_p 가 변화할 때 도금두께 목표치에 따른 C_{pk} 와 총 손실비용 $C_0 = 1, C_1 = 0.1, p_1 = 1.1, p_2 = 0.5$
 C_p (공정의 표준편차에 의해 결정): $T = m$ 일 때의 C_{pk}

그림 4.1은 단위공정 이익률은 10% ($p_1 = 1.1$)이고 보수 가능한 ($p_2 = 0.5$) 도금품의 경우이다. C_p 가 변화할 때 곡선 형태의 점선그래프는 T 에 따른 손실비용을 나타내고 있고 실선그래프는 T 에 따른 C_{pk} 를 나타내고 있다. 각 그래프는 동일한 x 축을 갖고 점선그래프는 오른쪽의 점선으로 된 y 축을 실선그래프는 왼쪽의 실선으로 된 y 축을 갖는다. 점선 그래프에 나타나 있는 T 에 따른 손실비용을 보면 $E(L(X)|T = \hat{T}_{opt})$ 는 $E(L(X)|T = m)$ 와 큰 격차를 보이며 $E(L(X)|T = T_{opt})$ 와는 거의 차이가 없으므로 $T = \hat{T}_{opt}$ 으로 사용할 경우 비용 면에서 유효한 목표 값의 설정이 될 수 있음을 나타내고 있다. 실선 그래프를 보면 $T = T_{opt}$ 과 \hat{T}_{opt} 을 사용할 때의 C_{pk} 는 거의 차이가 없고 $T = m$ 으로 사용할 때의 C_{pk} 보다는 어느 정도 줄어드는 것을 알 수 있으나 그 정도가 크지 않아 여전히 양호한 C_{pk} 를 갖는 것을 알 수 있어 $T = \hat{T}_{opt}$ 일 때의 C_{pk} 가 만족할만한 수준임을 알 수 있다.

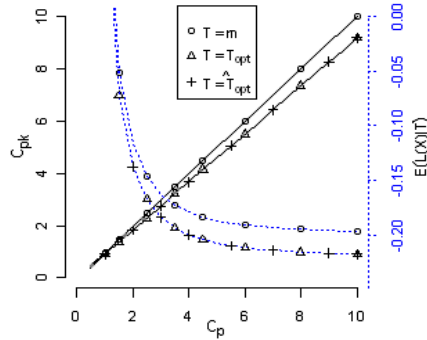


그림 4.2 C_p 가 변화할 때 도금두께 목표치에 따른 C_{pk} 와 총 손실비용 $C_0 = 1, C_1 = 0.1, p_1 = 1.1, p_2 = 1.5$

그림 4.2는 이익률이 10% ($p_1 = 1.1$)이고 도금품의 보수가 불가능한 ($p_2 = 1.5$) 경우이다. 점선 그래프인 T 에 따른 손실비용을 보면 C_p 값이 2 이전에는 T 에 따른 손실비용의 차이가 크진 않지만 여전히 $E(L(X)|T = \hat{T}_{opt})$ 은 $E(L(X)|T = T_{opt})$ 와 거의 차이가 없으므로 $T = \hat{T}_{opt}$ 으로 사용할 경우 비용 면에서 유효한 목표 값의 설정이 될 수 있음을 나타내고 있다. 실선 그래프를 보면 $T = T_{opt}$ 과 \hat{T}_{opt} 을 사용할 때의 C_{pk} 는 거의 차이가 없고 $T = m$ 으로 사용할 때의 C_{pk} 보다는 어느 정도 줄어드는 것을 알 수 있으나 그 정도가 크지 않아 여전히 양호한 C_{pk} 를 갖는 것을 알 수 있다.

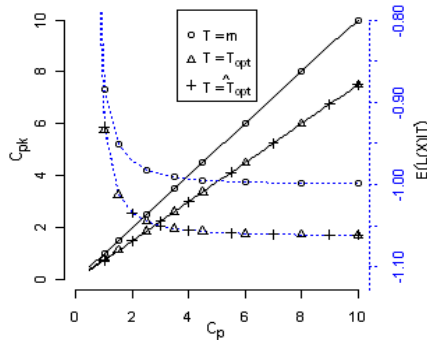


그림 4.3 C_p 가 변화할 때 도금두께 목표치에 따른 C_{pk} 와 총 손실비용 $C_0 = 1, C_1 = 0.1, p_1 = 1.1, p_2 = 0.5$

