Journal of the Korean Institute
of Industrial Engineers
Vol.21, No.3, September, 1995

다 결정 대안을 갖는 대용특성을 이용한 경제적 양측 선별검사방식*

An Economic Two-Sided Screening Procedure Using a Correlated Variable with Multi-Decision Alternatives

홍 성 훈**

Sung-Hoon Hong

Abstract

For situations where there are several markets with different profit/cost structures, an economic two-sided screening procedure using a correlated variable is developed. It is assumed that the performance variable and the screening variable are jointly normally distributed. A profit model is constructed which involves selling price, cost incurred by imperfect quality, and screening inspection cost. Methods of finding the optimal screening procedure are presented and numerical examples are given.

1. 서론

어느 공정에 있어서나 생산되는 제품의 품질에는 차이가 나게 된다. 충분히 잘 설계되고 관리되는 공정이라 할 지라도 완전히 균일한 품질을 갖는 제품을 생산하기란 현실적으로 불가능하다. 따라서 제품의 출하를 결정하기 전에 품질검사를 하게 되는 데, 최근 일반산업현장에서는 무결점운동 등 품질중시 개념의 확산으로 전수검사를 선호하고 있다. 전수검사는 출하되는 모든 제품에 대해 품질검사를 실시하는 것으로, 제품의 품질을 완벽하게 보증할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 제품의 특성에 따라서 전수검사가 어려운 경우가 있는 데, 파괴검사를 요하는 제품이 그 대표적인 예이다. 또한 검사대상이 되는 제품의 품질특성을 측정하는 데 많은 비용이 드는 경우는 주품질특성을 이용해 전수검사

* 이 논문은 1994 년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.
** 전북대학교 산업공학과 조교수

를 실시하는 것이 비경제적일 수 있다. 이러한 경우 주품질특성과 높은 상관관계를 가지면서 검사비용이 상대적으로 낮은 대용특성을 찾아 검사를 실시하는 데, 이러한 검사방식을 대용특성을 이용한 선별검사라 한다. 예를들어 자동차 본체에 용접되어 있는 좌석의 용접강도 측정에는 파괴검사를 필요로 한다. 이 때 파괴검사 대신 자동차좌석에 초음파검사를 하여 그 결과로 제품의 합격여부를 판정할 수 있다. 또 트랜지스터의 수명을 측정하는 대신 잡음 (noise)을 측정하여 제품을 검사할 수 있다. 최근에는 레이저, X-선 투시, 그리고 패턴인식기법 등을 이용한 검사기기들이 많이 개발되어, 대용특성을 이용한 선별검사는 산업현장에 빠르게 확산되고 있다. 주품질특성 대신 검사비용이 적게 드는 대용특성을 검사하는 경우 검사비용은 절감할 수 있으나, 대용특성의 검사에 따른 오류가 발생할 수 있다. 즉 대용특성을 검사함으로써 실제로 양품인데도 불합격 되거나 (제 1 종 오류), 불량품이 합격되는 (제 2 종 오류) 검사오류가 생길 수 있다. 따라서 대용특성을 검사하는 경우 합격 · 불합격의 판정기준이 되는 대용특성의 기각치를 구하는 것이 중요한 문제가 된다.

대용특성을 이용한 선별검사에서 대용특성의 최적 기각치를 구하는 문제에 대해서는 많은 연구가 되어 왔다. Owen 등 (1975), Owen과 Su (1977), Wong 등 (1985), 그리고 Boys와 Dunsmore (1986) 등은 검사후 양품의 비율을 일정수준 이상으로 높이는 검사기법을 다루었다. Owen 등 (1981) 과 Madsen (1982)은 선별검사를 통해 합격된 m 개의 제품 중 k 개 이상이 양품일 확률을 보증하는 선별검사방식을 고려하였다. 최근에 Tang (1987)은 망대특성 (the-larger-the-better) 을 갖는 제품, 즉 품질특성에 대해 규격하한을 구해야 하는 경우 불량품의 합격으로 인한 손실비용, 제품을 불합격 처리했을 때 발생하는 비용 등을 고려하여 경제적인 관점에서 대용특성의 기각치를 구하였다. 또한 Tang (1988) 은 망목특성 (the-nominal-the-best) 을 갖는 제품, 즉 품질특성에 대해 규격상한과 하한의 양쪽규격을 동시에 구해야 하는 경우 최적선별검사를 제안하였다. 그후 Turkman 과 Turkman (1989), Tang과 Tang (1989), Bai 와 Hong (1992, 1994), 그리고 Hong (1993) 등에 의하여 최근까지도 많은 연구들이 진행되고 있다. 한편 Tang과 Tang (1994)은 전수검사 및 대용특성을 이용한 선별검사에 관련된 기존의 연구결과들을 종합해 소개하는 논문을 발표한 바 있다.

