

# Decision of Producer's Specification Limits Considering Types of Loss Function

Dong-Hyuk Kim · Young-Bae Chung<sup>†</sup>

Department of Industrial and Management Engineering, Incheon National University

## 손실함수의 형태를 고려한 생산자 규격한계의 결정

김동혁 · 정영배<sup>†</sup>

인천대학교 산업경영공학과

Taguchi regarded the concept of quality as 'total loss to society due to fluctuations in quality characteristics from the time of supplied to the customer.' The loss function is a representative tool that can quantitatively convert the loss that occurs due to the deviation of the quality characteristic value from the target value. This has been utilized in various studies with the advantage that it can change the social loss caused by fluctuation of quality characteristics to economic cost. The loss function has also been used extensively in the study of producer specification limits. However, in previous studies, only the second order loss function of Taguchi is used. Therefore, various types of losses that can occur in the process can't be considered. In this study, we divide the types of losses that can occur in the process considering the first and second loss functions and the Spiring's reflected normal loss function, and perform total inspection before delivering the customer to determine the optimal producer specification limit that minimizes the total cost. Also, we will divide the quality policy for the products beyond the specification limits into two. In addition, we will show the illustration of expected loss cost change of each model according to the change of major condition such as customer specifications and maximum loss cost.

**Keywords** : Loss Function Types, Producer's Specification, Cost Model, Quality Policy

### 1. 서 론

현재 국내 기업들의 조업 수준은 생산 자동화 시스템의 고도화로 인하여 생산 능력이 상향평준화 되었으며 중소기업의 기술력 또한 좋아져 아웃소싱 등의 생산력 분담이 용이해짐에 따라 제조기업의 양적 능력이 기업의 뚜렷한 경쟁우위로 나타나기 어려워졌다. 이러한 환경에서 기업이 무한경쟁 속에서 살아남을 수 있는 또 다른 주요한 경쟁력은 바로 품질우위이다.

품질에 대한 정의는 '용도에의 적합성(fitness of use) 또는 제품의 특성'에서부터 보다 포괄적인 고객지향의 품질의 개념인 '소비자 기대에의 적응도', ISO 9000시리즈(KS Q ISO 9000 : 2015)에서 정의하고 있는 '품질이란 대상의 고유 특성의 집합이 요구사항을 충족시키는 정도' 등으로 다양하다. 여기서 요구사항이란 고객의 명시적 요구와 의 무적이거나 묵시적 고객의 요구를 포함한 것을 의미하며 이는 고객의 현대적 요구수준을 반영한 것이라 할 수 있다.

Taguchi는 품질의 개념을 좀 더 넓은 의미로 해석하여 '출하된 시점으로부터 품질특성의 변동으로 인하여 사회에 끼친 총 손실'로 보았다. 이는 품질의 개념을 규격에 따라 객관적 만족도에 중점을 둔 과거의 품질의 정의에서 보다 향상된 개념으로 규격 내에 있더라도 고객이 요구

하는 이상적(ideal)인 품질특성치인 목표치(target value)에 부합하지 못하여 발생하게 되는 사회적 손실을 포함하여 고객의 요구를 적극적으로 반영 할 수 있는 품질의 개념을 제시하였다.

품질특성치가 이상적인 목표치와 갖는 편차로 인하여 발생하게 되는 손실을 정량적으로 나타내어 줄 수 있는 역할을 하는 대표적인 도구가 손실함수이다. 이러한 손실함수는 품질특성이 갖는 변동으로 인한 사회적 손실을 이해하기 쉬운 경제적 비용의 정보로 바꿔줄 수 있다는 이점으로 다양한 형태로 연구에 활용되었다. Kim and Chung [6, 8]은 Taguchi가 제안한 2차 손실함수(quadratic loss function)와 Spiring[11]이 제안한 역정규 손실함수를 이용하여 공정에서 생산하는 제품의 품질특성이 목표치와 일치하지 않았을 경우 발생하는 기대손실을 관리하고자 이를 이용한 관리도를 설계하여 제안하였다. 또한 Kim et al.[7]과 Chun and Chung[3]은 각각 2차 손실함수와 역정규 손실함수를 활용하여 경제적 손실을 포함한 능력지수를 개발하는 등 손실함수를 적용한 다양한 연구들이 진행되었다.

최근 검사장비의 자동화 및 고도화로 인하여 제품의 전수검사가 가능한 분야가 증가하고 있다. 이에 따라 생산자는 고객이 요구하는 규격만을 기준으로 하는 소극적 품질방침을 갖는 기존의 방식으로부터 탈피하여 생산자가 스스로의 규격 기준을 가지고 전수검사를 진행하여 고객의 요구를 가급적 충족시키는 제품을 고객에게 전달할 수 있게 하여 제품 품질특성치가 갖는 변동으로 인한 총 손실을 최소화 할 수 있도록 하는 적극적 품질방침이 요구된다 할 수 있다. 이에 Tang[12]은 품질특성치의 이상적인 목표치가 주어졌을 때 제품을 전수 검사하여 규격을 만족할 경우 합격, 불만족할 경우 재작업을 가정하고 검사와 관련된 경제적 이익 및 제비용을 고려한 이익함수를 최대로 하는 규격한계를 제시한 바 있다. Fathi[5]는 생산자와 규격한계에 대한 개념을 도입하여 전수검사를 수행하고 규격에 합치하지 못한 제품들에 대해서는 재작업을 통한 수정을 하였을 때 품질특성치가 목표치에 부합하는 완전 수리와 그렇지 않은 불완전 수리의 두 가지 경우로 나누어 비용모형을 설정하여 규격한계를 결정하고자 하였다. Ma and Zhao[9]는 품질특성치가 정규분포가 아닌 기하분포, 정규분포, 레일리분포의 절단된 형태의 특성을 가질 때의 경우에 대한 비용모형을 제시하고 이에 따른 경제적 규격한계를 결정하도록 하였다. Scott and Chandra[10]는 생산자가 사내에서 조절 가능한 요소와 제품이 고객에게 전달되었을 경우에 외부적 조절 불가능한 요소를 두고 이를 반영하여 기대손실비용을 최소로 하는 생산자 규격을 설정하기 위한 손실함수를 반영하여 제시하였다. 이밖에도 경제적 생산량과 최적 공정평균을 동시에 고려하여 결정함에 있어 경제적 규격한계

를 결정에 관한 연구와 검사의 오류까지 고려한 연구 등 경제적 규격한계를 결정할 수 있도록 하는 다양 연구들이 진행되었다[1, 2].

