Journal of the Korean Institute
of Industrial Engineers
Vol. 15, No. 2, Dec., 1989

工程平均의 目標値가 주어진 경우 規格限界의 經濟的 選定

柳 文 燦*

Economic Selection of Specification Limits for a Given Target Value

Moon-Charn Riew*

Abstract

An Economic selection of specification limits is considered for a given target value in a complete inspection plan. Each item is inspected, and if it meets the specification, it is accepted. Items less than the lower specification limit are scrapped or sold at a reduced price, and those greater than the upper specification limit are reworked. Cost factors to be considered are economic loss caused by quality deviations, rework cost and scrapping cost. Methods for finding the optimal specification limits are given for the cases of piecewise linear loss function and quadratic loss function with illustrative examples.

1. 序 論

요즘처럼 기업간의 경쟁이 가열화된 환경에서는 品質向上이 경쟁력 강화의 중요한 요소로 인식되고 있다. Harrington[6]에 의하면 품질문제를 해결함으로써 원가나 일정 계획문제를 크게 줄일 수 있으며, 높은 품질을 추구함으로써 투자회수율과 시장점유율을 높일 수 있다는 것이다. 제품의 품질은 성능에 대한 소비자의 만족도에 의하여 결정되는 바, 消費者의 기대치에 가까운 均質의 제품을 經濟的으로 생산함으로써 제품의 대외경쟁력을 높일수 있을 것이다.

제품의 개발과정을 크게 製品設計, 工程設計 및 製造의 세 단계로 나눌 수 있다고 할때, 종래의 品質管理 活動은 관리도나 샘플링검사 등을 주로 이용한 제조공정의 통제에 치우쳤다고 할 수 있다. 그러나 1980년대에 들어오면서 이러한 檢査中心의 수동적인 관리활동에서 벗어나 보다

* 高麗大學校 經商大學 經營學科

적극적인 豫防中心의 관리활동에 많은 관심을 보이고 있다. 즉, 공정설계나 제품설계 과정에서의 품질관리 활동이 제조공정의 품질관리 활동에 비해 품질향상이나 비용절감면에서 훨씬 효과적이라는 것이다[8]. 이로 인해 품질향상을 꾀하는데 관례적으로 받아들여졌던 假定이나 接近方法을 새롭게 검토해 볼 필요가 생겼다. 종래의 접근방법에서는 대체로 工程의 平均이나 分散 혹은 規格을 임의로 정할 수 없는것으로 취급하였다. 그러나 원자재, 작업자의 훈련 및 장비 등에 대한 투자를 통해서 이들을 합리적으로 통제하고자 하는 품질향상에 대한 보다 적극적인 접근방법이 등장하고 있다[9].

이중 工程平均을 경제적으로 결정하는 문제는 여러 학자들에 의해 논의된 바 있다[1,2,3,4,7,10]. 이들이 다룬 상황은 대체로 다음과 같다. 각 제품은 미리 설정된 규격을 만족하면 합격시키며, 그렇지 않으면 불합격시킨다. 불합격된 제품은 재가공을 하게 되거나 혹은 할인된 가격으로 판매한다. 이때 제품의 품질특성치가 정규분포를 따른다고 가정하고 투입된 原資材費用과 品質費用간의 균형을 맞춤으로써 경제적으로 공정 평균을 정하는 방법을 제시하였다.

일반적으로 소비자의 입장에서 볼 때 바람직스럽다고 여겨지는 理想的인 품질의 특성치가 있게 된다. 이를 품질특성의 目標値(target value)라고 부른다. 제품의 품질특성이 목표치에 가까울수록 소비자의 만족도가 높아질 것이다. 예컨대 시계는 오차가 0인 경우가 이상적인 바, 오차가 크면 클수록 소비자의 불만은 커질 것이다. 그런데 출하된 제품의 품질특성이 목표치에 얼마나 가까우냐 하는 것은 規格을 어떻게 설정하는가에 달려 있다. 엄격한 규격을 적용하게 되면 균질의 제품을 생산할 수 있으나 규격을 만족하지 않는 제품이 많아지게 되어 제조비용이 상승하게 되며, 완화된 규격을 적용하면 제조비용은 줄일수 있으나 성능의 변동이 커져서 소비자의 불만이 높아지게 될 것이다. 따라서 이와 같은 品質水準과 製造費用의 상충관계를 고려하여 규격을 과학적으로 설정하는 것이 바람직하다고 하겠다.

