

☒ 연구논문

연속생산공정에서 공정목표값과 검사규격한계의 경제적인 결정에 관한 연구

백종석 · 윤덕균

한양대학교 산업공학과

A Study on Economic Selection of the Process Target and the Screening Specification Limits in a Continuous Production Process

Baik, Jong Seok · Yun, Deok Kyun

Dept. of Industrial Engineering Hanyang University

Abstract

Consider a production system where all manufactured products are screened through automatic inspection equipment. The products for which the measured value of quality characteristic is larger than the lower screening specification limit (S_L) and smaller than the upper screening specification limit (S_U) are accepted. Those smaller than S_L are reworked and those larger than S_U are excluded from the process.

Assuming that the quality characteristic is normally distributed with known variance, this paper suggests cost models which involve inspection cost, production cost, rework cost, exclusion cost and quality cost, and presents the methods of finding the optimal values of the screening specification limits and the process target. Numerical example is given to demonstrate the applicability of the cost models suggested in this paper.

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

공정설계 단계에서 경제적인 공정목표값과 검사규격한계를 결정하는 문제는 특정 제조공정(예를 들면, 화학공업, 식품공업, 의약품 공업)에서 중요한 문제이며 이에 대한 많은 연구가 있어왔다. 특히 용기에 내용물을 주입하는 공정인 canning process에 대한 연구가 활발했는데, 대부분의 경우 고려하는 품질특성이 정규분포를 따르고 분산을 알고있을 때, 생산자의 여러 가지 성책이나 제품의 특성에 따라 공정평균이나 규격상한 또는 규격하한을 결정하는 연구가 다양하게 진행되어 왔다.

이와 같은 품질특성은 가공공정에서도 존재하는데 특히 너트류의 가공에서처럼 품질특성이 망목특성을 가지고 전수검사를 통해 합격/불합격을 판정할 때 품질특성치(너트의 반경)가 규격하한에 못미치는 제품은 재가공을 하고, 규격상한을 넘는 제품은 폐기시켜야 하는 경우가 있다. 이러한 경우 폐기비용이 일반적으로 제작업 비용보다는 크므로 공정목표값은 규격하한쪽으로 이동하겠지만 공정목표값이 규격하한쪽으로 갈수록 폐기되는 제품수가 줄어들고 반면 제작업하는 제품수가 늘게되어 제작업 비용이 증가하게 되므로 폐기비용과 제작업 비용의 선충과정 속에서 가장 경제적인 공정목표값을 설정할 수 있게 된다.

1.2 기존 연구 고찰

기존의 연구들은 기본적인 가정으로서 품질특성치는 정규분포를 따르며, 분산은 알고있고, 전수검사를 통해 제품의 합격/불합격을 판정한다고 하였다.

Hunter & Kartha(1977)는 생산비용은 품질특성치에 비례한다고 가정하고, 규격하한을 넘는 제품은 정상적인 가격에 팔고, 규격하한을 미달하는 제품은 할인해서 파는 경우의 최적 공정목표값을 구하는 연구를 하였다. Carlsson(1984)은 생산비용과 공정변동의 내적 조건과 가격과 조정계획(control plan)의 외적 조건을 고려하여 생산공정의 최적 공정수준(process level)을 결정하고 최대 기대 순이익을 계산하는 연구를 하였다. Bisgaard, Hunter & Pallesen(1984)은 Hunter & Kartha(1977)의 가정에 의하면 제품도 정상적인 제품과 같은 가격으로 팔릴 가능성이 있으므로 이들의 모델을 확장해서 규격하한을 넘는 제품은 정상적인 가격에 판매되고, 규격하한을 미달하는 제품은 미달하는 양에 비례하는 할인 가격에 판매되는 경우에 최적 공정목표값을 결정하는 연구를 하였다. Golhar(1987)는 규격에 미달하는 제품을 할인판매하기 어려운 경우, 내용물을 담아 만든 캔 제품에서 규격을 미달하는 제품은 캔을 비워 재가공하고, 규격하한을 넘는 제품은 정상 가격에 판매하는 경우에 최적 공정평균을 계산하였다. Das(1995)는 Hunter & Kartha(1977)의 모형을 풀기 위한 noniterative numerical method를 제안하였다.

Golhar & Pollock(1988)는 Golhar(1987)의 가정에서 제품의 생산비용이 품질특성치에 비례하므로 제품의 품질특성치가 커질수록, 합격품이기는 하지만, 생산자의 입장에

서 불 때 손해이므로 규격하한을 미달하는 제품과 규격상한을 넘는 제품을 모두 재가공하는 경우에 이익을 최대로 하는 최적 공정평균과 규격상한을 동시에 결정하는 문제를 다루었다. Schmidt & Pfeifer(1991)는 생산능력이 제한되어 있는 경우에 Golhar & Pollock(1988)의 모형에서 최적 공정평균과 규격상한을 결정하는 문제를 다루었다.