하지만 이러한 연구들에서는 품질특성치에 의한 변동을 반영하는 방법으로 모두 Taguchi의 2차 손실함수만을 기준으로 하여 공정에서 발생 가능한 다양한 형태의 손실을 반영하지 못한다는 단점이 있다. 이러한 점을 보완하여 Chung[4]은 발생하는 손실의 형태를 1차, 2차 손실함수 두 가지로 나누어 손실 비용과 규격을 벗어남으로 인해 발생하는 총비용을 최소로 하는 생산자 규격한계를 구하는 방법론을 제시하였다.

본 연구에서는 공정에서 발생 가능한 손실의 형태를 좀 더 다양하게 하여 기존 연구에서 고려되었던 1, 2차 손실함수에 더하여 Spiring이 제안한 역정규 손실함수의 경우까지 고려하여 고객 인도 전에 전수검사를 수행하여 검사비용을 비롯한 규격 내에서 발생하는 손실비용과 규격 외에서 발생하는 수정 및 폐기 비용을 포함한 제비용을 최소로 하는 최적 생산자 규격한계를 결정하는 방안을 제시하고자 한다.

## 2. 손실함수

손실함수는 본 연구에서 생산자 규격한계를 결정하는 비용모형에서 가장 중요하게 고려하게 될 요소이다. 품질특성이 목표치와 갖는 편차에 의해 발생하는 손실의 형태는 각 기업이 공정 특성과 품질관리 방침의 차이에 따라 달리 적용될 수 있으며 해당 연구에서는 망목특성의 경우만 다루도록 한다.

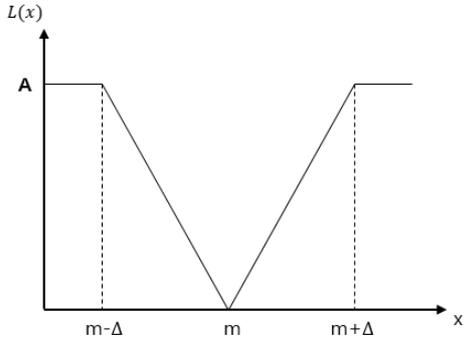
### 2.1 1차 손실함수

제품이 규격 내에 있더라도 품질특성치가 목표치와 일치하지 않을 경우, 이에 따른 편차에 비례하여 손실이 1차적으로 증가하는 함수의 형태를 갖는 함수이다. 1차 손실함수의 경우 품질특성이 목표치로부터 갖는 편차로 인한 손실이 일정하게 증가하며 이를 식으로 표현하면 식 (1)과 같다.

$$L(x) = k|x - m| \quad (1)$$

여기서  $x$ 는 품질특성치이며  $m$ 은 고객이 바람직하다고 생각하는 목표치이다.  $k$ 는 목표치로부터 품질특성치가 갖는 편차를 화폐단위로 전환해 주는 비용상수이다. 고객이 요구하는 규격인  $m \pm \Delta$ 를 벗어날 경우 제품을 수리하거나 폐기처분 하는데  $A$ 의 비용이 발생한다고 하면  $k = A/\Delta$

구할 수 있으며 이때  $\Delta$ 는 고객이 허용할 수 있는 규격의 한계 폭을 의미한다. 이와 같은 1차 손실함수(Linear Loss Function, LLF)를 도식화하면 <Figure 1>과 같다.



<Figure 1> Linear Loss Function

LLF의 기대손실은 다음 식 (2)와 같다.

$$E[L(x)] = E[k|x-m|] \tag{2}$$

$$= k|\mu-m|$$

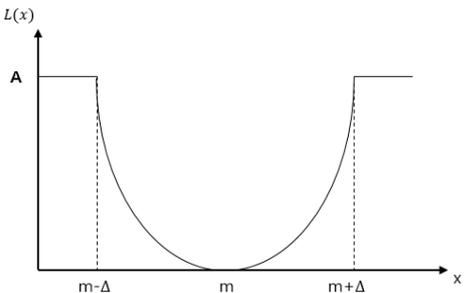
품질특성 변동에 의한 손실이 1차 손실함수의 형태를 갖는 공정의 경우 기대손실을 줄이기 위해서는 공정평균  $\mu$ 를 목표치에 일치시켜야 함을 알 수 있다.

### 2.2 2차 손실함수

Taguchi의 손실함수는 기본적으로 ‘특성치의 값이 목표치로부터 편차가 크면 클수록 손실이 커지며 이 편차가 0이면 손실이 없다’라는 가정하에 다음 식 (3)과 같은 2차 식으로 근사화한다고 제안하였다.

$$L(x) = k(x-m)^2 \tag{3}$$

여기서 k는 1차 손실함수의 경우와 마찬가지로 발생한 손실을 화폐 단위로 환산해주는 비용상수이며 규격( $m \pm \Delta$ )를 벗어날 경우  $k=A/\Delta^2$ 으로 구하여 진다. 이를 도식화하면 <Figure 2>와 같다.