그림 4.3은 이윤이 50% ($P_1 = 1.5$)이고 도금품의 보수가 가능한 ($P_2 = 0.5$) 경우이다. 그래프의 형태는 그림 4.1과 비교하여 오른쪽 y축의 절대적인 값만 다를 뿐 나머지는 유사함을 알 수 있다. 그림 4.1처럼 $E(L(X)|T = \hat{T}_{opt})$ 은 $E(L(X)|T = T_{opt})$ 와 거의 차이가 없고 $T = T_{opt}$ 또는 \hat{T}_{opt} 일 때의 C_{pk} 는 양호함을 알 수 있으므로 여전히 $T = \hat{T}_{opt}$ 으로 사용할 경우 비용과 C_{pk} 면에서 유효한 목표 값의 설정이 될 수 있음을 나타내고 있다.

그림 4.4는 이윤이 50% ($P_1 = 1.5$)이고 도금품의 보수가 불가능한 ($P_2 = 1.5$) 경우이다. 그래프의 형태는 그림 4.2와 유사함을 알 수 있다. 그림 4.2와 마찬가지로 $T = \hat{T}_{opt}$ 으로 사용할 경우 손실비용이 가장 작다고 할 수 있고 $T = T_{opt}$ 또는 \hat{T}_{opt} 을 사용했을 때의 C_{pk} 와 $T = m$ 일 때의 C_{pk} 가 거의 차이가

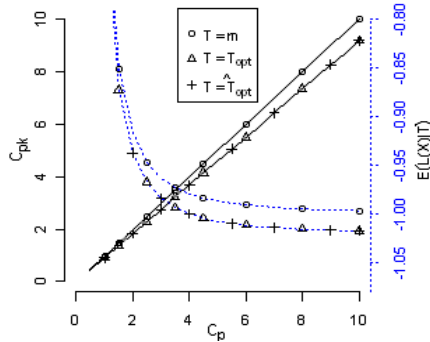


그림 4.4 C_p 가 변화할 때 도금두께 목표치에 따른 C_{pk} 와 총 손실비용 $C_0 = 1, C_1 = 0.1, p_1 = 1.5, p_2 = 1.5$

없어 여전히 비용과 C_{pk} 면에서 유효한 목표 값의 설정이 될 수 있음을 나타내고 있다.

4.2. 도금공정 생산단가가 큰 공정 ($C_0 = 1, C_1 = 10$)

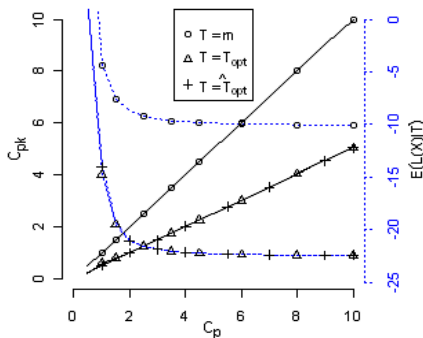


그림 4.5 $p_1 = 1.1, p_2 = 0.5$

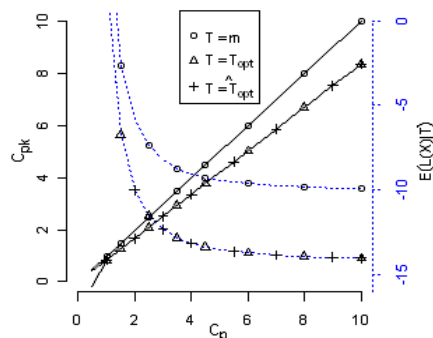


그림 4.6 $p_1 = 1.1, p_2 = 1.5$

그림 4.5에서 그림 4.8은 도금공정 생산단가가 상대적으로 큰 공정 ($C_0 = 1, C_1 = 10$)의 모든 경우 인 이윤이 10, 50% ($P_1 = 1.1, 1.5$)로 발생할 때 도금품의 보수가 가능한 경우와 불가능한 경우 ($P_2 = 0.5, 1.5$)인 총 4가지의 경우를 나타내고 있다. 4가지 그림 모두 $T = \hat{T}_{opt}$ 으로 사용할 경우 손실비용이 가장 작은 것을 알 수 있고 여전히 $T = T_{opt}$ 또는 \hat{T}_{opt} 을 사용했을 때의 C_{pk} 가 $T = m$ 일 때의 C_{pk} 와 비교하여 양호한 수준이므로 도금공정의 생산단가나 도금품의 보수유무 그리고 양호품 판매단가와 관계없이 모든 경우에서 $T = \hat{T}_{opt}$ 으로 사용할 경우 손실비용이 가장 작게 하고 그 때의 C_{pk} 도 만족할 만한 수준임을 알 수 있다.

