⊠연구논문

rpm 변화를 고려한 최적의 공정 평균과 상한 규격의 결정

송우복 · 안광일 · 김성집
한양대학교 산업공학과

Determination of the Optimal Process Mean and Upper Limit with considering the rpm(rate per minute)

Woo-Bok Song · Kwang-Il Ahn · Seong-Jip Kim
Dept. of Industrial Engineering, Hanyang University

Abstract

The quality control literature contains a substantial number of articles concerned with how to optimally choose control limits in order to minimize production cost. The purpose of the this study is to determine the economic setting for the process mean of an industrial process. In this study it is assumed that the lower control limit is set by government regulations and the upper limit and process mean are chosen based on economic considerations. Much research has been conducted on this problem under the condition of the fixed rpm(rate per minute). However a variance can be increased in proportion to the level of rpm and the increase of the variance can change the optimal process mean. Therefore, it is desirable to determine both the process mean and the level of rpm simultaneously. In this paper, a mathematical model is presented which considers the upper limit and the rpm as variables.

1. 서론

오늘날의 경쟁 경제체제에서 기업은 값싸고 품질 좋은 제품을 만들어야만 생존할 수 있게 되었다. 이에 따라 생산공정에서도 제조되는 제품들이 품질규격을 만족시킬 뿐만 아니라 경제적으로 생산되도록 지속적인 연구가 이루어지고 있다. 이러한 연구

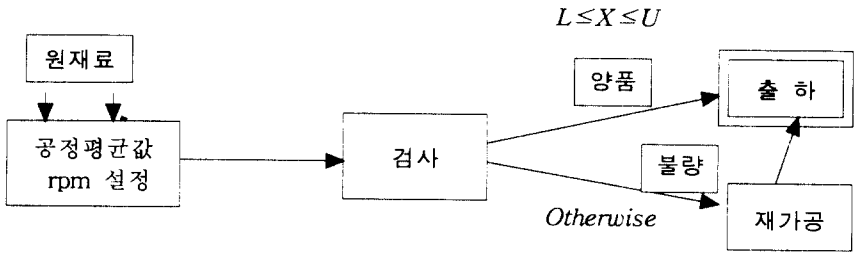
중의 하나로 경제적 공정평균의 설정 문제가 있다. 생산공정에서 원자재, 기계 설비, 생산 기술 등을 균일하게 고정시킨다는 것은 불가능하다. 이로 인해 생산되는 제품의 품질 특성치는 세팅한 공정평균을 중심으로 산포하게 되고 결과적으로, 품질 규격을 만족시키지 못하는 불량품이 발생한다. 따라서 생산공정에서 불량율과 재가공비 등을 고려하여 공정평균을 설정하는 문제는 중요한 연구과제였다. 공정평균의 설정에 관한 연구는 다양한 조건하에서 이루어져왔다. Hunter와 Kartha(1977)는 생산비용은 품질 특성치에 비례한다고 가정하고, 하한 규격에 미달되는 제품은 정상 제품보다 낮은 가격(할인된 가격)으로 시장에 판다는 조건하에서 공정 평균값을 결정하였다. Bisgaard와 Hunter 그리고 Pallesen(1984)은 Hunter와 Kartha(1977)의 모델이 내용물이 전혀 없는 제품도 제 값에 판매될 수 있다는 비현실적인 가정을 지적하고, 규격 하한을 넘는 제품은 정상적인 가격에 판매되고, 하한 규격에 미달되는 제품은 미달되는 제품의 양에 비례하여 할인된 가격에 판매되는 경우를 고려하였다. Golhar(1987)는 하한 규격만이 주어진 공정에서 규격에 미달되는 제품은 재가공되거나 폐기되는 경우를 연구했다. 그는 가장 경제적인 공정 평균값을 재가공비, 재료비, 공정 산포를 독립변수로 하는 함수식으로 표현하여 최적의 공정 평균값을 구했다. Schmidt와 Pfeifer(1988)는 Golhar(1987)의 모델을 이용해서 Variance Reduction의 경제적인 효과를 연구했다. Golhar 와 Pollock(1988)은 Golhar(1987)의 가정에서 하한 규격만을 고려한 모델에 가장 적절한 상한 규격도 고려하여 이익을 최대로 하는 공정 평균값 과 규격 상한을 동시에 결정하는 문제를 다루었다. Boucher와 Jafari(1991)는 기존의 논문이 전수 검사를 전제로 하고있는 것을 샘플링 검사의 경우에 대해서 연구했다. Schmidt와 Pfeifer (1991)는 생산 능력이 제한되어 있는 경우에 Golhar와 Pollock(1988)의 모델에서 공정평균값과 규격 상한을 결정하는 문제를 다루었다. 최근 연구로는 홍성훈과 임훈(1995)이 연속생산공정에서 공정평균과 함께 규격하한을 동시에 결정하는 문제를 다루었다.

