혼합물 생산공정의 최적 공정평균의 경제적 선정

이민구*†

* 충남대학교 정보통계학과

Economic Selection of Optimum Process Mean for a Mixture Production Process

Min Koo Lee*†

* Department of Information and Statistics, Chungnam National University

Key Words : Mixture Production Process, Optimum Process Mean, Sub-process Means

Abstract

This paper considers the problem of optimally choosing the sub-process means of a mixture production process where two important ingredients are mixed. The quantity of each ingredient is controlled through each corresponding sub-process. The values of the sub-process mean directly affect the defective rate, production, scrap and reprocessing costs for the mixture production process. After inspecting every incoming item, each conforming item is sold in a regular market for a fixed price and any nonconforming item is scraped. A model is constructed on the basis of the selling price, production, inspection, and scrap and reprocessing costs. The goal is to determine the optimum sub-process mean values based on maximizing expected profit function relating selling price and cost components. A method of finding the optimum sub-process means is presented when the quantities of the two ingredients are assumed to be normally distributed with known variances. A numerical example is given and numerical studies are performed.

1. 서 론

기업의 경쟁력은 고객만족을 얼마나 실현시키느냐에 달려있다. 고객만족을 실현하기 위해서는 제품의 올바른 특성과 낮은 원가를 달성하는 것이다. 제품의 낮은 원가는 짧은 사이클 타임, 낮은 보증 비용 및 낮은 폐기율/재작업으로부터 기인한다. 이러한 낮은 원가의 실현과 제품의 올바른 특성의 달성하기 위해서는 올바른 프로세스의 정의와 구축이 매우 중요하다. 최근 Six Sigma 경영혁신을 도입하여 추진하고 있는 기업에서 프로세스의 중요성을 강조하고 있고 대부분의 프로젝트들이 올바른 프로세스를 실현하는데 초점을 두고 있다. 또한 품질보증에 관련된 최근의 연구동향이나 산업체의 움직임은 이미 만들어진 제품의 사후 검사를 통하여 일정 수준의 품질을 보증하던 기존의 방식에서 벗어나, 설계단계로부터 시작하여 제조공정의 적절한 관리를 통하여 불량의 발생을 미연에 방지하는 방향으로 가고 있다. 이러한 공정설계 단계의 품질관리 활동 중의 대표적인 방법 중의 하나가 생산공정의 공정평균을 합리적으로 결정하고자 하는 최적공정평균 결정법이다.

생산공정에서 만들어지는 제품 중 규격을 만족시키는 제품은 합당한 가격에 판매되나, 규격을 만족시키지 못하는 제품은 재가공 또는 의도한 목적이 아닌 다른 용도에 사용, 할인판매 또는 폐기처분된다. 더욱이 공정에서 생산된 불량품이 검사과정에서 발견되지 않고 최종소비자에게 판매된 경우는 불량품의 교환 등을 포함한 많은 비용들이 들어가기 때

† 교신저자 sixsigma@cnu.ac.kr
※ 이 논문은 2004년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2004-041-D00781).

문에 제품을 생산하는 회사입장에서는 제품의 불량률을 줄여야 한다. 예를 들어 어떤 제품의 주성분 함량의 규격하한이 있고 주성분이 고가인 경우, 만일 주성분의 함량을 결정하는 공정평균을 낮게 하면 함량부족에 따른 불량품으로 인한 손실비용이 늘어나고, 반대로 공정평균을 높게 하면 불량품으로 인한 손실비용은 줄어드나, 초과해서 들어간 주성분 양으로 인해 많은 생산비용이 발생한다. 이와 같이 규격을 만족하는 제품과 만족하지 못하는 제품은 각각 다른 형태의 이익함수를 갖게 되며 따라서 제품의 단위당 기대이익을 최대로 하는 공정평균의 선정 문제가 발생하게 된다. 이러한 점에 근거해서 주어진 규격의 형태와 규격을 만족하는 제품과 만족하지 못하는 제품의 이익함수 형태에 따라 제품의 단위당 기대이익을 최대로 하는 공정평균을 선정하는 문제에 대하여 많은 연구가 진행되어 왔다.

