

# Development of Customer Satisfaction Quality Indicator Considering Producer's Specification Limits

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

Department of Industrial and Management Engineering, Incheon National University

## 생산자규격을 고려한 소비자만족품질지표의 개발

김동혁 · 정영배<sup>†</sup>

인천대학교 산업경영공학과

Process Capability ( $C_{pk}$ ) is a representative measure of how well the producer manages dispersion and bias for the specifications needed by the consumer. This is expressed as a ratio of 6 times the natural tolerance to the specification. As the producer manages the dispersion small, the capacity index becomes higher. And it is classified into 5 grades according to the degree of management. It is a measure of the quality of processes used in most industrial fields. However,  $C_{pk}$  is calculated by only reflecting the mean and dispersion of the process, there is a disadvantage that it can not give information about the economic loss caused by the inconsistency of the process with the target value. Overcoming these drawbacks, process capability indexes reflecting various types of loss functions such as  $C_{pm}$ ,  $C_{pm}^+$  and  $C_{pl}$  have been developed. However, all of these previous studies have applied the limit to the consumer specification, which is based on the traditional and passive quality perception that the quality characteristic should exist within the limits of the consumer specification. In this study, we will develop 'Customer Satisfaction Quality Indicator (CSQI)' which is a quantitative indicator that can be fully evaluated when the manufacturer's specification limit, which is an aggressive quality strategy, is applied. This is expected to be useful decision information for both producers and consumers.

**Keywords** : Customer Satisfaction Quality, Producer's Specification Limits, Producer Assurance Quality

### 1. 서 론<sup>1)</sup>

기업들이 보편적으로 활용하고 있는 품질관리에서 검사 정책은 소비자가 제시하는 규격에 주된 기준을 세우고 이를 만족하는 제품 및 서비스를 공급하는 방식으로 운영되어 왔다. 이는 규격을 벗어나는 제품에 대해서만 대응을 하고 규격 내에 존재하는 제품에 대해서는 소극적으로 대응하는 품질 방침이라 할 수 있다. 여기서 소비

자란 기업이 제공하는 완성품인 최종 제품을 사용하는 소비자만을 의미하는 협의의 개념이 아닌 원자재를 납품 받아 기반 부품을 생산하는 중간생산자부터 최종 제품 조립을 위해 협력업체에서 납품 받는 모기업까지 포함하는 광의의 개념이라고 할 수 있다.

Taguchi는 제품이 사회에 존재하게 되는 시점에서부터 제품의 최적 품질특성치인 목표치(target value)로부터 갖는 편차에 의하여 손실을 끼치게 된다고 하여 전통적 품질의 개념을 좀 더 현대적으로 해석하였다[1]. 이는 기업이 고객이 제시한 규격에 합치하는 제품의 생산에서 만족할 것이 아니라 규격 내에 존재하더라도 가급적 산포가 적은 균일한 제품을 고객에게 제공하였을 때 사회적

Received 10 October 2018; Finally Revised 20 November 2018;  
Accepted 21 November 2018

<sup>†</sup> Corresponding Author : ybchung@inu.ac.kr

손실 역시 최소화 된다는 것을 의미한다. 고도화된 생산 기술과 급변하는 경영환경에서 기업이 경쟁우위 선점의 어려움을 품질변동으로 인한 사회적 손실을 최소화하는 적극적 품질 정책을 사용하여 품질 우위를 점하여 경쟁력을 확보할 수 있는 기회로 삼을 수 있다는 의미이기도 하다.

이러한 적극적 품질 방침에 대한 연구는 다양하게 이루어져 왔다. Fathi[7]는 기존에 사용되던 소비자 규격에의 합치 여부로 생산자의 능력을 판단할 것이 아니라 생산자가 품질보증 과정에서 발생하는 총 비용의 최소화를 달성하면서 고객에게 균일한 품질의 제품을 공급할 수 있도록 하는 생산자규격에 대한 연구를 제시한 바 있다. Ma and Zhao[12]는 정규분포의 품질 특성치 이외에 절단된(truncated)형태의 기하분포, 정규분포, 레일리분포의 세 가지 분포를 고려한 비용 모형을 제시하고 해당 비용 모형을 최소화할 수 있는 규격 한계 결정 방안을 제시하였다. Scott and Chandra[13]는 생산자가 사내에서 조절 가능한 요소와 제품이 고객에게 전달되었을 경우에 외부적 조절 불가능한 요소를 두고 이를 반영하여 기대손실 비용을 최소로 하는 생산자 규격을 설정하기 위한 손실함수를 반영하여 제시하였다. 또한 기업이 규격을 결정함에 있어서 최소의 비용으로 최적의 공정 평균을 함께 고려한 연구, 제품 검사 진행 시에 발생할 수 있는 오류를 포함한 최적 규격 한계의 결정에 관한 연구 등 적극적 품질 방침을 활용하기 위한 규격 설정에 관하여 다양한 선행연구들이 진행되었다[4, 5].

하지만 이러한 선행연구들에서는 품질 변동으로 발생하는 손실 비용에 대한 함수로 Taguchi의 2차 손실함수만을 고려하여 그 활용적인 면에서 다소 부족한 면이 있다고 할 수 있다. 이러한 기존 연구의 단점을 보완하여 Kim and Chung[8]은 공정에서 발생 가능한 손실함수의 형태를 다양하게 고려하여 1차손실함수와 Taguchi의 2차 손실함수, Spiring의 역정규 손실함수를 적용하고 검사와 생산자규격을 벗어나는 제품에 대한 처리방침을 달리하여 제비용을 최소로 하는 최적 생산자규격을 제시한 연구까지 진행되었다.

앞서 언급한 바와 같이 생산자는 소비자에게 좋은 품질의 제품을 공급하여 품질우위 선점을 통한 시장경쟁력 확보를 하고자 한다. 생산자가 수행하는 노력의 성과는 공정의 치우침과 산포를 관리하는 능력으로 표현될 수 있으며 이를 정량적으로 나타낼 수 있는 척도가 바로 공정능력이다. 공정능력이란 정상적이고 안정적인 조건하에서 공정이 가지고 있는 품질상의 달성 능력을 말하는 것으로, 이는 공정에서 생산된 제품이 얼마나 균일할 수 있는가에 대한 척도가 되며 때에 따라서는 소비자가 공급자를 선택하는 중요한 기준이 되기도 한다.