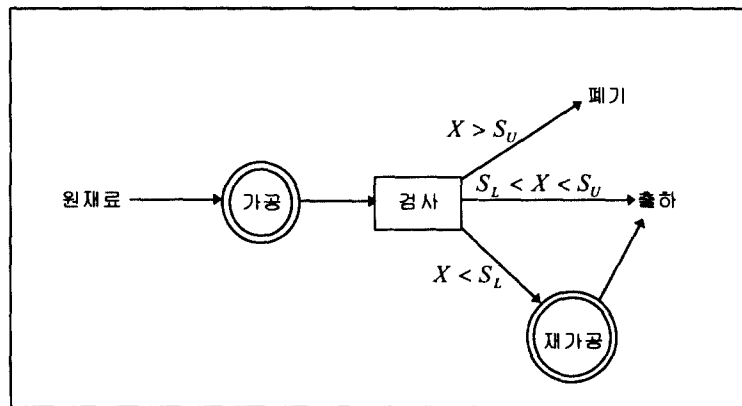
Hong & Lim(1995)는 규격하한을 생산자가 적절히 결정할 수 있는 경우에 대하여 기대비용 모형을 수립하여 이를 최소화 하는 규격하한과 공정평균을 결정하는 방법을 제시하였다.

본 논문에서는 Hong & Lim(1995)에서와 같이 단위제품당 총기대비용 모형을 수립하여 품질특성치가 망목특성인 경우의 가공공정에 대하여 여러가지 비용들을 분석하고 단위제품당 총기대비용을 최소화하는 경제적인 공정목표값과 검사규격한계를 결정하는 방법을 제시한다.

2. 시스템의 모형화

2.1 시스템의 정의 및 가정

본 논문에서 고려하는 가공 시스템은 Golhar(1987)가 고려한 생산시스템과 유사하며 품질특성치가 규격상한을 넘는 제품은 폐기되고 규격하한을 미달하는 제품은 재가공되는 경우의 가공 시스템으로 전체적인 시스템에 대한 설명은 <그림 2.1>과 같이 나타낼 수 있다.



< 그림 2.1 > 가공시스템의 개념도

고려하는 시스템의 품질특성치(X)는 너트구멍의 반경으로서 망목특성(Nominal the Best)을 가지며 원재료가 특정 가공기계에 의해 구멍뚫기 작업을 받게된다. 이 때 품질특성치는 $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ 의 분포를 따르며 X 의 분산은 알고있다고 가정한다.

제품에 대한 가공이 끝나면 검사 스테이션에서 전수 검사를 받게 되는데, 검사는 경제적으로 설정한 규격하한(S_L^*)과 규격상한(S_U^*)에 의해 수행된다.

제품의 특성상 규격상한을 넘는 제품은 재가공이 불가능하므로 폐기되며 규격하한과 규격상한 사이의 제품은 합격품으로서 출하되며 규격하한을 미달하는 제품은 생산되는 제품과는 별도로 재가공을 받게 된다.

정밀한 검사장비를 사용하므로 검사 오류는 없다고 가정하며, 재가공에 소요되는 비용은 처음 가공할 때와 같은 고정비와 추가 가공되는 만큼의 변동비만을 고려한다. 즉, 재가공으로 인해 발생하는 생산 차질이나 추가 운반 등에 대한 비용은 고려하지 않는다.

재가공 공정은 이미 구멍이 뚫려있는 제품에 대한 추가 가공이므로 재가공 이후에는 합격품으로서 곧바로 출하된다고 가정한다.

2.2 모형의 수립

2.2.1 기호 정의

- μ : 제품의 공정목표값(품질특성의 평균)
- σ^2 : 제품의 분산(known)
- S_L : 제품의 검사규격하한
- S_U : 제품의 검사규격상한
- X : 제품의 품질특성치
- $f(x)$: X 의 확률밀도함수, $\sim N(\mu, \sigma^2)$
- $\phi(\cdot)$: 표준정규분포의 확률밀도함수
- $\Phi(\cdot)$: 표준정규분포의 누적밀도함수
- μ^* : 최적 공정목표값(가공기계의 setting point)
- S_L^* : 제품의 최적 검사규격하한
- S_U^* : 제품의 최적 검사규격상한
- τ : 품질특성에 대한 소비자의 품질목표치
- C_0 : 단위제품당 고정비(fixed cost)
- C_1 : 단위제품당 변동비(variable cost)
- C_E : 단위제품당 폐기비용
- C_i : 단위제품당 검사비용
- $C(\tau, x)$: 품질손실함수

