

경제성을 고려한 공정 목표값 최적화 -An Economic Optimization of the Target Value-

윤 철 환*

Yoon, Cheol Hwoan

유 정 현**

Yoo, Jeong Hyun

윤 덕 균***

Yun, Deok Kyun

Abstract

We address the problem of choosing the most economic mean value for an automatic filling operation on a production line through the sampling inspection. If quality characteristic of a unit is less than inspection specification then the goods is not accepted. Otherwise, it is accepted. The lots that the numbers of non-conforming units in a sample are larger than the allowable number of non-conforming units are rejected. The non-conforming units in the rejected lots are separated by the screening inspection. The non-conforming units separated are sold in discount price.

We assume that quality characteristic is larger-the-better characteristic, the distribution of quality characteristic is normal distribution, and the standard deviation of the distribution is known. This paper presents total expected profit function model considering sales revenue, inspection costs, and material costs. The manufacturing process mean value maximizing total expected profit is determined, and the results of the process target value and total expected profit is analyzed as coefficients change.

1. 서 론

지구촌이라는 신조어가 생길 만큼 세상은 점점 좁아지고 경쟁력이라는 단어가 포함하고 있는 영역은 점차로 늘어가고 있다. 이러한 무한 경쟁 시대를 살고있는 우리는 많은 선진국들과의 경쟁 전쟁은 피할 수 없으며, 이를 위해 반드시 양적 성장이 아닌 질적 성장을 이루어야 한다. 바로 이런 점에서 품질은 빼놓을 수 없는 중요한 과제로 대두되고 있다. 품질 개선은 생산성, 시장 점유율, 그리고 회사의 이익에 중대한 영향을 끼치기 때문에 최근에 많은 관심을 받고 있다.

위와 같은 이유로, 전수검사를 고려한 연구가 많이 수행되었으나, 전수 검사는 이에 소요되는 시간, 노력, 비용 등을 고려할 때 바람직하지 않은 경우가 많으며 또는 검사의 성질상 불가능한 경우도 있다. 또한, 전수 검사의 경우 모든 제품을 검사한다는 안도감 또는 모든 제품을 검사하는데 따르는 권태감 등으로 인하여 검사가 부정확하게 되고 따라서 검사의 신뢰성이 떨어지는 경우가 많다. 즉, 불량품·양품에 대한 구별이 잘못 되는 경우가 많다. 따라서 전수 검사라 하여도 완벽한 로트가 얻어지는 것은 아니다. 반면, 샘플링 검사의 경우에는 채취된 시

* 한양대학교 산업공학과 석사과정

** 한양대학교 산업공학과 박사과정

***한양대학교 산업공학과 교수

료에 대하여 충분히 정확하게 검사할 수 있기 때문에 검사의 신뢰성이 높아지는 경우가 많다.

또한, 샘플링 검사는 시료의 검사 결과가 로트 전체의 합격·불합격을 결정하고 불합격된 로트 전체가 폐기 처분, 또는 재작업 될 것이므로 생산자는 불량품이 가능한 한 섞이지 않도록 노력하게 될 것이다. 이러한 점을 감안하여 본 논문에서는 전수 검사 기법 보다는 샘플링 기법을 통한 공정 목표값을 결정하는 문제에 관한 연구를 수행한다.

품질 개선을 위한 전통적인 접근 방법은 예방 보다는 결점을 찾아 선별하는데 초점을 맞추었다. 공정의 세팅은 주어진다라고 가정하였던 전통적인 접근 방법과는 다르게, 새로운 품질 개선 철학은 공정평균을 공정의 불량률, 재료비, 그리고 그 공정과 관계된 이익에 영향을 주는 변수로서 보는 관점이다.

본 연구에서 적용하는 시스템은 제품의 품질 특성치는 용기에 자동 주입 공정을 통해 충진된 양으로 하며, 충진물의 양이 제한된 규격보다 많은 경우는 고객이 만족하나 모자라는 경우에 불만이 제기되는 경우를 고려한다. 따라서, 규격상한은 고려하지 않고 규격하한만을 적용하여 시스템을 구축한다. 일반적으로 품질 특성치는 공정 평균을 중심으로 산포하기 때문에 생산 공정에서는 제조된 제품 중에서 가능하면 많은 제품들이 설계 품질 규격을 만족하도록 하기 위해서 품질 특성치의 공정 평균값을 규격의 하한치 보다는 높게 관리를 한다. 그러나, 합격 판정을 받기 위해 공정 평균값을 높게 선정하면 필요한 재료의 양보다 많은 양이 소비됨으로서 재료비의 손실을 가져온다. 반대로 재료비의 손실을 막기 위해 공정 평균값을 낮게 책정하면, 재료의 낭비는 막을 수 있으나 불합격률이 증가하여 재가공비가 많이 들게 된다. 이와 같이 공정 평균값을 규격 한계보다 얼마나 높게 선정할 것인가 즉, 공정 평균값을 얼마로 선정할 것인가를 결정하는 것이 해당 시스템의 재료비, 판매 이익, 검사 비용 등과의 Trade Off를 통하여 이익을 최대로 하는데 직접적인 영향을 미친다. 이러한 이익이 최대가 되도록 하는 목표값을 Target Value라고 정의하고, 이를 최적화하고자 한다.