선별검사에 관련된 위의 연구들에서는 모두 검사를 통해 제품의 합격 · 불합격 여부만을 결정할 수 있었다. 즉 검사를 받은 제품은 합격품과 불합격품의 두가지 품질등급으로 분류되었다. 그러나 합격판정을 받은 제품이라 할 지라도 그들의 품질수준에는 차이가 나게 마련이고, 불합격된 제품들도 마찬가지이다. 따라서 합격된 제품들도 그들의 품질수준에 따라 서로 다른 용도에 사용할 수 있으며, 불합격된 제품도 할인판매, 재작업, 또는 폐기처분 등 여러가지 방법으로 처리할 수 있다. 예를들어 반도체와 같이 컴퓨터, TV, VCR 등 여러 다른 제품의 부품으로 사용될 수 있거나, 가전제품 같이 국내판매, 수출 등 여러 다른 시장에 판매될 수 있는 제품의 경우는 검사받은 제품의 합격 · 불합격 판정이

아니라, 제품의 사용용도나 판매시장 결정을 위한 검사기법을 적용하여야 한다. Bai 와 Hong (1990, 1991) 은 위와 같은 상황에서 제품의 판매시장 선정을 위한 계수형 및 계량형 샘플링 검사방식을 구하였다. 양품의 판매이익, 불량품의 판매로 인한 손실비용, 그리고 샘플링 검사비용 등을 고려한 이익함수 모형을 세우고, 기대이익을 최대로하는 최적 샘플링 검사방식을 구하였다. 또한 Bai 와 Hong (1992, 1994) 은 같은 상황에서 제품의 주 품질특성 대신 대용특성을 이용한 선별검사방식을 구하였다. Bai 와 Hong (1992) 은 주 품질특성과 대용특성이 모두 연속형 변수인 경우 이변량 정규모형 하에서 선별검사방식을 구하였고, Bai 와 Hong (1994) 은 주 품질특성이 이치형 변수이고 대용특성이 연속형 변수일 때 정규모형과 로지스틱모형의 두가지 모형을 고려하였다. 그러나 위의 연구들에서는 모두 제품의 품질특성에 대해서 단지 규격하한만이 존재하는, 즉 품질특성이 망대특성을 갖는다는 가정아래 모형을 구성하였다. 따라서 품질특성에 대해 규격상한과 규격하한의 양쪽 규격한계선이 존재하는 경우, 즉 망목특성을 갖는 제품에 대해서는 위의 모형들을 그대로 사용할 수 없다. 망목특성을 갖는 제품의 경우는 망소특성을 갖는 제품에 비해 모형을 구성하고 제품의 합격판정절차를 구하는 데 있어서 많은 차이가 있다. 본 논문에서는 품질특성이 망목특성을 갖고, 제품의 판매시장이 여러개 있는 경우 다결정 대안을 갖는 선별검사방식을 구하고자 한다. 주 품질특성과 대용특성이 모두 연속형 변수이고 이변량정규분포를 따른다는 가정하에 모형을 구성한다.

2. 모형의 구성

일반적으로 소비자 입장에서 볼 때 제품의 품질특성에는 바람직한 수준이 있다. 예를들어 시계는 오차가 0 인 경우가 이상적이고 오차가 크면 클수록 소비자의 불만도 커지게 된다. 품질특성의 바람직한 수준을 목표값 (target value) 이라 부르는 데, 제품의 품질특성이 목표값에 가까울수록 소비자의 만족도는 높아진다. 검사대상이 되는 제품의 품질특성을 Y 라 하고 이 품질특성의 목표값을 τ 라 하자. 제품은 판매 조건이 서로 다른 다수의 시장에 판매될 수 있는 데, i 번째 시장에 판매될 때 판매가격은 A_i 이고, 품질특성이 목표값에 일치하지 않을 때 소비자의 불만으로 인해 $C_i(y,\tau)$의 손실비용이 발생하게 된다. 단 y 는 품질특성 Y 의 측정값이다. 만일 $A_i > A_j$이고 $C_i(y, \tau) \le C_j(y, \tau)$, 또는 $A_i = A_j$ 이고 $C_i(y, \tau) < C_j(y, \tau)$이라면 j 번째 시장보다는 i 번째 시장에 제품을 판매하는 것이 보다 경제적이다. 따라서 이러한 경우 j 번째 시장은 하나의 대안으로 고려할 필요가 없다. 본 논문에서는 대안으로 고려 가능한 시장이 m 개 있고, 모든 $i<j$ 에 대해 $A_i > A_j$ 그리고 $C_i(y, \tau) > C_j(y, \tau)$ 라고 가정한다. 만일 품질특성 Y 와 목표값 τ 의 차가 너무 커서 소비자의 불만에 기인한 손실비용이 터무니 없이 높은 제품을 일반 시장에 판매하는 것은 비경제적이다. 이러한 제품들은 대개 불합격 처리하여 제품의 특성에 따라 할인판매, 재작업, 또는 폐기처분 등의 다른 조치를 취하게 되는 데, 본 논문에서는 이러한 처리방법을 갖는 대안들도 모두 하나의 시장으로 간주한다. 즉 본 논문에서는 대안이 될 수 있