본 논문에서 고려하는 품질특성치는 망목특성 이므로 소비자의 입장에서 볼 때 품질특성에 대한 바람직한 수준이 정해져 있으며 이를 품질특성에 대한 소비자의 품질목표치(τ)라 한다. 즉 소비자는 정확한 목표치 τ 에서 만족하며 품질특성치가 τ 보다 작거나 크면 품질비용이 발생하게 된다. 예를 들어 너트의 반경이 τ 보다 작거나 클

경우 그 너트로 체결된 구조물의 강도가 소비자가 의도했던 것 보다 약해진다든지, 대응되는 볼트와 체결할 때 소요되는 시간이 증가하는 등의 비용으로 표현될 수 있고 이러한 품질비용은 품질손실함수 $C(\tau, x)$ 를 적용하여 산출한다.

2.2.2 모형의 수립

본 논문에서는 총기대비용(Expected Total Cost, ETC)을 단위제품에 대하여 고려했으며 총기대비용은 기대 생산비용(Expected Production Cost, EPC), 기대 재가공비용(Expected Rework Cost, ERC), 기대 폐기비용(Expected Exclusion Cost, EEC), 기대 품질비용(Expected Quality Cost, EQC), 검사비용으로 구성된다.

단위제품당 기대 생산비용(EPC)은 고정비인 C_0 와 제품의 품질특성에 비례하는 변동비인 C_1 에 의해서 $C_0 + C_1x$ 로 정의된다. 이 비용함수는 Bisgaard, Hunter & Pallesen(1984), Tang & Lo(1989) 그리고 Hong & Lim(1995)에서 적용된 바 있다.

그러므로

$$EPC = \int_0^{\infty} \{(C_0 + C_1x)f(x)\}dx = C_0 + C_1\mu \quad (2.1)$$

이다.

단위제품당 기대 재가공비용(ERC)은 가공된 제품이 검사에서 재가공 받을 제품으로 판정될 확률이 $\int_0^{S_L} f(x)dx$ 이고 재가공 되는 제품에 대해 공정목표값 μ 를 목표로 $\mu - x$ 만큼 가공한다고 할 때,

$$ERC = \int_0^{S_L} \{[C_0 + C_1(\mu - x)]f(x)\}dx \quad (2.2)$$

이다.

단위제품당 기대 폐기비용(EEC)은 가공한 후 검사에서 폐기될 제품으로 판정될 확률이 $\int_{S_U}^{\infty} f(x)dx$ 이고 단위제품당 폐기비용이 C_E 이므로

$$EEC = C_E \int_{S_U}^{\infty} f(x)dx \quad (2.3)$$

이다.

제품이 규격상한과 규격하한 사이에 있어 합격품으로 출하되었지만 제조공정상의 분산에 의해 소비자가 요구하는 정확한 품질특성의 목표치인 τ 와 실제의 품질특성치인 x 와는 차이가 존재하게 되며 이러한 차이에 의하여 품질비용이 발생하게 된다.

단위제품당 기대 품질비용(EQC)은 품질특성 X 가 망목특성 이므로 품질특성치 x

가 τ 보다 작을 때의 품질비용(EQC^-)과 제품의 품질특성치 x 가 τ 보다 클 때의 품질비용(EQC^+)의 합으로 구성된다.

$$EQC^- = \int_{S_L}^{\tau} \{C_1(\tau, x)f(x)\}dx \quad (2.4)$$

이고

$$EQC^+ = \int_{\tau}^{S_U} \{C_2(\tau, x)f(x)\}dx \quad (2.5)$$

이므로

$$EQC = EQC^- + EQC^+ = \int_{S_L}^{\tau} \{C_1(\tau, x)f(x)\}dx + \int_{\tau}^{S_U} \{C_2(\tau, x)f(x)\}dx \quad (2.6)$$

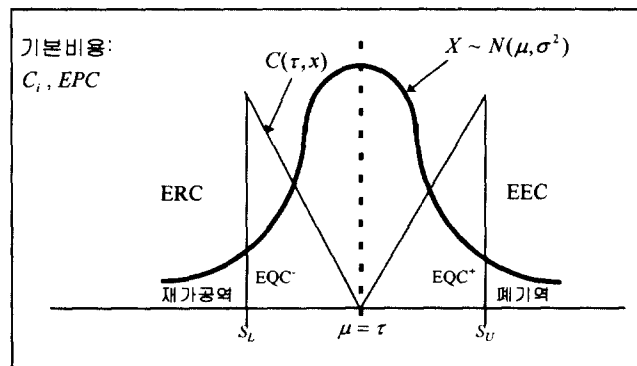
이다.