<Figure 2> Quadratic Loss Function

앞서 언급한 1차 손실함수는 목표치로부터 품질특성이 멀어짐에 따라 일정하게 손실이 증가한 반면 2차 손실함수(Quadratic Loss Function, QLF)의 경우는 목표치 근처에서 발생하는 변동에 대해서는 손실이 천천히 증가하다가 규격 근처에서 급격하게 기울기가 상승하여 손실이 급증하는 형태의 모습을 보여준다. 이때 기대손실은 다음 식 (4)와 같다.

$$E[L(x)] = E[k(x-m)^2] \tag{4}$$

$$= k[\sigma^2+(\mu-m)^2]$$

식 (4)에서 볼 수 있듯이 공정 품질특성치의 변동에 의한 손실이 2차 손실함수의 형태를 갖는 경우 기대손실이 최소가 되려면 공정평균  $\mu$ 가 목표치  $m$ 과 일치해야 하고, 공정산포  $\sigma^2$  역시 작아야 한다는 것을 알 수 있다.

### 2.3 역정규 손실함수

Spring[6]은 Taguchi가 제안한 2차 손실함수의 단점을 보완할 수 있는 손실함수로 역정규 손실함수(Reflected Normal Loss Function, RNLFL)를 제안하였다. 손실함수에서 손실은 항상 양의 값을 가지며 목표치에서 멀어질수록 품질특성치가 나타내는 변동의 크기는 증가하여 이에 따른 손실을 발생시키게 된다는 일반적 특성이 있다. 역정규 손실함수의 근거가 되는 정규분포의 역함수는  $(-\infty, m]$  구간에서 감소하고  $[m, \infty)$  구간에서는 증가하는 두 경우의 성향 모두를 반영하며 목표치에서 유일한 최소값을 갖는다는 점에서 이러한 일반적인 특성을 잘 반영하고 있다[8]. 공정의 특성치  $x$ 가 정규분포를 따르는 경우를 가정할 때  $x$ 에 대한 확률밀도함수는

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma^2} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, -\infty < x < \infty \tag{5}$$

이다. 목표치  $m$ 에 대한 공정 특성치  $x$ 가 정규분포를 따른다면 해당 함수의 확률밀도함수  $g(x, m)$ 를 구하면 다음 식 (6)과 같다.

$$g(x, m) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma^2} e^{-\frac{(x-T)^2}{2\gamma^2}}, -\infty < x < \infty \tag{6}$$

여기서  $m$ 은 공정에서 목표치를 의미하고,  $\gamma$ 는 형상모수를 나타낸다. 형상모수  $\gamma$ 를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

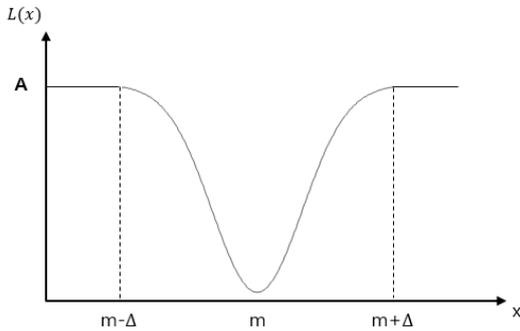
$$\gamma = \frac{\Delta}{4} \tag{7}$$

여기서  $\Delta$ 는 최대손실비용  $A$ 가 발생하는 지점에서의 품질특성치와 목표치로부터 떨어진 거리를 의미한다. 또한 형상모수의 분모를 4로 설정한 이유는 RNLf의 경우 목표치로부터  $\pm\infty$ 에서 점근적으로 특정 값에 수렴하지만, 현실적으로 공정 목표치로부터  $\pm 4\sigma$ 의 거리(99.99% 이내)에서 실질적 최대손실이 발생한다는 사실에 근거한 것이다. 형상모수  $\gamma$ 가 증가 할수록 손실의 증가 폭은 완만해지고, 반대의 경우 손실증가 폭은 급격해진다. 이에 따른 손실함수  $L(x, m)$ 은 아래 식 (8)과 같다.

$$L(x, m) = A \left( 1 - e^{-\frac{(x-m)^2}{2\gamma^2}} \right) \tag{8}$$

$$= A \left( 1 - e^{-8\left(\frac{x-m}{\Delta}\right)^2} \right)$$

식 (8)에 의해 RNLf를 도식화 하면 아래 <Figure 3>과 같다.



<Figure 3> Reflected Normal Loss Function

RNLf의 기대손실  $E[L(x, m)]$ 은 다음 식 (9)와 같이 표현된다[6].

$$E[L(x, T)] = A \left[ 1 - \frac{1}{m} \int_{-\infty}^{\infty} g(x, m) f(x) dx \right] \tag{9}$$

$$= A \left[ 1 - \frac{\gamma}{\sqrt{\sigma^2 + \gamma^2}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{(\mu-m)^2}{\sigma^2 + \gamma^2} \right)} \right]$$

### 3. 비용모형

#### 3.1 기호정의

본 논문에서 사용하고자 하는 기호들에 대한 설명은 아래와 같다.

- $X$  : 품질특성치
- $L(x)$  : 1차, 2차 손실함수
- $L(x, m)$  : 역정규 손실함수
- $f(x)$  : 품질특성치  $X$ 의 p.d.f.,  $X \sim N(\mu, \sigma^2)$
- $\phi(u)$  : 표준정규분포의 p.d.f.,  $u \sim N(0, 1^2)$
- $\Phi(u)$  : 표준정규분포의 c.d.f.
- $m$  : 품질특성  $X$ 의 목표치
- $\Delta$  : 소비자(고객) 규격한계
- $\delta$  : 생산자 규격한계
- $\delta_L$  : 생산자 규격의 하측한계
- $\delta_U$  : 생산자 규격의 상측한계
- $A$  : 품질특성치  $X$ 가 소비자 규격
- $C_I$  : 검사비용
- $C_R$  : 단위당 재작업비용
- $C_D$  : 단위당 폐기비용
- $C_L$  : 단위당 손실비용
- $EC_L$  : 단위당 기대손실비용

#### 3.2 비용요인 정의

본 연구모형에서 사용하고자 하는 비용요인은 다음과 같다.