제품의 규격을 만족하는 제품과 만족하지 못하는 제품의 이익함수 형태에 따라 제품당 기대이익을 최대로 하는 공정평균의 선정문제를 Springer(1951), Hunter and Kartha(1977), Carlsson(1984), Golhar (1987) 그리고 Golhar and Pollock(1988)에 의해 많은 연구가 진행되었다. Springer(1951)는 제품에 대한 규격하한과 상한이 있고, 규격하한에 미달되는 제품과 규격상한을 넘는 제품의 손실비용이 서로 다른 경우 총비용을 최소화하는 공정평균을 선정하는 문제를 다루었고, Hunter and Kartha(1977)는 규격하한만이 있는 경우 규격을 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 판매 가격이 감소하는 경우 최적 공정평균을 선정하는 문제를 다루었다. Golhar(1987)은 규격하한이 주어진 경우, 규격하한을 넘는 제품은 일정한 가격에 판매하고 규격하한에 미달되는 제품은 재 가공하는 문제를 다루었다. 또한 Golhar and Pollock(1988)의 문제를 확장하여 규격하한에 미달하거나 상한제한을 넘는 제품은 재가공하고 규격하한을 넘고 상한제한에 미달하는 제품은 일정한 가격으로 판매할 때 최적 공정평균과 상한제한을 동시에 선정하는 문제를 다루었다. 이밖에 Arcelus and Rahim(1994), Boucher and Jafari(1991), Bai and Lee(1993), Phillips and Cho (2000), Lee(2000), Hong et al.(2001), Lee and Elsayed(2002), Teeravaraprug and Cho(2002), Lee et al.(2004), Lee et al.(2005)이 공정평균을 선정하는 문제를 다루었다.

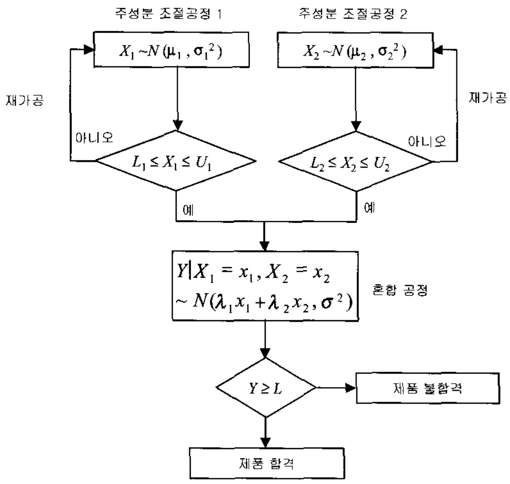
지금까지 진행된 공정평균을 최적화 하는 연구들은 단일 공정만을 고려하였다. 즉, 생산공정에서 고려된 품질특성치(주성분, 내용물)가 한 개인 것만을 고려하였다. 그러나 분말야금, 화학공정. 제약공정 및 식품공정에서는 제품을 구성하는데 있어 주성분이 하나만 존재하는 것이 아니라 적어도 두 개 이상 존재하게 된다. 예를 들어 기어를 생산하는 분말야금 공정을 살펴보면 주성분인 파우더와 파우더를 잘 미끄러지게 하는 윤활제와 파우더끼리 접착을 시키는 바인더 등이 합쳐져 기어를 생산한다. 이와 같이 혼합물 생산공정에서는 각 성분들의 양은 조절하는 하부공정들이 여러 개 이다. 하부공정들의 공정평균을 어떻게 설정하느냐에 따라서 혼합물의 제품 당 기대이익이 변한다. 그러나 여러 성분이 혼합되는 혼합물 생산공정에서는 더 이상 기존의 연구결과들을 활용할 수가 없다. 따라서 혼합물 생산공정에서 각 성분들의 양을 경제적으로 결정하는 문제에 대한 연구가 국내 · 외적으로 매우 필요한 상태이다.