Golhar와 Pollock[5]은 Canning 문제에서 규격하한이 미리 설정되어 있는 경우에 규격상한을 공정평균과 함께 결정하는 방법을 다루었다. 또한 Tang[11]은 품질특성의 목표치가 미리 정해져 있을때 경제적으로 規格限界를 설정하는 문제를 다루었다. 즉, 제품을 전수 검사하여 규격을 만족하면 합격시키며, 그렇지 못하면 그 제품의 품질특성치가 목표치와 일치하도록 재작업을 한다. 검사를 통한 경제적 이득에서 재작업비용 및 검사비용을 뺀 것을 이익함수로 정의하였으며, 검사비용이 일정할 때와 규격한계폭의 함수일 때인 두 경우에 대하여 이익함수가 최대로 되도록 규격한계를 설정하였다.

본 연구에서는 다음과 같은 상황에서 규격한계를 경제적으로 설정하는 방법을 논의하고자 한다. 공정평균의 목표치는 미리 정해져 있고, 공정평균이 이 목표치에 설정되어 있다고 하자. 제품을 전수 검사하여 규격을 만족하는 제품은 합격시키고, 規格上限을 초과하는 제품은 再作業을 실시한다. 반면 規格下限에 미달되는 제품은 재작업이 곤란하기 때문에 廢棄處分(혹은 가격을 割引하여 판매) 한다고 가정한다.

합격된 제품이라 할지라도 그 품질특성이 목표치와 일치하지 않을 때에는 소비자의 불만족 등으로 인한 損失(loss)이 발생한다고 본다. 이러한 損失과 再作業費用 및 廢棄處分 費用으로 비용함수를 구성하고, 이를 최소화 하도록 規格限界를 설정한다. 검사비용은 모든 제품에 대하여 일정하다고 보고 비용함수에 포함시키지 않는다.

규격하한에 미달되는 제품은 재작업을 하지 않고 바로 폐기처분(경우에 따라서는 가격을 할인하여 판매)하는 상황을 다룬다는 점이 위에서

언급한 두 연구[5, 11]와의 큰 차이점이다. Goldhar와 Pollock[5]의 연구에서는 工程平均과 規格上限을 결정변수로 다룬 반면, 본 연구에서는 공정평균은 미리 설정되어 있다고 보고 規格上限과 規格下限을 결정변수로 취급하였다. 또한 Tang[11]과는 달리 재작업한 제품일지라도 그 품질특성치가 목표치에 항상 일치하지는 않으며, 재작업 이전의 상태로 還元된다고 가정하였다. 앞서 언급한 여러 연구중 Golhar[4] 및 Golhar와 Pollock[5]이 이러한 가정하에서 공정평균을 설정하는 문제를 다룬 바 있다.

記 號

v	=	目標値로부터 品質特性値의 偏差
$\Phi(\cdot)$	=	標準正規 累積分布函數
$\phi(\cdot)$	=	標準正規 確率密度函數
$h(v)$	=	單位當 損失函數
S	=	廢棄處分(혹은 割引販賣)으로 인한 單位當 機會費用
R	=	單位當 再作業費用
L	=	規格下限
U	=	規格上限
ETC	=	單位當 總期待費用

2. 問題 및 費用模型

제품의 품질특성을 x라 하고 공정평균의 목표치를 τ라 할때, 목표치로부터 품질특성치의 편차인 $v=x-\tau$는 正規分布를 따른다고 가정한다. 공정평균이 목표치에 설정되었으므로 v의 期待値는 0이며, 分散은 편의상 1이라고 가정한다.

생산된 각 제품에 대하여 규격을 만족하는지의 여부를 판정하기 위하여 품질검사를 실시한다. $L \leq v \leq U$ $(L<0,\ U>0)$이면 제품을 合格시키며, $v>U$이면 단위당 비용 R을 들여서 再作業을 한다. 또한 $v<L$이면 廢棄處分(혹은 割引販賣) 한다. 폐기처분 하거나 할인판매함으로써 발생하는 기회비용은 단위당 S이다.