2. 시스템의 정의 및 모형화

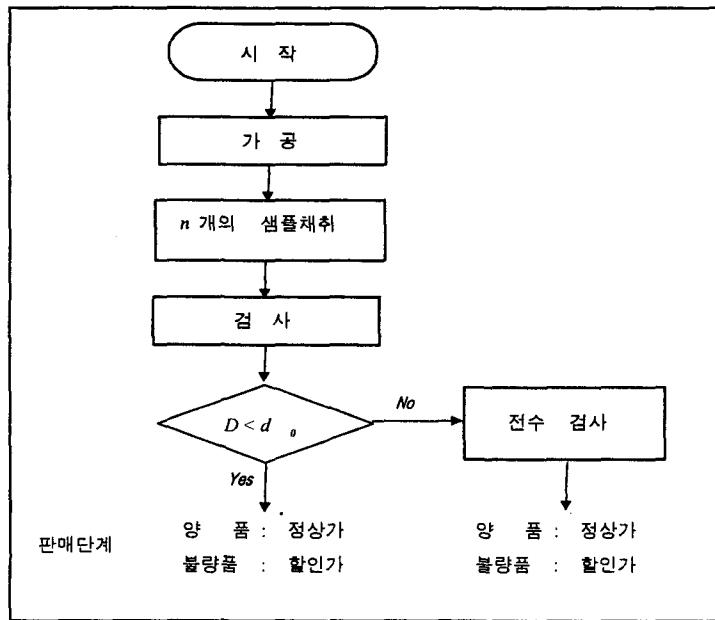
본 연구에서는 고려된 모델이 갖는 가정을 제시하고, 이를 기초로 시스템을 정의하며, 수리적으로 모형화한다.

2.1 시스템의 정의

본 연구에서 제시하는 시스템은 카레, 스프, 화장품 등의 원료를 용기에 충진하여 제품으로 생산하고 출하하는 시스템이다. 제품이 양품이기 위해서 최소한 충진되어져야 하는 양은 각 제품에 따라 정하여 진다. 최소 요구 충진량을 기준으로 검사가 수행되고 이러한 최소 요구 충진량을 검사 규격 하한이라 정의 한다. 공정이 엄격하게 관리된 상태하에서도 발생되는 어느 정도의 불가피한 변동을 주는 원인인 우연원인은 발생하기 마련이고 이러한 이유 등으로 공정 평균을 중심으로 산포들이 생기게 마련이다. 따라서, 생산자는 공정 평균값을 검사 규격 하한보다 높게 책정하여 불합격품의 수를 줄이고 합격품의 수를 늘리는 방향으로 공정의 평균을 결정하기가 쉽다. 그러나, 공정 평균이 규격 하한 보다 높게 책정이 되면, 원재료의 소비가 증가한다. 즉, 규격 하한 이상의 값과 해당 제품의 충진량과의 차이 만큼의 원재료가 낭비되는 것이라 할 수 있다. 이러한 낭비의 양은 공정 평균을 재책정해야 할 만큼 증가할 수 있다. 이와 반대로, 원재료의 낭비를 막기 위해 공정 평균을 검사 규격 하한과 너무 근접하게 책정하면 공정 평균 주위로의 산포 때문에 불량품의 수가 증가하게 될 것이다. 이러한 이유 때문에 공정 평균의 결정은 생산자의 이익을 최대로 하기 위한 중요한 요소라 할 수 있다. 이렇게 작업자가 또는 회사 정책 등이 목표로 하는 충진량을 공정 목표값 즉, Target Value라고 하고, 이를

최적화하여 총기대 이익을 최대화하고자 한다.

본 연구의 시스템 구성은 그림[2.1]과 같이 나타낼 수 있다.



그림[2.1] 시스템 모형도

고려하는 시스템의 품질 특성치, X 는 각 용기에 담겨있는 자재의 양을 나타내는 확률 변수이다. 양품·불량품을 구분하는 기준은 각 제품이 검사 규격 하한에 미치는가의 여부에 달려 있다. 그리고 생산된 로트(N)에서 샘플 n 개를 추출하여 검사를 실시하며, 정밀한 검사 장비를 사용하여 검사를 실시함으로 검사 오류는 존재하지 않음을 가정한다. 발견된 불량품은 할인가로 판매가 되고, 양품은 정상가로 판매된다. 또한, 샘플에서 발견된 불량품의 수가 허용 한계 불량품의 수를 초과하는 경우는 해당 로트는 불량으로 판정되며 해당 로트에 전수 검사를 실시하여 각각 양품·불량품으로 나누어 판매하게 된다.

2.2 시스템의 가정

본 시스템은 계량형 샘플링 검사시 일반적으로 적용되는 다음과 같은 가정을 기초로 출발 한다.

- (1) 공정의 표준 편차는 既知이다.
- (2) 공정의 분산은 생산기간 동안 일정하다.
- (3) 제품의 품질 특성치는 평균이 μ 이고 분산이 σ^2 인 정규 분포를 따른다.
- (4) 검사 오류는 존재하지 않는다.

2.3 시스템의 모형화

본 연구에서는 시스템의 가정에 따라 여러 가지 비용 항목을 분석하여 이익 항목에서 비용 항목을 제외한 단위당 순이익(net profit)을 최대화하는 모형을 수립한다.

