應用論文

이차손실함수 하에서 최적 공정평균 및 규격하한

홍성훈 · 최성일 · 임훈 · 반재석
전북대학교 산업공학과

Optimum Mean Value and Lower Limit under a Quadratic Loss Function

Hong, Sung-Hoon · Choi, Sung-Il · Lim, Hoon · Pan, Jae-Suk
Dept. of Industrial Engineering, Chonbuk National University

Abstract

This paper is concerned with an economic selection of both the process mean and the lower limit for a continuous production process with the quadratic loss function. It is assumed that the quality characteristic is normally distributed with a known variability. A profit model is developed which involves selling price, production cost, reprocessing cost and the cost which is incurred by imperfect quality. Methods of finding optimum values of the process mean and the lower limit are presented, and a numerical example is given.

1. 서론

오랜 역사와 높은 기술 수준을 자랑하던 굴지의 기업들도 치열한 경쟁 속에서 구조개선 또는 인수합병 등을 통해서 생존의 길을 모색하거나 한순간에 몰락하는 예를 우리는 요즘 종종 경험하고 있다. 이렇게 생존게임으로 표현되기도 하는 기업의 경쟁환경은 끊임없이 가속화되고 있으며 높아진 소비자의 기대수준을 충족하기 위해 고품질은 강력한 경쟁무기가 되고 있다. 이러한 현실에서는 지속적인 품질개선을 통한 강한 경쟁력으로 이윤을 극대화하는 방안이 절실하다.

이에 따라 품질경영분야에서는 품질에 대한 고객의 인식을 적절히 반영하고 경제적인 관점에서 기업의 생산공정을 설계하고 관리하는 적극적인 품질활동이 각광을 받고 있다. 즉, 과거의 제조단계에서 주로 통계수치에 의

존하여 관리하던 소극적인 품질관리 활동에서 탈피하여 제품설계나 공정설계 단계에서부터 관련비용을 분석하여 높은 생산성을 달성하고자 하는 활동들이 시도되고 있는 것이다. 이러한 품질개선 활동의 하나로 생산공정의 평균과 규격하한을 판매이익, 생산비용, 품질비용 등과 연관하여 결정함으로써 높은 수익성을 확보하는 문제가 있다. 공정평균을 너무 낮게 설정하면 품질저하로 인한 손실비용과 불량으로 인한 재가공비용이 증가하여 기업에 손실을 가져오게 되고 반대로 공정평균을 너무 높게 설정하면 불량으로 인한 비용은 줄일 수 있으나 이에 따른 생산비용이 증가하여 결과적으로 기업에 손실을 가져오게 된다. 생산비용이 고가의 원료라면 손실은 더욱 커진다. 그러므로 생산공정의 평균을 어디에 설정하는가가 매우 중요하다 하겠다. 생산공정의 평균을 설정하는 문제는 다양한 상황에서 연구되었는데, Hunter와 Kartha(1977)는 규격을 만족하는 제품은 일정한 가격에 판매하고 규격에 미달하는 제품은 할인 판매하는 경우에 기대이익을 최대로 하는 공정평균을 구하였다. Carlsson(1984)은 규격하한을 만족하는 제품은 초과하는 양에 비례하여 판매하고 규격하한에 미달되는 제품은 미달되는 정도에 비례해서 제품의 판매가격이 감소하는 경우에 최적공정평균을 결정하였다.

Golhar(1987)는 규격하한이 주어진 경우에 캔 속에 들어간 내용물의 양이 규격하한 이상의 제품은 일정한 가격에 판매하고 규격하한에 미달하는 제품은 캔을 비우고 재가공할 때 기대이익을 최대로 하는 공정평균을 결정하였다. Schmidt와 Pfeifer(1991)는 제한된 생산능력을 갖는 캔 공정에서 기대이익을 최대로 하는 공정평균과 규격상한을 동시에 결정하는 문제를 다루었다. Arcelus와 Rahim(1994)은 두 개의 품질특성치가 존재하는 경우에 하나의 품질특성치는 계량형이고 다른 하나는 계수형인 상황에서 품질특성치가 서로 독립이라는 가정 하에 공정평균을 경제적으로 결정하는 문제를 다루었고, Chen과 Chung (1996)은 생산공정에 대한 최적의 검사 정밀도 수준과 공정의 목표값을 결정하는 문제를 다루었다. Tang과 Lo(1993), Lee와 Jang(1997), 그리고 Hong 등(1999)은 대용품질 특성을 검사에 사용할 때 최적의 공정평균과 규격을 결정하는 문제를 다루었다. 또한 Hong과 Elsayed(1999)는 충전 공정의 평균설정에서 측정오차의 영향에 대해 연구했다.