그림 4.1부터 그림 4.8까지의 \hat{T}_{opt} 과 C_p 에 따른 C_{pk}, T_{opt}, D_r 을 표 4.1에 정리하였다. D_r 은 손실비용감소율로써 다음과 같이 표현된다.

$$D_r = \frac{E(L(X)|T = m) - E(L(X)|T = \hat{T}_{opt})}{|E(L(X)|T = m)|}$$

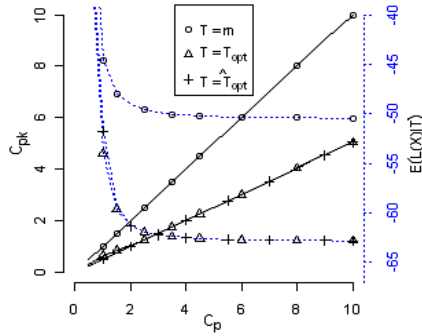


그림 4.7 $p_1 = 1.5, p_2 = 0.5$

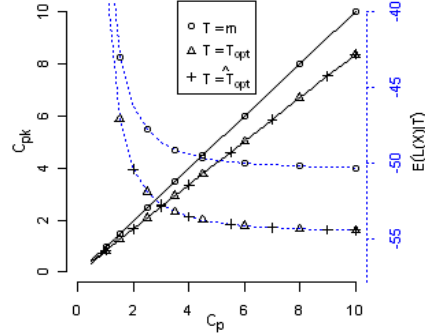


그림 4.8 $p_1 = 1.5, p_2 = 1.5$

표 4.1 C_p 에 따른 C_{pk}, T_{opt}, Dr (%)

