▩ 연구논문

스크리닝 변수를 이용한 공정 평균 설정 : 검사 오류가 있는 경우

서영대 · 장중순
아주대학교 산업공학과

Determination of the Process Mean Based on Screening Variable with Inspection Error

Young-Dae Seo · Joong-Soon Jang
Dept. of Industrial Engineering, Ajou University

Abstract

This study is concerned with determination of an optimal target value in a filling process. Complete inspection procedures are widely used to improve outgoing quality of products. In many cases, however, it may be impossible or noneconomical to measure the quality characteristic, performance variable, directly. In such cases, it is a common practice to select an easily measurable variable which is highly correlated with the performance variable and perform screening products for the variable. This study proposes a model to determine the target value and the inspection rule based on the screening variable. This study deals with the cases in which rejected products would be scrapped and sold at a reduced price in secondary markets.

1. 서론

생산 공정을 통해 만들어지는 제품은 원료, 작업자 그리고 운영 상태의 변동 때문에 공정규격에서 종종 벗어난다. 공정규격을 만족하지 못한 제품은 재가공 또는 다른 용도로 사용되거나 폐기처분 된다. 더욱이 이러한 불량품이 검사 과정에서 발견되지 않고 소비자에게 판매되었을 때는 클레임(claim)을 야기하여 많은 비용을 발생시킨다. 그리고 이것은 비용뿐만 아니라 신용에 문제가 되어 커다란 손해를 가져오므로 생산자 입장에서는 불량률을 최대한 줄여야 한다.

예를 들어 고가의 원료를 필요로 하고 그 원료의 양에 대한 규격 하한이 존재하는 제품에 대하여 생각해 보자. 만일 공정 평균을 아주 높게 설정하면 불량품으로 인한 손실 비용은 줄어든다. 그러나 규격을 만족시키기 위해서 원료를 많이 사용하게 되면 그에 따른 초과비용이 발생될 것이다. 그러므로 규격 하한에 미달하는 제품에 대한 손실 비용과 초과로 사용된 원료로 인한 비용을 고려하여 공정평균을 설정하여야 할 것이다. 즉, 공정평균을 최적 수준으로 설정하여 기대 이익을 최대로 하는 것이 의사결정의 주 관심사이다. 이런 관점에서 주어진 규격을 만족하지 못할 때의 기대 이익을 최대로 하는 공정평균 문제에 대한 많은 연구가 있었다. Hunter 와 Kartha(1977)는 규격 하한이 존재하는 제품에 대해서 규격이 미달될 때 할인 시장에 판매함으로써 기대이익을 최대로 하는 공정 평균 문제를 다루었다. Carlsson(1984) 과 Bisgaard(1984)은 할인 시장에서 그 품질의 정도에 비례하거나 차별적으로 가격이 감소하는 경우에 대해서 공정 평균 문제를 다루었다. Golhar(1987)는 규격하한이 주어진 경우 규격에 미달하는 제품을 재 가공하는 문제를 다루었다. Golhar 와 Pollock(1988)은 캔 공정에서의 규격하한을 초과하는 제품이라도 내용물이 너무 많이 들어간 제품을 판매하는 것은 회사입장에서는 손해이므로, 내용물의 양에 대한 상한제한을 설정하여 공정평균 뿐 아니라 상한제한도 동시에 결정하는 문제를 다루었다. Carlsson(1989), Boucher 와 Jafari(1991), Arcelus 와 Rahim(1991) 은 샘플링을 이용하여 문제를 다루었다.

위의 연구들은 검사시 제품의 품질 특성을 직접 측정 할 수 있다고 가정하였으나, 현실 상황에서는 검사자 실수, 측정 기기의 측정 능력차등으로 인해 측정 오차가 수반하게 된다. 또한 품질 특성을 측정하는데 고가의 비용이 수반되는 경우도 있어서, 현실적으로는 비용이 적게 들고 제품 품질특성과 상관도가 높은 스크리닝 변수(screening variable)를 선정하여 공정 평균을 결정하고자 한다. Tang(1988)은 두단계에 걸쳐 스크리닝 변수를 이용한 방법을 제안하였고, Tang 과 Lo (1993)는 불합격된 제품에 대해서는 폐기처분을 하고, 검사비용을 고려할 때에 스크리닝 변수를 이용한 목표치 문제를 다루었으며, 홍성훈과 이민구(1994)는 불합격된 제품에 대해서는 재 가공하는 문제를 다루었다.