- 검사비용(Inspection Cost,  $C_I$ )  
생산된 제품의 품질특성을 규격 및 목표치와의 일치 여부를 검사하기 위해 소요되는 비용
- 수정작업비용(Correction Cost)  
소비자 규격으로부터 근거한 생산자규격을 설정 하였을 때 품질특성을 검사하여 해당 규격을 벗어나는 경우에 소요되는 제비용
  - 폐기비용(Disposal Cost,  $C_D$ )  
검사결과 품질특성치가 규격하한 미만으로 나타난 제품에 대하여 해당 제품의 폐기처리 하는데 소요되는 비용
  - 재작업비용(Rework Cost,  $C_R$ )  
검사결과 품질특성치가 규격상한을 초과한 제품에 대하여 해당 제품을 재처리 및 추가 공정을 거쳐 목표치에 부합하도록 하는 과정에서 소요되는 비용
- 손실비용(Loss Function Cost,  $C_L$ )  
검사결과 품질특성이 규격 내에 존재 하지만 이상적인 품질특성치인 목표치에 일치하지 않기 때문에 발생하게 되는 손실비용

### 3.3 비용모형의 설정

본 연구에는 생산자가 정한 규격한계를 벗어나는 제품에 대하여 두 가지 경우의 방침으로 나누어 각각에 따른 비용모형을 제안하고자 한다.

#### 3.3.1 Policy 1

첫 번째 방침은 고객 인도 전에 생산자 규격을 적용하여 전수검사를 진행하고 규격 한계를 벗어나는 제품에 대해서는 재작업을 하여 품질특성을 목표치에 맞추고 규격 내에 존재하는 제품은 목표치와의 편차를 고려한 손실을 산정하여 고객에게 인도 할 수 있도록 하는 비용모형이다.

품질특성의 변동에 따른 제품 단위당 손실비용은 아래 식 (10)과 같이 발생하게 된다.

$$C_L = \begin{cases} C_R & x < m - \delta_L \text{ or } x > m + \delta_U \\ L(X), m - \delta_L \leq x \leq m + \delta_U \end{cases} \quad (10)$$

또한 이 때 단위당 기대손실비용을 구하면

$$\begin{aligned} EC_L &= C_I + C_R [\Pr(X < m - \delta_L) \\ &+ \int_{m - \delta_L}^{m + \delta_U} [L(x) \text{ or } L(x, m)] f(x) dx \\ &+ C_R [\Pr(X > m + \delta_U)] \end{aligned} \quad (11)$$

이다. 이때 식 (11)에 대하여  $\frac{x-m}{\sigma} = u$ 로 표준화하여 수치변환 하고 생산자 규격한계인  $\delta$ 의 함수로 다시 표현하면 다음 식 (12)와 같다.

$$\begin{aligned} EC_L(\delta) &= C_I + C_R \int_{-\infty}^{-\delta_L/\sigma} \phi(u) du \\ &+ \int_{-\delta_L/\sigma}^{\delta_U/\sigma} [L(u) \text{ or } L(u, m)] \phi(u) du \\ &= C_I + C_R \times 2 \times F(-\delta_L/\sigma) \\ &+ \int_{-\delta_L/\sigma}^{\delta_U/\sigma} [L(u) \text{ or } L(u, m)] \phi(u) du \end{aligned} \quad (12)$$

#### 3.3.2 Policy 2

고객 인도 전에 생산자 규격을 적용하여 전수검사를 진행하고 제품의 특성상 규격하한 보자 작은 제품의 경우 재작업이 불가능한 경우 이러한 제품에 대해서는 폐기하도록 하고 규격상한을 넘어서는 제품에 대해서는 추가 작업을 통하여 품질특성을 목표치에 맞추어 고객에게 인도 할 수 있도록 하는 비용모형을 제안하고자 한다.

품질특성의 변동에 따른 제품 단위당 손실비용은 아래 식 (13)과 같이 발생하게 된다.

$$C_L = \begin{cases} C_D & x < m - \delta_L \\ L(x), m - \delta_L \leq x \leq m + \delta_U \\ C_R & x > m + \delta_U \end{cases} \quad (13)$$

또한 이때 단위당 기대손실비용을 구하면

$$\begin{aligned} EC_L &= C_I + C_D [\Pr(X < m - \delta_L) \\ &+ \int_{m - \delta_L}^{m + \delta_U} [L(x) \text{ or } L(x, m)] f(x) dx \\ &+ C_R [\Pr(X > m + \delta_U)] \end{aligned} \quad (14)$$

이다. 이를  $\delta$ 의 함수로 다시 표현하면 다음 식 (15)와 같다.

$$\begin{aligned} EC_L(\delta) &= C_I + C_D \int_{-\infty}^{-\delta_L/\sigma} \phi(u) du \\ &+ \int_{-\delta_L/\sigma}^{\delta_U/\sigma} [L(u) \text{ or } L(u, m)] \phi(u) du \\ &+ C_R \int_{\delta_U/\sigma}^{\infty} \phi(u) du \\ &= C_I + C_D F(-\delta_L/\sigma) \\ &+ \int_{-\delta_L/\sigma}^{\delta_U/\sigma} [L(u) \text{ or } L(u, m)] \phi(u) du \\ &+ C_R [1 - F(\delta_U/\sigma)] \end{aligned} \quad (15)$$

## 4. 생산자의 최적규격한계 결정

단위당 기대손실비용인  $EC_L(\delta)$ 를 최소화 하는 생산자의 최적 규격한계인  $\delta_L^*$ ,  $\delta_U^*$ 를 구하기 위하여 식 (12), 식 (15)를 각각  $\delta_L$ ,  $\delta_U$ 에 대하여 미분하여 0으로 놓으면 아래 식 (16), 식 (17)과 같다.