합격된 제품의 경우 품질특성치가 목표치와 일치하지 않을 때에는 손실이 발생하는 바, 단위당 損失函數 h(v)는 다음과 같은 두가지 성질을 만족한다고 가정한다.

$$h(0)=0, \quad \cdots\cdots (1)$$

$$h'(v)<0,\ v<0 \quad \cdots\cdots (2)$$
$$>0,\ v>0.$$

式(1)은 품질특성치가 목표치와 일치할 때에는 손실이 발생하지 않음을 뜻하며, 式(2)는 품질특성치가 목표치로부터 멀어짐에 따라 손실이 크게 발생함을 의미한다.

제품단위당 비용은 다음과 같다.

$$TC(v)=\begin{cases} S, & v<L, \\ h(v), & L\leq v\leq U, \\ ETC+R, & v>U. \end{cases}$$

따라서 ETC는 다음과 같이 표시된다.

$$\begin{aligned} ETC &= \int_{-\infty}^{+\infty} TC(v)\,\phi(v)\,dv \\ &= \int_{-\infty}^{L} S\phi(v)\,dv + \int_{L}^{U} h(v)\,\phi(v)\,dv \\ &\quad + \int_{U}^{+\infty} (ETC+R)\,\phi(v)\,dv. \end{aligned} \quad \cdots (3)$$

式(3)을 정리하면

$$ETC=\Big[\int_{L}^{U} h(v)\,\phi(v)\,dv + S\Phi(L) + R\{1-\Phi(U)\}\Big]/\Phi(U) \quad \cdots\cdots (4)$$

가 된다.

3. 最適 規格限界의 決定

式(4)를 L과 U에 대하여 편미분하면

$$\frac{\partial ETC}{\partial L}=\frac{\phi(L)\{S-h(L)\}}{\Phi(U)}, \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5)$$

$$\frac{\partial ETC}{\partial U}=\frac{\phi(U)\{h(U)-R-ETC\}}{\Phi(U)} \quad \cdots\cdots (6)$$

가 된다. 式(5), (6)을 0으로 두면

$$h(L)=S, \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (7)$$

$$h(U)=R+ETC \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (8)$$

를 얻게 되며 式(8)을 정리하면 다음과 같이 된다.

$$\int_L^U h(v)\phi(v)dv+S\Phi(L)+R=h(U)\Phi(U). \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (9)$$

式(4)를 최소로 하는 규격한계 (L^*, U^*)는 연립방정식 (7), (9)의 根이며, 이 근은 항상 유일하게 존재한다(이에 대한 증명은 부록에서 다룬다). 따라서 式(7)로부터 L^*를 먼저 구한 다음, 式(9)로부터 數値的인 방법에 의해 U^*를 구하면 된다. 최적해에서의 기대비용은 式(8)로부터

$$ETC=h(U^*)-R \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (10)$$

이 됨을 알 수 있다. 式(10)은 최적해가 아닌 (L, U)값에 대해서는 일반적으로 성립하지 않는다. 그림 1에서는 비용함수와 (L^*, U^*)의 관계를 보여주고 있다.

지금까지 최적 규격한계를 구하는 일반적인 해법에 관해서 논의하였다. 이제 式(1)과 (2)를 만족하는 것으로서 손실함수가 특정한 형태일 경우의 해법을 예제와 함께 구체적으로 다루기로 한다.

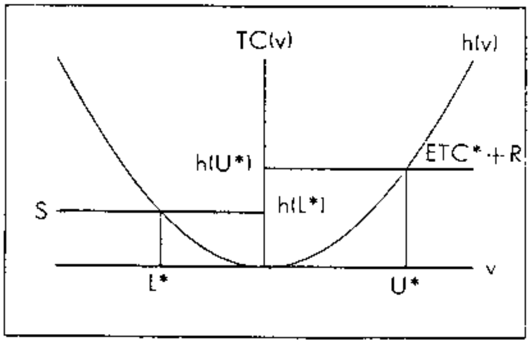

그림 1. 費用函數와 最適解

3-1. 一次 損失函數

먼저 손실함수가 區分的 一次函數(piecewise linear function)일 때를 다룬다. 품질특성치가 목표치로부터 일치하지 않는 제품은 그 偏差에 비례하여 할인판매를 한다고 하면 이때의 손실함수는 편차에 대한 일차함수가 될것이다.