총기대비용(ETC)은 위에서 살펴본 비용들과 단위제품당 검사비용 C_i 의 합으로 구성되므로

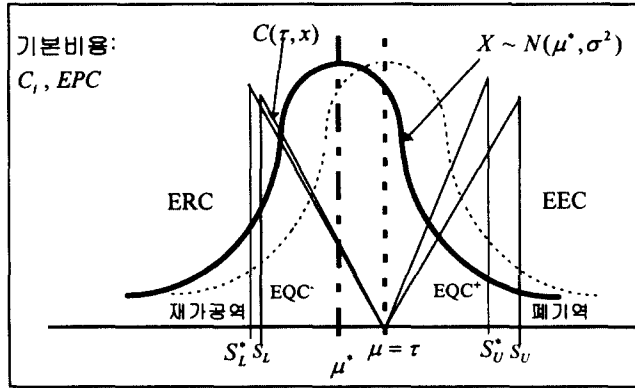
$$ETC = C_i + EPC + ERC + EEC + EQC \quad (2.7)$$

와 같이 표현할 수 있으며 이를 최소로 하는 최적 공정복표값 즉 가공기계의 setting point인 μ^* 와 최적 검사규격한계(S_L^* , S_U^*)를 구해야 한다.

마지막으로 위에서 설명된 비용항목들을 그림으로 표현하면 <그림 2.2>와 같이 나타낼 수 있고 최적 공정복표값(μ^*), 검사규격하한(S_L^*), 검사규격상한(S_U^*)을 적용했을 때의 비용항목들을 그림으로 표현하면 <그림 2.3>과 같이 나타낼 수 있다.



< 그림 2.2 > 총기대비용의 구성



< 그림 2.3 > 새로운 파라미터 값에 의한 총기대비용의 구성

3. 최적해

품질손실함수가 일차함수인 경우에 대해 최적 검사규격하한, 검사규격상한과 공정 목표값을 구한다.

3.1 최적 검사규격하한

품질손실함수가 일차함수의 형태로서 $C_1(\tau, x) = b(\tau - x)$, $C_2(\tau, x) = b(x - \tau)$ 이므로 총기대비용은

$$\begin{aligned}
 ETC &= C_i + C_0 + C_1\mu + \int_0^{S_L} [C_0 + C_1(\mu - x)]f(x)dx + C_E \int_{S_U}^{\infty} f(x)dx \\
 &+ \int_{S_L}^{\tau} b(\tau - x)f(x)dx + \int_{\tau}^{S_U} b(x - \tau)f(x)dx
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

이 되며 $b > C_1$ 인 경우를 고려하기로 한다.

ETC 를 최소로 하는 최적 검사규격하한을 결정하기 위해서 윗식을 S_L 로 편미분하면

$$\frac{\partial ETC}{\partial S_L} = \{C_0 + C_1(\mu - S_L) - b(\tau - S_L)\}f(S_L) \tag{3.2}$$

이 되는데 $\mu = \tau$ 이므로 $\partial ETC / \partial S_L = 0$ 을 만족하는 $S_L^* = \tau - \{C_0 / (b - C_1)\}$ 이 된다. 그런데 $b > C_1$ 인 경우에 $S_L < S_L^*$ 에서 $\partial ETC / \partial S_L < 0$ 이고 $S_L > S_L^*$ 에서 $\partial ETC / \partial S_L > 0$ 이므로 S_L^* 가 ETC 를 최소로 하는 최적 검사규격하한이 된다.

3.2 최적 검사규격상한

ETC 를 최소로 하는 최적 검사규격상한을 결정하기 위해서 윗식을 S_U 로 편미분하면

$$\frac{\partial ETC}{\partial S_U} = \{-C_E + b(S_U - \tau)\}f(S_U) \quad (3.3)$$

이 된다. 그러므로 $\partial ETC / \partial S_U = 0$ 을 만족하는 $S_U^* = \tau + \{C_E / b\}$ 이 된다. 또한 $S_U < S_U^*$ 에서 $\partial ETC / \partial S_U < 0$ 이고 $\partial ETC / \partial S_U > 0$ 이므로 S_U^* 가 ETC 를 최소로 하는 최적 검사규격상한이 된다.