본 논문에서는 스크리닝 변수를 이용하여 검사를 할 경우 검사오류가 생겨서 이로인한 손실비용, 즉 클레임 비용이 발생한 경우에 대해 다루기로 한다. 이러한 검사오류로 인한 비용을 고려하여 단위 제품당 이익을 최대로 하는 공정평균과 검사기준을 결정하고자 한다. 이런 검사오류로 인한 비용이 일정한 경우와 선형인 경우에 대해 불량품이 폐기 처리되는 경우와 할인 시장에 판매되는 경우의 목표치를 결정하고자 한다.

2. 모형의 구성

2.1 기호 및 가정

본 논문에서 사용할 기호 및 가정은 다음과 같다.

기호:

Y : 품질 특성치

L : Y에 대한 규격 하한
X : 스크리닝 변수
w : 제품의 합격 · 불합격 여부를 판정하는 X의 기각치
c : 단위제품당 생산비용
d : 단위제품당 고정비용
Q : 제품의 정상 판매가격
R : 제품의 할인 판매가격
C_R : 클레임으로 인한 비용
s : 단위 제품당 폐기 처분 비용
$E(P)$: 기대 이익함수
$f(y)$: Y의 주변확률밀도함수
$m(x)$: X의 주변확률밀도함수
$g(x \mid y)$: $Y = y$일 때 X의 조건부확률밀도함수
$t(y \mid x)$: $X = x$일 때 Y의 조건부확률밀도함수
$h(x, y)$: X와 Y의 결합확률밀도함수
$\varphi(\cdot)$: 표준 정규분포
$\Phi(\cdot)$: 누적 정규분포
$\Psi(\cdot, \cdot, \rho)$: 상관계수 ρ를 갖는 표준이변량정규분포의 누적분포함수

가정:

1. 제품은 전수검사를 실시한다.
2. 제품 규격의 하한값만을 고려 대상으로 한다.
3. 검사 비용은 고려하지 않는다.
4. 단위당 생산비용은 투입된 원료량에 비례한다.
5. 공정의 평균수준과 분산은 제품 양이나 시간에 의해 변하지 않는다.
6. 품질 특성치는 평균 μ_y, 분산 σ_y^2인 정규분포, 즉 $f(y) \sim N(\mu_y, \sigma_y^2)$이다. 그리고 σ_y^2은 알고 있다.
7. $Y = y$일 때 이의 측정값 X는 평균 y, 분산 σ_m^2인 정규분포, 즉 $g(x \mid y) \sim N(y, \sigma_m^2)$이다. 그리고 σ_m^2은 알고 있다.

2.2 검사 모형

우리가 관심있는 품질 특성치를 Y라 하고 Y에 대한 규격하한 L이 존재한다. Y는 평균 μ_y와 분산 σ_y^2인 정규분포를 따르며 분산은 알려져 있다고 생각한다. 생산되는 모든 제품은 출하되기전에 검사하여 규격에 맞는지를 검사한다. 본 논문에서는 Y와 상관도가 높은 변수 X를 선정하여 제품을 검사하고자 한다.

$f(y)$를 Y의 주변확률밀도함수, $g(x \mid y)$를 $Y = y$일 때 X의 조건부확률밀도함수라 할 때, X와 Y의 결합확률밀도함수 $h(x, y)$는

$$h(x, y) = g(x \mid y) f(y), \tag{1}$$

이 되고, 이 때 $h(x, y)$는 평균 (μ_y, μ_y), 분산 $(\sigma_y^2, \sigma_y^2+\sigma_m^2)$, 그리고 상관계수 $\rho = \sqrt{\frac{\sigma_y^2}{(\sigma_y^2+\sigma_m^2)}}$ 를 갖는 이변량정규분포임을 보일 수 있다. 이에 대한 상세한 내용은 홍성훈과 이민구(1994)를 참조하기 바란다. 또한 X의 주변확률밀도함수 $m(x)=\int_{-\infty}^{\infty} h(x, y)dy$는 평균 μ_y, 분산 $\sigma_y^2+\sigma_m^2$인 정규분포임을 알 수 있다. 만약에 $X \geq w$ 이면, $Y \geq L$ 인 것으로 생각하여 Q의 가격으로 판매된다. 그러나, X와 Y가 완전하게 관련된 것이 아니어서 $X \geq w$ 이지만 $Y < L$인 불량품이 포함될 수 있으며, 이로 인한 손실비용이 발생한다. $X < w$인 제품은 폐기처분되거나 할인시장에 판매된다.