$h(v)=k\,|\,v\,|$ (k는 양의 상수)

라고 하자. 式(7)로부터 $L^*=-S/k$이다.

$$\int_L^U |v|\,\phi(v)dv=-\int_L^0 v\phi(v)dv+\int_0^U v\phi(v)dv=2\phi(0)-\{\phi(L)+\phi(U)\}$$

이므로 式(9)는

$$U\Phi(U)+\phi(U)=2\phi(0)-\phi(L)+\{S\Phi(L)+R\}/k \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (12)$$

로 정리된다. $G_1(U)=U\Phi(U)+\phi(U)$라고 할 때, $G_1(U)$는 단조 증가함수이며, $0<G_1(U)<+\infty$임을 보일 수 있다. 따라서 U^*는 式(12)로부터 Newton-Raphson법과 같은 수치적인 방법에 의해 구하면 된다. 그림 2는 함수 $G_1(U)$을 플롯팅한 것으로서, 이를 이용하면 쉽게 U^*를 구할 수도 있겠다. 式(12)의 우변값을 구한 후, 이것이 $G_1(U)$와 같아야 하므로 이에 대응되는 U값을 그림 2에서 읽으면 된다.

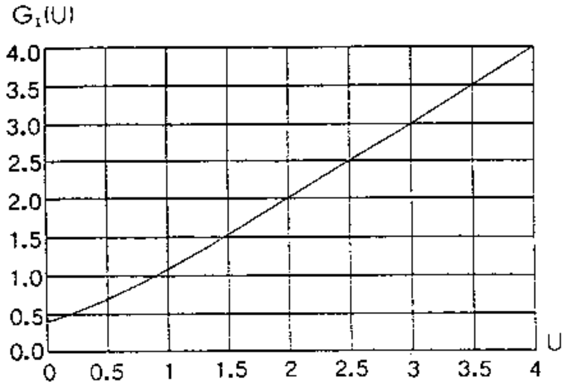

그림 2. $G_1(U)$ vs. U

例題 1 : 제조공정에서 공작기계에 의해서 가공되는 제품의 규격을 설정하고자 한다. 목표치로부터 품질특성치의 편차는 표준 정규분포를 따른다고 한다. 규격상한을 초과하는 제품은 재작업을 실시하며, 규격하한에 미달되는 제품은 가공방법의 성격상 재작업이 곤란하기 때문에 폐기처분한다. 재작업 비용은 단위당 R=2이며, 폐기처분 비용은 단위당 S=3이다. 품질특성치가 목표치로부터 1만큼 떨어져 있는 제품의 기회손실은 단위당 3이라고 한다.

式(11)로부터 k=3이므로 $L^*=-S/k=-1.0$이다. $2\phi(0)-\phi(L^*)+\{S\Phi(L^*)+R\}/k=1.3812$이므로 그림 2로부터 $U^*=1.3$이다. 따라서 $-1.0\leq v\leq 1.3$이면 그 제품을 합격시키며, $v<-1.0$이면 폐기처분하고 $v>1.3$이면 재작업을 한다. 수치적 방법에 의하여 구한 정확한 U^*값은 1.3394이며, 이때의 총 기대비용은 ETC=h(1.3394)-2=2.0182이다.

3-2. 二次 損失函數

여기서는 손실함수의 형태가

$h(v)=kv^2$ (k 는 양의 상수)

인 경우를 다룬다. 이와 같은 형태의 손실함수는 Taguchi가 제안한 바로서, 경험적으로 볼때 성능변동에 대한 손실을 표현하는데 적절한 것으로 인식되고 있다[8]. 이러한 손실함수는 최근들어 크게 관심받고 있으며, 제품의 설계나 공정의 설계 등 여러 분야에서 이용되고 있다.