전통적인 공정능력지수는 Juran[9]이 제시한 규격에 대한 자연 공차의 비율로 정의된  $C_p$ 와 공정의 치우침까지 고려한 Kane[10]의  $C_{pk}$ 가 제시되었고 이는 현재까지도 널리 사용되는 공정능력의 평가척도이다. 이러한 공정능력의 평가척도 또한 다양한 학자들에 의하여 연구된 바 있다. Chan et al.[2]은 목표치(target value)와 공정 평균  $\mu$ 가 갖는 편차를 고려한 평가방법으로  $C_{pm}$ 을 제시하였으며 Bolyes [1]는 Taguchi의 2차 손실함수의 기대손실에 근거한 공정능력지수인  $C_{pm}^+$ 를 제시하였다. 또한 Chung and Mun[5]은 Taguchi의 2차 손실함수의 대안적 손실함수로서 Spiring의 역정규 손실함수를 근거로 한 공정능력  $C_p$ 를 제안한 바 있다. 이러한 선행연구에서 제시한 공정 능력의 척도들은 그 기준을 소비자 규격을 기준으로 공정의 치우침과 산포, 경제적 비용을 고려한 산포를 근거하여 제시하고 있다.

또한 최근에는 공정관리능력을 평가하는데 있어 다른 각도에서 수행한 연구도 존재한다. Kim et al.[11]의 2차 손실함수를 고려한  $E_c$ 와 Chun and Chung[6]의 역정규 손실함수를 활용한  $RNEL_c$ 가 그것이며 이는 경제적 손실을 포함한 능력 지수로 이전 연구와의 차이점은 공정 평균과 산포의 관리 정도에 따라 발생할 수 있는 기대손실비용의 평균치와 제품이 소비자규격을 넘었을 때 발생 가능한 최대손실비용의 비율로 나타내어 품질 변동에 따른 기대손실비용을 활용하여 관리능력으로 표현하였다는 것이다.

이와 같이 공정 능력과 관련하여 다양한 선행연구가 존재하지만 이는 모두 소비자가 제시한 규격에 의해 설명이 되는 능력이다. 따라서 생산자가 품질 우위를 점하기 위하여 적극적인 품질 방침의 일환으로 생산자규격을 적용하였을 때에는 설명이 곤란하다는 단점이 있다.

본 연구에서는 공정능력과 관련한 기존 연구에서 고려하지 않았던 생산자 규격 적용 시에 공정의 관리 능력을 평가할 수 있는 척도로 소비자가 제시한 규격 내에서도 목표치와 얼마만큼 근접하게 생산하고 있는지를 정량적으로 나타내어 생산자와 소비자 모두에게 필요한 정보를 줄 수 있도록 하는 품질 지표를 개발하고자 한다. 또한 제시하고자 하는 지표에 대한 활용방안을 마련하기 위하여 전통적 공정능력과의 관계를 활용하여 평가기준 또한 제안하고자 한다.

## 2. 이론적 배경

Kim and Chung[8]은 세 가지 경우의 손실함수의 형태를 고려하여 1차, 2차, 역정규 손실함수를 적용하여 품질 방침에 따른 총 비용을 최소화 할 수 있는 최적 생산

자 규격 한계의 산출식을 제안한 바 있다. 이때 규격에 못 미치는 제품에 대하여 적용하는 품질 방침은 제품의 특성치가 규격상한보다 클 경우와 규격하한보다 작을 경우의 처리방침이 동일한 경우(Policy 1)만 소개하기로 한다.

Policy 1은 제품이 고객에게 인도되기 전 생산자의 자체 규격을 적용하여 전수검사를 진행하고 규격에 미치지 못하는 제품은 재작업 하여 품질 특성을 목표치에 맞추거나 재작업 비용 보다 폐기 비용이 더 낮을 경우에는 폐기처리하여 고객에게 최종적으로 인도 하도록 하는 정책이다. 품질 특성의 변동에 따른 제품 단위당 손실비용은 아래 식 (1)과 같이 발생하게 된다.

$$C_L = \begin{cases} C_R, & x < m - \delta_L \text{ or } x > m + \delta_U \\ L(x) \text{ or } L(x, m), & m - \delta_L \leq x \leq m + \delta_U \end{cases} \quad (1)$$

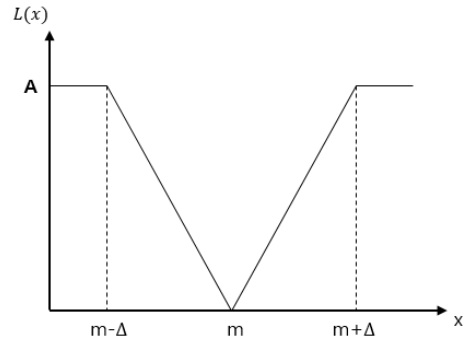
이때  $x$ 는 품질 특성치,  $C_R$ 은 품질 방침에 따라 규격에 미치지 못하는 제품에 대하여 재작업 또는 폐기처리 하는데 요구되는 비용을 의미하며  $\delta_L$ 과  $\delta_U$ 는 생산자규격의 하한과 상한을 의미한다.  $m$ 은 고객이 요구하는 목표치이고  $L(x)$ 와  $L(x, m)$ 는 생산자가 적용하는 손실함수이며 전수검사를 진행하는데 소요되는 비용을  $C_I$ 로 하고  $\delta = \frac{x-m}{\sigma} = u$ 로 표준화하여  $\delta$ 의 함수로 표현한 기대손실비용은 다음 식 (2)와 같다.

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

### 2.1 1차 손실의 생산자규격한계

품질특성치가 목표치와 일치하지 않으므로 인하여 발생하는 손실이 선형으로 변화하는 형태를 갖는 1차 손실함수(Linear Loss Function, LLF)의 경우 품질 특성이 목표치로부터 갖는 편차로 인한 손실이 일정하게 증가하는 경우이다. 일반적인 형태의 1차 손실함수의 예는 아래 <Figure 1>과 같다.