손실 비용은 클레임 비용이다. 이러한 클레임 비용은 제품이 소비자의 욕구를 충족시키지 못했을 때 발생한다. 클레임이 불량의 정도에 상관없이 일정하게 발생하거나, 불량의 정도에 관련하여 비례적으로 발생하기도 한다.

이 비용을 수식으로 표현해 보면 다음과 같다.

$$C_R = \begin{cases} r & \text{, 클레임 비용이 일정한 경우} \\ b(L-y) & \text{, 클레임 비용이 선형인 경우} \end{cases} \tag{2}$$

3. 불량품을 폐기처분하는 경우

3.1 클레임 비용이 일정한 경우의 이익함수

불량품을 폐기처분하고, 클레임 비용이 일정한 경우의 이익함수는

$$P = \begin{cases} Q-cy-d & y \geq L,\ x \geq w, \\ Q-cy-d-r & y < L,\ x \geq w, \\ -cy-d-s & y \geq L,\ x < w, \\ -cy-d-s & y < L,\ x < w, \end{cases} \tag{3}$$

이 된다. (3)식으로부터 기대이익함수는

$$\begin{aligned} E(P) = & \int_w^{\infty} \int_L^{\infty} [Q-cy-d] \cdot h(x, y)dydx \\ & + \int_w^{\infty} \int_{-\infty}^{L} [Q-cy-d-r] \cdot h(x, y)dydx \\ & + \int_{-\infty}^{w} \int_L^{\infty} [-cy-d-s] \cdot h(x, y)dydx \\ & + \int_{-\infty}^{w} \int_{-\infty}^{L} [-cy-d-s] \cdot h(x, y)dydx \\ = & \int_w^{\infty} \left[Q-c\left(\mu_y+\rho \frac{\sigma_y}{\sqrt{\sigma_y^2+\sigma_m^2}}(x-\mu_y)\right)-d \right] \cdot m(x)dx \end{aligned} \tag{4}$$

$$+\int_{-\infty}^{w}\left[-c\left(\mu_y+\rho\frac{\sigma_y}{\sqrt{\sigma_y^2+\sigma_m^2}}(x-\mu_y)\right)-d-s\right]\cdot m(x)\,dx \tag{5}$$

$$-r\Psi\left(\frac{\mu_y-w}{\sqrt{\sigma_y^2+\sigma_m^2}},\frac{L-\mu_y}{\sigma_y},-\rho\right)$$

$$=Q\Phi\left(\frac{\mu_y-w}{\sqrt{\sigma_y^2+\sigma_m^2}}\right)-s\Phi\left(\frac{w-\mu_y}{\sqrt{\sigma_y^2+\sigma_m^2}}\right)-c\mu_y-d \tag{6}$$

$$-r\Psi\left(\frac{\mu_y-w}{\sqrt{\sigma_y^2+\sigma_m^2}},\frac{L-\mu_y}{\sigma_y},-\rho\right)$$

이 된다. 이를 정리하면

$$E(P)=Q\Phi(\eta)-s\Phi(-\eta)-c(\sigma_y\delta+L)-d-r\Psi(\eta,-\delta,-\rho) \tag{7}$$

가 된다.
이때, (7)식에서의 η와 δ는 다음과 같다.

$$\eta=\frac{\mu_y-w}{\sqrt{\sigma_y^2+\sigma_m^2}},\quad \delta=\frac{\mu_y-L}{\sigma_y} \tag{8}$$

(7)식의 최적값을 얻기 위해

$$\frac{\partial\Psi(-\delta,\eta,-\rho)}{\partial\delta}=0,\ \frac{\partial\Psi(-\delta,\eta,-\rho)}{\partial\eta}=0 \tag{9}$$

을 만족하는 η와 δ를 구하면 된다.
(7)식을 δ와 η에 대해 편미분하기 위하여 다음의 관계식을 이용한다.