이 분야의 기존 연구들에서는 품질 특성치가 정규분포를 하며 공정의 산포가 하나의 값으로 이미 알려진 생산 공정에서 공정 평균을 결정했다. 그러나 생산속도는 공정산포에 영향을 줄 수 있고, 그 결과로 새로운 경제적 공정 평균값을 요구하게 된다. 생산공정 중에는 생산속도를 조절할 수 있는 공정들이 많이 있다. 예를 들어 카레, 꿀, 화장품 등을 충진하여 생산하는 공정은 충진기의 노즐을 조절하여 rpm(rate per minute)을 설정함으로 생산속도를 조절할 수 있다. 그리고 원재료의 점성 때문에 생산속도의 변화 즉 rpm의 변화가 공정산포에 영향을 미친다. 안(1995)은 하한 규격만이 주어진 생산공정에서 rpm의 수준이 산포에 미치는 영향을 고려하여 경제적 공정평균값을 결정하는 문제를 다루었다. 본 연구에서는 하한 규격이 주어진 공정에서 규격 상한치와 공정평균 그리고 rpm의 수준을 동시에 결정해 줌으로써 전체 매출이익을 최대화하는 것을 목적으로 한 수리모델을 제시한다.

2. 수리적 모델

2.1 시스템 구성

시스템의 구성은 <그림 1>과 같다. 품질 특성치가 하한 규격과 상한 규격을 만족하는 경우에는 양품으로서 시장에 출하되어 고정된 값으로 판매되지만 규격에 미달되는 제품은 불량품으로 재가공된다. 단위 시간 동안 몇 개를 생산 할 것인지 rpm의 수준을 조절해 작업 속도를 결정할 수 있다. 생산된 제품은 전수검사를 한다.



< 그림 1 > 가공 시스템의 개념도

2.2 용어 정의 및 가정

X : 제품의 품질 특성치(중량)

L : 규격 하한치

U : 조정할 수 있는 규격 상한치

u : 공정 평균값

σ : 공정 산포

rpm : 단위 시간의 생산율

u^* : 가장 경제적인 공정 평균값

U^* : 가장 경제적인 규격 상한값

$rv(rpm)$: 단위 시간의 생산율 rpm을 독립변수로 하는 공정 산포의 함수

A : 판매 가격

C : 단위 재료비

R : 재가공 비용

Z : 단위 시간의 총 생산 이익

LZ : 단위 시간의 총 생산 평균 이익(대수값)

$P(x;u,U,\sigma)$: 공정 평균이 u이고, 상한 규격이 U이며 공정 산포가 σ인 제품 한 개의 단위 이익

$E[(x;u, U, \sigma)]$: 공정 평균이 u이고, 상한 규격이 U이며 공정 산포가 σ인 제품 한 개의 평균 단위 이익

$g(x;u, \sigma)$: 평균이 u이고 분산이 σ^2인 정규 확률 밀도 함수

$$g(x;u, \sigma) = (2\pi\sigma)^{-1/2}\exp[-(x-u)^2/2\sigma^2]$$

$f(t)$: 평균이 0 이고 분산이 1인 표준 정규 확률 밀도 함수

$$f(t) = (2\pi)^{-1/2}\exp(-t^2/2)$$

$F(t)$: 표준 정규 분포 함수

$$F(t) = \int_{-\infty}^{t} f(t)dt$$

가정 : 1. 품질특성치는 정규분포를 한다.
2. 출하된 제품은 일정한 값으로 모두 판매된다.
3. 불합격제품은 재작업을 거쳐 충진작업 공정으로 다시 보내진다.