기대손실비용  $EC_L(\delta)$ 를 최소화 하는 최적 생산자규격한계인  $\delta_L^*$ ,  $\delta_U^*$ 를 구하기 위하여 식 (2)를 각각  $\delta_L$ ,  $\delta_U$ 에 대하여 미분하여 0으로 놓으면 이를 고려한 최적 생산자규격 한계는 아래 식 (3)과 같다.



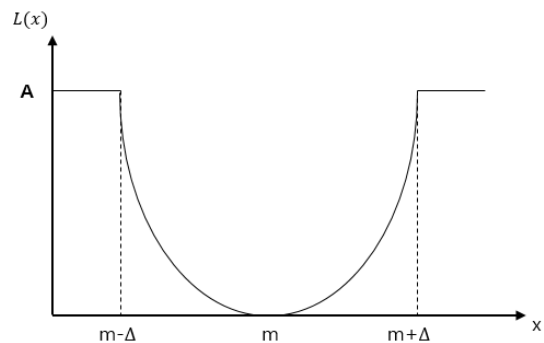
<Figure 1> Example of Linear Loss Function

$$\delta_U^*, \delta_L^* : C_R/k = (C_R \times \Delta)/A \quad (3)$$

여기서  $k$ 는 목표치로부터 품질특성치가 갖는 편차를 화폐단위로 전환해 주는 비용상수이다. 고객이 요구하는 규격인  $m \pm \Delta$ 를 벗어날 경우 제품을 수리하거나 폐기처분 하는데 A의 손실 비용이 발생한다고 하면  $k=A/\Delta$  구할 수 있으며 이때  $\Delta$ 는 고객이 제시하는 값으로 생산자에게는 소비자에게 공급하고자 하는 제품의 규격 한계의 최대치를 의미한다.

### 2.2 2차 손실의 생산자규격한계

2차 손실함수(Quadratic Loss Function, QLF)는 일찍이 Taguchi에 의해 특성치의 값이 목표치로부터 편차가 크면 클수록 손실이 커지며 이 편차가 0이면 손실이 없다는 가정하에 손실의 증가 형태가 2차식으로 반영된다고 제안하였다. 2차 손실함수를 기하학적으로 표현하면 <Figure 2>와 같다.



<Figure 2> Example of Quadratic Loss Function

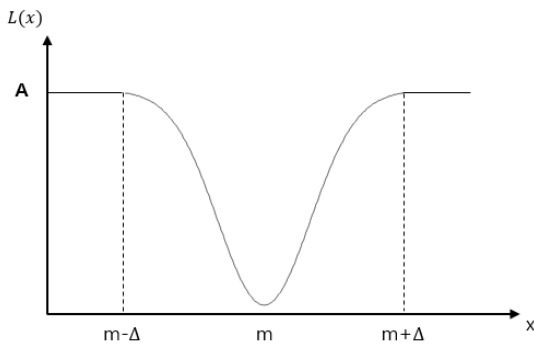
이러한 QLF 형태의 손실을 반영한 최적 생산자규격한계는 다음 식 (4)와 같다.

$$\delta_U^*, \delta_L^* : \sqrt{C_R/k} = \sqrt{(C_R \times \Delta)/A} \quad (4)$$

여기서  $k$ 는 1차 손실의 경우와 같이 비용 상수를 의미하며 2차 손실의 경우는  $k=A/\Delta^2$ 으로 구한다는 것이 1차 손실과의 차이점이다.

## 2.3 역정규 손실의 생산자규격한계

Taguchi가 제안한 QLF의 경우 목표치 근처에서는 손실이 매우 적게 반영 되다가 규격에 인접해 있을 때 가장 큰 손실이 발생하는 구조로 되어 있으며 망목 특성의 경우 손실의 형태가 좌우대칭일 때에만 설명이 가능하다는 단점을 가지고 있다. Spiring[14]은 이러한 2차 손실함수의 단점을 보완할 수 있는 손실함수로 역정규 손실함수(Reflected Normal Loss Function, RNLF)를 제안하였으며 이는 목표치에서 멀어질수록 품질특성치가 나타내는 변동의 크기가 급격하게 증가하여 정밀함을 요구하는 공정 및 제품에 대한 적용이 적합하도록 하였다. 이러한 역정규 손실함수의 예는 <Figure 3>과 같다.



<Figure 3> Example of Reflected Normal Loss Function

역정규 손실함수를 적용할 경우 최적 생산자규격한계는 아래 식 (5)와 같다.

$$\delta_U^*, \delta_L^* : \frac{\Delta}{2} \sqrt{\frac{1}{2} [\ln(A) - \ln(A - C_R)]} \quad (5)$$

## 3. 소비자만족품질지표

### 3.1 소비자만족품질지표의 수리

본 연구에서 제안하고자 하는 소비자만족품질지표(Customer Satisfaction Quality Indicator, CSQI)는 소비자가 제시한 규격에 합치하는 제품을 공급하려는 생산자의 소극적 품질방침에서 탈피하여 생산자 스스로가 합리적인 규격 한계를 설정하고 소비자가 요구하는 목표치에 대한 일치 정도가 높은 제품을 공급하기 위하여 적극적 품질

방침을 운용할 때 이를 정량적인 성과로 표현하여 소비자에게 올바르게 평가받을 수 있도록 하기 위한 도구이다. 즉, CSQI는 생산자에게 품질향상의 동기를 제공하고 소비자에게는 공급자가 제공하는 제품이 목표치에 얼마나 부합하는가에 대한 평가를 통해 신뢰를 형성할 수 있도록 정보를 제공할 목적으로 제안된 척도라고 할 수 있다.