$$\frac{\partial\Psi(-\delta,\eta,-\rho)}{\partial\delta}=-\Phi\left(\frac{\eta-\rho\delta}{\sqrt{1-\rho^2}}\right)\varphi(\delta), \tag{10a}$$

$$\frac{\partial\Psi(-\delta,\eta,-\rho)}{\partial\eta}=\Phi\left(\frac{-\delta+\rho\eta}{\sqrt{1-\rho^2}}\right)\varphi(\eta), \tag{10b}$$

(10a)식과 (10b)식을 이용하여 (7)식을 편미분하면 다음의 식을 얻을 수 있다.

$$\frac{\partial E(p)}{\partial\eta}=(Q+s)\varphi(\eta)-r\Phi\left(\frac{-\delta+\rho\eta}{\sqrt{1-\rho^2}}\right)\varphi(\eta), \tag{11a}$$

$$\frac{\partial E(p)}{\partial \delta} = -c\sigma_y + r\Phi\left(\frac{\eta-\rho\delta}{\sqrt{1-\rho^2}}\right)\varphi(\delta), \tag{11b}$$

(11a)식과 (11b)식에서 최적값을 얻기 위해 양변을 0으로 하여 관계식을 풀면 다음의 식을 얻을 수 있다.

$$\Phi\left(\frac{\delta-\rho\eta}{\sqrt{1-\rho^2}}\right) = \frac{r-Q-s}{r} \tag{12a}$$

$$\Phi\left(\frac{\eta-\rho\delta}{\sqrt{1-\rho^2}}\right) = \frac{c\sigma_y}{r\cdot\varphi(\delta)} \tag{12b}$$

기대이익함수 (7)식이 η와 δ에 대하여 위로 볼록한 단봉함수라면 최적값이 있을것이나 기대이익함수에 $\Phi(\eta)$와 $\Psi(\eta, -\delta, -\rho)$ 항을 포함하고 있으므로, 기대이익함수가 위로 볼록한 단봉함수임을 수학적으로 증명하기가 어렵다. 그래서, 위의 식에 만족하는 η와 δ를 찾기 위해서는 η와 δ값을 조금씩 변화시키면서 수치해석적 방법을 이용하여 구한다. 그러나, (12a)식과 (12b)식이 비선형이어서 상관계수가 낮은 경우에는 최적인 η와 δ를 구하기가 어렵다.

(12a)식과 (12b)의 식을 풀기 위해

$$Z_1^* = \Phi^{-1}\left[\frac{r-Q-s}{r}\right] \tag{13a}$$

$$Z_2^* = \Phi^{-1}\left[\frac{c\sigma_y}{r\cdot\varphi(\delta)}\right] \tag{13b}$$

라고 하면,

$$\eta = \frac{Z_2^* + \rho Z_1^*}{\sqrt{1-\rho^2}} \tag{14a}$$

$$\delta = \frac{\rho Z_2^* + Z_1^*}{\sqrt{1-\rho^2}} \tag{14b}$$

가 된다.

그러므로, 공정평균 μ_y와 검사기준 w의 값은 다음과 같다.

$$\mu_y = \delta^*\sigma_y + L \tag{15}$$

$$w = \mu_y - \eta^* \sqrt{\sigma_y^2 + \sigma_m^2} \tag{16}$$

이때, η^*와 δ^*, Z_1^*, Z_2^*는 (14a)식과 (14b)식, (13a)식과 (13b)식을 동시에 만족한다.

위의 식들을 만족하는 η와 δ에 대해서 C 프로그램을 이용하여 구해보면 다음과 표를 얻을 수 있다. 그러므로 실제 적용상에는 적합한 숫자를 찾아 대입해 보면 될 것이다.