2.3.1 기호 정의

- 규격 하한에 미달된 용기 즉, $X < S_L$ 은 불량품(nonconforming unit)으로 정의한다.
- $A1$: 양품이 판매되는 정상가
- $A2$: 불량품이 판매되는 할인가
- X : 각 용기 안에 있는 자재의 양을 나타내는 확률 변수
- S_L : 규격 하한
- σ^2 : 제품의 분산(既知)
- μ_0 : 초기 공정 평균값(X 의 기대값)
- μ^* : 최적 [공정 평균값]
- C_i : 단위 제품당 검사 비용
- C : 합격된 제품에 대한 단위당 자재비
- q : 공정의 불량률
- D : 발견된 불량품의 수
- d_0 : 허용 불량품의 수
- n : 샘플의 크기
- N : 로트의 크기
- R : 얻어지는 이익
- $E(R/D)$: D 가 주어질 때의 조건부 기대 이익
- $E[\pi(\mu)]$: 총 기대 이익
- $f(x)$: X 의 확률 밀도 함수 $X \sim N(\mu, \sigma^2)$
- $\phi(\cdot)$: 표준 정규 분포의 확률 밀도 함수
- $\Phi(\cdot)$: 표준 정규 분포의 누적 밀도 함수
- $Pr(D \leq d_0)$: 해당 로트가 합격될 확률

2.3.2 수리 모형 수립

본 연구에서는 단위 제품당 총기대 이익을 최대화하는 문제의 해법을 통하여 Target Value 인 최적 공정 평균을 산출해 내고자 한다.

(1) 조건부 기대 이익함수

본 시스템은 불량품의 수가 한계 허용 불량품의 수를 초과하면, 해당 로트가 불량 판정을 받고 불량 판정을 받은 로트는 전수 검사를 받는 시스템이다. 그리고, 한계 허용 불량품의 수가 주어지는 값에 따라서 이익도 변화될 것이다. 이러한 점을 감안하여 로트가 불량일 때와 로트가 합격일 때를 조건부 확률을 이용하여 조건부 기대 이익 함수를 산출한다.

본 연구의 시스템은 양품에 대해서는 $A1$ 이라는 정상가로 판매되고, 불량품인 경우에는 $A2$ 라는 할인가로 판매된다. 그리고 합격된 로트 대해서는 무검사로 출하되므로 검사의 횟수는 샘플 크기(n) 만큼의 검사가 실시되고, 불합격된 로트의 경우에는 해당 로트를 전체에 대한 검사를 실시하므로 총검사 횟수는 샘플 크기(n)와 해당 로트에서 샘플을 제외 나머지 ($N-n$)을 합친 총 N 번 만큼의 검사가 실시된다. 각 제품에 대한 검사 비용이 C_i 이므로 합격 또는 불합격 로트당 각각 기대 이익은 다음과 같이 정의가 가능하다.

$$\begin{aligned} E(R/D) = & A1 \cdot (N-nq) + nqA2 - nCi & D \leq d_0 \\ & nqA2 + (N-n) \cdot qA2 + (N-Nq)A1 - NCi & D > d_0 \end{aligned}$$

를 정리하면,

$$E(R/D) = \begin{cases} AI \cdot (N-nq) + nqA2 - nCi & D \leq d_0 \\ NqA2 + (N-Nq) \cdot AI - NCi & D > d_0 \end{cases} \quad (2.1)$$

(2) 공정의 불량률

본 연구는 충진량이 검사 규격 하한에 미치지 못하는 경우 불량으로 판정하므로 다음과 같이 산출할 수 있다. 그리고 앞 절의 가정에서 언급한 바와 같이 품질 특성치는 평균이 μ 이고 분산이 σ^2 인 정규 분포를 따르므로 불량률 q 는 다음과 같이 정의 가능하다.

$$q = Pr(X < S_L) = \int_{-\infty}^{S_L} f(x)dx$$

여기서, 확률 변수 X 는 원재료의 충진량이므로 $X < 0$ 인 경우는 존재하지 않는다. 그러므로, 위 식을 다음과 같이 다시 정의 할 수 있다.

$$q = Pr(X < S_L) = \int_{-\infty}^{S_L} f(x)dx = \int_0^{S_L} f(x)dx = \Phi(-Z) \quad (2.3)$$

$$\text{여기서 } Z = \frac{\mu - S_L}{\sigma}$$

(3) 로트의 합격 확률

로트가 합격될 확률은 표본 공간이 제품의 합격·불합격 두개의 요소로 이루어져 있는 상호 배반인 사건에 대한 확률이므로 다음과 같이 이항 분포를 이용한 정의가 가능하다.

$$Pr(D \leq d_0) = \sum_{d=0}^{d_0} \left(\frac{n!}{d!(n-d)!} \right) q^d (1-q)^{n-d} \quad (2.4)$$

여기서, $0 \leq q \leq 1$ 이다.

(4) 총 기대 이익

μ 는 X 의 기대값이고, C 는 합격품에 대한 원자재 비용이므로 로트당 기대되는 자재 비용은 $NC\mu$ 이다. 총 기대 이익 함수는 앞에서 정의한 로트당 합격될 때의 기대 이익과 불합격될 때의 기대 이익의 합에서 자재 비용을 뺀 값이 될 것이다. 다음에서 이 식을 정의한다.

$$E[\pi(\mu)] = Pr(D \leq d_0) \{ AI \cdot (N-nq) + nqA2 - nCi \} + Pr(D > d_0) \{ NqA2 + (N-Nq) \cdot AI - NCi \} - NC\mu \quad (2.5)$$

위의 모든 수식은 검사 규격 하한이 정해져 있을 때 공정 평균에 종속적이다. 따라서, 총기대 이익은 공정 평균값이 얼마로 책정하는 것이 총 기대 이익을 최대가 되도록 하는 가를 결정할 수 있는 결정 변수가 된다. 다음 장에서는 총기대 이익이 최대가 되게 하는 공정 평균을 구하는 해법과 절차를 다루기로 한다.

3. 최적해 결정

본 연구에서 제시한 모델을 통하여 총기대 이익을 최대화하는 목적식을 만족 시키는 Target Value μ^* 를 결정하는 절차를 제시한다.