는 제품의 처리방법을 각각의 시장으로 간주한다.

품질특성이 목표값과 일치하지 않음으로 인해 발생하는 손실비용 $C_i(y, \tau)$의 함수형태는 여러가지를 생각할 수 있다. 여기서는 다음의 2 가지 함수형태를 사용하고자 한다.

$$C_i(y,\tau) = \begin{cases} a_i|y-\tau|, & \text{일차손실함수} \\ b_i(y-\tau)^2, & \text{이차손실함수} \end{cases}$$

단 a_i, b_i 는 모두 양의 상수이다. 위에서 일차손실함수는 품질특성과 목표값의 차이에 비례해서 비용이 발생한다고 가정한 함수형태이다. 이차손실함수는 Taguchi 가 제안한 함수형태로서, 경험적으로 볼 때 품질특성의 변동에 따른 손실을 표현하는 데 적절한 것으로 인식되고 있다; Kackar (1985). 이러한 손실함수는 최근들어 크게 관심을 끌고 있으며, 제품설계나 공정설계 등 여러 분야에서 이용되고 있다.

생산되는 모든 제품에 대하여 주 품질특성을 측정할 수 있다면, 품질수준에 따라 제품의 출하 시장을 정확하게 선택할 수 있다. 그러나 주 품질특성을 측정하는 데 많은 비용이 들거나 파괴검사를 필요로 하는 제품의 경우는 주 품질특성 Y 를 직접 측정하는 것은 비 경제적이다. 이 경우 주 품질특성과 높은 상관관계가 있으면서 상대적으로 낮은 검사비용을 갖는 대용특성 X 가 존재한다면 Y 대신 X 를 측정하여 제품의 출하시장을 선택할 수 있다. 일반적으로 주 품질특성 Y 를 성능변수 (performance variable) 라 하며, 대용특성 X 를 선별변수 (screening variable) 라 한다. 여기서는 X 와 Y 가 평균 (μ_x,μ_y), 분산 (σ_x^2,σ_y^2), 그리고 상관계수 $\rho>0$ 를 갖는 이변량정규분포를 따른다고 가정한다. 물론 $\rho<0$ 인 경우도 동일한 방법에 의하여 선별검사방식을 구할 수 있다. X 와 Y 의 결합확률밀도함수를 h(x,y), f(x) 를 X 의 주변확률밀도함수, $g(y|x)$ 를 X=x 일 때 Y 의 조건부확률밀도함수라 할 때,

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

이 된다. 단 (1) 식에서 f(x) 는 평균 μ_x, 분산 σ_x^2 인 정규분포함수이고, $g(y|x)$ 는 평균 $\mu=\mu_y+\rho(\sigma_y/\sigma_x)(x-\mu_x)$, 분산 $\sigma^2=\sigma_y^2(1-\rho^2)$ 인 정규분포를 따르는 확률밀도함수이다.

주 품질특성 Y 대신 대용특성 X 를 측정하여 제품의 판매 시장을 선정하기 위해 사용하는 검사절차는 다음과 같다.

i) 검사에 출하되는 모든 제품의 대용특성 X 를 측정한다.

ii) I_i, i=1,2,…,m, 는 $\bigcup_{i=1}^{m} I_i = (-\infty,\infty)$ 이고, 모든 $i \neq j$ 에 대해 $I_i \cap I_j = \phi$, 를 만족하는 실수의 집합이다. 만일 $I_i \neq \phi$ 이고 $x \in I_i$ 이면 i 번째 시장에 제품을 판매한다. 만일 $I_i = \phi$ 라면 i 번째 시장에는 제품을 판매하지 않는다.