#### Policy 1

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial \delta_L} EC_L(\delta) = C_R \phi\left(-\frac{\delta_L}{\sigma}\right) - L\left(-\frac{\delta_L}{\sigma}\right) \phi\left(-\frac{\delta_L}{\sigma}\right) = 0 \\ \frac{\partial}{\partial \delta_U} EC_L(\delta) = L\left(\frac{\delta_U}{\sigma}\right) \phi\left(\frac{\delta_U}{\sigma}\right) - C_R \phi\left(\frac{\delta_U}{\sigma}\right) = 0 \end{cases} \quad (16)$$

#### Policy 2

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial \delta_L} EC_L(\delta) = C_D \phi\left(-\frac{\delta_L}{\sigma}\right) - L\left(-\frac{\delta_L}{\sigma}\right) \phi\left(-\frac{\delta_L}{\sigma}\right) = 0 \\ \frac{\partial}{\partial \delta_U} EC_L(\delta) = L\left(\frac{\delta_U}{\sigma}\right) \phi\left(\frac{\delta_U}{\sigma}\right) - C_R \phi\left(\frac{\delta_U}{\sigma}\right) = 0 \end{cases} \quad (17)$$

위의 식 (16), 식 (17)을 정리하여 최적 생산자 규격한계를 각각 구해보면

Policy 1

$$C_R = L(\delta_L/\sigma), \quad C_R = L(\delta_U/\sigma) \quad (18)$$

Policy 2

$$C_D = L(\delta_L/\sigma), \quad C_R = L(\delta_U/\sigma) \quad (19)$$

로 정리 된다. 위 식 (18), 식 (19)를 만족시켜 줄 수 있는  $\delta_L^*, \delta_U^*$ 는 손실함수마다 다르므로 그 결과 또한 다음과 같이 나뉘지게 된다.

• 1차 손실함수

Policy 1

$$\delta_U^*, \delta_L^*: C_R/k = (C_D \times \Delta)/A \quad (20)$$

Policy 2

$$\delta_L^*: C_D/k = (C_D \times \Delta)/A \quad (21)$$

$$\delta_U^*: C_R/k = (C_R \times \Delta)/A$$

• 2차 손실함수

Policy 1

$$\delta_U^*, \delta_L^*: \sqrt{C_R/k} = \sqrt{(C_R \times \Delta^2)/A} \quad (22)$$

Policy 2

$$\delta_L^*: \sqrt{C_D/k} = \sqrt{(C_D \times \Delta^2)/A} \quad (23)$$

$$\delta_U^*: \sqrt{C_R/k} = \sqrt{(C_R \times \Delta^2)/A}$$

• 역정규 손실함수

Policy 1

$$\delta_U^*, \delta_L^*: \frac{\Delta}{2} \sqrt{\frac{1}{2} [\ln(A) - \ln(A - C_R)]} \quad (24)$$

Policy 2

$$\delta_L^*: \frac{\Delta}{2} \sqrt{\frac{1}{2} [\ln(A) - \ln(A - C_D)]} \quad (25)$$

$$\delta_U^*: \frac{\Delta}{2} \sqrt{\frac{1}{2} [\ln(A) - \ln(A - C_R)]} \quad (25)$$

각 손실에 따른 Policy 1의 식 (20), 식 (22), 식 (24)를 식 (12)에 대입하고 Policy 2의 식 (21), 식 (23), 식 (25)를 (15)에 대입하면 품질방침(Policy 1, 2)에 따른 단위당 기대손실 비용  $EC_L(\delta)$ 의 최소값을 얻을 수 있다.

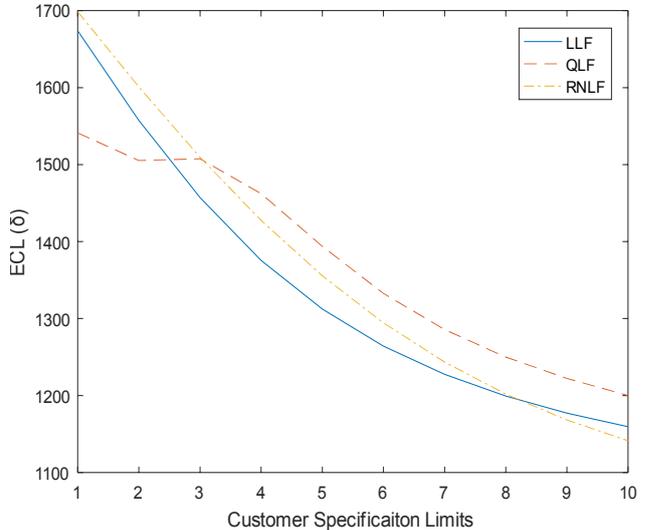
위의 공식을 이용하여 Policy 1에 따라 소비자 규격의 변화에 대하여 단위당 기대손실 비용의 변화를 나타내면 아래 <Table 1>, <Table 2>와 같다. Policy 1의 경우 검사 후 제품이 생산자 규격 하한에 못 미치거나 규격 상한을 넘는 경우 모두 재작업을 통하여 고객이 요구하는 목표

치에 맞추도록 하는 방침이다.