2.3 rpm과 공정 산포

작업 속도는 기계에서 rpm의 수준을 얼마로 세팅하느냐?에 달려 있다. rpm의 수준을 높이면 작업 속도는 빨라지고 공정 산포는 비례적으로 커진다. rpm의 수준과 공정 산포의 관계식은 식(1)과 같다.

$$\sigma = rv(rpm) \tag{1}$$

rpm의 수준과 공정 산포의 수리적 관계식은 생산에 사용되는 원재료의 종류에 따라 달라지며 같은 종류라도 기계의 성능에 따라 달라진다. rpm의 수준과 공정 산포는 양의 상관관계를 갖는다.

2.4 제품 한 개의 단위 이익

생산공정에서 생산된 한 제품의 재료의 양 X가 하한 규격치 L 보다 크고 상한 규격치 U 보다 작으면 양품으로 판정되어 고정된 A 가격으로 시장에 판매된다. 따라서 제품이 규격에 만족되었을 때 단위 이익은 제품 가격 A에서 단위 재료비와 채워진 양을 곱한 Cx를 뺀 값이 된다. 반대로 불량품은 재가공을 하게 되어 재가공비 R이 들게 된다. 결국 재가공된 제품은 평균 단위 이익을 만들어 낼 것이다. 따라서,

불량으로 인해 재가공된 제품의 단위 이익은 평균 단위 이익에서 재가공비 R을 빼서 산출할 수 있다. 그러므로, 제품 한 개를 생산했을 때, 제품 한 개의 단위 이익은 식(2)와 같다.

$$P(x, u, U, \sigma) = \begin{cases} A - Cx & \text{for } L \le x \le U \\ E[P(x, u, U, \sigma)] - R & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

그리고, 제품 한 개의 평균 단위 이익은 식(3)과 같다

$$\begin{aligned} E[P(x, u, U, \sigma)] = & \int_L^U (A - Cx) g(x, u, U, \sigma) dx \\ & + \int_{-\infty}^{L} \{E[P(x, u, U, \sigma)] - R\} g(x, u, U, \sigma) dx \\ & + \int_U^{\infty} \{E[P(x, u, U, \sigma)] - R\} g(x, u, U, \sigma) dx \end{aligned} \quad (3)$$

식(3)에서 우변의 첫 번째 항은 단위 제품이 품질 규격을 만족 시켰을 때 얻게 되는 평균 단위 이익이고, 두 번째 항과 세 번째 항은 단위 제품이 품질 규격을 만족시키지 못했을 때 재가공을 하고 다시 판매하여 얻게 되는 평균 단위 이익이다. 이것은 Golhar와 Pollock(1988)이 Canning Problem에서 제시한 단위 이익 모델과 같다.

2.5 단위 시간의 생산 총 이익

단위 시간의 생산 총 이익은 단위 시간의 생산율 rpm과 제품 한 개의 단위 이익 $P(x, u, U, \sigma)$의 곱으로 표현 할 수 있다.

단위 시간의 총 생산 이익은 식(4)와 같고

$$Z = rv^{-1}(\sigma) \times P(x, u, U, \sigma) \quad (4)$$

단위 시간의 총 생산 평균 이익은 식(5)와 같다.

$$E[Z] = rv^{-1}(\sigma) \times E[P(x, u, U, \sigma)] \quad (5)$$

계산의 용이함을 위해 곱셈의 형태로 표시된 것을 덧셈의 형태로 바꾸기 위해 자연대수를 취하면 식(6)으로 표현된다. 식(6)이 이 연구에서 극대화하기를 원하는 목적식이 된다.

$$\ln E[Z] = \ln rv^{-1}(\sigma) + \ln E[P(x, u, U, \sigma)] \quad (6)$$

3. 문제 해법

3.1 모델의 표준화

목적식(6) 에서 첫째 항은 생산자가 세팅한 rpm값이다. 따라서 공정평균 μ와 상한규격 U 를 달리한다고 해서 바뀌어지는 것이 아니라 생산자의 세팅에 의해 결정된 상수가 된다. 물론 생산자에 의해 여러 rpm수준이 결정될 수 있지만 공정평균과 상한규격의 변화에 따라 저절로 바뀌어지는 것은 아니다. 일단 작업자에 의해 rpm의 수준이 결정되면 공정 산포는 어느 일정한 값을 갖게 된다. 그리고 공정산포가 rpm의 수준에 따라 다른 상수를 갖는다는 당연한 사실이다. 식(6)의 둘째 항은 한 제품의 평균 단위 이익의 대수값이다. 둘째 항에서 자연대수의 진수만을 생각하여 $g(x,u,\sigma)$를 표준화하면 식(7)과 같다.

