⊠연구논문

不合格 製品을 再加工하거나 割引販賣하는 生産工程에 대한 工程平均의 經濟的 決定

이민구
서원대학교 경영학과
최인수
한국과학기술원 산업경영연구소
하태용
전주공업전문대학 산업경영과

Determining the most profitable process mean for a production process where rejected item is sold at a reduced price or reworked

Min-Koo Lee
Dept. of Business Administration, Seowon University
In-Su Choi
Industrial Engineering and Management Research Center Institute
Tae-Yong Ha
Dept. of Industrial Engineering, Jeonju Technical College

Abstract

The problem of selecting optimal target values for the mean of the quality characteristic of interest for a production process in which an item is sold in one of two market with different profit / cost structures or reworked.

Two profit models are constructed which involve four profit / cost components: profit, production, inspection, and rework costs. Assumed that the quality characteristic of interest is normally distributed, methods of finding the most profitable process mean are presented and a numerical example is given.

1. 서론

최근 공장자동화와 더불어 자동검사장치(Automatic Testing Equipments)의 발달로 인해 생산된 제품의 출검품질을 높이기 위한 전수선별검사가 산업현장에서 널리 사용되어지고 있다(Robinson & Miller, 1989). 생산공정에서 만들어지는 제품중 규격을 만족시키는 제품은 합당한 가격에 판매되나, 규격을 만족시키지 못하는 제품은 재가공 또는 의도한 목적이 아닌 다른 용도에 사용, 할인판매 또는 폐기처분 된다. 더우기 공정에서 생산된 불량품이 검사과정에서 발견되지 않고 최종소비자에게 판매된 경우는 불량품의 교환등을 포함한 많은 비용들이 들어가기 때문에 제품을 생산하는 회사입장에서는 제품의 불량률을 줄여야 한다. 예를 들어 어떤 제품의 주성분 함량의 규격하한이 주어지고 주성분이 고가인 경우, 만일 주성분의 함량을 결정하는 공정평균을 낮게 설정하면 함량부족에 따른 불량품으로 인한 손실비용이 늘어나고, 반대로 공정평균을 높게 설정하면 불량품으로 인한 손실비용은 줄어드나, 초과해서 들어간 주성분 양으로 인해 많은 비용이 들게 될 것이다. 이와 같이 규격을 만족하는 제품과 만족하지 못하는 제품은 각각 다른 형태의 이익함수를 갖게 되며 따라서 제품당 기대이익을 최대로 하는 공정평균의 설정문제가 발생하게 된다. 이러한 점에 근거해서 주어진 규격의 형태와, 규격을 만족하는 제품과 만족하지 못하는 제품의 이익함수 형태에 따라 제품당 기대이익을 최대로 하는 공정평균을 결정하는 문제에 대하여 많은 연구가 진행 되어 왔다.

Springer(1951)는 제품에 대한 규격하한과 상한이 있고, 규격하한에 미달되는 제품과 규격상한을 넘는 제품의 손실비용이 서로 다른 경우 총비용을 최소화 하는 공정평균을 결정하는 문제를 다루었고, Betts(1962)는 규격하한이 주어진 문제에서 규격하한에 미달하거나 상한제한(Upper Limit)을 넘는 제품은 재가공할 때 기대이익을 최대로 하는 공정평균과 상한제한을 결정하는 문제를 다루었다. Hunter & Kartha (1977)는 규격하한만이 있는 경우 규격을 만족하는 제품은 일정한 가격에 판매하고 규격에 미달하는 제품은 할인하여 판매 할 때 제품당 기대이익을 최대로 하는 공정평균을 결정하는 문제를 다루었다. Bisgaard 등(1984)은 규격하한을 만족하는 제품은 일정한 가격에 판매하고 규격하한에 미달되는 제품은 미달되는 정도에 비례해서 제품의 판매 가격이 감소하는 경우에 대해서 다루었고, Carlsson(1984)은 규격하한을 만족하는 제품은 규격하한을 초과하는 양에 비례하여 판매하고 규격하한에 미달되는 제품은 미달되는 정도에 비례해서 제품의 판매가격이 감소하는 경우 최적공정평균을 설정하는 문제를 다루었다. Golhar(1987)은 규격하한이 주어진 경우, 규격하한을 넘는 제품은 일정한 가격에 판매하고 규격하한에 미달되는 제품은 재가공하는 문제를 다루었다. 또한 Golhar & Pollock(1988)은 Golhar(1987)의 문제를 확장하여 규격하한에 미달하거나 상한제한을 넘는 제품은 재가공하고 규격하한을 넘고 상한제한에 미달하는 제품은 일정한 가격으로 판매할 때 최적공정평균과 상한제한을 동시에 설정하는 문제를 다루었다. 또한 Schmidt & Pfeifer(1991)는 캔 공정에서 생산능력이 제한되어 있는 경우 최적공정평균과 상한제한을 결정하였으며, Boucher & Jafari(1991)는 계수형 샘플링 검

사에 기초해 제품의 품질을 검사할 때 공정평균과 로트의 합격·불합격 판정기준을 동시에 결정하는 문제를 다루었다. Arcelus & Banerjee(1985), Lee & Bai(1994), Drezner & Wesolowsky(1989)등은 공정평균이 선형적으로 변하는 경우 초기공정평균과 공정평균의 재설정시간을 결정하는 문제를 다루었다.