式(7)로부터 $L^*\doteq\sqrt{S/k}$이다. 한편

$$\int_L^U v^2\phi(v)dv=\Phi(U)-U\phi(U)+L\phi(L)-\Phi(L)$$

이므로 式(9)는 다음과 같이 정리된다.

$$U^2\Phi(U)+U\phi(U)-\Phi(U)=L\phi(L)-\Phi(L)+\{S\Phi(L)+R\}/k. \quad\cdots\cdots\cdots\cdots (13)$$

$G_2(U)=U^2\Phi(U)+U\phi(U)-\Phi(U)$라고 할때, $G_2(U)$는 단조 증가함수이며 $-0.5<G_2(U)<+\infty$임을 보일 수 있다. 따라서 U^*는 式(13)의 根으로서, 손실함수가 一次函數일 때와 마찬가지로 수치적인 방법으로 구하면 된다. 그림 3은 함수 $G_2(U)$를 플롯팅한 것으로서, 式(13)의 우변값을 구한 후 그림 3을 이용하면 U^*값을 보다 쉽게 구할 수도 있을 것이다.

例題 2 : 例題 1에서 손실함수의 형태가 h(v)$=3v^2$이라고 하자. $L^*=\sqrt{S/k}=-1.0$이 되며, 式(13)의 우변값은 0.4247이므로 그림 3으로부터 $U^*=1.1$이다. 수치적 방법에 의하여 구한 정

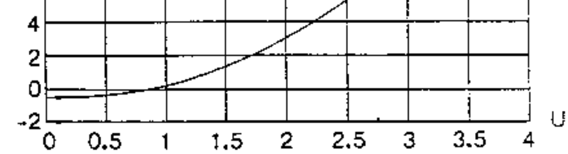

그림 3. $G_2(U)$ vs. U

확한 U*값은 1.1019이며, 이때의 총 기대비용은 $ETC=h(1.1019)-2=1.6426$이다.

3-3. σ가 1이 아닌 경우

지금까지 논리전개와 편의상 v의 標準偏差 σ가 1이라고 가정하였다. 그러나 σ가 1이 아닐 때에도, 손실함수 및 규격한계를 '標準化'함으로써 앞에서 논의한 내용을 쉽게 적용할 수가 있다. 예컨대 손실함수가 $h(v)=kv^2$인 경우를 생각해 보자. v의 確率密度 函數를 f(v)라고 하면 ETC는

$$ETC=\int_L^U kv^2f(v)dv+\int_{-\infty}^L Sf(v)dv + \int_U^{+\infty}(R+ETC)f(v)dv \quad \cdots\cdots\cdots (14)$$

이다. 여기서 $L'=L/\sigma$, $U'=U/\sigma$, $v'=v/\sigma$ 및 $k'=k\sigma^2$으로 치환하면 式(14)는

$$ETC=\int_{L'}^{U'} k'v'^2\phi(v')dv'+\int_{-\infty}^{L'} S\phi(v')dv' + \int_{U'}^{+\infty}(R+ETC)\phi(v')dv'$$

이 되어 式(3)과 같은 형태가 된다. 따라서 k 대신 $k'=k\sigma^2$으로 두고 式(7)과 (9)로부터 (L'^*, U'^*)를 구한 후, $L^*=\sigma L'^*$, $U^*=\sigma U'^*$로 逆置換하여 최적 규격한계를 구할 수 있을 것이다. 또한 최적해에서의 총 기대비용은 $ETC=k'U'^{*2}-R=kU^{*2}-R$이 된다. 일차 손실함수인 경우에는 k 대신 $k'=k\sigma$로 두고 위와 같은 방법으로 최적 규격한계를 구하면 된다.

例題 3 : 例題 2에서 v의 표준편차가 $\sigma=2$라고 하자. $k'=(3)(2)^2=12$이므로 $L'^*=\sqrt{S/k'}=-0.5$이다. 또한 式(13)으로부터 수치적인 방법으로 구하면 $U'^*=0.6265$이다. 따라서 $L^*=(2)(-0.5)=-1.0$이고, $U^*=(2)(0.6265)=1.253$이다. 이때 총 기대비용은 $ETC=(3)(1.253)^2-2=2.710$이 된다.