$$\begin{aligned} E[P(x,u,U,\sigma)] &= A[F(\frac{U-u}{\sigma})-F(\frac{L-u}{\sigma})] \\ &\quad -C\{\sigma[f(\frac{L-u}{\sigma})-f(\frac{U-u}{\sigma})]+u[F(\frac{U-u}{\sigma})-F(\frac{L-u}{\sigma})]\} \\ &\quad +\{E[P(x,u,U,\sigma)]-R\}F(\frac{L-u}{\sigma}) \\ &\quad +\{E[P(x,u,U,\sigma)]-R\}\{1-F(\frac{U-u}{\sigma}\} \end{aligned} \tag{7}$$

식(7)을 계산하여 간단히 정리하면 식(8) 같다.

$$E[P(x,u,U,\sigma)] = A-Cu+R-\{\frac{R+C\sigma[f(\frac{L-u}{\sigma})-f(\frac{U-u}{\sigma})]}{F(\frac{U-u}{\sigma})-F(\frac{L-u}{\sigma})}\} \tag{8}$$

$t_1=\frac{U-u}{\sigma}$와 $t_2=\frac{L-u}{\sigma}$로 치환하여 식(8)을 다시 정리하면 식(9)와 같이 된다.

$$E[P(x,u,U,\sigma)] = A-Cu+R-\{\frac{R+C\sigma[f(t_2)-f(t_1)]}{F(t_1)-F(t_2)}\} \tag{9}$$

식(9)에 대해 Golhar와 Pollock(1988)은 $E[P(x,u,U,\sigma)]$함수가 $0\le\frac{R}{C\sigma}\le 8$의 범위에서 공정평균 u에 대해 위로 볼록한 함수(concave function)임을 수치 해석으로 설명하였고, $0.1\le\frac{R}{C\sigma}\le 2$ 범위에서 $E[P(x,u,U,\sigma)]$의 값이 최적이 되는 공정평균

u^*와 상한규격 U^*, $\frac{R}{C\sigma}$의 선형관계를 식(10)에서처럼 제시했다.

$$u^* = L - \sigma t_2^*$$
$$U^* = \mu^* + \sigma t_1^*$$
$$t_1^* \approx (0.441 + 0.696\, M^{\frac{1}{4}})^4$$
$$t_2^* \approx -0.746\, M^{\frac{1}{2}}$$
$$M = \frac{R}{C\sigma} \tag{10}$$

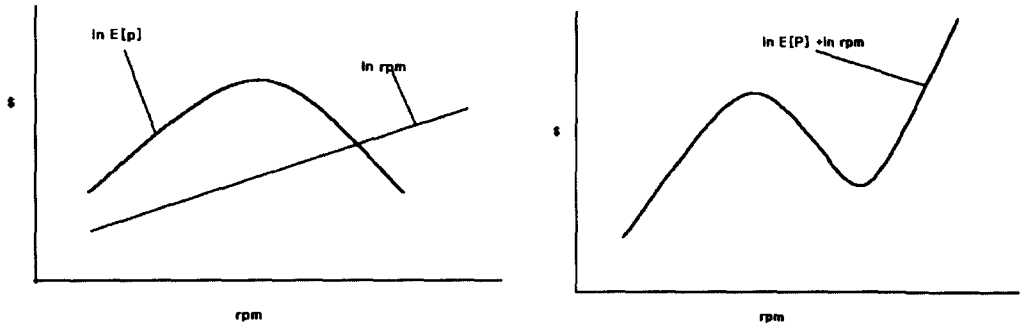
또한 그들은 초과 비용을 계산하기 위해서 다음을 제시했다. 정확하게 하한 규격치 값만을 충진한다고 했을 때의 (오직 산포가 0 일 때) 기대 이익은 A-CL이 될 것이다. 여기에 평균 단위 이익을 빼면 제품 당 초과 비용을 산출 할 수 있다. 그러므로, 한 개의 제품 당 최소의 평균 초과 비용은 식(11)과 같음을 보였다.

$$\overline{E} = A - CL - E[P(x; u, U, \sigma)] \tag{11}$$

3.2 경제적 공정평균 및 상한 규격치

본 연구에서 구하고자 하는 것은 목적식(6)을 최대로하는 rpm과 공정평균 u^* 그리고 상한규격 U^*이다. 이 문제의 해법은 세 단계의 과정을 따른다. 첫 단계로는 rpm을 어느 일정한 값으로 세팅했을 때 식(6)을 최대로 하는 u^*, U^*을 찾는 것이다.