$x \in I_i$ 일 때 i 번째 시장에 제품을 판매하므로, i 번째 시장에서의 기대판매수입은

$$\int_{x\in I_i}\int_{-\infty}^{\infty} A_i h(x,y)\,dy\,dx,$$

이 된다. 또한 품질특성이 목표값과 일치하지 않음으로 인해 i 번째 시장에서 발생하는

기대손실비용은

$$\int_{x\in I_i}\int_{-\infty}^{\infty} C_i(y,\tau)h(x,y)dydx\,,$$

이 된다. 따라서 단위제품당 기대이익함수 EP 는 다음과 같이 된다.

$$\mathrm{EP}=-S+\sum_{i=1}^{m}\int_{x\in I_i}\left\{\int_{-\infty}^{\infty}\{A_i-C_i(y,\tau)\}\,g(y|x)dy\right\}f(x)dx. \tag{2}$$

단 S 는 품질검사비용이다. 최적선별검사는 기대이익함수 (2) 를 최대로하는 I_i^*, $i=1,2,\cdots,m$ 를 구하는 것이다.

3. 최적선별검사

기대이익함수 (2) 는 $C_i(y,\tau)$ 에 따라 서로 다른 함수 형태를 갖게 된다. 여기서는 일차와 이차 손실함수에 대해 최적검사를 구하는 절차를 제시한다.

3.1 일차손실함수

$C_i(y,\tau)=a_i|y-\tau|$이므로 기대이익함수는

$$EP=-S+\sum_{i=1}^{m}\int_{x\in I_i}\left\{\int_{-\infty}^{\infty}\{A_i-a_i|y-\tau|\}\,g(y|x)dy\right\}f(x)dx,$$

$$=-S+\sum_{i=1}^{m}\int_{x\in I_i}p_i(x)f(x)dx, \tag{3}$$

이 된다. 단 (3) 식에서

$$p_i(x)=A_i-a_i\sigma_y\sqrt{1-\rho^2}\,[\xi\,\{2\Phi(\xi)-1\}+2\phi(\xi)], \tag{4}$$

이고

$$\xi=\frac{\tau-\mu}{\sigma}=\frac{\tau-\mu_y-\rho\frac{\sigma_y}{\sigma_x}(x-\mu_x)}{\sigma_y\sqrt{(1-\rho^2)}}, \tag{5}$$

이다; (4) 식의 유도는 부록 1 참조. 또한 $\varphi(\cdot)$ 와 $\Phi(\cdot)$ 는 각각 표준정규분포의 확률밀도함수와 누적분포함수이다. 최적선별검사는 (3) 식을 최대화 하는 실수의 집합 $(I_1,I_2,\cdots,I_m)$ 을 구하는 것이다. (3) 식이 취할 수 있는 값의 상한을 구하면 $-S+\int_{-\infty}^{\infty}\left\{\max_i p_i(x)\right\}f(x)dx$이 되는 데, 이 값은 모든 $j\neq i$ 에 대해 $p_i(x)\geq p_j(x)$ 를 만족하는 x 의 집합으로 I_i^*, $i=1,2,\cdots,m$, 를 선택함에 의해 얻을 수 있다. 먼저 I_1^* 를 구하기 위해 $1<j\leq m$ 인 모든 j에 대해 $p_1(x)\geq p_j(x)$ 를 만족하는 x 값들의 범위는 다음 절차에 의하여 구할 수 있다. 일단 $p_1(x)\geq p_j(x)$ 의 관계식은 (4) 식으로 부터

$$\xi\,\{2\Phi(\xi)-1\}+2\varphi(\xi)\ \leq\ \frac{A_1-A_j}{(a_1-a_j)\sigma_y\sqrt{1-\rho^2}} \tag{6}$$

이 됨을 알 수 있다. 여기서 $\pi(\xi)=\xi\{2\Phi(\xi)-1\}+2\varphi(\xi)$ 라 놓으면, $\pi(\xi)=\pi(-\xi)$, 즉 $\pi(\xi)$ 는 $\xi=0$ 를 중심으로 대칭인 함수이다. 또한 ξ 값에 따른 $\pi(\xi)$ 값을 그림으로 나타내면 그림 1과 같다. 이로부터 c 를 임의의 상수라 할 때 $\pi(\xi)=c$ 를 만족하는 ξ 값은 ξ^U와 ξ^L 2개가 존재하고, $\xi^U=-\xi^L$이 됨을 알 수 있다. 따라서 $1<j\leq m$ 인 모든 j 에 대해 (6) 식을 동시에 만족하는 ξ 값의 범위는 $-\xi_1^U\leq\xi\leq\xi_1^U$이 됨을 알 수 있다. 단 ξ_1^U 는 $\pi(\xi)=\min_{j>1}\frac{A_1-A_j}{(a_1-a_j)\sigma_y\sqrt{1-\rho^2}}$ 을 만족하는 ξ 값 중 양의 수이다. 또한 x와 ξ는식 (5) 의 관계를 갖기 때문에 $I_1^*=\{x|\,|x-\theta|\leq\delta_1\}$ 이 됨을 알 수 있다. 단 $\theta=\mu_x+\frac{\sigma_x}{\rho\sigma_y}(\tau-\mu_y)$이