4. 損失函數의 選定

3節에서는 제품의 품질특성치의 損失函數가 일차식과 이차식의 형태로 주어졌을때 最適 規格限界를 결정하는 방법을 다루었다. 손실함수를 일차식 혹은 이차식으로 가정하는 것은 각기 나름대로의 타당성을 가지고 있다. 그러나 실제 적용과정에서는 손실함수를 정확한 형태로 결정하는 것이 매우 어려운 문제이다. 손실함수의 형태를 잘못 선택했을 경우에는 그로 인해 규격을 잘못 설정함으로써 비용의 증가를 초래하게 될 것이다.

그림 4와 5에는 각각 一次 損失函數를 二次 損失函數로 잘못 가정한 경우와 반대로 二次 損失函數를 一次 損失函數로 잘못 가정한 경우에 있어서 총 기대비용의 증가율이 나와 있다. ETC^t와 ETC^w을 각각 옳은 손실함수와 잘못된 손실함수를 적용했을 때의 총 기대비용이라고 할때, 費用增加率은 $(ETC^w-ETC^t)/ETC^t\times100\%$로 정의한다. 두 그림에 의하면 손실함수가 이차식일 때 일차식으로 잘못 가정하였을 경우가 그

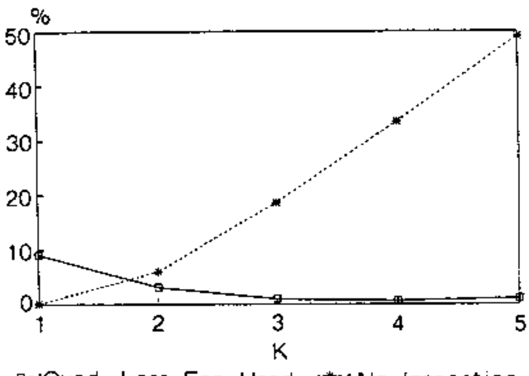

그림 4. 損失函數가 一次式일 경우 總期待費用의 增加率

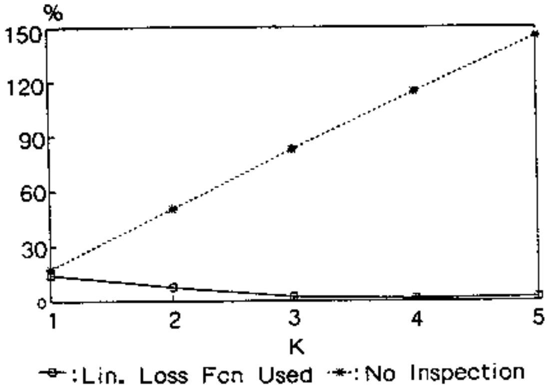

그림 5. 損失函數가 二次式일 경우 總期待費用의 增加率

반대의 경우보다 비용증가율이 높다는 것을 알 수 있다. 또한 두 경우 공히 k 가 커지면 비용증가율이 작아지는 현상을 보게 된다.

品質檢査를 하지 않고 제품을 바로 출하하게 될 때의 총 기대비용의 증가율도 두 그림에 표시되어 있다. 이 때에는 k 가 커짐에 따라 비용증가율이 커지며, 특히 손실함수가 二次式일 때는 一次式일 때에 비해 그 증가폭이 심대하다고 할수 있겠다. 따라서 k 가 클수록 본 연구에서 제시한 검사방식을 적용함으로써 품질검사를 하지 않을 경우에 비해 품질비용의 절감효과를 크게 기대할 수 있을 것으로 생각된다.

5. 要　　約

지금까지 공정평균의 목표치가 주어진 경우 規格限界를 經濟的으로 설정하는 방법을 다루었다. 제품의 품질특성치는 正規分布를 따른다고 가정하고, 經濟的 損失, 廢棄處分 費用 및 再作業費用을 고려하여 費用 模型을 세웠다.

품질특성치가 目標値와 일치할 때에는 손실이 발생하지 않으며, 목표치로부터 멀어짐에 따라 손실이 크게 발생한다는 가정하에서, 최적해가 항상 유일하게 존재함을 보였다. 손실함수가 특정한 형태(일차식 및 이차식)일 경우에 예제와 함께 구체적인 해법을 다루었다. 최적해를 찾기 위해서는 數値的인 방법이 필요하나, 이에 대한 대안으로서 그림을 이용하여 쉽게 구할수 있는 방법도 아울러 제시하였다.