이런 조건에서 첫째 항 $\ln rv^{-1}(\sigma)$은 작업자의 세팅값이므로 u에 대해 상수이다. 그리고 둘째 항은 Golhar와 Pollock(1988)의 연구에서 공정평균 u에 대해 위로 볼록한 함수(concave function)임을 수치 해석적으로 설명해주고 있다. 따라서 식(6)은 u에 대해 위로 볼록한 함수(concave function)이다. 따라서 식(10)의 방법으로 u^*, U^*를 구할 수 있다. 그러나 이 값은 본 연구에서 구하려는 최적값이 아니라 지역적인 해일 뿐이다. 이제 두 번째 단계에서는 rpm을 변화시켜가면서 식(10)의 방법으로 u^*, U^*을 구하는 것이다. 이 단계는 첫 번째 단계를 반복하는 것인데, rpm의 변화가 공정산포에 영향을 주기 때문에 공정평균 u^*와 상한규격 U^*도 rpm에 따라 조금씩 달라진다. 세 번째 단계에서는 rpm의 수준별로 구한 공정평균 u^*와 상한규격 U^*을 식(6)에 대입시켜 목적식의 값을 계산한다. <그림 2>는 세 번째 단계에서 구한 목적식 값과 rpm과의 관계를 보여주고 있는데, (가)는 식(6)의 두 항을 따로 보여주고 있고, (나)는 두 항의 합인 생산 총 이익을 보여주고 있다.



(가) (나)

< 그림 2 > rpm과 생산 총 이익

그런데 <그림 2>의 (나)를 보면 극대점이 하나 존재하고, 그래프의 뒷부분은 rpm 수준에 따른 생산 총 이익함수가 증가함수임을 보여주고 있다. 즉, rpm을 무한대로 설정할 수 있다면 최대의 이익을 얻을 수 있다는 결론이 나온다. 그러나 기계의 rpm을 무한대로 설정한다는 것은 현실상 불가능하고 의미가 없다. 그러므로 기계의 가용 rpm의 범위에서만을 고려해보면 생산 총 이익 함수는 하나의 극대점을 가지는 위로 볼록한 함수가 되거나 극대점과 극소점을 하나씩 가지고 어느정도 증가하는 함수가 될 것이다. 본 연구에서는 생산 총 이익을 최대로 하는 rpm과 u^*, U^* 를 제시한다. 공정산포는 rpm의 함수로 볼 수 있기 때문에 이를 역이용하여 총 생산이익을 최대로 하는 공정산포 σ와 u^*, U^*를 먼저 찾고 난 후에 이에 해당하는 rpm을 찾는다.

4. 수치 예제

4.1 문제 정의

점성이 높은 원재료를 용기에 담아 포장하여 제품을 생산하는 공정이 있다. 단위 원재료는 $ 20 이다. 이 제품은 적어도 10g 이상을 용기에 담아야 시장에 출하될 수 있다. 이 공정에서는 모든 제품이 자동 중량 측정기를 통해 전수 검사된다. 그래서 양품만을 시장에 출하한다. 이 제품의 판매 가격은 $ 220 이다. 10g 미만으로 판정된 불량품은 재가공하게 된다. 이 때 재가공비는 $ 5 이다. 충진기의 rpm 세팅값과 공정산포와의 관계는 다음과 같다.

$$\sigma = (0.001\,\mathrm{rpm})^2$$

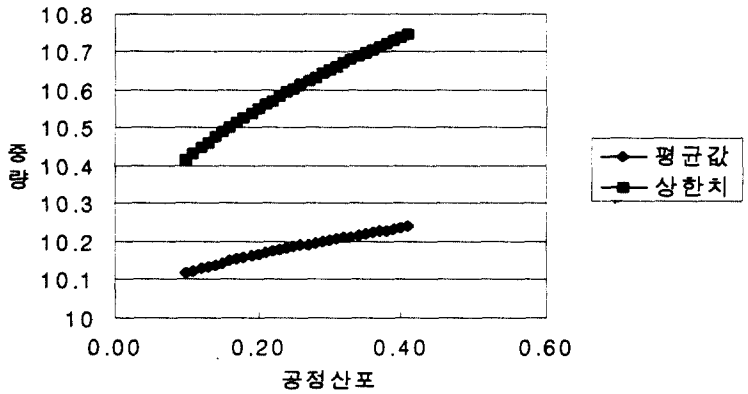
가장 경제적인 최적의 공정 평균값 u^*, 상한 규격치 U^*그리고 rpm을 구하여라.