본 논문에서는 고가의 내용물을 주원료로 하여 제품을 생산하는 공정을 다룬다. 이 공정은 생산자가 정한 규격하한에 미달하는 제품은 주원료를 다시 활용하여 재가공하고 규격하한을 만족하는 제품은 일정한 가격에 판매하는 공정이다. 여기에 고객의 관점에서 다루는 품질비용함수를 적용하여 공정평균과 규격하한을 적절하게 설정함으로써 공정의 생산성을 향상하는 상황을 고려한다. 반도체 제품의 경우를 보자. 반도체의 주품질특성은 전기의 전도성이다. 이 전도성은 반도체에 포

함되는 금의 함량이 높을수록 좋다. 만일 금의 함량이 낮다면 반도체의 전도성은 낮아지게 되어 품질 저하로 인한 손실이 발생할 수 있다. 반면 금의 함량이 너무 높으면 고가인 금의 과다 투입에 따른 생산비용의 증가는 필연적이다. 게다가 생산되는 제품의 품질에는 차이가 나게 마련이므로 품질이 크게 떨어지는 제품은 적절한 규격하한을 설정하여 골라내는 것이 바람직하다. 그러므로 이러한 경우에는 금의 함량에 대한 규격하한도 공정평균과 함께 중요한 공정설정값이 된다. 여기에서 적절한 규격하한을 만족하여 소비자에게 공급된 제품이더라도 소비자가 바라는 품질의 목표치에 미치지 못하여 제품 본래의 기능을 만족스럽게 수행하지 못하는 경우에는 소비자의 불만족을 야기하여 품질손실비용이 발생한다. 본 논문에서 이러한 공정에 대한 단위 제품 당 기대이익함수를 구성하여 이를 최대로 하는 최적의 공정평균 및 규격하한을 결정하고자 한다.

2. 모형 구성 및 최적 해

본 논문에서 사용되는 기호 및 가정은 다음과 같다.

기호

X	:	품질특성치
L	:	규격하한
τ	:	품질특성에 대한 목표치
μ	:	X의 평균
σ	:	X의 표준편차
$f(x)$	:	X의 확률밀도함수
A	:	제품의 판매가격
c	:	단위 재료비용
R	:	재가공 비용
$C(\tau,\chi)$	:	품질손실비용함수
P	:	단위 제품당 이익
$E[P]$	:	단위 제품당 기대이익
$\phi(\cdot)$	:	표준정규분포의 확률밀도함수
$\Phi(\cdot)$	:	표준정규분포의 누적분포함수

가정

1. 품질특성 X는 망대특성(larger is better)을 갖는 변수이다. 즉, X가 클수록 성능이 좋은 제품이고 X가 작을수록 성능이 나쁜 제품이다.
2. X는 평균 μ와 분산 σ^2을 갖는 정규분포를 따른다. 즉, $f(x) \sim N(\mu, \sigma^2)$ 이다. 여기에서 σ^2은 알고 있다.

본 논문에서 고려하는 제조공정은 다음과 같다. 원재료는 제조공정을 거쳐 하나의 제품으로 완성된다. 완성된 제품은 검사단계에서 전수검사를 받게 되는데, 규격하한을 만족하는 제품은 양품으로 판정하여 시장에 판매하고, 규격하한에 미달하는 제품은 불량품으로 처리한다. 불량품은 이 제품의 주원료를 다시 사용하여 재가공된 후 검사된다. 한편 규격하한을 만족하여 출하된 제품도 소비자 입장에

서 볼 때 바람직한 품질특성의 목표치에 미달하는 경우에는 그에 따른 품질손실비용이 발생하게 된다.