따라서 CSQI를 활용한다면 생산자는 소비자가 제시한 규격 내에서 가급적 목표치와 일치하는 제품을 공급하기 위한 노력에 대한 평가를 정량적으로 받을 수 있게 되며 소비자는 해당 정보를 이용하여 공급받는 제품의 물리적 안정성에 대하여 신뢰를 가질 수 있게 된다. 이러한 CSQI에 대한 수리적 구조는 다음 식 (6)과 같다.

$$CSQI = (1 - S_k) \frac{T - \tau}{\sigma} \quad (6)$$

$$\text{단, } \tau = \delta_U^* - \delta_L^*, T = S_U - S_L (\tau < T)$$

$$S_k = \frac{|\mu - m|}{\delta_U^* - \delta_L^*} = \frac{|\mu - m|}{\tau}$$

여기에서  $T$ 는 소비자가 제시한 규격의 상한과 하한의 차이, 즉 소비자 규격의 폭을 의미하며  $\tau$ 는 생산자가 적용하고자 하는 손실함수의 형태에 따라 결정되는 최적 생산자 규격 한계의 폭을 의미한다. 또한  $\mu$ 는 공정의 평균,  $m$ 은 고객이 제시한 목표치,  $\sigma$ 는 공정의 산포를 의미한다.  $S_k$ 는 공정 중심이 목표치로부터 갖는 편차를 반영해주는 치우침계수이다.

식 (6)에서 나타낸 바와 같이 CSQI 구조를 보면 소비자가 제시한 규격 폭  $T$ 와 공정에서 발생하는 손실의 형태를 고려하여 생산자가 결정한 최적생산자규격의 폭  $\tau$ 의 차이를 공정 산포인  $\sigma$ 로 나누어 그 비율로 나타내며 공정 평균의 이동에 대해서는 치우침 계수  $S_k$ 로 감시하여 그 값을 보정해준다. 그러므로 CSQI는 소비자가 요구하는 목표치에 대한 일치 정도와 소비자규격에 대한 여유 정도를 포함한 정보를 제공하여 생산자가 고객에게 최종적으로 납품하고자 하는 제품의 공급 품질을 보증할 수 있도록 하여 클수록 좋은 값으로 나타나게 된다.

만약 치우침의 정도가 생산자규격한계인  $\tau$ 를 넘어설 경우 CSQI의 값은 음의 값을 띄게 되며 이 경우는 소비자가 요구하는 품질 기준인 목표값에 대한 일치도가 상대적으로 매우 낮은 것으로 보아  $C_{pk}$ 에서의 경우와 같이 0으로 적용하도록 한다.

CSQI가 좋은 값을 가지기 위해서는 공정 산포를 가급적 작은 값으로 유지되도록 관리해야 하며  $\tau$ 를 합리적 수준으로 작게 관리하여 소비자규격에 대한 생산자규격의 여유 정도를 높여야 함을 알 수 있다. 또한 공정에 치우침이 발생해서는 좋은 상태라 할 수 없으므로 공정 내에

발생 가능한 평균 이동에 대한 관리 또한 CSQI의 값에 영향을 주는 요소라 할 수 있다.

### 3.2 소비자만족품질지표 평가기준

CSQI는 고객에게는 생산자를 신뢰할 수 있는 지표가 되고 생산자에게는 고객에게 목표치와 일치하는 고품질의 제품을 공급하고 있다는 보증의 수단을 제공하여 소비자가 감수해야 하는 위험을 감소시키고 생산자의 품질향상의 의욕을 고취시키기 위한 수단으로 활용되어야 하므로 그에 따른 합리적인 평가기준이 필요하다.

이러한 기준을 마련하기 위하여 공정능력지수인  $C_{pk}$ 를 평균과 산포의 변화에 따라 발생시킨 후 손실의 형태에 따른 각각의 CSQI와의 중회귀분석을 통한 함수적 관계를 도출하여 그 기준을 마련하고자 한다. 이때 기준은 표준정규분포  $N(0, 1^2)$ 의 경우를 가정하여 평균  $\mu=0$ , 표준편차  $\sigma=1$ 을 기본 설정으로 하여 평균의 경우 변화량을  $\mu+0.25$ 씩 변화시켜  $\mu=0.00 \sim 2.25$ 까지, 표준편차의 경우  $\sigma+0.25$ 씩 변화하여  $\sigma=1.00 \sim 3.25$ 로 100가지 경우의  $C_{pk}$ 를 도출하였으며  $C_{pk}$ 와 각 CSQI의 관계식을 도출하기 위해 독립변수로  $\mu$ 와  $\sigma$ ,  $C_{pk}$ 로 하고 종속변수를 각 손실함수의 형태에 따른 생산자 규격한계를 적용한 CSQI로 하여 진행한 중회귀분석의 결과는 <Table 1>~<Table 3>과 같다.

세 가지 경우 모두 중회귀분석을 통해 도출한 수정된 결정계수  $R_{adj}^2$ 가 0.965 이상으로  $C_{pk}$ 와 각각의 CSQI 관계를 설명하기에 충분하다고 보아지므로 이에 따라 각 CSQ의 평가기준을 제시하면 다음 <Table 4>~<Table 6>과 같다. 이때 독립변수 중  $\mu$ 와  $\sigma$ 는 공정의 관리상태가 바람직한 경우인  $\mu=m=0$ 으로,  $\sigma=1.0$ 인 경우로 고정하고  $C_{pk}$ 의 5가지 등급 수치에 따른 CSQI 등급분류 기준을 마련하였다.

$C_{pk}$ 의 경우 5개 등급을 갖는데 이는 소비자규격에 대한 생산자의 산포 관리능력을 나타내며 1등급인 ‘공정능력이 매우 충분’에서부터 5등급 ‘공정능력이 매우 부족’까지 구분하고 있다. 이러한 흐름에 따라 CSQI 역시 5개의 등급을 갖도록 설계하였으며 그 값이 높을수록 소비자가 요구하는 목표치에 부합하는 제품을 공급할 수 있는 능력을 나타내는 것으로 ‘목표치관리 능력’을 나타내며 이 또한 5개 등급으로 나누어 그 기준을 제시하였다. CSQ에서 해당 등급의 의미는 1등급 ‘소비자 목표치에 대한 만족도가 매우 높음’에서부터 5등급 ‘소비자 목표치에 대한 만족도가 매우 낮음’으로 나타낸다.