이밖에 제품의 주 품질특성치를 직접 측정하는 대신에 이와 상관관계가 높은 대용 품질특성치를 이용하여 검사하는 경우에 대해서 Tang & Lo(1993)는 대용 품질특성치로 검사하고 규격하한만이 있는 경우, 규격을 만족하는 제품은 일정한 가격에 판매하고 규격에 미달하는 제품은 폐기할 때 제품당 기대이익을 최대로하는 공정평균과 대용 품질특성치의 검사기준값을 결정하는 문제를 다루었다. Bai & Lee(1993)는 대용품질특성치로 검사하고 규격하한만이 있는 경우, 규격을 만족하는 제품은 일정한 가격에 판매하고 규격에 미달하는 제품은 재가공하는 상황에서 제품당 기대이익을 최대로하는 공정평균과 대용 품질특성치의 검사기준값을 설정하는 문제를 연구했다. 또한 Lee & Kim(1994)은 대용품질특성치로 검사하고 규격하한과 조정가능한 상한치가 있는 경우, 규격하한과 조정가능한 상한치 사이에 있는 제품은 일정한 가격에 판매하고 규격하한에 미달 하거나 조정가능한 상한치를 초과하는 제품은 재가공 할 때 제품당 기대이익을 최대로하는 공정평균과 대용 품질특성치의 검사기준값 및 조정가능한 상한치를 동시에 설정하는 문제를 다루었다. 이밖에도 대용품질특성를 이용한 생산공정의 최적공정 평균에 관한 연구가 Lee & Jang(1997), Hong등(1998)에 의해 최근까지도 활발하게 진행되었다.

앞에서 연구되어진 대부분의 연구들은 검사를 받은 제품이 합격·불합격의 두 가지 형태로 판정하는 문제만을 다루었다. 그러나 화학제품과 같이 어떤 주성분의 함량에 따라 제품을 합격·불합격으로 처리하는 것 보다는 여러등급으로 나누고 각 등급에 맞게 제품의 사용용도나 판매시장을 결정하는 것이 보다 경제적 일 수 있다.

본 연구에서는 이러한 점에 근거하여 제품을 전수선별검사하는 생산공정에서 제품의 품질을 좋은제품, 중간제품, 할인판매 제품 또는 재가공 제품으로 구분하여 처리하는 경우에 대해서 제품의 판매이익, 생산비용 및 검사비용을 포함한 제품당 기대이익을 최대로 하는 공정평균을 설정하는 문제를 다루고자 한다.

2. 모형구성

본 논문에서 사용하는 기호와 가정은 다음과 같다.

기호 :

X : 제품의 품질특성치

X_r : 재가공한 제품의 품질특성치

L_i : 제품의 i등급에 대한 규격하한, i=1, 2

μ : 제품의 품질특성치를 결정하는 공정평균
$f(x)$: X의 주변확률밀도함수
$\phi(\cdot)$, $\Phi(\cdot)$: 표준정규분포의 확률밀도함수와 누적분포함수
a_i : i등급의 제품에 대한 판매가격, i=1, 2
c_0 : 제품당 고정비용(fixed cost)
c : 단위당 생산비용
c_I : 제품당 검사비용
r : L_2에 미달하는 제품의 재가공비용
s : L_2에 미달하는 제품의 할인가격

가정 :
i) 제품의 품질특성치 X는 평균 μ이고 분산이 σ^2인 정규분포, 즉 $f(x) \sim N(\mu, \sigma^2)$이다. 또한 σ^2은 알고 있다.
ii) 제품은 전수선별검사한다.
iii) X와 X_r는 서로 독립이며 동일한 분포를 따른다.