품질손실비용은 제품의 품질특성이 소비자가 바라는 목표치에 미달함에 따른 제품기능 부족 및 소비자의 불만족으로 인해 생기는 비용항목이며, 품질비용함수 $C(\tau, x)$에 의해 산출된다. 본 논문에서는 다음과 같은 이차품질비용함수를 적용한다.

$$\text{이차함수 } C(\tau, x) = a(\tau - x)^2, \quad x < \tau$$
$$= 0, \quad x \geq \tau \qquad (1)$$

여기서 a는 양의 상수이다. 이제 기대이익함수를 구성해 보자. 출하된 제품당 이익은 판매가격 A에서 재료비용 cx를 뺀 값, 즉 A-cx가 된다. 또한, 품질특성이 규격하한보다 크지만 품질특성이 목표치에 미달하는 경우에는 품질손실비용이 발생하게 되는데, 이 경우의 제품당 이익은 판매가격 A에서 재료비용 cx를 빼고 다시 품질손실비용 $C(\tau, x)$을 뺀 값, 즉 $A-cx-C(\tau, x)$이된다. 마지막으로 품질특성치가 규격하한보다 작은 경우에는 재가공을 하게 되는데, 이때의 제품당 이익은 기대이익 E[P]에서 재가공비용 R을 뺀 값, 즉 E[P]-R이 된다. 이것을 수식화하면

$$P = \begin{cases} A - cx & x \geq \tau \\ A - cx - C(\tau, x) & L \leq x < \tau \\ E[P] - R & x < L \end{cases}, \qquad (2)$$

이 된다. 식 (2)로부터 단위 제품당 기대이익은

$$E[P] = \int_{\tau}^{\infty} (A - cx) f(x)\,dx + \int_{L}^{\tau} \{A - cx - a(\tau - x)^2\} f(x)\,dx + \int_{0}^{L} \{E[P] - R\} f(x)\,dx, \qquad (3)$$

이 된다. 실제로 $P(X<0)$은 무시할 수 있을 정도로 작은 값을 갖기 때문에 [Golhar(1987) 참조], 다음의 2가지 식을 사용하여[Tang(1987)]

$$\int_{\infty}^{L} x f(x)\,dx = \mu\, \Phi\left(\frac{L-\mu}{\sigma}\right) - \sigma\phi\left(\frac{L-\mu}{\sigma}\right), \qquad (4)$$

$$\int_{\infty}^{L} (\tau - x)^2 f(x)\,dx = \sigma^2 \left[\left\{1 + \left(\frac{\tau-\mu}{\sigma}\right)^2\right\} \Phi\left(\frac{L-\mu}{\sigma}\right) + \left(\frac{2\tau-\mu-L}{\sigma}\right)\phi\left(\frac{L-\mu}{\sigma}\right)\right], \qquad (5)$$

식 (3)을 E[P]에 대하여 정리하면

$$E[P] = A - c\mu - \left\{\frac{1}{1-\Phi\left(\frac{L-\mu}{\sigma}\right)}\right\}\left[c\sigma\phi\left(\frac{L-\mu}{\sigma}\right) + R\Phi\left(\frac{L-\mu}{\sigma}\right) + a\sigma^2\left[\left\{1 + \left(\frac{\tau-\mu}{\sigma}\right)^2\right\}\Phi\left(\frac{\tau-\mu}{\sigma}\right) + \left(\frac{\tau-\mu}{\sigma}\right)\phi\left(\frac{\tau-\mu}{\sigma}\right)\right] - a\sigma^2\left[\left\{1 + \left(\frac{\tau-\mu}{\sigma}\right)^2\right\}\Phi\left(\frac{L-\mu}{\sigma}\right) + \left(\frac{2\tau-\mu-L}{\sigma}\right)\phi\left(\frac{L-\mu}{\sigma}\right)\right]\right], \qquad (6)$$