CSQI는 구조적 특성상 생산자규격한계에 영향을 받는다. 모든 조건이 동일할 경우 분자에  $\tau$ 가 작을수록 생산자가 설정한 생산자규격한계 값이 작아진다는 의미이고

<Table 1> Result of Multiple Regression in CSQI(LLF)

Model Summary					
	R <sup>2</sup>		R <sup>2</sup>		R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>
	.998		.997		.997
ANOVA					
Model	SS	DF	MS	F	CR
Regression	82.274	3	27.425	10230.424	.000
Residual	.257	96	.003		
Total	82.532	99			

<Table 2> Result of Multiple Regression in CSQI(QLF)

Model Summary					
	R <sup>2</sup>		R <sup>2</sup>		R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>
	.999		.998		.998
ANOVA					
Model	SS	DF	MS	F	CR
Regression	29.411	3	9.804	13887.925	.000
Residual	.068	96	.001		
Total	29.479	99			

<Table 3> Result of Multiple Regression in CSQI(RNFL)

Model Summary					
	R <sup>2</sup>		R <sup>2</sup>		R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>
	.983		.966		.965
ANOVA					
Model	SS	DF	MS	F	CR
Regression	176.482	3	58.827	923.053	.000
Residual	6.118	96	.064		
Total	182.601	99			

이는 목표치와 부합하는 제품을 고객에게 공급하기 위하여 엄격하게 관리하고 있다는 의미이므로 그 값은 점점 커지게 된다. 따라서  $\tau$ 는 목표치 부근에서 가장 급격한 손실을 발생시키는 역정규 손실의 형태가 가장 작은 값을 가지며 그 다음으로 1차 손실, 2차 손실의 순으로 값을 갖게 된다. 이는 손실 형태에 따른 CSQI 산출시 반영되며 <Table 4>~<Table 6>의 결과는 이러한 손실함수들의 특성이 반영되어 나타난 결과라 볼 수 있다.

단, 역정규 손실과 1차 손실의 등급기준에서 4등급과 5등급 사이의 경계값에서 1차 손실함수의 경우가 더 크게 나온 것은 목표치 부근에서 급격하게 손실을 반영하여 생산자규격한계에 가까워질수록 발생 가능한 손실의 증가 정도가 작아지는 역정규 손실함수의 특성을 반영한 결과라고 할 수 있다.

<Table 4> Criteria of CSQI(LLF)

Customer Satisfaction Quality Indicator			Grade
	CSQI	5.98	1
5.98	CSQI	4.72	2
4.72	CSQI	3.49	3
3.49	CSQI	2.26	4
2.26	CSQI		5

<Table 5> Criteria of CSQI(QLF)

Customer Satisfaction Quality Indicator			Grade
	CSQI	3.70	1
3.70	CSQI	2.97	2
2.97	CSQI	2.26	3
2.26	CSQI	1.55	4
1.55	CSQI		5

<Table 6> Criteria of CSQ(RNLF)

Customer Satisfaction Quality Indicator			Grade
	CSQI	7.32	1
7.32	CSQI	5.61	2
5.61	CSQI	3.95	3
3.95	CSQI	2.29	4
2.29	CSQI		5

#### 4. 수치 예제

소비자가 요구하는 목표치에 부합하는 정도와 생산자의 산포 관리능력을 반영하는 CSQI는 규격을 벗어났을 경우 발생할 수 있는 최대손실비용을 고려하여 생산자에게 최적의 생산자규격한계를 제공하는 적응형 규격 한계를 고려한다는 것이며 이는 전통적인 공정능력으로 손실비용을 고려하지 못하는  $C_{pk}$ 와 비교하여 갖는 가장 큰 장점이라 할 수 있다.

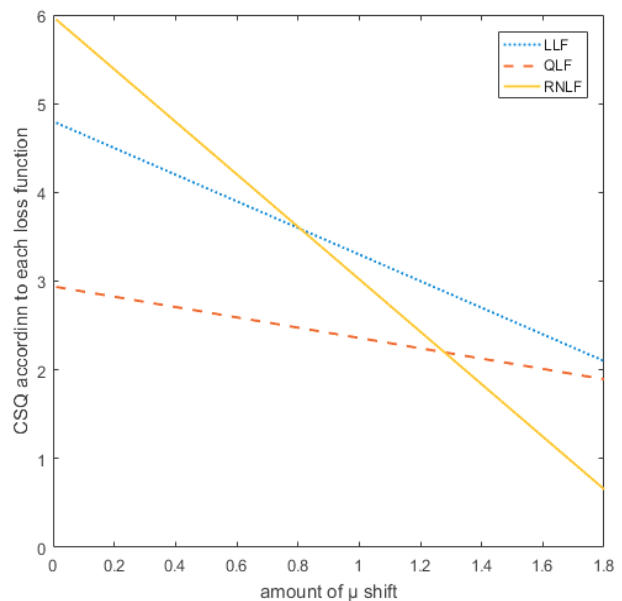
이에 따라 본 장에서는 다양한 경우에 대하여 각 손실함수의 형태에 따라 달리 적용되는 생산자규격한계를 반영한 CSQI의 특징 및 변화 양상을 수치적으로 보이고자 한다.

본 실험에서 소비자가 제시하는 요구사항은 목표치  $m$ 은 0으로, 규격( $S_U, S_L$ )은  $0 \pm 4$ 로 하였다. 공정 평균  $\mu$ 의 변화량은 목표치인 0.0에서부터  $0.2\sigma$ 씩 상향 이동시켜 1.8까지 10개의 변화 구간을 가지며 공정 산포  $\sigma$ 는 1.0을 기준으로  $0.2\sigma$ 씩 증가시켜 2.8까지 10개의 변화 구간을 갖도록 하였다. CSQI는 최대손실비용 A에 의해서도 영향을 받으므로

이 역시 기준 값을 2,000으로 하고 증가 값을 500으로 하여 6,500까지 증가시켜 10개의 구간을 포함시켜 총 1,000가지 조합의 수를 발생시키고 각 최대손실비용에 대해서는 100가지 조합을 반영하여 CSQI 값을 산출하였다.