<Table 1>은 소비자 규격 변화에 따른  $EC_L(\delta)$ 를 나타낸 것이다. 이때 전수검사비용  $C_T=1,000$ , 생산자 규격을 벗어났을 경우 발생하는 재작업 비용  $C_R=800$ , 소비자 규격을 벗어났을 경우 발생하는 단위당 최대 손실비용  $A=2,000$ 으로 고정하고 소비자 규격 한계( $\Delta$ )를 변화시킨 결과이며 이를 그래프로 나타낸 것이 <Figure 4>이다.

<Table 1>  $EC_L(\delta)$  when Change Customer Specification Limits in Policy 1

$\Delta$	LLF	QLF	RNLF
1	1674.0	1541.2	1698.6
2	1557.5	1505.3	1600.8
3	1457.1	1507.5	1509.6
4	1375.7	1462.3	1427.4
5	1312.4	1393.8	1355.6
6	1264.1	1332.6	1294.4
7	1227.5	1285.7	1243.5
8	1199.4	1250.0	1201.9
9	1177.3	1222.2	1168.3
10	1159.6	1200.0	1141.3



<Figure 4>  $EC_L(\delta)$  when Change Customer Specification Limits in Policy 1

<Table 1>과 <Figure 4>에서 보면  $\Delta$ 가 초반 1~2까지는 2차 손실함수를 적용했을 경우 기대손실비용이 가장 낮은 것을 볼 수 있다. 이는 손실함수의 기하학적 특성이 반영된 결과로 2차 손실함수의 경우 목표치를 중심으로 품질특성치의 편차에 따른 손실을 나타낼 때 1차 손실함수나 역정규 손실함수를 적용할 때보다 적게 적용되기 때문이다. 또한 역정규 손실함수 형태의 기대손실비용이 가장 높게

나온 것은 역정규 손실함수의 기하학적 특성상 품질특성치가 목표치와 일치할 경우에도 역정규분포의 중심선에서 나타내는 손실이 0에 근사한 그래프이며 이는 1, 2차 손실함수가 목표치에서 정확하게 0의 손실을 나타내는 것과 차이를 보이는 것을 반영한다고 할 수 있다. 또한 전반적으로 모든 손실함수는 소비자 규격한계  $\Delta$ 가 커질수록 생산자에게는 품질특성치의 여유치가 증가하므로 인해 전체 기대손실비용은 작아지는 경향을 볼 수 있다.

<Table 2>는 단위당 최대 손실비용 변화에 따른  $EC_L(\delta)$ 를 나타낸 것이다. 이때 전수검사비용  $C_I$ 와  $C_R$ 은 동일하게 설정 하였으며  $\Delta=4$ 로 고정하고 최대 손실비용  $A$ 를 변화시킨 결과이며 이를 그래프로 나타낸 것이 <Figure 5>이다.

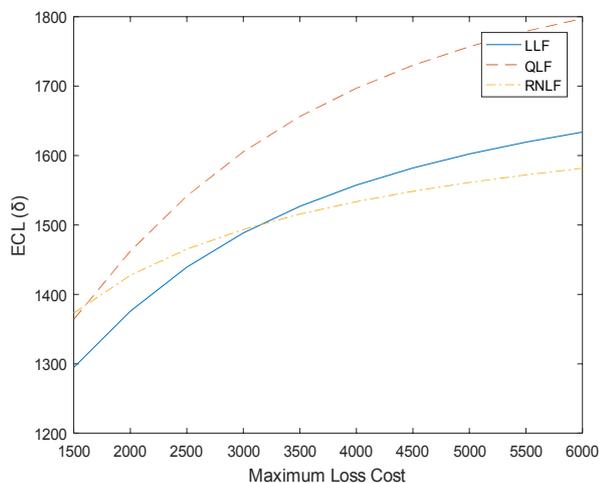
<Table 2>와 <Figure 5>에서 확인 할 수 있듯이 소비자의 규격을 벗어날 경우 발생할 수 있는 최대 손실비용을 제외한 조건이 동일할 경우  $A$ 가 증가함에 따라 각 손실함수를 적용한 생산자 규격에 대하여 모두 증가하는 경향을 보여주고 있다. 이 경우 초기 조건에서 가장 낮은 기대손실 비용을 보여준 손실함수는 1차와 역정규 손실함수이다. 2차 손실함수는 초기 조건을 제외하고는 항상 가장

높은 비용을 나타내었으며 역정규 손실함수의 경우는 초기 비용( $A = 1,500$ )의 2배가 되는 지점에서부터는 1차 손실함수보다  $EC_L(\delta)$ 가 가장 낮았으며 기울기 또한 가장 작아 비용의 증가 폭이 가장 낮은 것으로 나타나 최대손실비용의 변화에 대한 민감도가 적은 것으로 보여진다. Policy 2에 따른 소비자 규격의 변화에 대하여 단위당 기대손실 비용의 변화를 나타내면 아래 <Table 3>, <Table 4>와 같다. Policy 2의 경우는 제품이 생산자 규격 하한에 미치지 못하면 이를 폐기처분하고 규격 상한을 넘을 경우 재작업을 하여 고객의 목표치를 맞추도록 하는 방침이다.

<Table 3>은 소비자 규격 변화에 따른  $EC_L(\delta)$ 를 나타낸 것이다. 이때 전수검사비용  $C_I=1,000$ , 생산자 규격 상한을 넘을 경우 발생하는 재작업 비용  $C_R=500$ , 규격 하한에 못 미칠 경우 발생하는 폐기비용  $C_D=1,000$ , 소비자 규격을 벗어났을 경우 발생하는 단위당 최대 손실비용  $A=2,000$ 으로 고정하고 소비자 규격 한계( $\Delta$ )를 변화시킨 결과이며 이를 그래프로 나타내면 <Figure 6>과 같다.