3.3 최적 공정목표값

식(3.1)에서 기대 재가공비용(ERC)에 해당하는 항목은

$$\int_0^{S_L} \{C_0 + C_1(\mu - x)\}f(x)dx = \int_0^{S_L} (C_0 + C_1\mu)f(x)dx - C_1 \int_0^{S_L} xf(x)dx \quad (3.4)$$

이다. 여기서 다음의 결과를

$$\int_{-\infty}^{S_L} xf(x)dx = \mu\Phi\left(\frac{S_L - \mu}{\sigma}\right) - \sigma\phi\left(\frac{S_L - \mu}{\sigma}\right) \quad (3.5)$$

식(3.4)에 이용하면

$$\int_0^{S_L} \{C_0 + C_1(\mu - x)\}f(x)dx = C_0\Phi\left(\frac{S_L - \mu}{\sigma}\right) + C_1\sigma\phi\left(\frac{S_L - \mu}{\sigma}\right) \quad (3.6)$$

이 된다.

식(3.1)에서 제품의 품질특성치가 품질목표값(τ)보다 작을 때 발생하는 기대 품질비용(EQC^-)에 해당하는 항목은

$$\int_{S_L}^{\tau} b(\tau-x)f(x)dx = b\tau \int_{S_L}^{\tau} f(x)dx - b \int_{S_L}^{\tau} xf(x)dx \quad (3.7)$$

인데, 식(3.5)의 결과를 식(3.7)에 이용하면

$$\begin{aligned} \int_{S_L}^{\tau} b(\tau-x)f(x)dx &= b\tau \left\{ \Phi\left(\frac{\tau-\mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{S_L-\mu}{\sigma}\right) \right\} - b \left\{ \mu\Phi\left(\frac{\tau-\mu}{\sigma}\right) \right. \\ &\quad \left. - \sigma\phi\left(\frac{\tau-\mu}{\sigma}\right) - \mu\Phi\left(\frac{S_L-\mu}{\sigma}\right) + \sigma\phi\left(\frac{S_L-\mu}{\sigma}\right) \right\} \\ &= b\sigma \left[\frac{\tau-\mu}{\sigma} \Phi\left(\frac{\tau-\mu}{\sigma}\right) - \frac{\tau-\mu}{\sigma} \Phi\left(\frac{S_L-\mu}{\sigma}\right) \right. \\ &\quad \left. + \phi\left(\frac{\tau-\mu}{\sigma}\right) - \phi\left(\frac{S_L-\mu}{\sigma}\right) \right] \end{aligned} \quad (3.8)$$

이 되며, 같은 방법으로 식(3.1)에서 제품의 품질특성치가 품질목표값(τ)보다 클 때 발생하는 기대 품질비용(EQC^+)에 해당하는 항목은

$$\begin{aligned} \int_{\tau}^{S_U} b(x-\tau)f(x)dx \\ = b\sigma \left[\frac{\tau-\mu}{\sigma} \Phi\left(\frac{\tau-\mu}{\sigma}\right) - \frac{\tau-\mu}{\sigma} \Phi\left(\frac{S_U-\mu}{\sigma}\right) + \phi\left(\frac{\tau-\mu}{\sigma}\right) - \phi\left(\frac{S_U-\mu}{\sigma}\right) \right] \end{aligned} \quad (3.9)$$

이 된다.

여기서

$$\xi = (\tau - \mu)/\sigma, \lambda = C_0/(b - C_1)\sigma, \lambda_2 = C_E/b\sigma \text{라고 정의하면, } (S_L^* - \mu)/\sigma = \xi - \lambda_1, (S_U^* - \mu)/\sigma = \xi + \lambda_2 \text{이 되므로 식(3.1)은}$$

$$\begin{aligned} ETC &= C_i + C_0 + C_1(\tau - \sigma\xi) + C_0\Phi(\xi - \lambda_1) \\ &\quad + C_1\sigma\phi(\xi - \lambda_1) + C_E(1 - \Phi(\xi + \lambda_2)) \\ &\quad + b\sigma[\xi\{2\Phi(\xi) - \Phi(\xi - \lambda_1) - \Phi(\xi + \lambda_2)\} \\ &\quad \quad 2\phi(\xi) - \{\phi(\xi - \lambda_1) + \phi(\xi + \lambda_2)\}] \end{aligned} \quad (3.10)$$

이 된다.