고, $\delta_1 = \xi_1^U \sigma_x \sqrt{(\rho^{-2}-1)}$ 이다. 또한 $j \neq 2$ 인 모든 j 에 대해 $p_2(x) \geq p_j(x)$ 를 만족하는 x 값들의 집합 I_2^* 는, I_2^* 가 공집합이 아니라는 가정하에 $I_2^* = \{x \mid \delta_1 < |x-\theta| \leq \delta_2\}$ 이 된다. 단 $\delta_2 = \xi_2^U \sigma_x \sqrt{(\rho^{-2}-1)}$이고 ξ_2^U는 $\pi(\xi) = \min_{j>2} \frac{A_2 - A_j}{(a_2-a_j)\sigma_Y \sqrt{(1-\rho^2)}}$ 의 관계식을 만족하는 ξ 값 중 양의 수이다. 만일 I_2^* 가 공집합이라면 $\delta_2 = \delta_1$ 이라 놓는다. 동일한 방법에 의해 모든 $j \neq i$ 에 대해 $p_i(x) \geq p_j(x)$의 부등식을 만족하는 x 값들의 집합 I_i^*, i=3,4,⋯,m 가 공집합이 아니라면 $I_i^* = \{x \mid \delta_{i-1} < |x-\theta| \leq \delta_i\}$가 됨을 알 수 있다. 단 $\delta_i = \xi_i^U \sigma_x \sqrt{(\rho^2-1)}$, i=1,2,⋯,m-1, 이고 $\delta_m = \infty$ 이다.

또한 ξ_i^U 는 $\pi(\xi) = \min_{j>i} \frac{A_i - A_j}{(a_i-a_j)\sigma_y \sqrt{(1-\rho^2)}}$를 만족하는 ξ 값 중 양의 수이다. 만일 I_i^* 가 공집합이라면 $\delta_i = \delta_{i-1}$ 이라 놓는다. 위의 결과들을 종합하면 선별검사에서 제품의 판매시장 선정을 위한 절차는 다음과 같이 됨을 알 수 있다.

"δ_i, i=1,2,⋯,m, 는 $\delta_1 \leq \delta_2 \leq \cdots \leq \delta_m = \infty$ 이고 $\delta_0 = 0$의 조건을 만족하는 실수값이다. 검사에서 출하되는 모든 제품의 대용특성을 측정한 후 $\delta_{i-1} < |x-\theta| \leq \delta_i$ 이면 i 번째 시장에 제품을 판매한다. 만일 $\delta_i = \delta_{i-1}$ 이라면 i 번째 시장에는 제품을 판매하지 않는다."

3.2 이차손실함수

$C_i(y,\tau) = b_i(y-\tau)^2$ 이므로 기대이익함수는

$$EP = -S + \sum_{i=1}^{m} \int_{x \in I_i} \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} \{A_i - b_i(y-\tau)^2\} \, g(y \mid x) \, dy \right\} f(x)dx,$$

$$= -S + \sum_{i=1}^{m} \int_{x \in I_i} k_i(x) f(x) dx, \qquad (7)$$

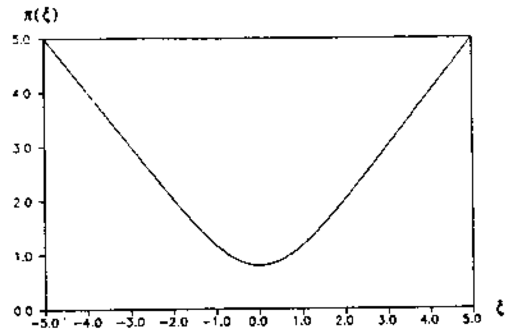

그림 1. ξ 의 변화에 따른 $\pi(\xi)$ 값

가 된다. 단 (7) 식에서

$$k_i(x) = A_i - b_i \left[\sigma_Y^2 (1-\rho^2) + \left\{ \mu_Y + \frac{\rho \sigma_Y}{\sigma_X}(x-\mu_X) - \tau \right\}^2 \right], \qquad (8)$$