본 논문에서는 이러한 점에 근거하여 분말야금, 화학제품, 의약품 및 식품을 생산하는 혼합물 생산공정에 대하여 제품 당 기대이익을 최대로 하는 공정평균을 결정하는 문제를 다룬다. 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 모형을 구축하고 3장에서는 제안한 모형의 최적 해를 구하며 4장에서는 예제 및 수치분석을 다룬다.

2. 모형구성

주성분이 두개인 혼합물 생산공정을 고려해 보자. 각 주성분의 양은 두개의 하부공정에 의해 조정되며 두 주성분의 양 X_1과 X_2은 평균이 (μ_1, μ_2) 이고 분산이 (σ_1^2, σ_2^2)인 정규분포를 따른다고 가정한다. 품질특정치 Y는 X_1과 X_2에 의해 결정된다. 이론적인 고찰과 과거의 경험에 의해 X_1과 X_2가 주어졌을 때 Y의 분포는 평균이 $\lambda_1 x_1 + \lambda_2 x_2$이고 분산이 ($\sigma^2 = \lambda_1^2\sigma_1^2 + \lambda_2^2\sigma_2^2$)인 정규분포를 따른다. 여기서 λ_1과 λ_2는 양의 상수이다. 예를 들어 의약품의 효

능, 식품의 미세한 맛, 화학적인 반응 및 제품의 성능 등은 주성분의 양에 따라서 중요한 영향을 미치기 때문에 정확한 주성분의 양을 배합하는 것은 매우 중요하다. 본 논문에서 고려한 혼합물 생산공정은 두 주성분의 양 X_1과 X_2에 의해 품질특성치의 값이 결정되며 주성분의 양은 규격하한과 상한을 가지며 품질특성치는 규격하한만이 있는 경우이다. <그림 1>은 혼합물 생산공정을 나타 낸 것이다.



<그림 1> 혼합물 생산공정

두 주성분의 양이 규격을 만족할 때만 혼합공정이 수행되며 두 주성분 중 어느 하나라도 규격을 만족하지 못하면 주성분은 재가공을 실시한다. 재 가공된 주성분은 다시 혼합공정에서 사용한다. 혼합공정을 통하여 생산된 제품 중 규격하한 L을 만족하는 제품은 a의 가격으로 정규시장에서 판매된다. 혼합공정을 통과한 제품의 생산비용은 주성분의 양에 비례한다. 즉, 생산비용은 $b+c_1x_1+c_2x_2$이다. 여기서 b는 제품 당 고정비용이고 c_1과 c_2는 주성분의 단위당 비용이다. 두 주성분의 검사 비용을 각각 I_1과 I_2라 하고, 혼합공정을 걸친 제품의 검사비용을 I_y라 하면 제품 당 이익함수 $P(y, x_1, x_2; \mu_1, \mu_2) \equiv P$는 다음과 같다.

$$P = \begin{cases} a-b-c_1x_1-c_2x_2-I_1-I_2-I_y & IV_1 \\ -b-c_1x_1-c_2x_2-I_1-I_2-I_y-s & IV_2 \\ E(P)-I_1-I_2-r & o/w, \end{cases} \tag{1}$$

여기서 s와 r은 폐기비용과 재가공비용이며 IV_1은 $y \ge L$, $L_1 \le x_1 \le U_1$, $L_2 \le x_2 \le U_2$이고 IV_2는 $y < L$, $L_1 \le x_1 \le U_1$, $L_2 \le x_2 \le U_2$이며 L_1, L_2, U_1, U_2는 두 주성분의 규격하한과 규격상한을 각각 나타낸다.