이 되며 식 (6)에서 $\xi = (\tau - \mu)/\sigma$, $\delta = (\tau - L)/\sigma$ 라 정의하면

$$E[P] = A - c(\tau - \sigma\xi) - \left\{\frac{1}{1-\Phi(\xi-\delta)}\right\}\left[c\sigma\phi(\xi-\delta) + R\,\Phi(\xi-\delta) + a\sigma^2\left[(1+\xi^2)\{\Phi(\xi) - \Phi(\xi-\delta)\} + \xi\phi(\xi) - (\xi+\delta)\phi(\xi-\delta)\right]\right], \qquad (7)$$

이 된다. 따라서 본 논문에서는 최적 공정평균 μ^*와 규격하한 L^*를 얻기 위해 식 (7)을 최대화하는 ξ^*와 δ^*를 구한 후

$$\mu^* = \tau - \sigma\xi^*, \tag{8}$$

$$L^* = \tau - \sigma\xi^*, \tag{9}$$

의 관계식으로부터 최적 해를 구하게 된다.

이제 기대이익함수를 최대화하는 ξ^*와 δ^*를 구해보자. 식 (7)이 ξ와 δ에 대하여 위로 볼록한 단봉함수라면 $\partial E[P]/\partial\delta=0$와 $\partial E[P]/\partial\xi=0$을 동시에 만족하는 ξ와 δ값이 ξ^*와 δ^*가 된다. 그러나 식 (7)은 분모 또는 분자에 $\phi(\xi)$, $\phi(\xi-\delta)$, $\phi(\xi)$, $\Phi(\xi-\delta)$를 포함하고 있기 때문에 위로 볼록한 단봉함수임을 해석적으로 증명하기 어려웠다. 따라서 기대이익함수를 모수 (R, a, c, σ^2)의 여러 값들에서 수리적으로 분석한 결과, $\partial E[P]/\partial\xi=0$와 $\partial E[P]/\partial\delta=0$를 동시에 만족하는 ξ^*와 δ^*값은 의미있는 영역에서 단지 하나만 존재하였다. 또한 이 값에서의 Hessian 행렬은 음정치(negative definite) 행렬이 됨을 알 수 있었다. 즉 기대이익함수 (7)은 ξ와 δ에 대해 위로 볼록한 단봉함수임을 알 수 있었다. 그래서 $\partial P/\partial\delta=0$와 $\partial E[P]/\partial\xi=0$를 동시에 만족하는 ξ^*와 δ^*값을 얻기 위해 식 (7)을 ξ와 δ로 각각 편미분한 결과[부록 참조], $\partial E[P]/\partial\xi=0$을 만족하는 식은

$$\begin{aligned}&[-(\xi-\delta)\phi(\xi-\delta)+\frac{a\sigma}{c}\{2\xi\{\Phi(\xi)-\Phi(\xi-\delta)\}\\&+2\phi(\xi)-2\phi(\xi-\delta)-\delta^2\phi(\xi-\delta)\}]\times\{1-\Phi(\xi-\delta)\}\\&+[\phi(\xi-\delta)+\frac{a\sigma}{c}[(1+\xi^2)\{\Phi(\xi)-\Phi(\xi-\delta)\}+\\&\xi\phi(\xi)-(\xi+\delta)\phi(\xi-\delta)]]\{\phi(\xi-\delta)\}+\frac{R}{c\sigma}\phi\\&(\xi-\delta)=\{1-\Phi(\xi-\delta)\}^2,\end{aligned} \tag{10}$$

이 되며, $\partial E[P]/\partial\delta=0$을 만족하는 식은

$$\begin{aligned}&\{(\xi-\delta)+\frac{a\sigma}{c}\delta^2\}\{1-\Phi(\xi-\delta)\}-\frac{R}{c\sigma}\delta-\phi(\xi-\delta)\\&-\delta)-\frac{a\sigma}{c}[(1+\xi^2)\{\Phi(\xi)-\Phi(\xi-\delta)\}+\xi\phi\\&(\xi)-(\xi+\delta)\phi(\xi-\delta)=0,\end{aligned} \tag{11}$$

이 된다. 식 (10)과 식 (11)은 두 가지 변수, 즉 $R/(c\sigma)$과 $(a\sigma)/c$의 함수임을 알 수 있다. 〈표 1〉은 $R/(c\sigma)$과 $(a\sigma)/c$의 여러 값에서 구한 (ξ^*, δ^*)를 보여주고 있다. 여기서 $(a\sigma)/c$가 증가함에 따라 ξ^*와 δ^*는 모두 감소하는 경향을 알 수 있다.