2.1 재가공 모형

제품의 품질특성치를 X라 하고 X에 대한 규격하한 $L_i(i$=1, 2)이 존재한다고 하자. 생산된 모든제품의 품질특성치를 검사하여 $X \geq L_1$이면 a_1의 가격에 판매하고, $L_2 \leq X < L_1$인 제품은 a_2의 가격으로 판매하며, 또한 $X < L_2$인 제품은 r의 비용으로 재가공한다. 제품의 생산비용을 $c_o + cx$라고 하면, 이 때 제품당 이익함수 $P_1(X; \mu)$는

$$P_1(X; \mu) = \begin{cases} a_1 - c_0 - cx - c_I, & X \geq L_1 \\ a_2 - c_0 - cx - c_I, & L_2 \leq X < L_1 \\ P_1(X_r, \mu) - r - c_I, & o/w. \end{cases} \tag{1}$$

이 된다. 여기서 $P_1(X_r, \mu)$은 재가공된 제품의 이익함수이다. X와 X_r는 서로 독립이므로 $E[P_1(X, \mu)] \equiv E[P_1(X_r, \mu)]$ 이다. 따라서 식 (1) 로부터 제품당 기대이익함수 $E[P_1(X; \mu)]$는

$$
\begin{aligned}
E[P_1(X;\mu)] &= \int_{L_1}^{\infty}(a_1-c_0-cx-c_I)f(x)\,dx \\
&+ \int_{L_2}^{L_1}(a_2-c_0-cx-c_I)f(x)\,dx \\
&+ \int_{-\infty}^{L_2}[E(P_1(X;\mu))-r-c_I]f(x)\,dx
\end{aligned} \tag{2}
$$

이 되고, 이를 다시 정리하면

$$
\begin{aligned}
E[P_1(X;\mu)] &= [a_1\Phi(-\eta)+a_2(\Phi(\eta)-\Phi(\eta-\omega)) \\
&-(c_0+c(L_1-\eta\sigma))\Phi(\omega-\eta) \\
&-r\Phi(\eta-\omega)-c\sigma\phi(\omega-\eta)-c_I]/\Phi(\omega-\eta)
\end{aligned} \tag{3}
$$

이 된다 (유도과정은 부록을 참고). 단 식 (3)에서 $\eta=(L_1-\mu)/\sigma$ 이고 $\omega=(L_1-L_2)/\sigma$ 이다.

2.2 할인판매 모형

이 모형은 생산된 제품을 전수검사하여 $X\geq L_1$이면 a_1의 가격에 판매하고, $L_2\leq X< L_1$인 제품은 a_2의 가격으로 판매하는 것은 앞의 재가공 모형과 동일하나, $X< L_2$인 제품은 재가공하는 것이 아니라 s의 가격으로 할인판매한다. 따라서 할인판매 모형의 제품당 이익함수 $P_2(X;\mu)$는

$$
P_2(X;\mu)=\begin{cases} a_1-c_0-cx-c_I, & X\geq L_1 \\ a_2-c_0-cx-c_I, & L_2\leq X< L_1 \\ s-c_0-cx-c_I, & o/w. \end{cases} \tag{4}
$$

이 된다. 식 (4)로부터 제품당 기대이익함수 $E[P_2(X;\mu)]$는

$$
\begin{aligned}
E[P_2(X;\mu)] &= \int_{L_1}^{\infty}(a_1-c_0-cx-c_I)f(x)\,dx+\int_{L_2}^{L_1}(a_2-c_0-cx-c_I)f(x)\,dx \\
&+\int_{-\infty}^{L_2}(s-c_0-cx-c_I)f(x)\,dx \\
&=(a_1-c_0-c_I)[1-\Phi((L_1-\mu)/\sigma)]+(a_2-c_0-c_I)[\Phi((L_1-\mu)/\sigma)
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
&-\Phi((L_2-\mu)/\sigma)]+(s-c_0-c_I)\Phi((L_2-\mu)/\sigma)-\int_{-\infty}^{\infty}cx\,f(x)\,dx \\
&=a_1\Phi(-\eta)+a_2\Phi(\eta)+(s-a_2)\Phi(\eta-\omega)-c_0-c_I-c(L_1-\eta\sigma)
\end{aligned}, \qquad (5)
$$

이 된다.

3. 최적공정평균의 결정

3.1 재가공 모형

제품당 기대이익함수 $E[P_1(X;\mu)]$이 η에 대하여 위로 볼록한 단봉함수라면 $\partial E[P_1(X;\mu)]/\partial\eta=0$ 을 만족하는 η의 값이 최적값 η^*가 된다. 그러나 기대이익함수는 분모에 $\Phi(\cdot)$, 분자에 $\Phi(\cdot)$ 와 $\phi(\cdot)$ 항을 포함하고 있으므로 제품당 기대이익함수가 위로 볼록한 단봉함수임을 수리적으로 증명할 수는 없었다. 그러나 기대이익함수에 포함된 모수들의 여러가지 값에서 컴퓨터를 이용하여 수치적으로 분석하였고, 그결과 $\partial E[P_1(X;\mu)]/\partial\eta=0$ 을 만족하는 η값은 단지 하나만 존재하였으며, 이 값에서 $\partial^2E[P_1(X;\mu)]/\partial\eta^2>0$ 임을 알 수 있었다. 따라서 $\partial E(P_1(X;\mu))/\partial\eta=0$ 을 만족하는 η의 값이 η^*가 된다. $\partial E[P_1(X;\mu)]/\partial\eta=0$으로부터 η^*은 다음과 같이 얻어진다(유도과정은 부록 참조).