제품 당 기대이익은 식 (2)과 같이 얻어진다.

$$\begin{aligned} E(P) = & \int_L^\infty \int_{L_2}^{U_2} \int_{L_1}^{U_1} (a-b-c_1x_1-c_2x_2-I_1-I_2-I_y) \\ & f(y, x_1, x_2)\,dx_1dx_2dy \\ & -\int_{-\infty}^L \int_{L_2}^{U_2} \int_{L_1}^{U_1} (b+c_1x_1+c_2x_2+I_1+I_2+I_y+s) \\ & f(y, x_1, x_2)\,dx_1dx_2dy \\ & -(r+I_1+I_2-E(P))\left(1-\int_{L_2}^{U_2}\int_{L_1}^{U_1} h(x_1, x_2)\,dx_1dx_2\right), \end{aligned} \tag{2}$$

여기서 $h(x_1, x_2)$와 $f(y, x_1, x_2)$는 (X_1, X_2)와 (Y, X_1, X_2)의 결합확률밀도함수이다. 식 (2)를 간단하게 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} E(P) = & \frac{1}{\alpha_1\alpha_2}\left\{\int_{L_2}^{U_2}\int_{L_1}^{L_1}(a\Phi((\lambda_1x_1+\lambda_2x_2-L)/\sigma)\right. \\ & -s\,\Phi((L-\lambda_1x_1-\lambda_2x_2)/\sigma)) \\ & h(x_1, x_2)dx_1dx_2-(r+I_1+I_2) \\ & +r-b-I_y-c_1\mu_1-c_2\mu_2- \\ & +c_1\sigma_1\beta_1/\alpha_1+c_2\sigma_2\beta_2/\alpha_2 \end{aligned} \tag{3}$$

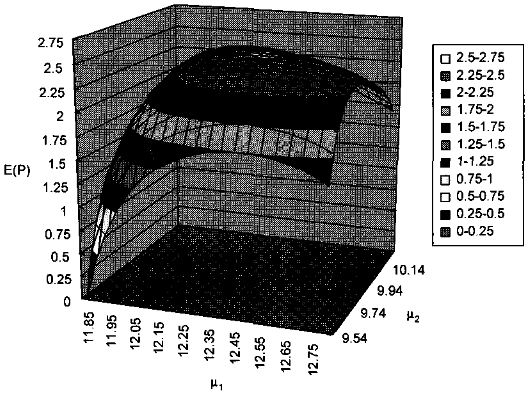
여기서 $\alpha_i = \Phi\left(\frac{U_i-\mu_i}{\sigma_i}\right)-\Phi\left(\frac{L_i-\mu_i}{\sigma_i}\right)$,

$\beta_i = \phi\left(\frac{U_i-\mu_i}{\sigma_i}\right)-\phi\left(\frac{L_i-\mu_i}{\sigma_i}\right)$이며 $\phi(\cdot)$와 $\Phi(\cdot)$는 표준정규분포의 확률밀도함수와 누적분포함수이다. 제품 당 기대이익을 최대로 하는 하부공정의 두 공정평균 μ_1^*와 μ_2^*는 식 (3)을 최대로 하는 값이다.

3. 최적 공정평균의 결정

본 장에서는 앞장에서 제안한 모형에 대한 최적 하부공정의 평균값들을 구하는 방법을 제안한다. 만일 제품 당 기대이익 함수가 하부공정의 평균 (μ_1, μ_2)에 대해 단봉함수이면 기대이익함수를 (μ_1, μ_2)에 대해 미분하여 0으로 놓고 풀면 된다. 기대이익함수에 $\phi(\cdot)$와 $\Phi(\cdot)$의 형태로 표시되어 있기 때문에 기

대이익 함수가 (μ_1, μ_2)에 대해 단봉함수라는 것을 수리적으로 증명하기가 힘들다. 따라서 여러 가능한 모수들에 대해 수치적인 분석을 컴퓨터로 실시한 결과 기대이익함수가 단봉함수임을 확인 하였다. <그림 2>는 수치적인 여러 분석 중의 한 예를 제시한 것이다. 수치적인 분석과정에서는 586 PC를 사용하였으며 IMSL(International Mathematical and Statistical Libraries)과 FORTRAN언어를 이용하였다. 따라서 기대이익함수 $E(P)$를 하부공정평균 (μ_1, μ_2)에 대하여 미분하여 0을 만족하는 식은 다음과 같이 구해진다.