6. 附　　錄

여기서는 연립방정식 (7), (9)의 根이 항상 유일하게 존재하며, 式(4)를 최소로 하는 解임을 보이고자 한다. 우선 式(7), (9)의 근이 유일하게 존재함을 보인다. $L<0$이어야 하므로 式(1)과 (2)로부터 방정식(7)의 해는 항상 유일하게 존재함을 쉽게 알 수 있다.

$$Q(U)=\int_L^U h(v)\phi(v)dv+S\Phi(L)+R-h(U)\Phi(U)$$

이라고 하자. $Q'(U)=-h(U)\Phi(U)$이고, 式(2)로부터 $Q'(U)<0$이므로 $Q(U)$는 U 에 대하여 單調減少 函數이다. 그런데 $\lim_{U\to 0} Q(U)>$이고 $\lim_{U\to\infty} Q(U)=-\infty$이므로 중간값의 정리에 의하여 방정식 $Q(U)=0$는 항상 유일한 해가 존재한다. 따라서 연립방정식 (7), (9)의 해는 항상 유일하게 존재한다.

L 과 U 에 대하여 式(4)의 2계 편도함수를 구하면

$$\frac{\partial^2 ETC}{\partial L^2}=\frac{\phi(L)[L\{h(L)-S\}-h'(L)]}{\Phi(U)}, \quad \text{(A1)}$$

$$\frac{\partial^2 ETC}{\partial U^2}=\frac{-\phi(U)\{h(U)-R-ETC\}\{U\Phi(U)+2\phi(U)\}}{\{\Phi(U)\}^2}+\frac{\phi(U)h'(U)}{\Phi(U)}, \quad \text{(A2)}$$

$$\frac{\partial^2 ETC}{\partial L\partial U}=\frac{-\phi(U)\phi(L)\{S-h(L)\}}{\{\Phi(U)\}^2} \cdots \text{(A3)}$$

이 된다. 방정식(7), (9)의 근을 (L*, U*)라고 할 때, 이 점에서의 Hessian 行列이 陽의 正符號(Positive Definite)임을 알수 있다. 따라서 (L*, U*)는 최적해가 되기 위한 필요조건을 만족하는 유일한 해이므로 바로 최적해라고 할 수 있다.

參考文獻

1. Bettes, D.C., "Finding an Optimum Target Value in Relation to a Fixed Lower Limit and an Arbitrary Upper Limit", *Applied Statistics,* Vol. 11, No. 2, pp.202-210, 1962.
2. Bisgaard, S., Hunter, W.G. and Pallesen, L., "Economic Selection of Quality of Manufactured Product", *Technometrics*, Vol. 26, No. 1, pp. 9-18, 1984.
3. Carlsson, O., "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, 1984.
4. Golhar, D.Y., "Determination of the Best Mean Contents for a Canning Problem", *Journal of Quality Technology,* Vol. 19, No. 2, pp.82-84, 1987.
5. Golhar, D.Y. and Pollock, S.M., "Determination of the Optimal Process Mean and the Upper Limit for a Canning Problem", *Journal of Quality Technology,* Vol. 20, No. 4, pp.188-192, 1988.
6. Harrington, H.J., *Poor-Quality Cost,* Marcel Dekker, New York, 1987.
7. Hunter, W.G. and Kartha, C.P., "Determining the Most Profitable Target Value for a Production Process", *Journal of Quality Technology,* Vol. 9, No. 4, pp.176-181, 1977.
8. Kackar, R.N., "Off-Line Quality Control, Parameter Design, and the Taguchi Method", *Journal of Quality Technology,* Vol. 17, No. 4, pp.176-188, 1985.
9. Schmidt, R.L. and Pfeifer, P.E., "An Economic Evaluation of Improvements in Process Capability for a Single-Level Canning Problem", *Journal of Quality Technology,* Vol. 21, No. 1, pp.16-19, 1989.
10. Springer, C.H., "A Method for Determining the Most Economic Position of a Process Mean", *Industrial Quality Control,* Vol. 8, No. 1, pp.36-39, 1951.
11. Tang, K., "Economic Design of Product Specifications for a Complete Inspection Plan", *International Journal of Production Research,* Vol. 26, No. 2, pp. 203-217, 1988.