3.1 경제적 Target Value의 결정

총기대 이익 함수인 $E[\pi(\mu)]$ 는 로트를 합격으로 판정할 확률과 로트당 자재비 둘 다에 영향을 미치는 결정 변수 μ 에 의하여 결정된다. 따라서 총기대 이익 함수의 최대값을 구하기 위하여 $E[\pi(\mu)]$ 를 μ 에 대해 미분하여 0이 될 때의 μ 가 구하고자 하는 Target Value인 μ^* 가 될 것이다.

STEP 1) 불량률 q 식(2.3)의 μ 에 대한 미분식

불량률은 공정 평균 μ 의 값에 따라 결정되는 변수 이므로 다음과 같은 미분식의 유도가 가능하다.

$$\frac{\partial q}{\partial \mu} = -\frac{\partial}{\partial \mu} \Phi(-Z) = -\frac{1}{\sigma} \phi(Z) \quad (3.1)$$

STEP 2) 로트의 합격 확률의 μ 에 대한 미분식

로트의 합격 확률은 q 에 의하여 결정되어지는 확률값이므로 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial \mu} \Pr(D \leq d_0) = \left(\frac{\partial \Pr(D \leq d_0)}{\partial q} \right) \quad (3.2.a)$$

위 식(3.2.a)를 정의 하기 위하여 $\left(\frac{\partial \Pr(D \leq d_0)}{\partial q} \right)$ 를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Pr(D \leq d_0) &= \sum_{d=0}^{d_0} \left(\frac{n!}{d!(n-d)!} \right) q^d (1-q)^{n-d} = \left(\frac{n!}{0!(n-0)!} \right) q^0 (1-q)^n \\ &\quad + \left(\frac{n!}{1!(n-1)!} \right) q^1 (1-q)^{n-1} + \left(\frac{n!}{2!(n-2)!} \right) q^2 (1-q)^{n-2} \\ &\quad + \dots + \left(\frac{n!}{d_0!(n-d_0)!} \right) q^{d_0} (1-q)^{n-d_0} \\ \frac{\partial \Pr(D \leq d_0)}{\partial q} &= -n \left(\frac{n!}{0!(n-0)!} \right) q^0 (1-q)^{n-1} \\ &\quad + \left(\frac{n!}{1!(n-1)!} \right) [(1-q)^{n-1} - (n-1)q (1-q)^{n-2}] \\ &\quad + \left(\frac{n!}{2!(n-2)!} \right) [2q(1-q)^{n-2} - (n-2)q^2 (1-q)^{n-2-1}] + \dots + \\ &\quad \left(\frac{n!}{d!(n-d)!} \right) [d q^{d-1} (1-q)^{n-d} - (n-d) q^d (1-q)^{n-d-1}] + \dots + \\ &\quad \left(\frac{n!}{d_0!(n-d_0)!} \right) [d_0 q^{d_0-1} (1-q)^{n-d_0} - (n-d_0) q^{d_0} (1-q)^{n-1-d_0}] \end{aligned}$$

위 식을 간단히 정리 하면,

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pr(D \leq d_0)}{\partial q} &= - \left(\frac{n!}{d_0!(n-d_0)!} \right) [(n-d_0) q^{d_0} (1-q)^{n-1-d_0}] \\ &= -n \left(\frac{(n-1)!}{d_0!(n-1-d_0)!} \right) [q^{d_0} (1-q)^{n-1-d_0}] \quad (3.2.b) \end{aligned}$$

가 된다. 식(3.1)과 식(3.2.b)에 의해 식(3.2.a)를 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial \Pr(D \leq d_0)}{\partial \mu} = n \frac{1}{\sigma} \phi(Z) \left(\frac{(n-1)!}{d_0!(n-1-d_0)!} \right) [q^{d_0} (1-q)^{n-1-d_0}] \quad (3.2)$$

STEP 3) 총기대 이익함수의 μ 에 대한 미분식

총기대 이익을 구하기 위하여 식(2.5)를 μ 에 관하여 미분한 값이 0이 되는 점을 구하여 보도록 한다. 이 때 다음 식을 0으로 만들 때의 μ 의 값이 본 연구에서 구하고자 하는 Target Value가 된다. 식(2.4)와 식(3.2)를 대입하여 간단히 하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial E[\pi(\mu)]}{\partial \mu} &= \frac{1}{\sigma} \phi(Z)n \left(\frac{(n-1)!}{d_0!(n-1-d_0)!} \right) q^{d_0} (1-q)^{n-1-d_0} [-qA2(n-N)-qA1(N+n)+(N-n)Ci] \\ &+ \sum_{d=0}^{d_0} \left(\frac{n!}{d!(n-d)!} \right) q^d (1-q)^{n-d} \times [A2 \left(-\frac{1}{\sigma} \phi(Z) \right)(n-N)-A1 \left(-\frac{1}{\sigma} \phi(Z) \right)(N+n)] \\ &+[NA2 \left(-\frac{1}{\sigma} \phi(Z) \right)+NA1 \left(-\frac{1}{\sigma} \phi(Z) \right)]-NC=0 \end{aligned} \quad (3.3)$$

4. 수치예제 및 분석

본 연구에서는 Boucher & Jafari[3]의 논문에서 다루었던 예제를 이용한다. 또한, Boucher & Jafari[3]의 논문에서 고려하지 않았던 검사 비용을 본 연구에서 고려하게 되므로, 검사 비용을 변화시키며 이 때, 공정 평균의 변화와 총기대 이익의 변화를 도표와 그래프를 이용하여 분석하고자 한다.

4.1 수치 예제

본 연구에서는 캔류의 충진 제품의 경우를 고려하였다. 또한, 품질 특성치는 제품의 충진량으로 정의하며, 앞 장에서 제시한 시스템을 통하여 수치 예제 풀이 최적의 공정 목표값을 구해본다.