이다; (8) 식의 유도는 부록 2 참조. 최적선별검사는 (7) 식을 최대화하는 실수의 집합 $(I_1^*, I_2^*, \cdots, I_m^*)$ 을 구하는 것인 데, (7) 식이 취할 수 있는 값의 상한은 $-S + \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \max_i k_i(x) \right\} f(x)dx$ 이다. 이 값은 $j \neq i$ 인 모든 j 에 대해 $k_i(x) \geq k_j(x)$ 를 만족하는 x 값들의 집합 I_i^*, i=1,2,⋯,m 를 선택하여 얻을 수 있다. 먼저 j>1 인 모든 j 에 대해 $k_1(x) \geq k_j(x)$ 를 만족하는 x 값의 범위를 구하면 $I_1^* = \{x \mid |x-\theta| \leq \delta_1\}$ 이 된다. 단 $\delta_1 = \frac{\sigma_x}{\rho \sigma_y} \sqrt{\min_{j>1} \left(\frac{A_1 - A_j}{b_1 - b_j} \right) - \sigma_y^2 (1-\rho^2)}$ 이다. 또한 $j \neq 2$ 인 모든 j 에 대해 $k_2(x) \geq k_j(x)$ 를 만족하는 x 값의 집합 I_2^* 가 공집합이 아니라면, $I_2^* = \{x \mid \delta_1 < |x-\theta| \leq \delta_2\}$ 이 된다. 단 $\delta_2 = \frac{\sigma_x}{\rho \sigma_y} \sqrt{\min_{j>2} \left(\frac{A_2 - A_j}{b_2 - b_j} \right) - \sigma_Y^2 (1-\rho^2)}$ 이다. 만일 I_2^* 가 공집합이라면, 이 때 $\delta_2 = \delta_1$ 이라 놓는다. 같은 방법에 의해 I_i^*, i=3,4,⋯,m 가 공집합이 아니라면 $I_i^* = \{x \mid \delta_{i-1} < |x-\theta| \leq \delta_i\}$ 이 된다. 단 $\delta_i = \frac{\sigma_x}{\rho \sigma_y} \sqrt{\min_{j>i} \left(\frac{A_i - A_j}{b_i - b_j} \right) - \sigma_y^2 (1-\rho^2)}$, i=3,4,⋯,m-1,

이고 $\delta_m=\infty$ 이다. 한편 I_i^*가 공집합이라면, 이 때 $\delta_i=\delta_{i-1}$ 이라 놓는다. 위의 결과들로 부터 이차손실함수의 경우도 일차에서와 동일하게 δ_i, $i=1,2,\cdots,m$, 는 $\delta_1\le\delta_2\le\cdots\le\delta_m=\infty$ 이고 $\delta_0=0$ 의 조건을 만족하는 실수값이라 할 때, $\delta_{i-1}<|x-\theta|\le\delta_i$ 이면 제품을 i 번째 시장에 판매하는 검사절차를 갖게된다.

4. 수치예제

어떤 전자부품은 내부전압이 목표값인 17.8 볼트일 때 최적의 조건에서 가동하며, 목표값에서 벗어날수록 그 효율이 감소한다. 이 부품의 내부전압을 측정하기 위해서는 부품을 분해하는 등 어려움이 있으며 비용도 많이 든다. 그러나 이 부품의 내부전압은 외부전압과 높은 상관관계를 갖고 있으며, 외부전압의 측정은 내부전압의 측정에 비해 상대적으로 수월하다. 또한 과거의 경험으로 보면 주품질특성인 내부전압 Y 와 대용특성인 외부전압 X 는 $\mu_y=18.0$ 볼트, $\mu_x=12.0$볼트, $\sigma_y=1.0$ 볼트, $\sigma_x=1.2$ 볼트, 그리고 상관계수 $\rho=0.90$ 인 이변량 정규분포를 한다고 알려져 있다. 이 부품은 컴퓨터, TV, VCR 등의 제품에 사용되는 데, 각 제품에 사용될 때 이 부품의 사용으로 인한 수익은 각각 25.0, 21.0, 14.0 (백원; 이하 모든 단위는 백원이다) 으로 추정된다. 즉 $A_1=25.0$, $A_2=21.0$, $A_3=14.0$ 이다. 또한 내부전압이 17.8 ± 0.8 일 때 목표값과의 차이로 인해 각각 12.0, 8.0, 4.0 의 비용이 발생하는 것으로 알려져 있다. 따라서 만일 $C(y,\tau)$ 의 형태로 일차함수를 사용한다면, $a_1|y-\tau|=(0.8)a_1=12.0$ 의 식으로 부터 $a_1=15$ 이 되고, 동일한 방법에 의해 $a_2=10.0$, $a_3=5.0$이 된다. 또한 이차함수를 사용하면 $b_1(y-\tau)^2=(0.8)^2b_1=12.0$으로 부터 $b_1=18.75$ 그리고 동일한 방법에 의해 $b_2=12.50, b_3=6.25$ 이 된다. 한편 외부전압의 측정비용 $S=1.0$ 이다. 표 1은 $C(y,\tau)$의 형태로 일차와 이차함수를 사용했을 때의 θ 와 δ_1^*, δ_2^*, 그리고 이 때의 기대이익을 정리한 것이다. 기대이익은 일차함수가 13.039 으로 이차함수의 기대이익12.448 보다 크다는 것을 알 수 있다.