4.2 문제 풀이

공정산포 σ를 조금씩 변화시켜 가면서 식(10)을 이용하여 공정 평균값 u^*, 상한 규격치 U^*를 구하고 생산 총 이익을 계산한다. 생산 총 이익이 극대가 되는 공정산포 σ를 찾아 그 때의 rpm과 u^*, U^*를 구한다.

< 표 1 > 공정 산포와 경제적 공정 평균 과 상한규격

공정 산포	공정 평균	상한 규격	공정 산포	공정 평균	상한 규격
0.10	10.117	10.418	0.26	10.190	10.614
0.11	10.123	10.433	0.27	10.193	10.624
0.12	10.129	10.448	0.28	10.197	10.634
0.13	10.134	10.462	0.29	10.200	10.643
0.14	10.139	10.476	0.30	10.204	10.653
0.15	10.144	10.489	0.31	10.207	10.662
0.16	10.149	10.502	0.32	10.211	10.671
0.17	10.153	10.515	0.33	10.214	10.680
0.18	10.158	10.527	0.34	10.217	10.689
0.19	10.162	10.539	0.35	10.220	10.698
0.20	10.166	10.550	0.36	10.223	10.707
0.21	10.170	10.561	0.37	10.226	10.715
0.22	10.174	10.572	0.38	10.229	10.724
0.23	10.178	10.583	0.39	10.232	10.732
0.24	10.182	10.594	0.40	10.235	10.740
0.25	10.186	10.604	0.41	10.238	10.748



< 그림 2 > 공정 산포와 경제적 공정 평균과 상한 규격

이상은 주어진 공정 산포에서 산포의 변화에 따른 경제적인 공정 평균값과 규격 상한치를 구한 것이다. <표 1>을 시각화 한 <그림 2>를 보면 공정 산포가 커짐에 따라

공정 평균값과 규격 상한치 또한 커짐을 알 수 있다. 즉 rpm의 수준을 높게 세팅하면 그만큼 공정 산포가 커져서 제품이 고르게 생산되지 못하기 때문에 경제적인 합격률을 유지하기 위해서는 공정 평균값과 규격 상한치 또한 높게 세팅해야 함을 알 수 있다.

< 표 2 > 단위 이익과 생산량 및 생산 총 이익

공정산포	단위이익	생산량	총이익	공정산포	단위이익	생산량	총이익
0.10	2.804	5.756	8.5606	0.26	2.546	6.234	8.7809
0.11	2.787	5.804	8.5916	0.27	2.530	6.253	8.7840
0.12	2.771	5.847	8.6186	0.28	2.515	6.271	8.7863
0.13	2.754	5.887	8.6422	0.29	2.499	6.288	8.7880
0.14	2.738	5.924	8.6630	0.30	2.483	6.305	8.7891
0.15	2.772	5.959	8.6812	0.31	2.467	6.322	8.7896
0.16	2.705	5.991	8.6973	0.32	2.451	6.338	8.7895
0.17	2.689	6.021	8.7115	0.33	2.435	6.353	8.7889
0.18	2.673	6.050	8.7241	0.34	2.419	6.368	8.7878
0.19	2.657	6.077	8.7351	0.35	2.403	6.382	8.7862
0.20	2.641	6.103	8.7449	0.36	2.387	6.396	8.7841
0.21	2.625	6.127	8.7533	0.37	2.370	6.410	8.7816
0.22	2.610	6.150	8.7607	0.38	2.354	6.423	8.7786
0.23	2.594	6.172	8.7671	0.39	2.338	6.436	8.7752
0.24	2.578	6.194	8.7726	0.40	2.321	6.449	8.7714
0.25	2.562	6.214	8.7772	0.41	2.305	6.461	8.7672

이 실험에서 구하고자 하는 것은 대수값으로 표현된 단위 이익과 생산량의 합이 최대가 되게 하는 공정 평균값과 상한 규격 그리고 공정 산포를 구하는 것이다. 이 예제에서는 단위 시간의 생산 총 이익을 최대로 하기 위는 공정 평균값을 10.207로 세팅하고 그때에 상한 규격을 10.662로 하여 그 이상치는 재가공하는 것이 더 경제적이고 재료비의 손실을 줄일 수 있다. 그리고 경제적 rpm의 수준은 556.77 이다.