본 예제에서는 로트 크기(N)는 100개 그리고 표본의 크기(n)는 10개를 채취하여 검사를 한다. 검사 규격 한계(L)는 1.0 Kg이며, 검사 규격 하한에 미치는가 못미치는가에 따라서 해당 제품의 합격·불합격이 결정된다. 또한 불합격 제품의 수(D)가 허용 불량품의 수(d_0)를 초과하는 경우 해당 로트는 불합격 판정을 받으며, 전수검사를 통해 불합격품과 합격품을 가려낸다. 이때의 허용 불량품 수는 1개로 한다. 합격의 경우 정상가(A1)인 67.5(천원, 이하 모든 단위는 천원으로 한다)로 판매되고, 불합격의 경우 할인가(A2)인 30을 받고 판매한다. 또한, 자재비는 Kg 당 550원 즉, 0.55이다. 검사비용은 제품당 1만큼의 비용이 소비된다. 본 예제의 품질 특성치는 정규 분포를 따른다고 가정하며 이 때, 표준 편차는 0.00563이다.

위 예제의 풀이과정 중 식(3.3)의 계산이 너무 복잡하므로 컴퓨터 프로그램을 이용하여 구하였다. 본 예제의 $\frac{\mu^* - L}{\sigma}$ 는 2.4240이며, 최적 공정 목표값은 $\mu^* = 2.4240 \times 0.00563 + 1.0 = 1.01365$ 이 된다. 이 때, 불량률(q)은 $\phi(-2.4240) = 0.0076752$ 이다. 여기서, 로트의 합격 확률을 구하는 식(2.4)는

$$\begin{aligned} Pr(D \leq d_0) &= \sum_{d=0}^{d_0} \left(\frac{n!}{d!(n-d)!} \right) q^d (1-q)^{n-d} \\ &= \sum_{d=0}^{1} \left(\frac{10!}{d!(10-d)!} \right) 0.0076752^d (1-0.0076752)^{10-d} = 0.997455413 \end{aligned}$$

이다. 그리고 평균, 불량률 그리고 로트 합격 확률이 위와 같을 때 총기대 이익의 식(2.5)은

$$\begin{aligned} E[\pi(\mu)] &= Pr(D \leq d_0) \{ A1(N-nq)+nqA2-nCi \} \\ &+ Pr(D > d_0) \{ NqA2+(N-Nq)A1-NCi \}-NC\mu \end{aligned}$$

여기서, 할인가(A2)와 정상가(A1)가 곱하여지는 $(N-nq)$, nq , Nq , $(N-Nq)$ 는 판매되는 개수를 나타내므로 정수로 바꾸어 계산한다. 이 때, 본 예제의 총기대 이익은

$$\begin{aligned} E[\pi(\mu)] &= 0.997455 \{67.5(99) + 0 - 10 \times 1.0\} \\ &+ (1-0.997455) \times \{0 \times 30 + (100-0) \times 30 - 100 \times 1.0\} - 100 \times 0.55 \times 1.01365 \\ &= 6616.6921548 \text{ 가 된다.} \end{aligned}$$

참고로, 본 예제의 표준 편차가 매우 낮은 단위이므로 전체적인 단위는 매우 낮게 결정되게 된다. 본 예제의 결과값을 표를 통하여 다음에 정리하고 각 계수의 값을 변화시키고 이에 따른 결과값의 비교를 통하여 총기대 이익, 공정 목표값, 그리고 공정 불량률 등의 변화를 다음 절에서 살펴 보도록 한다.

표. [4.1] 수치 예제의 최적해

(단위: 천원)

N	n	d_0	σ	L	μ^*	q	$E[\pi(\mu)]$
100개	10개	1개	0.00563	1.0Kg	1.01365	0.007675	6616.692148

4.2 분석

본 연구에서는 전술한 대로 각 계수의 값을 변화시키며, 각 공정 목표값과 총기대 비용 등에 미치는 영향을 도표를 통하여 살펴보도록 한다. 또한, Boucher & Jafari[3]의 연구에서 고려하지 않았던 검사 비용의 고려한 본 시스템의 타당성 분석을 위하여 검사 비용의 변화에 따른 공정 목표값의 변화와 총기대 비용의 변화를 살펴 보기로 한다.

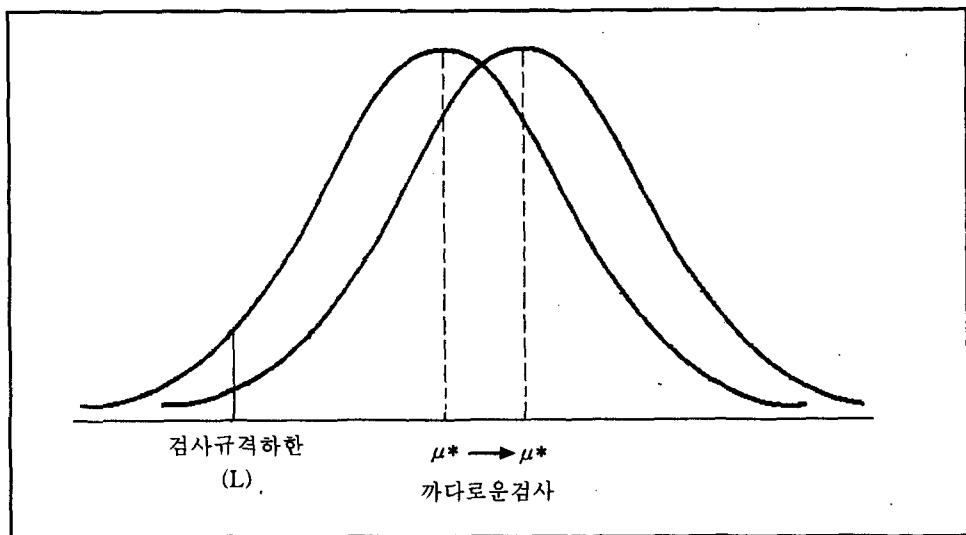
4.2.1 로트 크기와 허용 불량품 수의 변화에 따른 공정 목표값과 총기대 비용의 변화

다음 표[4.2]에 언급된 계수를 제외한 계수들은 전술한 수치 예제의 계수 값과 동일한 값을 적용한다.