〈 표 1 〉 Z_1, Z_2에 해당하는 η와 δ의 값

Z_1 \ Z_2		0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
0.0	η	0.000	0.459	0.918	1.377	1.836	2.294	2.753	3.212	3.671	4.130	4.588
	δ	0.000	0.413	0.826	1.239	1.652	2.065	2.478	2.891	3.304	3.717	4.130
0.2	η	0.413	0.872	1.331	1.789	2.248	2.707	3.166	3.625	4.084	4.542	5.001
	δ	0.459	0.872	1.285	1.698	2.111	2.524	2.937	3.350	3.762	4.175	4.588
0.4	η	0.826	1.285	1.744	2.202	2.661	3.120	3.579	4.038	4.497	4.955	5.414
	δ	0.918	1.331	1.744	2.157	2.570	2.982	3.395	3.808	4.221	4.634	5.047
0.6	η	1.239	1.698	2.157	2.615	3.074	3.533	3.992	4.451	4.910	5.368	5.827
	δ	1.377	1.789	2.202	2.615	3.028	3.441	3.854	4.267	4.680	5.093	5.506
0.8	η	1.652	2.111	2.570	3.028	3.487	3.946	4.405	4.864	5.322	5.781	6.240
	δ	1.835	2.248	2.661	3.074	3.487	3.900	4.313	4.726	5.139	5.552	5.965
1.0	η	2.065	2.524	2.982	3.441	3.900	4.359	4.818	5.277	5.735	6.194	6.653
	δ	2.294	2.707	3.120	3.533	3.946	4.359	4.772	5.185	5.598	6.011	6.424
1.2	η	2.478	2.937	3.395	3.854	4.313	4.772	5.231	5.690	6.148	6.607	7.066
	δ	2.753	3.166	3.579	3.992	4.405	4.818	5.231	5.644	6.057	6.450	6.883
1.4	η	2.891	3.350	3.808	4.267	4.726	5.185	5.644	6.103	6.561	7.020	7.479
	δ	3.212	3.625	4.038	4.451	4.863	5.277	5.690	6.103	6.515	6.928	7.341
1.6	η	3.304	3.762	4.221	4.680	5.139	5.598	6.057	6.515	6.974	7.433	7.892
	δ	3.671	4.084	4.497	4.910	5.322	5.735	6.148	6.561	6.974	7.387	7.800
1.8	η	3.717	4.175	4.634	5.093	5.552	6.011	6.470	6.928	7.387	7.846	8.305
	δ	4.130	4.542	4.955	5.368	5.781	6.194	6.607	7.020	7.433	7.846	8.259
2.0	η	4.130	4.588	5.047	5.506	5.965	6.424	6.883	7.341	7.800	8.259	8.718
	δ	4.588	5.001	5.414	5.827	6.240	6.653	7.066	7.479	7.892	8.305	8.718

〈표 1〉은 먼저 Z_1과 Z_2 값을 구한 뒤(정규분포표에서 구할 수 있다) 거기에 해당하는 η와 δ를 읽는다.

3.2 클레임 비용이 선형인 경우의 이익함수

불량품을 폐기처분하고, 클레임 비용이 선형인 경우의 이익함수는

$$P = \begin{cases} Q-cy-d & y \geq L,\ x \geq w, \\ Q-cy-d-b(L-y) & y < L,\ x \geq w, \\ -cy-d-s & y \geq L,\ x < w, \\ -cy-d-s & y < L,\ x < w, \end{cases} \tag{17}$$

이 된다. (17)식으로부터 기대이익함수는

$$\begin{aligned} E(P) &= \int_w^\infty \int_L^\infty [Q-cy-d] \cdot h(x, y)dydx \\ &+ \int_w^\infty \int_{-\infty}^L [Q-cy-d-b(L-y)] \cdot h(x, y)dydx \\ &+ \int_{-\infty}^w \int_L^\infty [-cy-d-s] \cdot h(x, y)dydx \\ &+ \int_{-\infty}^w \int_{-\infty}^L [-cy-d-s] \cdot h(x, y)dydx \end{aligned} \tag{18}$$

가 된다.
위의 식을 풀기 위해서 다음과 같은 식을 이용한다.

$$\int_w^\infty x \frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\sigma} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(x-\mu)^2} dx = \sigma\varphi\left(\frac{w-\mu}{\sigma}\right) + \mu\Phi\left(\frac{w-\mu}{\sigma}\right) \tag{19}$$

(19)식을 이용하여 (18)식을 정리하면 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} E(P) &= Q\Phi\left(\frac{\mu_y - w}{\sqrt{\sigma_y^2+\sigma_m^2}}\right) - s\Phi\left(\frac{w-\mu_y}{\sqrt{\sigma_y^2+\sigma_m^2}}\right) - c\mu_y - d \\ &+ b\left(\mu_y - \rho\frac{\sigma_y}{\sqrt{\sigma_y^2+\sigma_m^2}}\mu_y\right)\Phi\left(\frac{\mu_y - w}{\sqrt{\sigma_y^2+\sigma_m^2}}\right) \\ &+ b\rho\frac{\sigma_y}{\sqrt{\sigma_y^2+\sigma_m^2}}\left\{\mu_y\Phi\left(\frac{\mu_y - w}{\sqrt{\sigma_y^2+\sigma_m^2}}\right) + \sqrt{\sigma_y^2+\sigma_m^2}\left(\frac{\mu_y - w}{\sqrt{\sigma_y^2+\sigma_m^2}}\right)\right\} \\ &- bL\Psi\left(\frac{\mu_y - w}{\sqrt{\sigma_y^2+\sigma_m^2}}, \frac{L-\mu_y}{\sigma_y}, -\rho\right) \end{aligned} \tag{20}$$