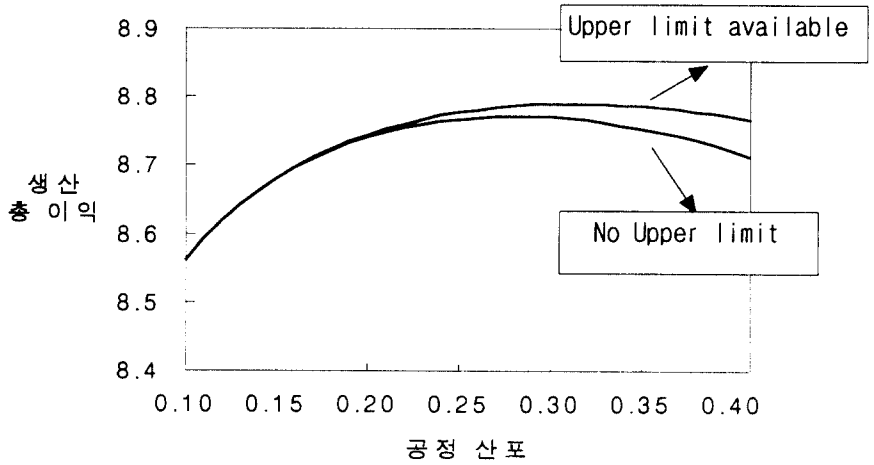
본 논문에서는 하한 규격 과 상한 규격을 고려하고 거기에 rpm의 수준에 따른 공정산포값도 고려하는 최적의 공정 평균값을 구하는 모델을 제시하였다. 상한 규격을 고려하지 않았던, 즉 하한 규격만이 주어진 생산 공정에서의 생산 총 이익과 초과 비용 면을 비교하여 새로운 모델이 더 경제적임을 제시하고자 한다.

먼저 생산 총 이익을 비교하여 보면, 상한 규격이 없다고 할 때의 생산 총 이익은 식(12)에 의해 구할 수 있으므로 <표 3>과 같은 표를 구할 수 있다.

$$E[P(x,\ u,\ U,\sigma)] = A - Cu + R - \{\frac{R + C\sigma f(t_2)}{1 - F(t_2)}\} \qquad (12)$$