3. 수치 예제

반도체는 높은 전도성이 요구되는데 반도체에포함된 금의 함량이 전도성에 결정적인 영향을 미친다. 따라서 반도체 제조공정은 단위 제품에 포함된 금의 함량을 품질특성치로 사용하여 최적 규격하한과 공정평균을 구해야 한다. 이 품질특성의 목표치는 12.5g이며 이에 미치지못하는 경우에는 이차품질비용함수에의한 품질손실비용이 발생한다. 단위 판매가격은 300원이다. 검사에서 불합격된 제품은 재가공하며 여기에 드는 재가공비용은 12원이며, 단위당 재료비용은 20원이다. 이 공정은 정규분포를 따르며 공정표준편차는

〈표 1〉$R/(c\sigma)$과 $(a\sigma)/c$의 변화에 따른 ξ^*와 δ^*의 값

$(a\sigma)/c$ \ $R/(C\sigma)$		0.01	0.05	0.1	0.5	1	5	10	50	100	500
1	ξ^*	1.925	1.394	1.158	0.632	0.443	0.205	0.189	0.188	0.188	0.188
	δ^*	0.975	1.105	1.191	1.525	1.776	2.893	3.776	7.623	10.5236	22.877
2	ξ^*	1.694	1.141	0.890	0.308	0.080	-0.280	-0.333	-0.345	-0.345	-0.345
	δ^*	0.636	0.730	0.791	1.027	1.203	1.982	2.598	5.301	7.357	16.078
3	ξ^*	1.603	1.040	0.782	0.174	-0.072	-0.495	-0.577	-0.607	-0.607	-0.607
	δ^*	0.502	0.579	0.629	0.822	0.965	1.598	2.098	4.298	5.975	13.092
7	ξ^*	1.477	0.896	0.627	-0.022	-0.297	-0.830	-0.973	-1.078	-1.080	-1.080
	δ^*	0.312	0.363	0.396	0.522	0.616	1.028	1.353	2.785	3.880	8.536
10	ξ^*	1.440	0.854	0.582	-0.080	-0.365	-0.935	-1.101	-1.251	-1.255	-1.256
	δ^*	0.258	0.300	0.328	0.433	0.511	0.855	1.127	2.324	3.239	7.133
30	ξ^*	1.364	0.766	0.487	-0.204	-0.509	-1.164	-1.388	-1.692	-1.730	-1.738
	δ^*	0.144	0.169	0.185	0.246	0.290	0.489	0.645	1.334	1.862	4.108
50	ξ^*	1.342	0.740	0.459	-0.241	-0.553	-1.235	-1.479	-1.849	-1.913	-1.938
	δ^*	0.111	0.130	0.142	0.189	0.224	0.378	0.499	1.032	1.440	3.180
100	ξ^*	1.320	0.714	0.431	-0.278	-0.597	-1.307	-1.572	-2.018	-2.122	-2.191
	δ^*	0.077	0.091	0.100	0.133	0.158	0.266	0.352	0.729	1.017	2.247
200	ξ^*	1.305	0.697	0.411	-0.304	-0.627	-1.358	-1.639	-2.145	-2.284	-2.421
	δ^*	0.054	0.064	0.070	0.094	0.111	0.188	0.248	0.515	0.719	1.588
300	ξ^*	1.298	0.689	0.402	-0.316	-0.641	-1.381	-1.668	-2.202	-2.360	-2.541
	δ^*	0.044	0.052	0.057	0.076	0.091	0.153	0.203	0.420	0.587	1.296
500	ξ^*	1.291	0.681	0.394	-0.327	-0.655	-1.403	-1.698	-2.261	2.439	2.676
	δ^*	0.034	0.040	0.044	0.059	0.070	0.119	0.157	0.325	0.454	1.004

1g이다. 본 반도체 공정의 경우 품질비용함수의 계수 a를 30으로 적용한다. 이 예제의 결과가 〈표 2〉에 정리되어 있다.