| | C_p | 0.67 | 1 | 1.33 | 1.67 | 2 | 3 | 6 | 10 |
|--|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 그림 4.1 $C_0 = 1, C_1 = 0.1$ $P_1 = 1.1, P_2 = 0.5$ | C_{pk} | 0.5 | 0.75 | 1 | 1.25 | 1.5 | 2.25 | 4.5 | 7.5 |
| | T_{opt} | 8.997 | 8.920 | 8.792 | 8.755 | 8.750 | 8.750 | 8.750 | 8.750 |
| | Dr (%) | 55.4 | 62.1 | 44.5 | 39.0 | 36.3 | 33.3 | 31.7 | 31.4 |
| | \hat{T}_{opt} | 8.750 | 8.750 | 8.750 | 8.750 | 8.750 | 8.750 | 8.750 | 8.750 |
| 그림 4.2 $C_0 = 1, C_1 = 0.1$ $P_1 = 1.1, P_2 = 1.5$ | C_{pk} | 0.61 | 0.92 | 1.22 | 1.53 | 1.83 | 2.75 | 5.5 | 9.2 |
| | T_{opt} | 9.318 | 9.554 | 9.582 | 9.583 | 9.583 | 9.583 | 9.583 | 9.583 |
| | Dr (%) | 6.3 | 17.1 | 166.3 | 26.0 | 17.8 | 12.8 | 10.9 | 10.6 |
| | \hat{T}_{opt} | 9.583 | 9.583 | 9.583 | 9.583 | 9.583 | 9.583 | 9.583 | 9.583 |
| 그림 4.3 $C_0 = 1, C_1 = 0.1$ $P_1 = 1.5, P_2 = 0.5$ | C_{pk} | 0.5 | 0.75 | 1 | 1.25 | 1.5 | 2.25 | 4.5 | 7.5 |
| | T_{opt} | 9.220 | 9.023 | 8.819 | 8.758 | 8.750 | 8.750 | 8.750 | 8.750 |
| | Dr (%) | 3.6 | 5.2 | 6.4 | 6.5 | 6.4 | 6.3 | 6.3 | 6.3 |
| | \hat{T}_{opt} | 8.750 | 8.750 | 8.750 | 8.750 | 8.750 | 8.750 | 8.750 | 8.750 |
| 그림 4.4 $C_0 = 1, C_1 = 0.1$ $P_1 = 1.5, P_2 = 1.5$ | C_{pk} | 0.61 | 0.92 | 1.22 | 1.53 | 1.83 | 2.75 | 5.5 | 9.2 |
| | T_{opt} | 9.430 | 9.570 | 9.583 | 9.583 | 9.583 | 9.583 | 9.583 | 9.583 |
| | Dr (%) | 8.5 | 3.2 | 2.6 | 2.4 | 2.3 | 2.2 | 2.1 | 2.1 |
| | \hat{T}_{opt} | 9.583 | 9.583 | 9.583 | 9.583 | 9.583 | 9.583 | 9.583 | 9.583 |
| 그림 4.5 $C_0 = 1, C_1 = 10$ $P_1 = 1.1, P_2 = 0.5$ | C_{pk} | 0.34 | 0.50 | 0.67 | 0.84 | 1 | 1.51 | 3.03 | 5.05 |
| | T_{opt} | 7.946 | 8.021 | 7.830 | .673 | 7.579 | 7.525 | 7.525 | 7.525 |
| | Dr (%) | 225.7 | 221.8 | 162.6 | 149.3 | 141.5 | 130.6 | 124.5 | 123.2 |
| | \hat{T}_{opt} | 7.525 | 7.525 | 7.525 | 7.525 | 7.525 | 7.525 | 7.525 | 7.525 |
| 그림 4.6 $C_0 = 1, C_1 = 10$ $P_1 = 1.1, P_2 = 1.5$ | C_{pk} | 0.56 | 0.83 | 1.11 | 1.36 | 1.67 | 2.5 | 5 | 8.35 |
| | T_{opt} | 8.554 | 9.100 | 9.169 | 9.175 | 9.175 | 9.175 | 9.175 | 9.175 |
| | Dr (%) | 24.9 | 67.5 | 653.2 | 102.1 | 70.0 | 50.1 | 42.8 | 41.5 |
| | \hat{T}_{opt} | 9.175 | 9.175 | 9.175 | 9.175 | 9.175 | 9.175 | 9.175 | 9.175 |
| 그림 4.7 $C_0 = 1, C_1 = 10$ $P_1 = 1.5, P_2 = 0.5$ | C_{pk} | 0.34 | 0.50 | 0.67 | 0.84 | 1 | 1.51 | 3.03 | 5.05 |
| | T_{opt} | 8.447 | 8.263 | 7.960 | 7.741 | 7.609 | 7.525 | 7.525 | 7.525 |
| | Dr (%) | 14.9 | 15.9 | 21.9 | 24.4 | 25.0 | 24.8 | 24.6 | 24.5 |
| | \hat{T}_{opt} | 7.525 | 7.525 | 7.525 | 7.525 | 7.525 | 7.525 | 7.525 | 7.525 |
| 그림 4.8 $C_0 = 1, C_1 = 10$ $P_1 = 1.5, P_2 = 1.5$ | C_{pk} | 0.56 | 0.83 | 1.11 | 1.36 | 1.67 | 2.5 | 5 | 8.35 |
| | T_{opt} | 8.834 | 9.140 | 9.173 | 9.175 | 9.175 | 9.175 | 9.175 | 9.175 |
| | Dr (%) | 36.5 | 12.6 | 10.1 | 9.3 | 8.9 | 8.5 | 8.2 | 8.2 |
| | \hat{T}_{opt} | 9.175 | 9.175 | 9.175 | 9.175 | 9.175 | 9.175 | 9.175 | 9.175 |

D_r 은 $T = m$ 으로 사용했을 때 손실비용 대비 $T = \hat{T}_{opt}$ 으로 사용했을 때 손실비용의 감소율을 의미한다. $T = \hat{T}_{opt}$ 으로 사용할 때와 $T = m$ 으로 사용할 때의 손실비용을 비교하면 표 4.1의 D_r 을 보면 알

수 있듯이 모든 경우 $T = \hat{T}_{opt}$ 으로 사용했을 때 손실비용이 $T = m$ 으로 사용했을 때의 손실비용보다 작다는 것을 알 수 있다. 또 $T = \hat{T}_{opt}$ 으로 사용했을 때 손실비용을 $T = T_{opt}$ 으로 사용할 때의 손실비용과 비교하면 C_p 가 2이상에서는 T_{opt} 와 \hat{T}_{opt} 이 상당히 유사하여 손실비용도 유사할 것이라고 알 수 있다. 마찬가지로 C_p 가 2이상에서는 모든 경우에서 $T = \hat{T}_{opt}$ 일 때의 C_{pk} 가 1 이상이므로 $T = \hat{T}_{opt}$ 으로 사용할 경우의 비용과 C_{pk} 면에서 유효한 목표 값의 설정임을 알 수 있다.