이제 식(3.10)을 최소로 만드는 ξ^* 를 구하기 위해 윗식을 ξ 에 대하여 편미분하면

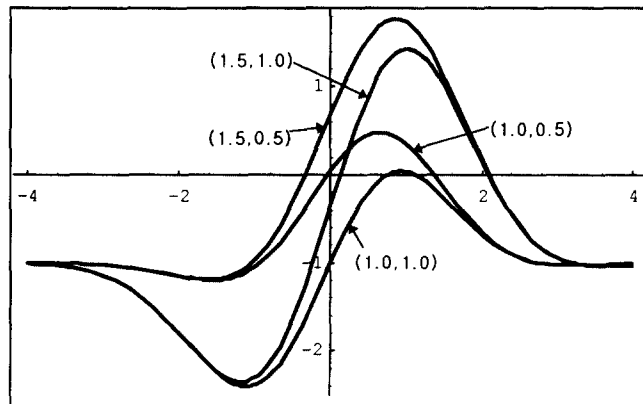
$$\frac{\partial ETC}{\partial \xi} = b\sigma \left[2\Phi(\xi) - \Phi(\xi - \lambda_1) - \Phi(\xi + \lambda_2) - \frac{C_1}{b} \xi \phi(\xi_{\lambda_1}) - \frac{C_1}{b} \right] \quad (3.11)$$

이 된다.

그러나 $\partial ETC/\partial \xi = 0$ 을 만족하는 ξ 값에서 ETC 를 최소로 하는 최적해가 존재함을 해석적으로 보이기가 어려우므로 식(3.11)을 의미 있는 영역에서 컴퓨터 패키지를 이용하여 수치적으로 분석해보면 최적해가 두 개 존재하며 그 중 작은 값에서 ETC 가 최소가 됨을 알 수 있었다. 특히 식(3.11)에서도 알 수 있듯이 $\partial ETC/\partial \xi = 0$ 을 만족하는 ξ 값은 λ_1 과 λ_2 에 의해 결정되는 데, λ_1 과 λ_2 는 다시 재가공비용에 대한 계수(C_0, C_1), 폐기비용에 대한 계수(C_E), 품질비용에 대한 계수(b)에 의해 결정되므로 직관적으로 네 가지의 계수에 의해 최적값은 결정되며 각 계수들간의 관계에 의해 최적 공정복표값이 정해짐을 알 수 있다. 따라서 각 계수값이 주어지면 최적 공정복표값을 구할 수 있다.

<그림 3.1>에서는 b 와 C_1 이 고정되어 있는 상태에서 C_0 와 C_E 를 변화시키면서 (λ_1, λ_2)를 각각 (1.0, 0.5), (1.0, 1.0), (1.5, 0.5), (1.5, 1.0)인 경우에 대한 식(3.11)의 개형이 그려져 있다.

그러나 수치적인 분석을 수행 하다 보면 식(3.11)의 값 전체가 음수 또는 양수가 되는 경우가 있는데, 이는 총 기대비용함수가 공정 복표값에 대해 증가 또는 감소함수가 되는 경우로서 이는 본 논문에서 고려하는 생산모델에서는 경제성이 없는 생산공정이라 할 수 있다. 예를 들어, 재가공비용과 품질비용에 비해 폐기비용이 상대적으로 훨씬 클 경우 공정 복표값은 품질 복표값과 너무 떨어져서 0에 근접할 가능성도 있다. 이는 의미없는 생산공정이라 할 수 있기 때문이다.



< 그림 3.1 > 식(3.11)의 개형

4. 수치예제 및 분석

4.1 수치예제

너트류의 가공에서 중요한 품질특성치는 너트의 반경으로 망목특성(nominal the best)이다. 본 예제에서는 너트의 반경을 품질특성치로 하여 경제적인 검사규격 한계와 공정 목표값을 구해본다.

품질특성치의 목표치(τ)는 12(mm)이며 이에 못미치거나 넘는 제품은 품질비용이 발생한다. 검사에 불합격된 제품은 폐기처분하며 폐기비용(C_E)은 2(십원, 이하 모든 단위는 십원이다.)이다. 생산비용은 C_1 이 1, C_0 는 6이다. 단위제품의 검사비용은 0.02이다. 이 공정은 정규분포를 따른다고 가정하며 공정의 표준편차는 1.0이다. 품질비용 함수는 일차함수($b | \tau - x |$)의 형태로서 Tang(1988)에서 상수함수, 일차함수, 이차함수의 형태에서 발생하는 각 품질비용은 같다고 놓고 계산한 바 대로 b 는 6.875라고 한다. 이 경우 $\lambda_1 = C_0 / (b - C_1) \sigma = 1.02$ 가 되고 $\lambda_2 = C_E / b \sigma = 0.29$ 가 된다. 이 값을 이용해서 최적해를 구해보면 $\xi^* = -0.500$ 가 되고 따라서 경제적인 공정목표값은 $\mu^* = 12.500$ 가 된다. 이 결과를 <표 4.1>에 정리했다.