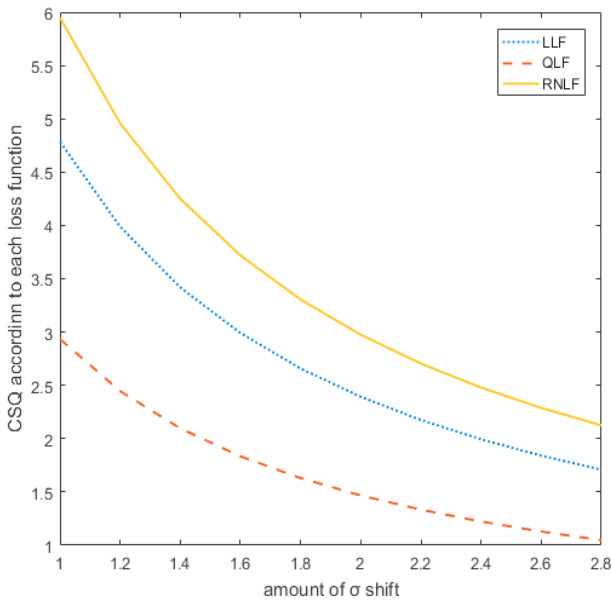
이에 대하여 공정 평균에 따른 CSQI, 공정 산포 변화에 따른 CSQI, 최대손실비용 변화에 따른 CSQI의 산출 결과를 도식화 하면 <Figure 4>~<Figure 6>과 같다.

<Figure 4>의 그림은 공정의 중심이 목표치로부터 이동할 경우 각 손실 형태에 따른 CSQI 값의 변화를 나타낸다. 가로축은 평균의 이동 정도를 나타내며 세로축은 그에 따른 각 CSQI 값을 기록한 것인데 그래프를 보면 역정규 손실함수를 적용한 CSQI가 평균 이동에 따른 기울기가 가장 급하게 떨어지는 것을 볼 수 있으며 그 다음은 1차 손실함수, 2차 손실함수를 적용한 CSQI 순으로 나타난다. 이는 역정규 손실함수의 형태가 목표치로부터 약간의 이동만으로도 큰 값의 손실을 반영시키므로 평균이 이동하는 만큼 CSQI의 값도 급격히 떨어져 민감하게 반응한다고 할 수 있다. 1차 손실함수는 손실의 증가가 직선형태이긴 하지만 손실의 증가 폭이 역정규 손실함수 다음으로 크기 때문에 이를 반영한 결과를 보여주고 있다. 2차 손실함수는 평균이 이동함에 따른 CSQI의 값의 하락 정도가 완만한 것으로 나타나 평균 이동에 대한 반영 정도가 다른 두 손실함수에 비하여 작다고 할 수 있다. 이는 앞서 언급한대로 2차 손실함수를 적용한 경우에 역정규 손실함수나 1차 손실함수를 적용한 경우보다  $\tau$ 의 폭이 상대적으로 가장 큰 값을 갖는다는 것이 CSQI의 특성으로 나타난 것으로 보여진다.

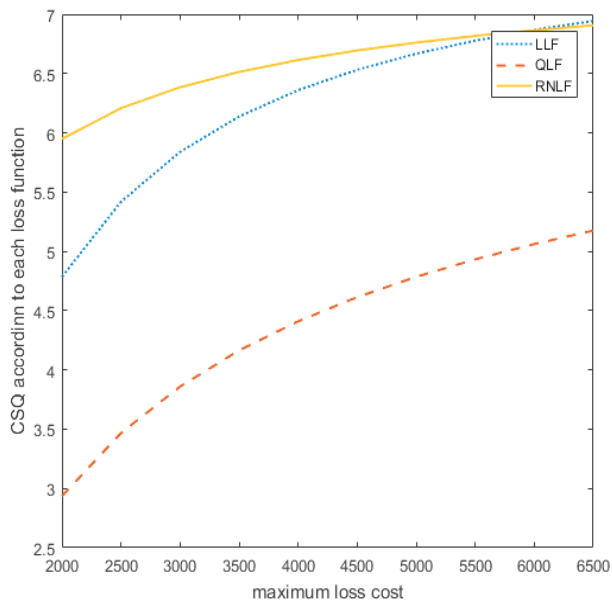


<Figure 4> Each CSQI When Mean Changes

<Figure 5>는 공정 산포가 기준보다 커져갈 때 각 CSQI의 변화 값을 나타낸다. 공정 산포에 대한 영향은 세 가지 CSQI 모두 유사한 형태의 하향곡선을 나타내고 있다. 역정규 손실함수와 1차 손실함수를 적용한 경우는 기울기의 변화가 유사하여 공정 산포 변화에 대한 민감도는 유사한 것으로 보여지며 이들 CSQI의 차이는 적용한 손실함수에 의해 정해지는  $\tau$ 값의 차이로 보여진다. 하지만 이 경우 2차 손실함수의 CSQI는 다른 두 경우 보다 기울기가 다소 완만하게 떨어지는 것을 확인할 수 있다.