<Table 2>  $EC_L(\delta)$  when Change Maximum Loss Cost in Policy 1

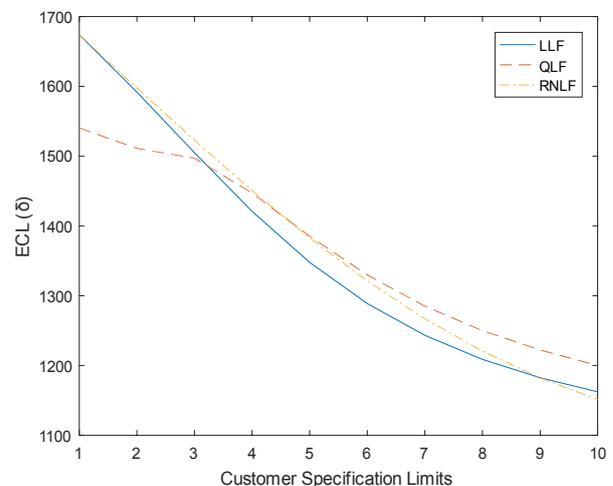
A	LLF	QLF	RNLF
1,500	1294.8	1364.2	1373.2
2,000	1375.7	1462.3	1427.4
2,500	1439.3	1541.9	1465.3
3,000	1488.5	1605.5	1493.5
3,500	1526.9	1656.3	1515.7
4,000	1557.5	1697.1	1533.6
4,500	1582.1	1730.1	1548.6
5,000	1602.4	1757.0	1561.2
5,500	1619.4	1779.1	1572.2
6,000	1633.7	1797.5	1581.7



<Figure 5>  $EC_L(\delta)$  when Maximum Loss Cost in Policy 1

<Table 3>  $EC_L(\delta)$  when Change Customer Specification Limits in Policy 2

$\Delta$	LLF	QLF	RNLF
1	1673.9	1540.4	1673.6
2	1591.7	1511.2	1597.7
3	1504.9	1497.1	1522.9
4	1421.0	1447.1	1450.6
5	1347.8	1385.1	1382.8
6	1288.8	1329.7	1321.1
7	1243.2	1285.0	1266.8
8	1208.7	1249.9	1220.6
9	1182.5	1222.2	1182.3
10	1162.3	1200.0	1151.2



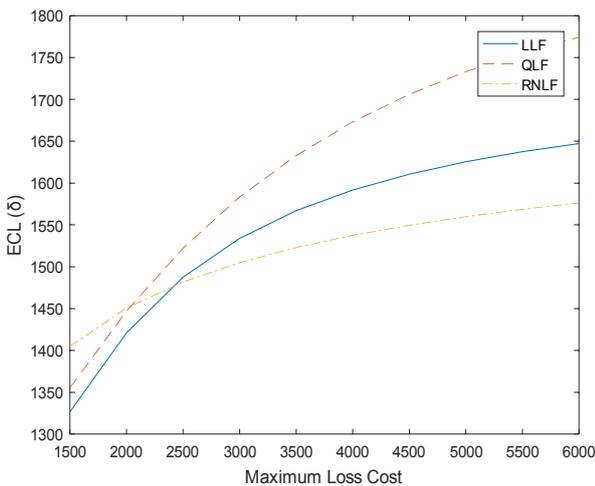
<Figure 6>  $EC_L(\delta)$  when Change Customer Specification Limits in Policy 2

각 손실함수별로 비교를 해보면 전반적인 추세는 Policy 1과 비슷하게 나타난다. 하지만 각 손실함수들 간에 비교를 해보면 Policy 1의 경우보다 생산자 규격의 상, 하한을 달리 적용하게 되는 Policy 2의 경우는 1차 손실함수와 역정규 손실함수 사이에 간극이 좀 더 작은 것을 볼 수 있다. 또한 2차 손실함수는 Policy 1에서 보다 초기 구간에서의 변동 폭이 작고 다른 손실함수들과의 차이 또한 작은 것을 볼 수 있다.

<Table 4>는 단위당 최대 손실비용 변화에 따른  $EC_L(\delta)$ 를 나타낸 것이다. 이때 전수검사비용  $C_I$ 와  $C_{II}$ ,  $C_D$ 는 동일하게 설정 하였으며  $\Delta = 4$ 로 고정하고 최대 손실비용 A를 변화시킨 결과이며 이를 그래프로 나타내면 <Figure 7>과 같다.

<Table 4>  $EC_L(\delta)$  when Change Maximum Loss Cost in Policy 2

A	LLF	QLF	RNLF
1,500	1326.6	1355.2	1404.9
2,000	1421.0	1447.1	1450.6
2,500	1487.6	1522.3	1481.9
3,000	1533.9	1583.4	1505.0
3,500	1567.1	1632.9	1523.0
4,000	1591.7	1673.1	1537.6
4,500	1610.6	1706.0	1549.7
5,000	1625.4	1733.1	1559.9
5,500	1637.4	1755.6	1568.7
6,000	1647.3	1774.4	1576.3



<Figure 7>  $EC_L(\delta)$  when Maximum Loss Cost in policy 2

이 경우 초기 조건(A = 1,500)에서 가장 낮은  $EC_L(\delta)$ 을 나타내는 것은 1차 손실함수이나 초기 조건의 1.7배 구간이 넘어서면서는 역정규 손실함수를 적용시켰을 경우가 가장 낮은 값을 보이고 있으며 각 손실함수들간에 보이

는 차이도 Policy 1의 경우에서 보다 더 증가한 것을 <Figure 6>과 <Figure 7>의 비교를 통해 확인 할 수 있다.