$$
\begin{aligned}
&-a_1[\Phi(\omega-\eta^*)\phi(\eta^*)-\Phi(-\eta^*)\phi(\omega-\eta^*)] \\
&+a_2[\Phi(\omega-\eta^*)\phi(\eta^*)-\Phi(-\eta^*)\phi(\eta^*-\omega)] \\
&+c\sigma[\Phi^2(\omega-\eta^*)-((\omega-\eta^*)\Phi(\omega-\eta^*)+\phi(\omega-\eta^*))\phi(\omega-\eta^*)] \\
&-(c_I+r)\phi(\omega-\eta^*)=0
\end{aligned} \qquad (6)
$$

따라서 최적공정평균 μ^*는 식 (6)로 부터 η^*를 구한 후,

$$\mu^*=L_1-\eta^*\sigma, \qquad (7)$$

의 관계식으로 부터 구할 수 있다.

3.2 할인판매 모형

제품당 기대이익 $E[P_2(X;\mu)]$을 η에 대해 미분하면

$$\frac{\partial E(P_2(X;\mu))}{\partial \eta} = (a_2 - a_1)\phi(\eta) + (s - a_2)\phi(\eta - \omega) - c\sigma, \tag{8}$$

이 된다. 만일 $E(P_2(X;\mu))$가 η에 대하여 위로 볼록한 단봉함수라면 $\partial E(P_2(X;\mu))/\partial\eta = 0$을 만족하는 η의 값이 η^*가 된다. 따라서 η^*은 다음의 식을 만족하는 값이 된다.

$$\phi(\eta^*) + (a_2 - s)\phi(\eta^* - \omega)/(a_1 - a_2) = c\sigma/(a_1 - a_2). \tag{9}$$

식 (9)의 좌변을 $\nu(\eta)$라고 하자. $\eta \le 0$이면 $\nu(\eta)$은 η에 대하여 단조증가함수이다. 여기서 $\eta \le 0$은 $X \le L_1$인 제품의 비율이 50% 보다 작다는 것을 의미한다. 대부분의 생산공정에서 $X \ge L_1$인 제품의 비율은 50% 이상이므로 실제 생산공정에서 $\eta > 0$인 경우는 발생하지 않는다. 또한 $a_1 > a_2 > s$ 이므로 $\eta \le 0$이면 $\partial^2 E(P_2(X;\mu))/\partial\eta^2 < 0$ 이다. $\eta > 0$이면 $\nu(\eta)$은 η에 대하여 단조증가함수이다. 그러나 $\eta \in (0, \omega)$이면 $\nu(\eta)$가 단조증가함수인지 혹은 감소함수인지를 수리적으로 증명할 수 없다. 그러나 $\nu(\eta)$에 관련된 모수 $(\omega, (a_2 - s)/(a_1 - a_2))$들의 여러가지 값에서 컴퓨터를 이용하여 수치적으로 분석해본 결과, $\nu(\eta)$가 η에 대하여 감소함수임을 알 수 있었다. 또한 $\eta > \omega > 0$이면 $\partial^2 E(P_2(X;\mu))/\partial\eta^2 > 0$이 되고, $\eta \in (0, \omega)$에서도 컴퓨터를 이용하여 수치적으로 분석해본 결과 $\partial^2 E(P_2(X;\mu))/\partial\eta^2 > 0$이 됨을 알 수 있었다. 따라서 $\eta \le 0$이면서 식 (9)를 만족하는 η가 최적값 η^*가 된다. 식 (9)에서 η^*의 값은 $\omega, (a_2 - s)/(a_1 - a_2)$, $c\sigma/(a_1 - a_2)$의 값에 따라서 결정된다는 것을 알 수 있다. 최적공정평균 μ^*는 η^*를 구한후 재가공 모형과 같은 방법으로 식 (7)를 이용하여 구한다.

4. 수치예제

본 장에서는 수치예제를 통하여 앞장에서 설명한 최적공정평균을 구하는 방법을 설명한다. 또한 이 예제를 통하여 σ와 ω에 따른 효과를 IMSL(International Mathematical and Statistical Libraries, 1987)과 FORTRAN언어를 사용하여 분석한다.