<Figure 5> Each CSQI When Sigma Changes

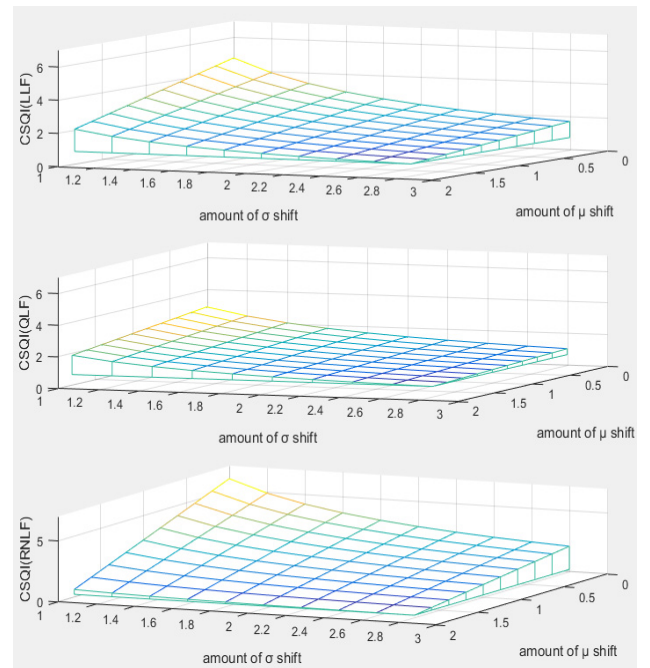


<Figure 6> Each CSQI When Maximum Loss Cost Changes

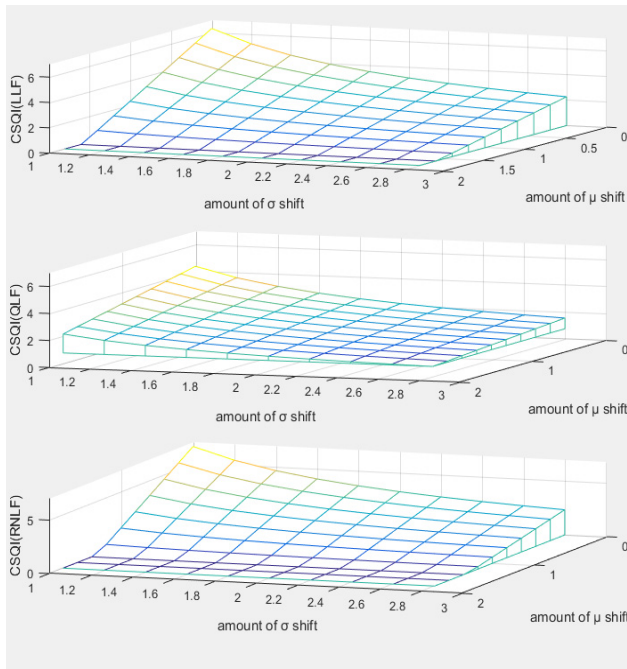
<Figure 6>은 공정의 평균과 산포는 초기 조건대로 고정하고 소비자규격을 벗어났을 경우 발생하는 최대손실비용의 변화에 따른 각 CSQI의 변화를 보여주고 있다. 모든 조건이 동일할 경우 소비자가 제시하는 규격을 벗어날 경우 발생하는 손실이 크면 클수록 생산자가 갖는 위험 또한 증가하게 되므로 초기조건부터 상대적으로 가장 좁은  $\tau$ 를 갖는 역정규 손실함수의 CSQI가 가장 높은 값을 보이고 있으며 그 변화의 정도가 크지 않다. 이는 역정규 손실함수가 반영하는 손실의 양이 목표치 중심에 대부분 집중되어 있어 처음부터 매우 엄격한 생산자규격 한계를 형성하기 때문으로 보인다. 1차 손실함수의 CSQI는 세 가지 중에 중간 정도의 값에서 시작하여 손실 비용이 증가할수록 그 값이 가장 급격하게 증가하는 양상을 보여 손실 비용에 따른 변화가 다른 두 가지 경우보다 큰 것을 볼 수 있다. 2차 손실함수의 CSQI는 다른 두 가지 CSQI보다 다소 넓은 구간의  $\tau$ 를 갖게 되므로 동일 조건에서 가장 낮은 값을 나타내며 그 증가 폭은 다른 두 CSQI와 비교하여 중간 정도에 속한다.

CSQI에 영향을 주는 조건은 공정 평균과 산포, 그리고 최대 손실 비용이므로 이 모든 조건을 동시에 고려하여 각 CSQI의 변화를 3차원 그래프로 확인해 보면 <Figure 7>~<Figure 9>와 같다.

<Figure 7>의 경우에는 최대손실비용 A를 초기 조건인 2000으로 하였을 때 공정 평균과 산포의 변화에 따른 각 CSQI의 변화를 나타낸 것이다.



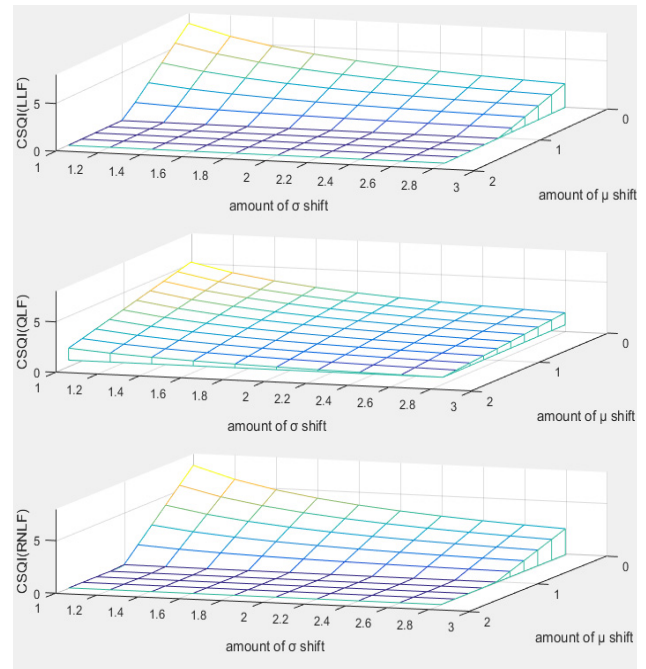
<Figure 7> Each CSQI due to Mean and Sigma Changes at A = 2,000



<Figure 8> Each CSQI due to Mean and Sigma Changes at  $A = 4,000$

<Figure 8>은  $A$ 가 4,000으로 5구간 변화하였을 때이며 <Figure 9>는  $A$ 를 6,500으로 하여 초기 조건보다 10구간 변화하였을 때를 나타낸다. <Figure 7>은  $\mu = 0$ ,  $\sigma = 1.0$ ,  $A = 2,000$ 일 때의 각 CSQI의 변화를 나타낸 것으로 모든 조건이 초기설정 값으로 이루어져 있는 경우이다. 해당 그래프에서는 역정규 손실함수를 적용한 CSQI가 각 변화의 조합에 따라 가장 민감하게 반응하고 있는 것을 볼 수 있다. 2차 손실함수의 경우는 앞서 <Figure 4>에서 확인한 바와 같이 산포가 변하지 않은 상황에서 평균 이동에 대한 반응은 둔감한 모습을 보여준다. <Figure 8>과 <Figure 9>는 <Figure 7>에서 최대손실비용의 변화만 다른 값으로 설정한 그래프이다. 제 3장에서 CSQI의 수리적 설명을 통해  $C_{pk}$ 와 같이 0이하 음의 값은 평균 이동의 정도가 생산자규격을 벗어난 경우로 보고 모두 0으로 설정하고자 하였다. 이에 따라 최대손실비용이 증가할수록 역정규 손실함수와 1차 손실함수를 적용한 CSQI에서는 음의 값들이 등장하여 <Figure 5>에서는 바닥에 평탄한 영역이 나타나기 시작하였으며 <Figure 6>에서는 그 영역이 매우 넓게 나타나고 있다. 이와 달리 2차 손실함수의 CSQI는 세 가지 모든 그래프에서 변화에 따른 기울기가 완만한 것을 확인할 수 있다.