<그림 2> (μ_1, μ_2)에 따른 기대이익함수

$$\beta_1\Omega/(\alpha_1^2\alpha_2\sigma_1) + \Omega_1'/(\alpha_1\alpha_2) - c_1 + c_1\sigma_1(\beta_1'/\alpha_1 + \beta_1^2/(\alpha_1^2\sigma_1)) = 0, \quad (4)$$

$$\beta_2\Omega/(\alpha_1\alpha_2^2\sigma_2) + \Omega_2'/(\alpha_1\alpha_2) - c_2 + c_2\sigma_2(\beta_2'/\alpha_2 + \beta_2^2/(\alpha_2^2\sigma_2)), \quad (5)$$

여기서

$$\Omega = \int_{L_2}^{U_2}\int_{L_1}^{U_1}(a\Phi((\lambda_1x_1+\lambda_2x_2-L)/\sigma)) - s\Phi((L-\lambda_1x_1-\lambda_2x_2)/\sigma))k(x_1)m(x_2)dx_1dx_2 - r - I_1 - I_2,$$

$$\Omega_i' = \int_{L_2}^{U_2}\int_{L_1}^{U_1} a\Phi((\lambda_1x_1+\lambda_2x_2-L)/\sigma))k(x_1)m(x_2)(x_i-\mu)/\sigma_i^2dx_1dx_2 - \int_{L_2}^{U_2}\int_{L_1}^{U_1} s\Phi((L-\lambda_1x_1-\lambda_2x_2)/\sigma))k(x_1)m(x_2)(x_i-\mu)/\sigma_i^2dx_1dx_2,$$

$$\beta_i = \phi((U_i-(U_i-\mu_i)/\sigma_i))(U_i-\mu_i)/\sigma_i^2 - \phi((L_i-(L_i-\mu_i)/\sigma_i))(L_i-\mu_i)/\sigma_i^2,$$ i=1, 2이며

$k(x_1)$과 $m(x_2)$는 X_1과 X_2의 확률밀도함수이다. 따라서 하부공정의 최적공정평균 (μ_1^*, μ_2^*)은 식 (4)~식 (5)를 동시에 만족하는 μ_1과 μ_2의 값이다. 식 (4)~식 (5)를 동시에 만족하는 (μ_1^*, μ_2^*)의 값은 Gauss-Siedel의 반복법을 이용해서 구한다. 이때 주의할 점은 먼저 기대이익함수가 (μ_1, μ_2)에 대하여 단봉함수가 되는지를 먼저 확인해야한다. 만일 단봉함수가 되지 않을 때는 컴퓨터를 활용하여 가능한 해의 범위에 대하여 탐색적인 방법으로 해를 구할 수 있다.

4. 예제 및 분석

본 장에서는 수치예제를 통하여 앞장에서 설명한 하부공정의 최적공정평균들을 구하는 방법을 설명한다. 또한 이 예제를 사용하여 모수$(\sigma_1, \sigma_2, \lambda_1, \lambda_2)$에 따른 기대이익의 변화를 알아본다. 분석은 IMSL과 FORTRAN언어를 사용한다.