4.1 예제

시멘트(Cement)의 충진공정에서 용기에 담기는 시멘트의 양은 $f(x) \sim N(\mu,$

$(1.0Kg)^2$)를 한다고 한다. 시멘트의 무게의 규격하한이 $L_1 = 41.5Kg$, $L_2 = 40.0Kg$으로 주어졌을 때, 생산된 모든 시멘트의 무게(품질특성치)를 측정하여 $X \geq L_1$이면 $a_1 = 4875$원의 가격에 판매하고, $L_2 \leq X < L_1$인 제품은 $a_2 = 4650$원의 가격으로 판매하며, 또한 $X < L_2$인 제품은 $r = 150$원의 비용으로 새로 재가공하는 경우와 $s = 3975$원의 가격으로 할인판매 하는 경우를 고려해 보자. 또한 제품의 생산비용은 $(150 + 90x)$원 이고 검사비용은 $c_I = 60$원이다.

1) 재가공 모형

식 (6)으로 부터 $\eta^* = -0.919$를 얻는다. 따라서 최적공정평균 μ^*은

$$\mu^* = 41.5 - (-0.919 \times 1.0) = 42.419(Kg)$$

이며 제품당 기대이익은 $E[P_1(X;\mu)] = 804.9$원 이다.

2) 할인판매 모형

식 (9)로부터 $\eta^* = -0.742$를 얻는다. 따라서 최적공정평균 μ^*은

$$\mu^* = 41.5 - (-0.742 \times 1.0) = 42.242(Kg)$$

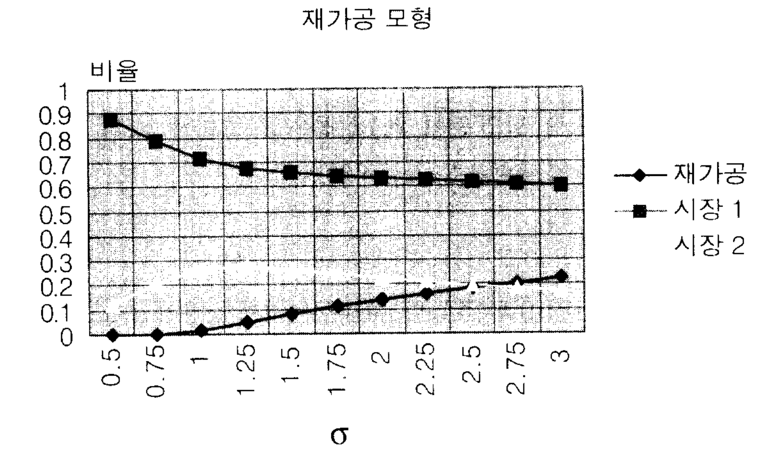
이며 제품당 기대이익은 $E[P_2(X;\mu)] = 803.3$원 이다.