정리해보면 제품에 대하여 최대손실비용이 동일한 경우라도 공정변화에 따른 민감도를 보면 고정밀 산업과 같이 목표치로부터의 편차가 상대적으로 고객에게 미치는 영향이 매우 큰 경우에는 역정규 손실함수 또는 1차



<Figure 9> Each CSQI due to Mean and Sigma Changes at  $A = 6,500$

손실함수를 적용한 생산자규격에서의 CSQI를 사용하는 것이 유리할 것으로 보인다. 하지만 이는 단순히 수치상으로 보았을 경우를 말하는 것으로 역정규 손실함수나 1차 손실함수를 적용할 경우 매우 엄격하게 생산자규격을 운용해야 하므로 산업의 특성에 따라 공정에서 발생하는 실제 손실의 형태에 따른 적합한 CSQI를 활용함이 좋을 것이다.

## 5. 결 론

공급이 수요를 따라가지 못했던 과거에는 양적인 생산능력을 주된 지표로 평가하고 기업들도 이를 위한 자동화 등의 기술 개발을 하였다. 하지만 이는 이미 말 그대로 옛말이 되었으며 기업들의 생산기술은 현재 매우 고도화 되어 있으며 그 평균적인 품질 또한 우수하다. 따라서 과거에는 소비자가 요구하는 규격 내에 있는 제품을 많이 만들면 기업은 큰 무리 없이 경쟁력을 가질 수 있었으나 지금은 양적인 능력은 물론이요 그 질적인 경쟁력까지 갖추지 못한 기업들은 경쟁우위를 잡하기 어려워진 실정이다.

이러한 급변하는 경영환경의 변화에 따라 생산자가 시장에서 질적인 우위, 즉 품질우위를 선점하기 위해서는 소비자가 요구하는 규격에 수동적으로 응하는 소극적 품질방침에서 생산자가 자체적으로 고객의 목표치와 부합



하는 제품을 생산하기 위해서 적극적인 품질방침으로의 전환이 필요로 하는 시기가 되었으며 이러한 개념을 담은 것이 바로 생산자규격이다. 하지만 과거의 연구에는 생산자규격을 결정하는 것에만 업적이 있을 뿐이며 생산자가 적극적 품질 방침을 운용하였을 때 적절히 평가 받을 수 있는 정량적 지표에 대한 연구는 미흡했던 것이 사실이다.

물론 공정의 질적 능력을 평가할 수 있는 전통적 공정 능력지수인  $C_{pk}$ 가 존재하지만 이는 공정의 평균과 산포에 대한 정보만을 반영하고 소비자가 제시한 규격에만 맞추면 손실이 발생하지 않는다는 소극적 품질방침에 대한 성과이며 고객이 요구하는 이상적 품질특성인 목표치를 충족하지 못했을 경우 발생할 수 있는 손실에 대한 정보는 함께 주지 못하는 것이 현실이다.

본 연구에서는 이렇듯 생산자의 적극적인 품질향상의지에 따른 성과를 평가하기 위한 정량적 지표를 개발하고자 하였으며 해당 지표의 최종 소비처는 고객이 되므로 이는 생산자와 소비자 모두를 위한 것이라 할 수 있다.

소비자만족품질지표를 의미하는 CSQI는 소비자가 제시한 규격 내에만 존재하면 손실이 발생하지 않는다는 전통적인 품질 인식을 벗어나 생산자가 좀 더 적극적으로 품질방침을 세우고 운용하여 고객에게 목표치에 부합하는 제품을 공급할 수 있도록 하여 협의로는 고객을 충분히 만족시키며 광의로는 사회에 끼치는 총 손실의 최소화 함을 목적으로 만들어진 지표이다. 따라서 기업들은 스스로가 속해 있는 산업의 특성에 맞추어 적합한 손실형태를 반영하도록 생산자규격을 설정하고 이에 따라 CSQI를 적용하여 품질향상의 노력에 대하여 적절히 평가 받고 소비자는 해당 지표를 이용하여 신뢰할 수 있는 생산자를 선택할 수 있는 기준이 될 수 있을 것으로 기대된다.

## References

- [1] Boyles, R.A., The Taguchi Capability Index, *Journal of Quality Technology*, 1991, Vol. 23, No. 1, pp. 17-26.
- [2] Chan, L.K., Chung, S.W., and Spiring, F.A., A New Measure of Process Capability : Cpm, *Journal of Quality Technology*, 1988, Vol. 20, No. 3, pp. 162-175.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] Chung, Y.B. and Mun, H.J., A Study on Process Capability Index using Reflected Normal Loss Function, *Journal of Korea Society for Quality Management*, 2002, Vol. 30, No. 3, pp. 66-78.
- [7] Fathi, Y., Producer-Consumer Tolerances, *Journal of Quality Technology*, 1990, Vol. 22, No. 2, pp. 138-145.
- [8] Juran, J.M., *Quality Handbook*, 3<sup>rd</sup> ed., Macgraw-Hill, Inc., New York, 1974.
- [9] Kane, V.E., Process Capability Indices, *Journal of Quality Technology*, 1986, Vol. 18, No. 1, pp. 41-52.
- [10] Kim, D.H. and Chung, Y.B., Decision of Producer's Specification Limits Considering Types of Loss Function, *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2018, Vol. 41, No. 3, pp. 145-153.
- [11] Kim, D.H., 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] Spiring, F.A., The Reflected Normal Loss Function, *Canadian Journal of Statistics*, 1993, Vol. 21, pp. 321-330.

## ORCID

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

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