$\mu^* = 12.500$ 이므로 경제적인 공정목표값이 $1/2 \sigma$ 만큼 커졌는데, 이는 기대 재가공 비용이 기대 폐기비용보다 커서 오른쪽으로 이동된 것이며, 이러한 결과를 $\mu = \tau$ 로 공정목표값을 정하고 $\mu - S_L = S_U - \mu = \sigma$ 로 정해주는 방법($ETC = 21.6849$)과 비교해 보면 단위제품당 총 기대비용이 0.6589(십원)이 절감됨을 알 수 있다.

< 표 4.1 > 수치예제의 최적해

λ_1	λ_2	$b\sigma$	C_1/b	S_L^*	S_U^*	ξ^*	μ^*	ETC
1.02	0.29	6.875	0.145	11.48	12.790	-0.500	12.500	21.0260

4.2 분석

다음의 <표 4.2> ~ <표 4.6>에서는 총기대비용함수에 포함되는 계수값들의 변화에 따른 $ETC_1(\mu = \mu^*, S_L = S_L^*, S_U = S_U^*)$, $ETC_2(\mu = \tau, S_L = S_L^*, S_U = S_U^*)$, $ETC_3(\mu = \tau, \mu - S_L = \sigma, S_U - \mu = \sigma)$ 의 변화를 정리했다.

대체로 각 계수값들이 증가함에 따라 ETC_1, ETC_2, ETC_3 이 모두 증가하며 $ETC_1 < ETC_2 < ETC_3$ 인 관계가 항상 유지된다.

< 표 4.2 > C_0 의 변동에 따른 ETC_1, ETC_2, ETC_3 의 변화

C_0	ETC_1	ETC_2	ETC_3	C_0	ETC_1	ETC_2	ETC_3
5	19.9488	20.0026	20.5309	9	24.1024	24.4875	25.1665
6	21.0260	21.1775	21.6849	10	25.1105	25.5406	26.3242
7	22.0650	22.3121	22.8482	11	26.1154	26.5777	27.3578
8	23.0885	23.4087	24.0069	12	27.1182	27.6030	28.1991

< 표 4.3 > C_1 의 변동에 따른 ETC_1, ETC_2, ETC_3 의 변화

C_1	ETC_1	ETC_2	ETC_3	C_1	ETC_1	ETC_2	ETC_3
0.8	18.1902	18.7293	19.3069	1.2	23.5357	23.6141	24.1308
0.9	19.7600	19.9537	20.4654	1.3	24.7838	24.8466	25.3622
1.0	21.0260	21.1775	21.6849	1.4	26.0294	26.0688	26.5864
1.1	22.2826	22.4010	22.9138	1.5	27.2651	27.2904	27.8106

< 표 4.4 > C_E 의 변동에 따른 ETC_1, ETC_2, ETC_3 의 변화

C_E	ETC_1	ETC_2	ETC_3	C_E	ETC_1	ETC_2	ETC_3
0.8	18.1902	18.7293	19.3069	1.2	23.5357	23.6141	24.1308
0.9	19.7600	19.9537	20.4654	1.3	24.7838	24.8466	25.3622
1.0	21.0260	21.1775	21.6849	1.4	26.0294	26.0688	26.5864
1.1	22.2826	22.4010	22.9138	1.5	27.2651	27.2904	27.8106

< 표 4.5 > b 의 변동에 따른 ETC_1, ETC_2, ETC_3 의 변화

b	ETC_1	ETC_2	ETC_3	b	ETC_1	ETC_2	ETC_3
3	19.9386	19.9596	21.4731	9	21.2368	21.4728	22.3568
6	20.8920	21.0014	21.4949	12	21.3928	21.7155	23.2986

< 표 4.6 > σ 의 변동에 따른 ETC_1, ETC_2, ETC_3 의 변화

σ	ETC_1	ETC_2	ETC_3	σ	ETC_1	ETC_2	ETC_3
0.3	19.4827	19.4836	21.0094	0.9	20.8675	21.0021	21.9297
0.5	20.0861	20.1434	21.4496	1.1	21.1717	21.3162	21.9695
0.7	20.5178	20.6442	21.4895	1.3	21.4443	21.5950	22.4097