4.2 민감도 분석

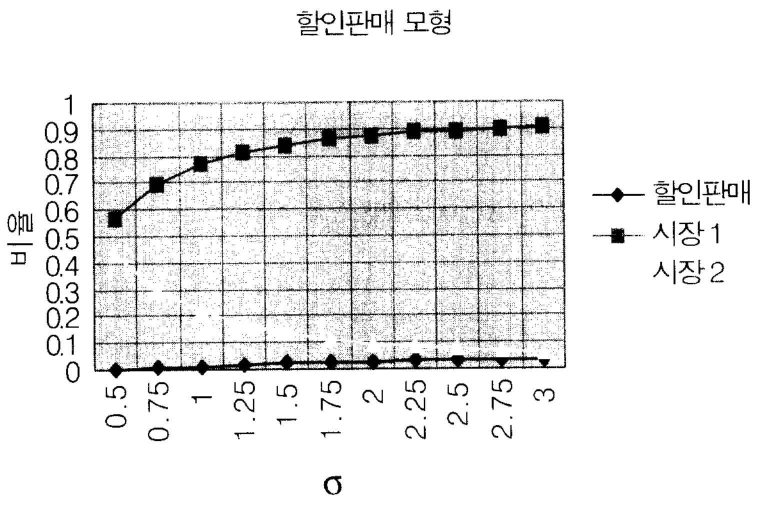
1) σ의 효과

<그림 1>은 위의 예제에서 σ의 값에 따른 재가공 모형과 할인판매 모형의 재가공, 할인 및 각 시장의 판매 비율을 나타낸 것이다. 재가공 모형의 경우 σ의 값이 증가함에 따라 시장 1에 판매하는 비율은 감소한다. 이것은 σ의 값이 증가함에 따라 최적공정평균의 값이 감소함을 의미한다. 시장 2에 판매하는 비율은 증가하다가 완만하게 감소하며 재가공 비율은 일관되게 증가함을 알 수 있다. 시장 1에 판매하는 비율 ($P((X-\mu)/\sigma \geq (L_{1-}\mu)/\sigma)$이 0.5 이상인데 이것은 공정평균을 시장 1의 규격보다는 높게 설정하는 것이 최적임을 나타낸다. 할인판매 모형의 경우 σ의 값이 증가함에 따라 시장 1과 할인판매하는 비율은 증가하고 시장 2에 판매하는 비율은 감소한다. σ의 값이 증가함에 따라 할인판매 모형이 재가공 모형 보다는 시장 1에 판매하는 비율이 높아짐을 알 수 있다. 이것은 할인판매 모형의 최적공정평균이 보다 높게 설정

됨을 의미한다.



(a) 재가공 모형

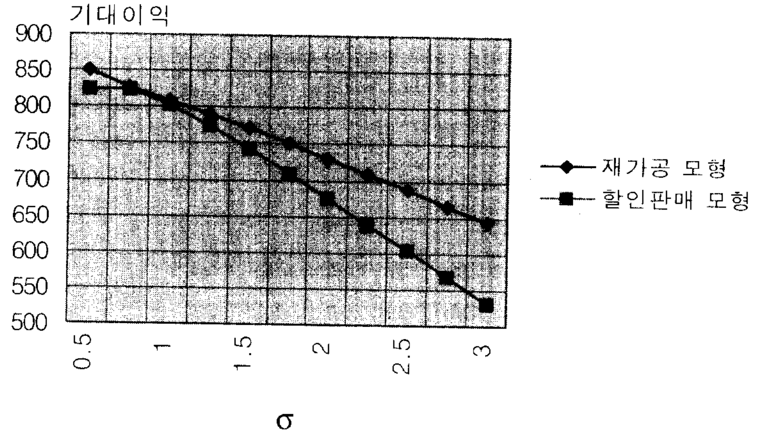


(b) 할인판매 모형

< 그림 1 > σ의 변화에 따른 할인, 재가공 및 각 시장의 판매 비율.

<그림 2>는 σ의 값에 따른 재가공 모형과 할인판매 모형의 제품당 기대이익을 나타낸 것이다. 우리가 기대했던 대로 σ의 값이 증가함에 따라 재가공 모형과 할인판

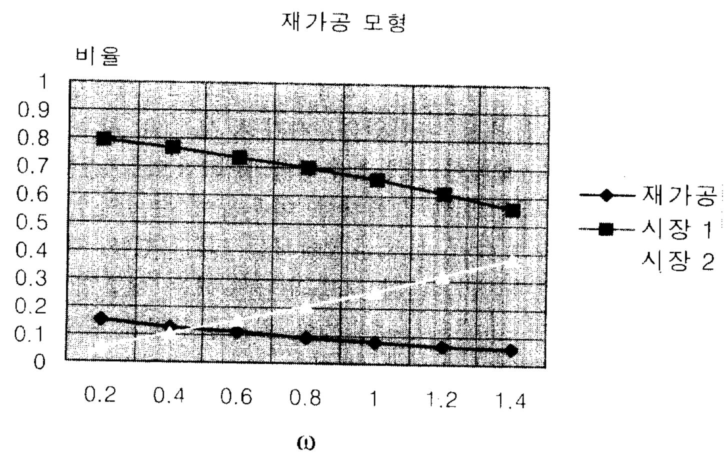
매 모형 모두 제품당 기대이익이 감소한다.



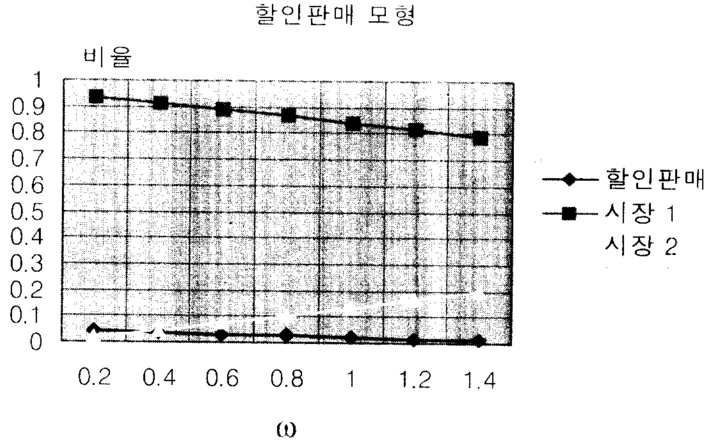
< 그림 2 > σ의 변화에 따른 재가공 및 할인판매 모형의 기대이익.