(20)식을 3.1절에서 설명한 방법과 동일한 과정을 거쳐서 편미분하면 다음의 결과를 얻는다.

$$\Phi\left(\frac{\delta-\rho\eta}{\sqrt{1-\rho^2}}\right)=1-\frac{Q+s+b\sigma_y(\rho+\delta)}{bL} \tag{21a}$$

$$\Phi\left(\frac{\eta-\rho\delta}{\sqrt{1-\rho^2}}\right)=\frac{\sigma_y(c-b\Phi(\eta))}{b\cdot\varphi(\delta)} \tag{21b}$$

그러므로, 공정평균 μ_y는 (15)식이 되고, 검사기준 w의 값은 (16)식이 된다. η는 (14a)식이 되고, δ는 (14b)식이 된다.
이때,

$$Z_1^*=\Phi^{-1}\left[1-\frac{Q+s+b\sigma_y(\rho+\delta)}{bL}\right] \tag{22a}$$

$$Z_2^*=\Phi^{-1}\left[\frac{\sigma_y(c-b\Phi(\eta))}{b\cdot\varphi(\delta)}\right] \tag{22b}$$

이다.
이 경우에도 Z_1과 Z_2에 대해 〈표 1〉에서 η와 δ를 선택하여 대입하면 공정평균과 검사기각치를 구할 수 있다.

3.3 불량품을 할인시장에 판매하는 경우

이 경우에는 불량품을 폐기처분하는 경우에서 폐기처분 비용 대신 할인가격의 부호를 바꾸어 대입하면 같은 결과를 얻을 수 있다.

3.3.1 클레임 비용이 일정한 경우

이때의 Z_1과 Z_2는 다음과 같이 산정할 수 있다.

$$Z_1^*=\Phi^{-1}\left[1-\frac{Q-R}{r}\right] \tag{23a}$$

$$Z_2^*=\Phi^{-1}\left[\frac{c\sigma_y}{r\varphi(\delta)}\right] \tag{23b}$$

3.3.2 클레임 비용이 선형인 경우

이때의 Z_1과 Z_2는 다음과 같이 산정할 수 있다.

$$Z_1^*=\Phi^{-1}\left[\frac{Q-R+b\sigma_y(\rho+\delta)}{bL}\right] \tag{24a}$$

$$Z_2^*=\Phi^{-1}\left[\frac{\sigma_y(c-b\Phi(\eta))}{bL\varphi(\delta)}\right] \tag{24b}$$

5. 예제

Golhar(1987)의 논문에서 사용한 예를 약간의 수정을 가해서 여기서 인용하기로 한다. 불량품을 폐기처분하고 클레임 비용이 일정한 경우에 대해서 생각해 보기로 하자. 제품의 판매가격 $Q=230$(천원, 이하 단위는 천원으로 한다), 단위당 생산비용 $c=20$, 규격하한 $L=10$이고 공정의 분산 $\sigma_y^2=0.04$ 이다. 이때의 클레임 비용 $r=500$이고 불량품 폐기처리 비용 $s=10$이다. 그리고 스크리닝 변수의 분산 $\sigma_m^2=0.001$ 이다. X와 Y의 상관계수가 0.9 이다.

이때의 Z_1과 Z_2를 구해보면, 각각 0.0502와 1.2798가 된다. η와 δ를 구하기 위해 표에서 찾아보면 3.0396과 2.7581을 얻을 수 있다. 표에서 정확한 값이 주어지지 않는 경우에는 보간법을 이용하여 구하면 된다.

η와 δ를 구하였으므로, (15)식과 (16)식을 이용하여 최적 공정평균 $\mu_y^*=10.5516$와 최적 검사기각치 $w^*=9.8720$ 을 구하였다.