5. 결론

도금공정에서 QC (도금두께)는 규격하한과 상한이 주어지 있지만 목표치가 주어지지 않은 경우 일반적으로 목표치는 규격의 중앙에 위치시킨다. 이는 비용 면에서 최적이라 볼 수 없으므로 이 논문에서는 비용을 최소화하는 목표치를 찾기 위해 먼저 목표치에 따라 발생할 수 있는 손실비용을 제안하였고 C_{pk} 가 1 이상이라는 가정을 통해 손실비용을 최소화하는 목표치 \hat{T}_{opt} 을 근사식을 통해 도출하였다. 모의실험을 통해 최소손실비용과 $T = \hat{T}_{opt}$ 그리고 m 으로 사용했을 때의 손실비용을 비교하여 $T = \hat{T}_{opt}$ 으로 사용했을 때의 손실비용이 최소 손실비용과 비교하여 거의 유사하다는 사실을 알 수 있었고 그때의 C_{pk} 도 만족할 만한 수준임을 알 수 있었다. 그러므로 도금공정에서 $T = \hat{T}_{opt}$ 으로 사용하는 것이 비용절감의 효과가 있다는 것이 검증되었다.

참고문헌

- Cha, Y. J., Lee, J. M. and Hong, Y. W. (2005). Economic decision of specification limits for a ham production process - an industrial case study -. *Journal of Korean Data & Information Science Society*, **16**, 943-949.
- Jeang, A. and Chung, C. P. (2009). Process capability analysis based on minimum production cost and quality loss. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **43**, 710-719.
- Hsieh, K. L. (1995). The study of cost-tolerance model by incorporating process capability index into product lifecycle cost. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **28**, 638-642.
- Kim, H. J. and Cho, G. Y. (2007). Process capability analysis by a new process incapability index. *Journal of Korean Data & Information Science Society*, **18**, 457-469.
- Lee, J. and Yang, W. Y. (2004). Economic performance of an ewma chart for monitoring mmse-controlled processes. *Journal of Korean Data & Information Science Society*, **15**, 285-295.
- Lee, M. K. (2003). Economic selection of process mean for a production process with quadratic quality. *The Journal of Productivity*, **9**, 87-96.
- Lee, Y. C. and Wei, C. C. (1998). Process capability-based tolerance design to minimize manufacturing loss. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **14**, 33-37.
- Nam, H. S. (2002). An interpretation of process capability index and process performance index. *Journal of Korean Data & Information Science Society*, **13**, 285-294.
- Taguchi, G. (1987). *System of experimental design*, Vol I, II., Kraus International Publications, USA.
- Tannock, J. D. T. (1995). Choice of inspection strategy using quality simulation. *International Journal of Quality & Reliability Management*, **12**, 75-84.

Selection of target for the minimum expected loss in plating processes[†]

Changsoon Park¹ · Jung-Jun Kim²

¹Department of Statistics, Chung-Ang University
Research Center for Data Science, Chung-Ang University

²Department of Statistics, Chung-Ang University

Received 9 August 2010, revised 11 October 2010, accepted 15 October 2010

Abstract

In the plating process of the IC chips for the printed circuit board manufacturing, specification limits for the plating thickness are usually given but its target is not specified in most cases. When the target is not specified, the center point of the specification limits is used instead. When the process capability is large, however, the use of the center point for the target is not the best choice in the context of the total cost. In this paper, the total cost is defined in terms of the production cost and the loss function, and then the optimal choice for target is studied in order to minimize the expected loss. As a consequence, the optimal choice of the target reduces the expected loss significantly, while reducing the process capability slightly.

Keywords: Process capability, production cost, specification limit, Taguchi's loss function.

[†] This research was supported by the Chung-Ang University Research Scholarship Grants in 2009.

¹ Corresponding author: Professor, Department of Statistics, Chung-Ang University, Seoul 156-756, Korea. E-mail: cspark@cau.ac.kr

² Master's course, Department of Statistics, Chung-Ang University, Seoul 156-756, Korea.