2) ω의 효과

<그림 3>은 $L_2=40.0$로 고정된 상태에서 ω의 값의 증가(L_1의 값의 증가를 나타냄)에 따른 재가공 및 할인판매 모형의 재가공, 할인 및 각 시장의 판매 비율을 각각 나타낸 것이다. 우리가 기대 했던바와 같이 ω의 값이 증가함에 따라서 시장 2에 판매하는 비율은 두 모형 모두 일관되게 증가한다.



(a) 재가공 모형



(b) 할인판매 모형

< 그림 3 > ω의 변화에 따른 할인, 재가공 및 각 시장의 판매 비율.

5. 결론

본 논문에서는 제품을 전수선별검사하는 생산공정에서 제품의 각 등급에 따라 규격하한 $L_i(i=1,\ 2)$이 주어 졌을 때, 생산된 모든 제품의 품질특성치 X를 검사하여 $X \geq L_1$이면 a_1의 가격에 판매하고, $L_2 \leq X < L_1$인 제품은 a_2의 가격으로 판매하며, 또한 $X < L_2$인 제품은 r의 비용으로 재가공 하거나 또는 s의 가격으로 할인판매 하는 경우에 대해 제품의 각 등급에 따른 판매가격, 할인가격, 재가공비용, 생산비용 그리고 검사비용으로 구성된 두 이익함수 모형을 구성하고, 제품당 기대이익을 최대로 하는 공정평균을 결정하는 문제를 다루었다. 재가공 모형의 경우 제품당 기대이익 함수가 공정평균에 대해 위로 볼록한 단봉함수임을 수리적으로 증명할 수는 없었다. 그러나 공정평균의 의미있는 구간에서 컴퓨터를 이용하여 수치적으로 분석한 결과 단봉함수임을 알 수 있었다. 수치적인 분석과정에서는 586 PC를 사용하였으며 IMSL과 FORTRAN언어를 이용하였다. 할인판매 모형의 경우에는 제품당 기대이익 함수가 의미있는 구간에서 공정평균에 대해 위로 볼록한 단봉함수임을 수리적으로 증명하였다. 할인판매 모형의 경우 각 모수의 비율을 가지고 최적공정평균을 구할 수 있게 표들을 제시했다. σ의 값이 증가함에 따라 재가공 모형의 최적공정평균이 할인판매 모형의 최적공정평균을 보다는 낮게 설정됨을 알 수 있었다. 또한 우리가 기대했던 대로 σ의 값이 증가함에 따라 재가공 모형이나 할인판매 모형 모두 제품당 기대이익이 감소하였다.

추후의 연구과제로는 재가공 모형과 할인판매모형에 대해서 제품의 주 품질특성치를 직접 검사하는 것이 아니라 이와 상관 관계가 높은 대용 품질특성치를 이용하여 검사하는 경우에 대해서 고려해 볼 수 있을 것이다.

부록

식 (3)의 유도:

식 (2)를 정리하면

$$\begin{aligned} E(P_1(X;\mu)) &= (a_1 - c_0 - c_I)(1 - \Phi((L_1-\mu)/\sigma)) \\ &+ (a_2 - c_0 - c_I)[\Phi((L_1-\mu)/\sigma) - \Phi((L_2-\mu)/\sigma)] \\ &+ (E(P_1(x;\mu)) - r - c_I)\Phi((L_2-\mu)/\sigma) \\ &- \int_{L_1}^{\infty} cxf(x)\,dx, \qquad (A.1) \end{aligned}$$

이 되고, 식 (A.1)을 다시 정리하면

$$\begin{aligned} E(P_1(X;\mu))[1 - \Phi((L_2-\mu)/\sigma)] &= (a_1 - c_0 - c_I)\Phi((\mu - L_1)/\sigma) \\ &+ (a_2 - c_0 - c_I)[\Phi((L_1-\mu)/\sigma) \\ &- \Phi((L_2-\mu)/\sigma)] - (r + c_I)\Phi((L_2-\mu)/\sigma) \\ &- c[\mu\Phi((\mu - L_2)/\sigma) + \sigma\phi((\mu - L_2)/\sigma)], \end{aligned}$$

이 되고

$$\begin{aligned} E[P_1(X;\mu)] &= [a_1\Phi(-\eta) + a_2(\Phi(\eta) - \Phi(\eta-\omega)) \\ &- (c_0 + c(L_1 - \eta\sigma))\Phi(\omega-\eta) \\ &- r\Phi(\eta-\omega) - c\sigma\phi(\omega-\eta) - c_I]/\Phi(\omega-\eta), \qquad (A.2) \end{aligned}$$

이 된다.