표[4.2] n 과 d_0 의 변화에 따른 μ^* 와 $E[\pi(\mu)]$ 의 변화

N	n	d_0	q	Z	μ^*	$E[\pi(\mu)]$
100	10	0	0.0003813	3.366	1.01895	6616.37205
100	10	1	0.0076752	2.424	1.01365	6616.69215
100	10	2	0.018855	2.078	1.001170	6616.81285
100	20	0	0.000339	3.398	1.01913	6606.36322
100	20	1	0.0049399	3.390	1.01453	6606.76674
100	20	2	0.0099561	2.328	1.01311	6606.76674
100	30	0	0.0013062	3.010	1.01695	6596.47181
100	30	3	0.014118	2.194	1.01235	6596.78816
100	30	5	0.0299191	1.882	1.01060	6596.89948

위의 표[4.2]에서는 표본 크기(n)과 허용 한계 불량품 수(d_0)의 변화에 따른 공정 목표값(μ^*)과 총기대 이익($E[\pi(\mu)]$) 변화를 정리하였다.



그림[4.1] 검사 수준에 의한 공정 목표값의 변화

채취하는 표본의 크기에 따라, 그리고 허용 불량품의 수에 따라 공정 목표값과 총기대 이익은 영향을 받는다. 즉, 같은 표본의 크기의 경우 허용 불량품의 수가 많아 질수록 그 검사는 수월한 검사가 되므로 공정 평균의 값은 검사 규격 한계와 가까워지고 불량률이 증가한다. 또한 해당 로트의 합격 확률이 증가하게 되므로 정상가를 받고 판매되는 로트도 증가 할 것이고, 따라서 검사비용은 감소하게 되므로 총 기대 이익은 증가하게 될 것이다. 표본의 크기가 증가하는 경우는 허용 한계가 기존의 허용 한계가 같은 수로 정의 되어 있다면, 검사는 더 까다로운 검사가 되므로 최대 이익을 내기 위해서는 공정 목표값이 더욱 높게 선정되어야 한다. 또한 표본의 크기가 클수록 검사 비용이 많이 소요되므로, 총기대 이익은 더 낮아질 것이다.

위의 그림[4.1]에서 나타난 바와 같이 허용 불량품 수가 낮을수록 까다로운 검사가 되고, 까다로운 검사일수록 공정 목표값은 높게 선정된다. 다음에는 로트의 크기에 따른 공정 목표값의 변화를 표를 통하여 살펴보기로 하자.

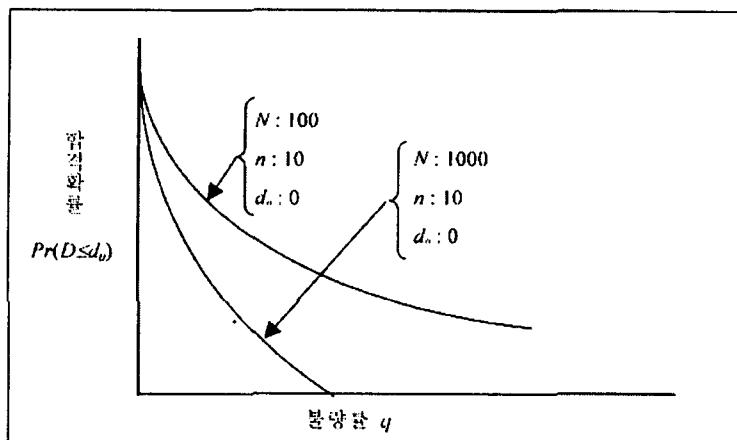
표[4.3] N 의 변화에 따른 μ^* 과 $E[\pi(\mu)]$ 의 변화

n	d_0	$N=100$		$N=1000$	
		μ^*	$E[\pi(\mu)]$	μ^*	$E[\pi(\mu)]$
10	0	1.01895	6616.37205	1.02026	66859.88051
10	1	1.01365	6616.69216	1.01547	66863.59373
10	2	1.01170	6616.81285	1.01254	66865.26764
20	0	1.01913	6606.36322	1.02026	66848.43683
20	1	1.01453	6606.64647	1.01653	66852.91968
20	2	1.01311	6606.76674	1.01388	66854.84506
30	0	1.01695	6596.47181	1.02026	66837.02746
30	3	1.01235	6596.78816	1.01311	66845.01991
30	5	1.01060	6596.89948	1.01085	66846.28651