4.1 예제

어떤 화학공정의 화학혼합물의 품질특성치 Y는 두 개의 주성분 양에 의하여 결정되고 있다. 두 주성분의 양은 각각 독립적으로 조정되고 있으면 각각 평균이 (μ_1, μ_2)이고 분산이 $(0.25^2, 0.27^2)$인 정규분포를 따른다. 이론적인 고찰과 과거의 경험에 의해 X_1과 X_2가 주어졌을 때 Y의 분포는 평균이 $0.9x_1 + 0.85x_2$이고 분산이 $\sigma^2 = 0.9^2 \times 0.25^2 + 0.85^2 \times 0.27^2 = 0.321^2$인 정규분포를 따른다. 화학혼합물의 규격하한은 L=18.2이고 두 주성분의 규격하한과 상한은 $(L_1, U_1) = (9.5, 10.5)$과 $(L_2, U_2) = (11.8, 13.2)$이다. 제품의 판매가격과 비용항목은 $a = \$30.0$, $b = \$2.5$, $r = \$1.2$, $s = \$0.25$, $c_1 = \$1.2$, $c_2 = \$1.0$, $I_1 = I_2 = \$0.1$ 및 $I_y = \$0.2$이다. 앞 장에서 제안한 방법을 이용하여 하부공정의 최적 공정평균들과 제품 당 기대이익을 구하면 $\mu_1^* = 9.895$이고 $\mu_2^* = 12.290$이며 $E(P^*) = \$2.597$이다.

4.2 모수$(\sigma_1, \sigma_2, \lambda_1, \lambda_2)$의 효과 분석

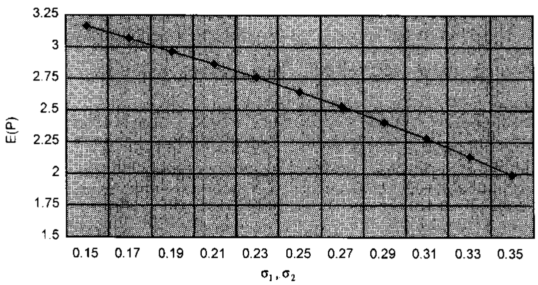
<표 1>은 위의 예제에서 σ_1과 σ_2의 여러 값 (0.15 (0.02) 0.35)에 따른 하부공정의 최적공정평

균 (μ_1^*, μ_2^*)를 나타낸 것이다. <표 1>에서 알 수 있듯이 σ_1과 σ_2가 증가함에 따라 (μ_1^*, μ_2^*)가 완만하게 증가함을 알 수 있다.

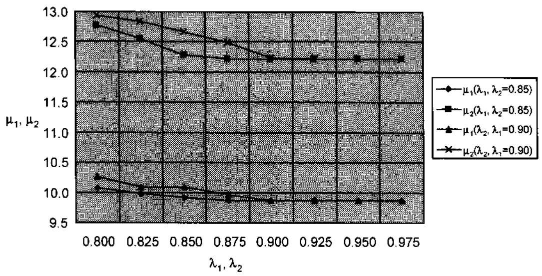
<그림 3>은 σ_1과 σ_2의 변화에 따른 기대이익 $E(P^*)$를 나타낸 것이다. 기대이익 $E(P^*)$는 우리가 기대했던 대로 (μ_1^*, μ_2^*)가 증가함에 따라 감소함을 알 수 있다. <그림 4>은 λ_1과 λ_2의 변화에 따른 하부공정의 최적공정평균 (μ_1^*, μ_2^*)를 나타낸 것이다. <그림 4>에서 알 수 있듯이 λ_1과 λ_2의 값이 증가함에 따라서 (μ_1^*, μ_2^*)가 감소하는 경향이 있다.

<표 1> σ_1, σ_2에 따른 μ_1^*과 μ_2^*

σ_1	σ_2	μ_1^*	μ_2^*
0.15	0.15	9.76	12.07
0.17	0.17	9.79	12.11
0.19	0.19	9.82	12.14
0.21	0.21	9.86	12.17
0.23	0.23	9.89	12.21
0.25	0.25	9.91	12.25
0.27	0.27	9.93	12.30
0.29	0.29	9.95	12.34
0.31	0.31	9.96	12.39
0.33	0.33	9.97	12.43
0.35	0.35	9.98	12.46