표 1. 일차 및 이차손실함수를 사용할 때의 최적검사방식

함수형태	최적검사방식			기대이익
	θ	δ_1^*	δ_2^*	
일차함수	11.733	1.050	1.866	13.039
이차함수	11.733	0.894	1.286	10.450

표 2는 손실비용함수$C(y,\tau)$ 을 잘못 선택하였을 경우 이로인한 기대이익의 감소율을 계산한 결과이다. 기대이익의 감소율은 다음과 같이 정의한다.

$$\frac{EP^*-EP'}{EP^*}\times 100\ (\%). \tag{9}$$

단 (9) 식에서 EP^* 는 올바른 손실함수 하에서의 기대이익이고, EP′ 는 잘못된 손실함수를 사용한 경우의 기대이익이다. 표에서 보는 바와 같이 기대이익의 감소율은 약 5 % 에 이르고 있다. 따라서 올바른 손실함수의 사용이 중요함을 알 수 있다.

표 3은 X와 Y의 상관계수 ρ 의 변화에 따른 기대이익의 변화이다. 표에서 보는 바와 같이 ρ 값이 증가함에 따라 기대이익도 증가

표 2. C(y,τ) 의 선택에 따른 기대이익의 감소율

단위 : %

올바른 손실함수	사용한 손실함수	
	일차함수	이차함수
일차함수	0	1.7
이차함수	4.7	0

한다. 따라서 대용특성을 이용한 선별검사에서는 주품질특성과 높은 상관성을 갖는 대용특성의 선택이 중요함을 알 수 있다.

표 3. ρ값의 변화에 따른 기대이익의 변화

함수형태	ρ	최적검사방식			기대이익
		θ	δ_1^*	δ_2^*	
일차함수	0.80	11.700	1.105	2.094	12.706
	0.85	11.718	1.081	1.975	12.862
	0.90	11.733	1.050	1.866	13.039
	0.95	11.747	1.009	1.768	13.236
이차함수	0.80	11.700	0.794	1.308	9.477
	0.85	11.718	0.850	1.296	9.945
	0.90	11.733	0.894	1.286	10.450
	0.95	11.747	0.930	1.277	10.990

5. 결 론

본 논문에서는 제품을 품질수준에 따라 여러 등급으로 나누고, 각 등급에 맞게 제품의 판매시장이나 사용용도를 결정하기 위한 선별검사를 고려하였다. 제품의 주품질특성은 망목특성을 갖고, 주품질특성과 대용특성은 이변량정규분포를 따른다는 가정을 하였다. 제품의 판매가격, 품질특성이 목표값으로 부터 벗어남에 따라 발생하는 손실비용, 그리고 품질검사비용 등을 고려한 이익함수모형을 설정하였고, 기대이익을 최대로하는 선별검사를 구하였다. 손실함수의 형태로 일차손실함수와 이차손실함수 두가지를 사용하였으며, 수치예제를 통해 분석한 결과 손실함수 형태의 올바른 선택이 최적선별검사 결정에 중요한 역할을 함을 알 수 있었다. 또한 대용특성을 이용한 선별검사를 사용할 때는 주품질특성과의 상관관계가 높은 대용특성의 선택이 중요하다는 결론을 얻을 수 있었다.

이 분야에서의 추후연구과제로는 이변량정규분포의 모수 $(\mu_x, \mu_y, \sigma_x^2, \sigma_y^2, \rho)$ 중 일부 또는 전부를 모르는 경우의 선별검사를 구하는 작업을 생각할 수 있다. 모형구성 및 최적선별검사를 구하는 과정에서 많은 어려움이 있어서 본 논문에서는 이 문제를 고려하지 못하였다. 또한 대용특성이 아닌 주품질특성을 직접 검사하여 제품의 품질수준을 여러 등급으로 나누는 전수검사방식의 결정과 이 때의 기대이익을 본 논문의 결과와 비교하는 작업도 흥미있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

[1] Bai, D.S., and Hong, S.H., "Economic Design of Sampling Plans with Multi-Decision Alternatives," Naval Research Logistics, 37, 905-918 (1990).