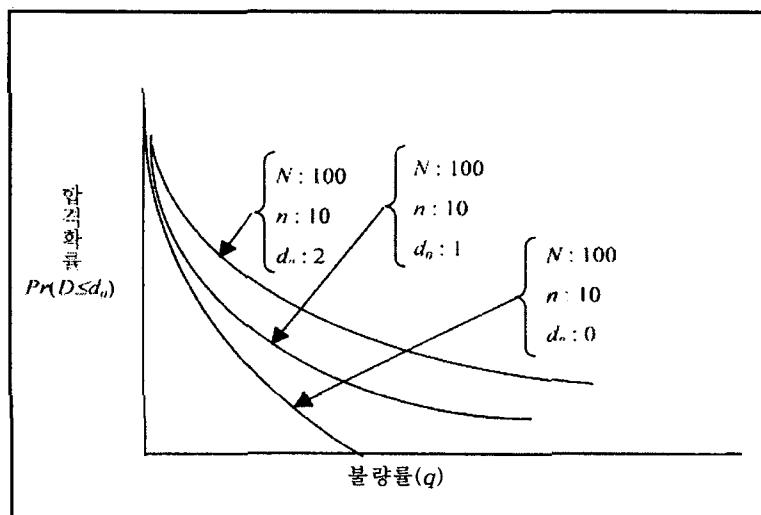
위의 표[4.3]은 로트 크기에 따른 최적 공정 목표값의 변화를 살펴본 표이다. 로트 크기가 더 큰 경우에 표본의 크기가 같고 허용 한계가 같다면, 이는 상대적으로 더 까다로운 검사를 실시하는 것으로 생각할 수 있다. 이러한 변화는 공정의 불량률을 더욱 낮추는 방향으로 움직일 것이며, 따라서 공정 목표값은 로트의 크기가 더 클수록 높게 나타난다. 이는 자재의 소요

비용보다 합격 판정을 받은 후 발생하는 이익이 훨씬 높게 증가하므로 공정의 총 기대이익은 로트의 크기의 비율 만큼을 곱한 것 보다 더 높게 나타날 것이며, 따라서 제품의 자재비용이 다소 더 소모된다 하더라도 더욱 높은 공정 목표값이 선호될 것이다.

위의 결과는 그림[4.2]와 그림[4.3]의 OC곡선을 통하여 살펴보면 더욱 이해가 빠를 것이다.



그림[4.2] 표본 크기와 허용 한계가 일정할 때 OC곡선



그림[4.3] 허용 한계에 따른 OC곡선

4.2.2 검사비용의 변화에 따른 공정 목표값과 총기대 비용의 변화

본 연구에서는 검사 비용의 변화에 따른 공정 목표값의 변화를 알아보기 위하여 로트의 크기(N)는 100으로 하고, 샘플의 크기와 허용 한계만을 변화 시키며, 기존의 C_i 가 1일 때와 비교를 하여 검사 비용의 변화에 따른 공정 목표값의 변화를 도표를 통하여 살펴보기로 한다.

표[4.4] C_i 변화에 따른 μ^* 와 $E[\pi(\mu)]$ 의 변화

n	d_0	$C_i=1$		$C_i=10$	
		μ^*	$E[\pi(\mu)]$	μ^*	$E[\pi(\mu)]$
10	0	1.01895	6616.37205	1.02026	6525.05199
10	1	1.01365	6616.69216	1.01722	6526.50681
10	2	1.01170	6616.81285	1.01374	6526.70639
20	0	1.01913	6606.36322	1.02026	6424.04046
20	1	1.01453	6606.64647	1.01833	6426.44765
20	2	1.01311	6606.76674	1.01518	6426.63068
30	0	1.01695	6596.47181	1.02026	6323.35048
30	3	1.01235	6596.78816	1.01396	6326.70391
30	5	1.01060	6596.89948	1.01156	6326.84720

위의 표 [4.4]는 검사 비용이 증가함에 따라 공정의 목표값은 역시 더 높게 설정된다. 그 이유를 살펴보도록 하자. 해당 로트가 불량으로 판정이 날 경우 전수 검사를 실시하여 양품과 불량품을 가려내는 시스템이므로 더 높은 공정 목표값에 의한 자재의 소요 비용 보다 검사 비용의 소모가 더 크게 나타나기 때문이다. 만약, 자재의 비용이 검사 비용보다 더 크게 작용을 한다면, 공정 목표값은 더 낮아질 것임을 예측할 수 있다.

4.2.3 정상가와 할인가 차이의 크기에 따른 공정 목표값과 총기대 비용의 변화

마지막으로 본 연구에서는 정상가와 할인가의 차이에 따른 공정 목표값의 변화를 살펴보도록 하자. 지금의 실험도 역시 로트 크기와 허용 한계를 기존의 경우와 같게 하고 오직 정상가와 할인가의 차이만을 조정하여 그 차이의 크기에 따른 공정 목표값의 변화를 살펴보고 그 결과를 분석 하기로 한다.

표[4.5] A_1 과 A_2 의 차이 변화에 따른 μ^* 와 $E[\pi(\mu)]$ 의 변화

n	d_0	$A_1=67.5, A_2=30$		$A_1=67.5, A_2=50$	
		μ^*	$E[\pi(\mu)]$	μ^*	$E[\pi(\mu)]$
10	0	1.01895	6616.37205	1.01895	6616.37205
10	1	1.01365	6616.69216	1.01365	6616.69216
10	2	1.01170	6616.81285	1.01156	6616.82949
20	0	1.01913	6606.36322	1.01913	6606.36322
20	1	1.01453	6606.64647	1.01453	6606.64647
20	2	1.01311	6606.76674	1.01311	6606.76674
30	0	1.01695	6596.47181	1.01695	6596.47181
30	3	1.01235	6596.78816	1.01190	6596.81144
30	5	1.01060	6596.89948	1.01033	6596.90967