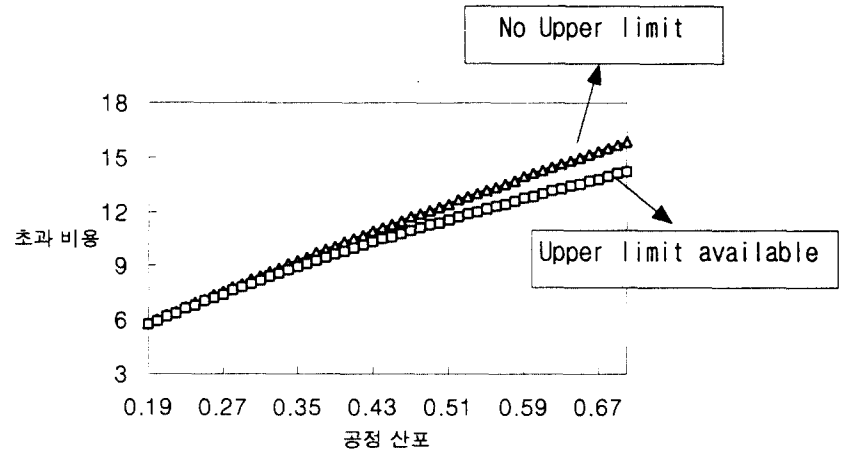
< 표 3 > 하한 규격만 고려한 모델과의 생산 총 이익의 비교

공정 산포	하한 규격만 고려시 생산 총 이익	상한 규격도 고려시 생산 총 이익	공정 산포	하한 규격만 고려시 생산 총 이익	상한 규격도 고려시 생산 총 이익
0.10	8.5607	8.5607	0.26	8.7697	8.7809
0.11	8.5916	8.5916	0.27	8.7711	8.7840
0.12	8.6185	8.6186	0.28	8.7715	8.7863
0.13	8.6420	8.6422	0.29	8.7712	8.7880
0.14	8.6625	8.6630	0.30	8.7701	8.7891
0.15	8.6804	8.6812	0.31	8.7683	8.7896
0.16	8.6961	8.6973	0.32	8.7657	8.7895
0.17	8.7099	8.7115	0.33	8.7625	8.7889
0.18	8.7218	8.7241	0.34	8.7586	8.7878
0.19	8.7322	8.7351	0.35	8.7540	8.7862
0.20	8.7411	8.7449	0.36	8.7488	8.7841
0.21	8.7487	8.7533	0.37	8.7429	8.7816
0.22	8.7550	8.7607	0.38	8.7364	8.7786
0.23	8.7602	8.7671	0.39	8.7293	8.7752
0.24	8.7644	8.7726	0.40	8.7215	8.7714
0.25	8.7675	8.7772	0.41	8.7132	8.7672



< 그림 3 > 하한 규격만을 고려한 모델과의 생산 총 이익의 비교

<그림 3>는 <표 3>을 시각화한 것이다. 즉 상한 규격을 동시에 고려한 모델이 생산 총 이익 면에서 더 경제적임을 보여준다. 또한 초과 비용 면을 비교하여 보면 다음과 같다.



< 그림 4 > 하한 규격만을 고려한 모델과의 초과 비용의 비교

<그림 4>는 식(11)을 이용하여 계산된 각각의 초과비용을 그래프로 시각화한 것이다. 즉 하한 규격만이 주어진 생산 공정에서는 공정 산포가 커질수록 초과 비용이 하한 규격 과 상한 규격을 동시에 고려한 모델보다 계속해서 증가함을 알 수 있다. 그러므로 상한 규격을 동시에 고려한 모델이 초과 비용을 더 절감할 수 있으므로 경제적이고 엄격한 관리임을 알 수 있다.

5. 결론

원재료가 비싼 제품에 대해서 하한 규격만이 주어진 공정에서는 원재료의 양에 관계없이 고정된 값에 판매되므로 재료비의 손실로 인해 경제적이지 못하다. 이 때에 적절한 상한 규격을 안다면 상한 규격치 이상이 되는 제품도 재가공하여 보다 많은 재료비를 절감할 수 있어서 경제적일 것이다. 그러므로 생산 공정에서의 높은 수율과 재료비의 손실을 절감하기 위해서는 하한 규격만이 아닌 상한 규격도 동시에 고려되어진 공정 평균값을 결정하는 것이 중요하다. 이런 경제적인 최적의 공정 평균값을 결정하는 요소로는 재료비, 재가공비, 판매 가격 등이 있고 rpm 또한 중요한 영향을 미친다. 이를 위해 Golhar와 Pollock(1988)의 제품 한 개에 대한 이익 모델을 확장해서 단위 시간의 생산 총 이익을 최대로 하는 모델을 제시했다. 실험 결과로서 제시된 최적의 공정산포는 경제적인 rpm의 수준을 제시해 주며, 공정 평균값 u^*은 품질 규격에 대한 경제적인 품질 수준을 말해주고, 그때의 상한 규격 U^*은 상한 규격치 이상의 제품도 재가공하여 재료비 손실을 줄일 수 있게 되어 보다 경제적인 이익을 가져다주며, 생산 공정에서의 보다 엄격한 관리를 할 수 있게 해준다

참고문헌

[1] 김성집, 안광일(1995), "생산성 향상을 위한 합리적인 Target Value 결정에 관한 연구," 한국경영과학회 추계학술대회 발표논문집, pp. 87.

[2] 홍성훈, 임훈(1995), "연속생산공정에서 규격하한과 공정평균의 경제적 설정,"「대한품질경영학회지」, 23권, 3호, pp. 20-32.

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

[4] Boucher, T.O. and Jafari, M.A.(1991), "The Optimal Target Value for Single Filling Operations with Quality Sampling Plans," *Journal of Quality Technology*, Vol. 23, No. 1, pp. 44-47.

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

[6] Golhar, D.Y., and Pollock, S.M.(1988), "Dtermination of the Optimal Process Mean and the Upper Limit for a Canning Problem," *Journal of Quality Technology*, Vol. 20, No. 3, pp. 188-192.

[7] Hunter, W.G., and Kartha, C.P.(1977), "Dtermining of the Most Profitable Target Value for a Production Process," *Journal of Quality Technology*, Vol. 9, No. 4, pp. 176-181.

[8] Schmidt, R.L., and Pfeifer, P.E.(1989), "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.

[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, No. 4, pp. 312-317.