[2] Bai, D.S., and Hong, S.H., "An Economic Variables Sampling Plan with Multi-Decision Alternatives," Journal of Korean Institute of Industrial Engineers, 17, 1-8 (1991).

[3] Bai, D.S., and Hong, S.H., "Economic

Screening Procedures Using a Correlated Variable with Multidecision Alternatives," Naval Research Logistics, 39, 471-485 (1992).

[4] Bai, D.S., and Hong, S.H., "Economic Screening Procedures with Multi-Decision Alternatives in Logistic and Normal Models," Engineering Optimization, 22, 153-160 (1994).

[5] Boys, R.J., and Dunsmore, I.R., "Screening in a Normal Model," Journal of Royal Statistical Society-Series B, 48, 60-69 (1986).

[6] Hong, S.H., "Economic Design of Screening Procedures under the Constraint on the Proportion of Conforming Items after Screening," Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, 19, 25-35 (1993).

[7] Kackar, R.N., "Off-Line Quality Control, Parameter Design, and the Taguchi Method," Journal of Quality Technology, 17, 176-188 (1985).

[8] Madsen, R.W., "A Selection Procedure Using a Screening Variate," Technometrics, 24, 301-306 (1982).

[9] Owen, D.B., Li, L., and Chou, Y.M., "Prediction Intervals for Screening Using a Measured Correlated Variate," Technometrics, 23, 165-170 (1981).

[10] Owen, D.B., McIntire, D., and Seymour, E., "Tables Using One or Two Screening Variables to Increase Acceptable Product under One-Sided Specifications," Journal of Quality Technology, 7, 127-138 (1975).

[11] Owen, D.B., and Su, Y.H., "Screening Based on Normal Variables," Technometrics, 19, 65-68 (1977).

[12] Tang, J., and Tang, K., "A Two-Sided Screening Procedure Using Several Correlated Variables," IIE Transactions, 21, 333-336 (1989).

[13] Tang, K., "Economic Design of a One-Sided Screening Procedure Using a Correlated Variable," Technometrics, 29, 477-485 (1987).

[14] Tang, K., "Economic Design of a Two-Sided Screening Procedure Using a Correlated Variable," Applied Statistics, 37, 231-241 (1988).

[15] Tang, K., and Tang, J., "Design of Screening Procedures: A Review," Journal of Quality Technology, 26, 209-226 (1994).

[16] Turkman, K.F., and Turkman,M.A.A., "Optimal Screening Methods," Journal of the Royal Statistical Society Series B, 51, 287-295 (1989).

[17] Wong, A., Meeker, J.B., and Selwyn, M. R., "Screening on Correlated Variables: A Bayesian Approach," Technometrics, 27, 423-431 (1985).

95년 4월 최초 접수, 95년 7월 최종 수정

부록 1: (4) 식의 유도

(4) 식에서

$$p_i(x) = \int_{-\infty}^{\infty} \{A_i - a_i|y-\tau|\}\, g(y|x)dy$$

$$= A_i + a_i\int_{-\infty}^{\tau}(y-\tau)g(y|x)dy - a_i\int_{\tau}^{\infty}(y-\tau)g(y|x)dy, \tag{A1}$$

이다. 또한 $\int_{-\infty}^{\tau} yg(y|x)dy = \mu\Phi(\frac{\tau-\mu}{\sigma}) - \sigma\varphi(\frac{\tau-\mu}{\sigma})$ 의 관계식 (Tang (1987) 참조) 을 이용하여 (A1) 식을 정리하면

$$p_i(x) = A_i + (\tau-\mu) - 2a_i(\tau-\mu)\Phi\left(\frac{\tau-\mu}{\sigma}\right) - 2a_i\sigma\varphi\left(\frac{\tau-\mu}{\sigma}\right)$$

$$= A_i - a_i\sigma[\xi\ \{2\Phi(\xi)-1\} + 2\varphi(\xi)], \tag{A2}$$

이 된다.

부록 2: (8) 식의 유도

$$k_i(x) = \int_{-\infty}^{\infty} \{A_i - b_i(y-\tau)^2\}\, g(y|x)dy$$

$$= A_i - b_i\int_{-\infty}^{\infty}(y-\tau)^2 g(y|x)dy$$

$$= A_i - b_i\int_{-\infty}^{\infty}(y-\mu+\mu-\tau)^2 g(y|x)dy$$

$$= A_i - b_i\ \{\sigma^2 + (\mu-\tau)^2\}$$

$$= A_i - b_i\left[\sigma_y^2(1-\rho^2) + \left\{\mu_y + \frac{\rho\sigma_y}{\sigma_x}(x-\mu_x) - \tau\right\}^2\right].$$