5. 결론 및 추후 연구과제

본 논문에서는 검사대상 제품이 망목특성을 갖는 경우에 대하여, 제품의 품질특성치가 정규분포를 따르고 제조공정의 분산을 알고있다는 가정하에, 단위제품당 총기대비용함수를 모형화 하여 경제적인 공정목표값과 검사규격한계를 결정하는 방법을 제시하였다. 총 기대비용함수의 비용항목으로는 검사비용, 생산비용, 검사규격하한 미만의 제품을 재가공하는 데 소요되는 재작업 비용, 검사규격상한을 초과하는 제품을 폐기시키는 폐기비용, 소비자의 불만족이나 손실을 고려한 품질비용을 적용하였다. 총 기대비용을 최소로 하는 공정목표값을 구하는데 있어서 해석적인 방법으로 구할 수는 없었으나 의미 있는 영역에서 수리적으로 분석해본 결과 최적 공정목표값이 존재함을 알 수 있었다. 본 연구에서 제시한 방법에 의하여 예제를 풀어보았으며, 총 기대비용함수에 포함되는 계수값들의 변화에 따른 총 기대비용함수의 변화를 경제적인 공정목표값과 검사규격한계를 모두 적용한 경우(ETC_1), 공정목표값을 품질목표값으로 정하고 경제적인 검사규격한계만 적용한 경우(ETC_2), 공정목표값을 품질목표값으로 정하고 검사규격한계를 $\mu \pm \sigma$ 로 설정한 경우(ETC_3)의 세가지의 경우를 통하여 살펴보았다. 그 결과 계수값들의 변화에 상관없이 ETC_1 이 가장 작았다($ETC_1 < ETC_2 < ETC_3$).

본 연구에서 사용한 수리적인 분석에는 Mathematica 2.2.3이 사용되었다.

추후 연구과제로는 망목특성인 주품질특성의 측정이 어려운 경우에 대응특성을 이용하여 검사를 수행하는 경우나 제조공정의 분산을 알 수 없을 때 경제적인 공정목표값과 검사규격한계를 결정하는 문제를 고려할 수 있겠다.

참고문헌

- [1] Bisgaard, S., Hunter, W.G., and Pallesen, L.(1984) Economic Selection of Quality of Manufactured Product, *Technometrics*, Vol. 26, No. 1, pp. 9-18.
- [2] Carlsson, O.(1984) Determining the Most Profitable Process Level for a Production Process Under Different Sales Conditions, *Journal of Quality Technology*, Vol. 16, No. 1, pp. 44-49.
- [3] Chang, S.J., Lee, S.W., and Park, Y.H.(1995) A Study of the Quality Costs in Manufacturing Systems, *Journal of the Korean Society for Quality Management*, Vol. 23, No. 2, pp. 10-27.
- [4] Das, C.(1995) Selection and Evaluation of Most profitable Process Targets for the Control of Canning Quality, *Computers Industrial Engineering*, Vol. 28, No. 2, pp. 259-266.

- [5] Golhar, D.Y.(1987) Determination of the Best Mean Contents for a Canning Problem, *Journal of Quality Technology*, Vol. 19, No. 2, pp. 82-84.
- [6] Golhar, D.Y.(1988) Computation of the Optimal Process Mean and the Upper Limit for a Canning Problem, *Journal of Quality Technology*, Vol. 20, No. 3, pp. 193-195.
- [7] Golhar, D.Y., and Pollock, S.M.(1988) Determination of the Optimal Process Mean and the Upper Limit for a Canning Problem, *Journal of Quality Technology*, Vol. 20, No. 3, pp. 188-192.
- [8] Hong, S.H., and Lim, H.(1995) Economic Selection of the Lower Limit and the Process Mean for a Continuous Production Process, *Journal of the Korean Society for Quality Management*, Vol. 23, No. 3, pp. 20-32.
- [9] Hunter, W.G., and Kartha, C.P.(1977) Determining the Most Profitable Target Value for a Production Process, *Journal of Quality Technology*, Vol. 9, No. 4, pp. 176-181.
- [10] Lee, M.K., and Kim, G.S.(1994) Determination of the Optimal Target Values for a Filling Process When Inspection Is Based on a Correlated Variable, *Int. J. Production Economics*, Vol. 37, pp. 205-213.
- [11] Nelson, L.S.(1978) Best Target Value for a Production Process, *Journal of Quality Technology*, Vol. 10, No. 2, pp. 88-89.
- [12] Schmidt, R.L., and Pfeifer, P.E.(1991) Economic Selection of the Mean and Upper Limit for a Canning Problem with Limited Capacity, *Journal of Quality Technology*, Vol. 23, No. 4, pp. 312-317.
- [13] Tang, K.(1988) Design of a Two Stage Screening Procedure Using Correlated Variables : A Loss Function Approach, *Naval Research Logistics*, Vol. 35, pp. 513-533.
- [14] Tang, K., and Lo, J.J.(1993) Determination of the Optimal Process Mean When Inspection Is Based on a Correlated Variable, *IIE Transactions*, Vol. 25, No. 3, pp. 66-72.
- [15] Tang, K., and Tang, J.(1994) Design of Screening Procedures: A Review, *Journal of Quality Technology*, Vol. 26, No. 3, pp. 209-226.