위의 표[4.5]는 정상가는 그대로 둔 채로 할인가의 가격을 조금 높여서 그 변화를 살펴보는 실험을 수행하였다. 본 실험의 특이할 점은 표본의 크기를 10으로 두고 허용 한계를 0과 1로 두었을 때와 표본의 크기를 20으로 정하였을 때의 모든 경우에서, 그리고 표본의 크기가 30이고, 허용 한계가 0일 때의 값이 두 실험의 경우 모두 같게 나왔다는 점이다. 이는 다음과 같이 해석할 수 있다. 두 가지 실험의 값이 같은 결과를 갖는 경우는 공정의 관리가 엄격, 즉 까다로운 검사를 실시할 때이므로 제품의 할인가가 더욱 올랐더라도 제품의 공정의 불량률을 그대로 유지하여 정상가의 제품이 많이 생산되도록 하여 검사의 비용을 절감하는 것이 유리하게 작용하기 때문이다. 그러나 공정의 허용 불량수가 증가할수록 공정의 평균을 낮게 산정하여 몇몇의 불량이 생기더라도 할인가의 상승으로 더 높은 이익을 얻을 수 있다. 이러한 경우가 표본

의 크기가 10, 허용 불량수가 2인 경우와 표본의 크기가 30이고 허용 불량수가 3과 5인 경우에 해당한다.

5. 결론 및 추후 과제

본 연구는 생산 공정에서 제품의 품질을 높여서 소비자의 욕구를 만족시키며, 또한 이익을 최대로 하는 공정 목표값의 선정으로 생산성을 높이고, 생산자의 욕구 또한 만족시키기 위한 연구를 수행하였다. 본 연구의 품질 특성치는 용기에 충진물을 충진하는 시스템이므로 제한된 용기에서의 충진량으로 정의하며, 검사 규격 하한만을 적용한다. 그리고 공정의 편차는 공정 평균의 주위로 산포하는 성질을 감안하여, 공정의 평균을 최적화하는 문제를 다루었다. 또한, 품질 특성치는 정규 분포를 따르며, 표준 편차는 이미 알고 있다는 가정을 토대로 공정 평균을 최적화하였다. 본 연구에서는 제품이 규격 하한에 미치는지의 여부에 따라 합격·불합격이 결정되며, 불합격의 제품이 한계 불량품 수를 초과하면 해당 로트는 불합격 판정을 받으며, 불합격 판정을 받은 로트에 대해서는 전수 검사를 실시하고 합격의 제품은 정상가로 판매되고, 불합격 제품은 할인가로 판매되는 경우를 고려하였다. 또한, 판매로 얻은 이익과 검사 비용, 재고 비용 등을 고려하여 총기대 이익을 최대로 하는 공정 평균값을 찾는 문제를 고려하였다.

본 연구는 Boucher & Jafari[3]의 연구를 확장 시켜 검사비용을 고려하였고, 합격·불합격 로트의 처리 개선을 통해 공정 목표값을 최적화하였다.

향후 연구 과제로는 공정의 표준 편차는 이미 알고 있다는 가정을 개선하여 공정의 표준 편차를 모르고 있는 경우를 고려하고, 품질 특성을 측정하기 어려운 경우를 고려하여 검사의 오류가 발생할 수 있는 상황으로서의 확장된 고려가 요구된다.

참고 문헌

- [1] Chen, S. L. and Chung, K. J. (1996), Determination of the Optimal Production Run and The Most Profitable Process Mean for a Production Process, *International Journal of Production Research*, Vol. 34, No. 7, pp. 2051-2058.
- [2] 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.
- [3] Boucher, T. H. and Jafari, M. A. (1991), The Optimum Target Value for Single Filling Operations with Quality Sampling Plans, *Journal of Quality Technology*, Vol. 23, No. 1, pp. 44-47.
- [4] Al-Sultan, K. S. (1994), An Algorithm for the Determination of the Optimum Target Values for Two Machines in Series with Quality Sampling Plans, *International Journal of Production Research*, Vol. 32, No. 1, pp. 37-45.
- [5] Arcelus, F. J. and Rahim, M. A. (1991), Joint Determination for Optimum Variable and Attribute Target Means, *Naval Research Logistics*, Vol. 38, pp. 851-864.
- [6] Chen, W. H. (1996), The Effects if SPC on The Target of Process Quality Improvement, *Journal of Quality Technology*, Vol. 28, No. 2, pp. 224-232.
- [7] Chen, S. L. and Chung, K. J. (1996), Selection of the Optimal Precision Level and Target Value for a Production Process: the Lower-Specification-Limit Case, *IIE Transactions*, Vol. 28, pp. 979-985.
- [8] Bettes, D. C. (1962), Finding an Optimum Target Value in Relation to a Fixed Lower Limit and an Arbitrary Upper Limit, *Applied Statistics*, Vol. 11, pp. 202-210.

- [9] Carlsson, O. (1984), Determining the Most Profitable Process Level for a Production Process Under Different Sales Conditions, *Journal of Quality Technology*, Vol. 16, pp. 44-49.
- [10] Golhar, D. Y. (1987), Determining the Best Mean Contents for a Canning Problem., *Journal of Quality Technology*, Vol. 19, pp. 82-84.
- [11] Schmidt, R. L. and Pfeifer, P. E. (1989), An Economic Evaluation of Improvements in Process Capability for a Single Level Canning Problem, *Journal of Quality Technology*, Vol. 21, pp. 16-19.
- [12] Golhar, D. Y. and Pollock, S. M. (1988), Determination of the Optimum Process Mean and the Upper Limit for a Canning Problem, *Journal of Quality Technology*, Vol. 20, pp. 188-192.
- [13] Bisgarrd, S. Hunter, W. G. and Pallesen, L. (1984), Economic Selection of Quality of Manufactured Product, *Technometrics*, Vol. 26, No. 1, pp. 918.