위의 결과들을 종합해보면 결국 기업들이 자신들의 생산 제품이 갖는 특성을 고려하여 알맞은 손실의 형태를 정하는 것이 가장 중요하다고 할 수 있다. 예를 들어 목표치를 맞추지 못한 제품에 추가로 단위당 재작업 또는 폐기에 드는 비용이 선형으로 발생하는 단위 시간당 전기요금, 기기운용에 필요한 유류비용 등이 차지하는 정도가 큰 업종의 경우는 1차 손실함수를 적용하는 것이 유리할 것으로 보이고, 제품의 특성상 목표치 부근에서는 큰 영향이 없다가 규격 근처에서 급격하게 손실비용이 커지는 공정의 경우에는 2차 손실함수가 유리할 것으로 고려된다. 또한 정밀측정기기 및 정밀부품 생산 업종과 같이 목표치를 벗어나는 것 자체가 손실이며 고객의 요구 규격을 벗어났을 경우 발생하는 손실비용이 매우 큰 산업군의 경우에는 역정규 손실함수를 적용하는 것이 유리하다고 할 수 있다.

### 5. 결 론

생산기술의 고도화로 인하여 국내 기업들의 경쟁력은 상향 평준화 되었고 기업의 양적 생산능력은 뚜렷한 경쟁우위가 되기 어려워졌다. 과거에는 소비자가 요구하는 규격에 대한 합치 여부만이 품질을 평가할 수 있는 기준이 되었으나 현대에 들어서서 품질의 개념은 Taguchi에 의해 사회적 손실의 개념으로 진일보하였다. 이는 제품의 품질특성치가 규격 내에 있어야 함은 물론이고 고객이 요구하는 목표치와 부합하는 제품을 생산하여 품질특성이 갖는 변동으로 인한 경제적 손실을 최소화할 수 있는 능력이 고객만족을 위한 기업의 주요한 경쟁력임을 나타내는 것이라 할 수 있다. 다시 말해서 기업이 생존하기 위해서는 고객이 제시한 규격에의 합치 여부로 품질을 보증하던 기존의 소극적 품질방침에서 고객의 목표치와 부합하는 제품을 제공하여 고객을 비롯한 사회에 끼치는 총 손실을 최소화 하고자 하는 적극적 품질방침으로 전환해야 한다는 것이다.

본 연구에서는 제품이 목표치로부터 갖는 편차에 의해 발생할 수 있는 손실을 그 형태에 따라 1, 2차 손실함수 및 Spiring의 역정규 손실함수를 활용하여 고객 인도 전 전수검사 수행 시 발생하는 제비용을 최소로 하는 최적 생산자 규격한계를 결정하고, 결정된 생산자 규격한계를 벗어난 제품에 대하여 두 가지의 품질방침으로 나누어 제시하였다. 이를 이용한다면 기업이 자신들의 공정에서 발생하는 손실의 형태를 파악하고 이에 따른 생산자 규격한계를 설정하여 고객 인도 후에 발생할 수 있는

손실에 대하여 사전에 방지하는 적극적 품질보증 전략을 통한 경쟁력 확보를 해나간다면 기업은 고객의 신뢰를 바탕으로 품질경쟁력을 확보하여 급변하는 시장에서 살아남을 수 있는 중심 동력을 얻을 수 있게 될 것으로 기대된다.

## References

- [1] Chen, C.H. and Khoo, M.B.C., Joint Determination of Optimum Process Mean and Economic Specification Limits for Rectifying Inspection Plan with Inspection Error, *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 2010, Vol. 25, No. 5, pp. 389-398.
- [2] Chen, C.H. and Lai, M.T., Economic Manufacturing Quantity, Optimum Process Mean, and Economic Specification Limits Setting under the rectifying inspection plan, *European Journal of Operational Research*, 2007, Vol. 183, No. 1, pp. 336-344.
- [3] Chun, D.J. and Chung, Y.B., Development of Expected Loss Capability Index Using Reflected Normal Loss Function, *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2017, Vol. 40, No. 1, pp. 41-49.
- [4] Chung, Y.B., Optimal Producer's Specification Limits under Loss Function, *Industrial Development Research Center*, 1994, Vol. 9, No. 1, pp. 473-483.
- [5] Fathi, Y., Producer-Consumer Tolerances, *Journal of Quality Technology*, 1990, Vol. 22, No. 2, pp. 138-145.
- [6] Kim, D.H. and Chung, Y.B., A Development of Expected Loss Control Chart Using Reflected Normal Loss Function, *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2016, Vol. 39, No. 2, pp. 37-45.
- [7] Kim, D.H. and Chung, Y.B., and Park, H.G., Development of Expected Loss Capability Index Considering Economic Loss, *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2013, Vol. 36, No. 4, pp. 109-115.
- [8] Kim, D.H. and Chung, Y.B., Design of Expected Loss Control Chart Considering Economic Loss, *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2013, Vol. 36, No. 2, pp. 56-62.
- [9] Ma, Y. and Zhao, F.X.J., Economic Design of the Specification for Geometrical Quality Characteristic, *The Asian Journal on Quality*, 2001, Vol. 2, No. 1, pp. 50-57.
- [10] Scott, L.R. and Chandra, M.J., A New Loss Function for the Selection of Producer Specification Limits, *International Journal of Industrial Engineering*, 2006, Vol. 13, No. 2, pp. 117-125.
- [11] Spiring, F.A., The Reflected Normal Loss Function, *Canadian Journal of Statistics*, 1993, Vol. 21, pp. 321-330.
- [12] Tang, K., Economic Design of Product Specification for a Complete Inspection Plan, *International Journal of Production Research*, 1988, Vol. 26, No. 2, pp. 203-217.

## ORCID

Chung Young Bae | <https://orcid.org/0000-0003-4259-6677>

Kim Dong Hyuk | <https://orcid.org/0000-0001-8332-2168>