공정표준편차인 σ와 품질비용계수 a의 조

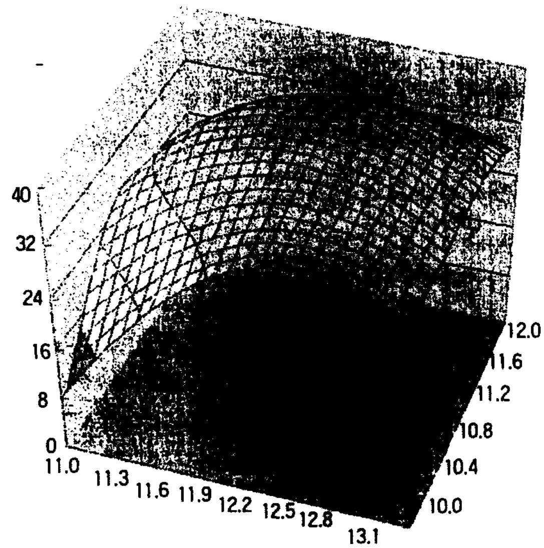
합이 μ^*와 L^*, 그리고 단위 제품당 기대이익에 미치는 영향을 분석한 결과가 〈표 3〉에 나와있다. 〈표 3〉에서는 σ값이 0.2에서 1.4까지 변하고 a값이 10에서 50까지 20의 간격으로 변할 때 μ^*와 L^*의 최적 값과 단위 제품당기대이익을 계산했다. 〈표 3〉에서 a가 증가할수록 μ^*와 L^*가 증가하는 경향을 보이고 있다. 이것은 품질비용이 큰 제품일수록 공정평균과 규격하한을 높게 설정해 주어야 한다는 것을 의미한다. 또 공정표준편차 σ가 증가할수록 단위 제품당 기대이익 E[P]는 감소하는 경향을 나타내는데, 역시 공정표준편차가 작을수록 기대이익이 크다. 또한 이 예제에서 μ와 L의 조합에 따른 E[P]의 값을 〈그림 1〉에 나타내었다. 여기서 보는 바와 같이 수리적인 분석 결과 E[P]는 μ와 L에 대해 단봉함수가 됨을 알 수 있었다.

〈표 2〉 예제의 최적해

$R/(C\sigma)$	$(a\sigma)/c$	δ^*	ξ^*	L^*	μ^*	E[P]
0.6	1.5	1.254	0.366	11.246	12.134	39.911

〈표 3〉 σ와 a 값에 따른 μ^* L^* 및 E[P]의 값

σ	a	μ^*	L^*	E[P]
0.2	10	11.500	10.386	59.600
	30	12.171	11.504	52.152
	50	12.318	11.774	50.179
0.6	10	11.481	10.258	56.578
	30	12.192	11.368	46.177
	50	12.373	11.654	43.117
1.0	10	11.381	10.090	52.129
	30	12.134	11.246	39.911
	50	12.335	11.556	36.329
1.4	10	11.223	9.932	47.403
	30	12.018	11.143	33.899
	50	12.235	11.475	29.940



〈그림 1〉 (μ, L) 값에 따른 E[P] 함수의 형태

4. 결론

본 논문에서는 제품의 품질특성이 망대특성을 갖고 정규분포를 따른다는 가정 아래, 공정평균과 규격하한을 경제적으로 설정하는 문제를 기대이익함수 모형으로 구성하여 살펴보았다. 이 모형에서 고려된 비용은 판매가격, 생산비용, 재가공비용과 품질손실비용이었다. 품질손실비용을 산출하는데 적용된 품질비용함수는 이차함수였으며, 단위 제품당 기대이익을 최대로 하는 공정평균과 규격하한을 결정하는 절차를 제시하였다. 최적 공정평균을 해석적으로 결정하지는 못하였으나 의미 있는 영역에서 수리적인 분석을 통하여 해가 존재함을 알 수 있었다. 그리고 $R/(c\sigma)$과 $(a\sigma)/c$ 값에 대응하는 ξ^*와 δ^* 값을 구할 수 있는 표를 제시하였다. 수치예제를 통하여 앞에서 제안한 절차를 예증하였고, 공정표준편차인 σ와 품질비용함수의 계수인 a의 조합이 μ^* 와 L^*의 최적 값과 단위 제품당 기대이익에 미치는 영향을 분석하였다. 수리적인 분석은 펜티엄 PC에서 FORTRAN과 IMSL (International Mathematical and Statistics Libraries)로 수행하였다.