상관계수가 공정평균과 검사기각치에 대해서 영향을 많이 미치므로, 다른 상관계수값을 가질때를 구해보면 다음과 같다.

〈 표 2 〉 상관계수 값에 따른 공정평균과 검사기각치

상관계수	Z_1	Z_2	η	δ	검사기각치	공정평균
0.78	0.0502	0	0.0625	0	10	10
0.80	0.0502	2.0286	3.4479	2.7885	9.7867	10.5577
0.82	0.0502	2.0286	3.6162	2.7885	9.7867	10.5577
0.84	0.0502	1.7370	3.2789	2.7811	9.8230	10.5562
0.86	0.0502	1.7370	3.4884	2.7811	9.8230	10.5562
0.88	0.0502	1.4368	3.1180	2.7680	9.8564	10.5536
0.90	0.0502	1.2798	3.0396	2.7581	9.8720	10.5516
0.92	0.0502	1.2798	3.3832	2.7851	9.8720	10.5516
0.94	0.0502	0.9366	2.8835	2.7268	9.9006	10.5454
0.96	0.0502	0.7353	2.7981	2.7006	9.9144	10.5401
0.98	0.0502	0.4889	2.7036	2.6588	9.9272	10.5318

위에서 보는 바와같이 상관관계가 높을수록 이에따른 검사기각치는 높아지고 공정평균값은 낮아짐을 알 수 있다. 그러나, 상관계수가 0.8 보다 작은 경우에는 최적인 공정평균과 검사기각치를 찾을 수가 없다. 그러므로, 상관관계가 높은 변수를 선정하는 것이 중요한 것임을 알 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 스크리닝 변수를 이용하여 제품 검사시, 이로 인한 오류가 존재하는 경우의 2가지 상황에서 단위시간당 평균이익을 최대로 하는 새로운 검사한계와 공정 평균 수준을 결정하는 문제를 다루었다. 제품의 스크리닝 변수 X와 품질 특성치 Y는 모두 정규분포를 따르고 각각의 분산은 알고 있다고 가정하였다. 공정 평균과 검사 기각치를 결정하는데 영향을 미치는 η와 δ를 구하는데 있어, 수치해석적인 방법을 사용하였고 함수가 비선형이어서 상관계수가 낮으면 최적값을 구할 수가 없음을 보였다. 그러므로, 높은 상관관계를 갖는 변수를 선정하는 것이 매우 중요함을 알 수 있다.

스크리닝을 이용한 경우에는 제품 품질 특성치를 직접 측정한 경우보다 평균값이 높게 설정이 되는데 이는 스크리닝으로 인한 오류를 감안한 것이라고 볼 수 있다.

참고문헌

[1] 홍성훈, 이민구 (1994), "캔 공정의 최적공정평균을 결정하는 데 있어서 측정 오차의 영향," 품질경영학회지, Vol. 22, No. 2, pp. 41−50.

[2] Arcelus, F. J. and Rahim, M. A. (1991), "Joint Determination of Optimum Variable and Attribute Target Means," *Naval Research Logistics*, Vol. 38, pp. 851−864.

[3] Bisgaard, S., Hunter, W. G. and Pallesen, L. (1984), "Economic Selection of Quality of Manufactured Product," *Technometrics*, Vol. 26, pp. 9−18.

[4] Boucher, T. O. and Jafari, M. A. (1991), "The Optimum Target Value for Single Filling Operations with Quality Sampling Plans," *Journal of Quality Technology*, Vol. 23, pp. 44−47.

[5] 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.

[6] Carlsson, O. (1989), "Economic Selection of a Process Level under Acceptance Sampling by Variables," *Engineering Costs a Production Economics*, Vol. 16, pp. 69−78.

[7] Golhar, D. Y. (1987), "Determination of the Best Mean Contents for a Canning Problem," *Journal of Quality Technology*, Vol. 19, pp. 82−84.

[8] Golhar, D. Y. and Pollock, S. M. (1988), "Determination of Optimal Process Mean and the Upper Limit for a Canning Problem," *Journal of Quality Technology*, Vol. 20, pp. 188−192.

[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, pp. 176−180.

[10] 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.

[11] Tang, K. and Lo, J. J. (1993), "Determination of the Optimal Process Mean when Inspection is based on a Correlated Variable," *IIE Transaction*, Vol. 25, pp. 66−72.