식 (6)의 유도:

제품당 기대이익 $E[P_1(X;\mu)]$을 η에 대해 미분하면

$$
\begin{aligned}
\frac{\partial E[P_1(X;\mu)]}{\partial \eta} = & \frac{1}{\Phi}(\chi-\eta)[-a_1\phi(-\eta)+a_2(\phi(\eta)-\phi(\eta-\omega)) \\
& +(c_0+c(L_1-\eta\sigma))\phi(\omega-\eta) \\
& +c\sigma\Phi(\omega-\eta)-r\phi(\eta-\omega)-c\sigma(\omega-\eta)\phi(\omega-\eta)] \\
& +\frac{\beta\phi(\omega-\eta)}{\Phi^2(\omega-\eta)},
\end{aligned}
\qquad (A.3)
$$

여기서 $\beta=a_1\Phi(-\eta)+a_2(\Phi(\eta)-\Phi(\eta-\omega))-(c_0+c(L_1-\eta\sigma))\Phi(\omega-\eta)$

$-r\Phi(\eta-\omega)-c\sigma\phi(\omega-\eta)-c_l$

이 된다. 식 (A.3)를 0으로 놓고 풀면 식 (6)을 얻는다.

참고문헌

[1] Arcelus, F.J. and Rahim, M.A.(1991), "Joint Determination of Optimum Variable Attribute Target Means," *Naval Reaserch Logistics*, Vol. 38, No. 6, pp. 851-864.

[2] Bai, D.S. and Lee, M.K.(1993), "Optimal target values for a Filling Process When Inspection is Based on a Correlaed Vraiable," *International Journal of Production Economics*, Vol. 32, pp. 327-334.

[3] Bettes, D.C.(1962), "Finding an Optimum Target Value in Relation to a Fixed Lower Limit and Arbitary Upper Limit," *Applied Statistics*, Vol. 11, pp. 202-210.

[4] Bisgaard, S., Hunter, W.G. and Pallesen, L.(1984), "Economic Selection of Quality of Manufactured Product," *Technometrics*, Vol. 26, No. 1, pp. 9-18.

[5] 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, No. 1, pp. 44-47.

[6] Carlsson. O.(1984), "Determining the Most Profitable Process Level under Different Sales Conditions for a Production Process," *Journal of Quality Technology*, Vol. 16, No. 1, 1984, pp. 44-49.

[7] Drezner, Z. and Wesolowsky, G.O.(1989), "Optimal Control of Linear Trend Process with Quadratic Loss," *IIE Transactions*, Vol. 21, pp. 66-72.

[8] Golhar, D.Y.(1987), "The Determination of the Best Mean Contents for a Canning Problem," *Journal of Quality Technology*, Vol. 19, No. 2, pp. 82-84.

[9] Golhar, D.Y. and Pollock, S.M.(1988), "The Determination of the Best Mean and theUpper Limit for a Canning Problem," *Journal of Quality Technology*, Vol. 20, No. 3, pp. 188-192.

[10] Hong, S.H., Kim, S.B., Kwon, H.M. and Lee, M.K.(1998), "Economic Design of Screening Procedures When Rejected Items are Reprocessed," *European Journal fo Operational Research*, (to appear).

[11] Hunter, W.G. and Kartha, C.D.(1977), "Determining the Most Profitable Target Value for a Production Process," *Journal of Quality Technology*, Vol. 9, No. 4, pp. 176-180.

[12] Lee, M.K. and Bai, D.S.(1994), "Determination of the Optimal Target Values for a Canning Process with Linear Shift in the Mean," *Journal of the KoreanInstitute of Industrial Engineers*, Vol. 20, No. 1, pp. 3-13.

[13] 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," *International Journal of Production Economics*, Vol. 34, pp. 205-213.

[14] Lee, M.K. and Jang, J.S.(1997), "Teh Optimum Target Values for a Production Process with Three-Class Screening," *International Journal of Production Economics*, Vol. 49, pp. 91-99.

[15] Reference Manual.(1987), *International Mathematical ans Statistical Libraries*, IMSL Library, Houston.

[16] Robinson, S.L. and Miller, R.K.(1989), *Automated Inspection and Quality Assurance,* Marcel Dekker.

[17] Schmit, R.L. and Pfeifer, P.E.(1991), "Economic Selection of the Mean and Upper Limit for a Canning Problem with Limited Capacity," *Journal of Technology*, Vol. 23, pp. 312-317.

[18] Springer, C.H.(1951), "A Method for Determining the Most Economic Position of aProcess Mean," *Indurstrial Quality Control*, Vol. 8, No. 1, pp. 36-39.

[19] Tang, K. and Lo, J.(1993), "Determination of the Process Mean When Inspection is Based on a Correlated Variable," *IIE Transactions*, Vol. 25, pp. 66-72.