추후 연구과제로는 품질특성치와 상관관계가 높은 대용 품질특성치를 이용하여 검사할 때 기대이익함수를 구성하고 최적 공정평균과 규격하한을 결정하는 문제를 고려해 볼 수 있을 것이다.

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, pp. 125-133.

[2] 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.

[3] 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.

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

[5] Hong, S. H. and Elsayed, E. A.(1999), "The Optimum Mean for Processes with Normally Distributed Measurement Error," *Journal of Quality Technology*, Vol. 31, pp. 338-344.

[6] Hong, S. H., Elsayed, E. A. and Lee, M. K.(1999), "Optimum Mean Value and Screening Limits for Production Processes with Multi-Class Screening," *International Journal of Production Research*, Vol. 37, pp. 155-163.

[7] 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. 176-181.

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

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

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

[11] 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.

부 록

식 (10)과 식 (11)을 얻기 위해 $\partial\phi(\xi)/\partial\xi$, $\partial\phi(\xi-\delta)/\partial\xi$, $\partial\phi(\xi-\delta)/\partial\delta$, $\partial\Phi(\xi-\delta)/\partial\xi$, 그리고 $\partial\Phi(\xi-\delta)/\partial\delta$을 구하면,

$$\frac{\partial\phi(\xi)}{\partial(\xi)}=-\xi\phi(\xi), \tag{A1}$$

$$\frac{\partial\phi(\xi-\delta)}{\partial(\xi)}=-(\xi-\delta)\phi(\xi-\delta), \tag{A2}$$

$$\frac{\partial\phi(\xi-\delta)}{\partial\delta}=(\xi-\delta)\phi(\xi-\delta), \tag{A3}$$

$$\frac{\partial\Phi(\xi-\delta)}{\partial\xi}=(\xi-\delta)\phi(\xi-\delta)=\phi(\xi-\delta), \tag{A4}$$

$$\frac{\partial\Phi(\xi-\delta)}{\partial\delta}=(\xi-\delta)\phi(\xi-\delta)=-\phi(\xi-\delta), \tag{A5}$$

이 된다. 이 식들을 사용하여 식(7)을 ξ와 δ로 각각 편미분하면

$$\frac{\partial E[P]}{\partial\xi}=c\sigma-\frac{1}{\{1-\Phi(\xi-\delta)\}^2}[[-c\sigma(\xi-\delta)\phi(\xi-\delta)+R\phi(\xi-\delta)+a\sigma^2\{2\xi\{\Phi(\xi)-\Phi(\xi-\delta)\}+2\phi(\xi)-2\phi(\xi-\delta)-\delta^2\phi(\xi-\delta)\}]\times\{1-\Phi(\xi-\delta)\}-[c\sigma\phi(\xi-\delta)+R\Phi(\xi-\delta)+a\sigma^2[(1+\xi^2)\{\Phi(\xi)-\Phi(\xi-\delta)\}+\xi\phi(\xi)-(\xi+\delta)\phi(\xi-\delta)]]\{-\phi(\xi-\delta)\}], \tag{A6}$$

$$\frac{\partial E[P]}{\partial\delta}=\frac{1}{\{1-\Phi(\xi-\delta)\}^2}[\{-c\sigma(\xi-\delta)\phi(\xi-\delta)-R\phi(\xi-\delta)+a\sigma^2\delta^2\phi(\xi-\delta)\}\{1-\Phi(\xi-\delta)\}-[c\sigma\phi(\xi-\delta)+R\Phi(\xi-\delta)+a\sigma^2[(1+\xi^2)\{\Phi(\xi)-\Phi(\xi-\delta)\}+\xi\phi(\xi)-(\xi+\delta)\phi(\xi-\delta)]][\{\phi(\xi-\delta)\}], \tag{A7}$$

이 된다.