<그림 3> σ_1, σ_2에 따른 제품 당 기대이익



<그림 4> λ_1, λ_2에 따른 μ_1^*과 μ_2^*

5. 결 론

본 논문에서는 분말야금, 화학제품, 의약품 및 식품을 생산하는 혼합물 생산공정에 대하여 제품 당 기대이익을 최대로 하는 하부공정의 공정평균을 결정하는 문제를 다루었다. 제품의 판매이익과 생산비용, 재가공 비용, 폐기처분 비용 및 검사비용으로 구성된 이익함수 모형을 제안하였고, 제품 당 기대이익을 최대로 하는 주성분 조정공정의 공정평균들을 결정하는 방법을 제안하였다. 수리적으로 기대이익 함수가 하부공정평균들에 대해 단봉함수라는 것을 증명할 수 없지만 여러 모수들에 대해 수치적인 분석을 실시한 결과 단봉함수가 됨을 알았다. 수치적인 분석과정에서는 586 PC를 사용하였으며 IMSL과 FORTRAN언어를 이용하였다. 본 논문에서 제안한 모형과 최적 해를 구하는 방법을 수치예제를 통해 설명하였다. 또한 이 예제를 사용하여 수치적인 분석을 해 본 결과 주성분을 조정하는 하부공정의 산포가 증가함에 따라 제품 당 기대이익이 감소하였으며 하부공정의 평균들이 높게 설정됨을 알 수 있었다. 그리고 모수(λ_1, λ_2)의 값이 증가함에 따라서 하부공정의 평균들이 감소하는 경향이 있음을 알았다.

추후 연구로는 품질특성치에 규격상한과 하한이 존재하는 문제와 품질특성치를 직접 검사하는 것이 불가능한 경우 품질특성치와 상관관계가 있는 대용 품질특성치를 이용하여 검사하는 것을 고려해볼 수 있겠다.

참 고 문 헌

[1] Arcelus, F. J. and Rahim, M. A.(1994), "Simultaneous Economic Selection of a Variables and an Attribute Target Mean", *Journal of Quality Technology*, Vol. 26, No. 2, pp. 125-133.

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

[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, No. 1, 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, No. 1, pp. 44-49.

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

[7] Golhar, D. Y. and Pollock, S. M.(1988), "The Determination of the Best Mean and the Upper Limit for a Canning Problem", *Journal of Quality Technology*, Vol. 20, No. 4, pp. 188-192.

[8] Hong, S. H., Kwon, H. M., Lee, M. K. and Kim, S. B.(2001), "A Continuous Screening Procedure Using the Performance and Surrogate Variables", *International Journal of Production Research*, Vol. 39, No. 11, pp. 2333-2340.

[9] 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. 176-181.

[10] Lee, M. K.(2000), "Determination of Optimum Process Mean and Screening Limit for a Production Process Based on Two Correlated Variables", *Journal of the Korean Society for Quality Management*, Vol. 28, No. 2, pp. 155-164.

[11] Lee, M. K. and Elsayed, E. A.(2002), "Process Mean and Screening Limits for Filling Processes under Two-Stage Screening Procedure", *European Journal of Operational Research*, Vol. 138, pp. 118-126.

[12] Lee, M. K., Kwon, H. M., Hong, S. H. and Kim, S. B.(2004), "Economic Selection of Mean Value for a Filling Process under Quadratic Quality Loss", *International Journal of Reliability Quality and safety Engineering*, Vol. 11, No. 1, pp. 81-90.

[13] Lee, M. K., Kwon, H. M., Kim, Y. J., and Bae, J. H.(2005), "Determination of Optimum Target Values for a Production Process based on Two Surrogate Variables", *Lecture Note in Computer Science*, Vol. 3483, No. 4, pp. 232-240.

[14] Phillips, M. D. and Cho B. R.(2000), "A Nonlinear Model for Determining the Most Economic Process Mean under a Beta Distribution", *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, Vol. 7, No. 1, pp. 61-74.

[15] Springer, C. H.(1951), "A Method for Determining the Most Economic Position of a Process Mean", *Industrial Quality Control*, Vol. 8, pp. 36-39.

[16] Teeravaraprug, J., Cho B. R., and Kennedy, W. J.(2002), "Designing the Most Cost-effective Process Target using Regression Analysis: a case study", *Process Control and Quality*, Vol. 11, No. 1, pp. 467-469.