

Economic Decision of Specification Limits for a Ham Production Process¹⁾ - An Industrial Case Study-

Young Joon Cha²⁾ · Jae Man Lee³⁾ · Yeon Woong Hong⁴⁾

Abstract

An economic design of specification limits for production process of ham is considered for a given process mean in a complete inspection plan. Each ham is inspected, and if it meets the specification, it is accepted. The ham less than the lower specification limit are changed another products or at a discounted price, and those greater than the upper specification limit are reworked. A profit model is developed which involves selling price, production cost, rework cost and the cost which is incurred by imperfect quality. Methods for finding the optimal specification limits are derived for the case of piecewise linear loss function with an industrial case study.

1. 서론

기업간 경쟁이 날로 치열해지는 환경에서 기업의 성패를 좌우하는 중요한 요소 가운데 하나로 품질을 꼽을 수 있다. 많은 기업들의 품질경영, 6σ경영 등을 통해서 이러한 점을 느낄 수 있으며, 품질 문제의 해결이 선행되어야 원가절감과 시장 확대가 가능하다는 것도 인식을 하고 있다.

식품산업에 있어서도 품질의 문제는 안전성과 더불어 매우 강조되고 있다. 특히 최근 들어 식품에 대한 안전성이 사회적 관심사로 대두되고 있는 상황에서 식품에 대한 소비자의 선택기준이 매우 까다로워지고 있어 과거 어느 때 보다도 식품품질이 강조

1) 본 연구는 2005년도 미래형 생물건강·농업생명 융합산업을 주도할 중견인력 양성사업단의 지원에 의하여 수행되었음.

2) 제1저자 : 경북 안동시 송천동 388번지 안동대학교 정보통계학과 교수,
E-mail : yjcha@andong.ac.kr

3) 교신저자 : 경북 안동시 송천동 388번지 안동대학교 정보통계학과 교수,
E-mail : leejm@andong.ac.kr

4) 경북 영주시 동양대학교 전자상거래정보산업학부 교수,

되고 있다. 이에 따라 안전 및 품질에 대한 생산자의 대응이 더욱더 철저히 요구된다고 할 수 있다. 그러나 이러한 활동으로 생산원가는 높아지는 반면 수익성이 저조해질 가능성이 높기 때문에 생산자는 품질과 수익성의 관계에 대하여 더욱더 철저한 분석을 요구받고 있다. 본 연구에서 다루고자하는 햄을 생산하는 기업의 경우도 예외가 아니다.

일반적으로 햄의 소비자나 식품관리당국의 측면에서 볼 때 바람직스럽다고 여겨지는 이상적인 품질의 특성치가 있는데, 이를 품질특성치의 목표치(target value)라고 한다. 햄의 품질 특성이 목표치에 가까울수록 소비자나 식품관리당국의 만족도가 높아질 것이다. 그런데 출하된 제품의 품질특성이 목표치에 얼마나 근사하냐하는 것은 규격을 어떻게 설정하는가에 달려 있다. 엄격한 규격을 적용하면 균질의 제품을 생산할 수 있으나 규격을 만족하지 않는 제품이 많아져 제조비용이 상승(수익성 저조)하게 되며, 완화된 규격을 적용하면 제조원가는 줄일 수 있으나 햄의 품질특성치의 변동이 커져서 소비자 불만이 커지고 식품관리당국으로부터 제재를 받게 될 것이다. 따라서 이와 같이 품질 수준과 수익성의 상충관계를 고려하여 규격을 합리적으로 설정하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

Golhar와 Pollock(1988)은 캔 공정에서 규격하한이 미리 설정되어 있는 경우에 공정평균과 함께 규격상한을 결정하는 방법을 다루었다. Schmidt와 Pfeifer(1989)는 제한된 생산 능력을 갖는 캔 공정에서 기대이익을 최대화하는 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 목표치를 결정하는 문제를 다루었다. Tang(1988)은 품질특성의 목표치가 미리 정해져 있을 때 경제적으로 규격한계를 정하는 문제를 다루었다.

본 연구에서는 Lee 등(2005)의 공정개선에 관한 연구에 이어 다음과 같은 상황에서 햄 제품을 생산하는 공정의 경제적 규격한계를 설정하는 문제를 다룬다. 공정의 목표치는 정해져있다고 가정한다. 이러한 가정은 햄의 종류가 생산계획단계에서 미리 정해지므로 타당하다고 사료된다. 또한 제품을 전수 검사하여 규격을 만족시키는 제품은 합격시키고, 규격상한을 초과하는 제품은 재작업을 실시한다. 한편 규격하한에 미달되는 제품은 재작업이 곤란하므로 할인 판매 또는 슬라이스 햄 등으로 제품을 변경하여 출하한다고 가정한다. 또한 합격된 제품이라 하여도 그 품질 특성이 목표치와 일치하지 않을 경우 소비자의 불만족 등으로 인한 손실이 발생한다고 가정한다. 이러한 연구는 재작업한 제품일지라도 그 품질 특성치가 목표치에 항상 일치하지 않는다는 관점에서 Tang(1988)의 연구와 차별된다.

2. 모형설정 및 최적화

햄의 품질특성인 중량을 x 라 하고 공정평균의 목표치를 τ 라 할 때, 편차인 $z = x - \tau$ 는 정규분포를 따른다고 가정한다. 공정평균이 목표치에 설정되었으므로 z 의 기대치는 0이며, 분산은 편의상 1이라고 가정한다.

생산된 각 제품에 대하여 규격을 만족하는지의 여부를 판정하기 위하여 전수품질검

사를 실시한다. $L \leq z \leq U$ ($L < 0, U > 0$)이면 제품을 합격시키며, $z > U$ 이면 단위당 비용 R 을 들여서 재작업을 실시한다. 또한 $z < L$ 이면 할인하여 판매하거나 슬라이스 햄 등으로 상품을 변경하여 판매한다. 품종변경이나 할인하여 판매함으로써 발생하는 손실은 단위당 $S(> 0)$ 이다.

합격된 제품의 경우 품질특성치가 목표치와 일치하지 않을 때에는 손실이 발생하는바, 단위당 손실함수를 $K|z|$ 라 한다. 여기서 $K > 0$ 이며, $z = 0$ 이면 품질특성치가 목표치와 일치하므로 손실이 발생하지 않음을 뜻하며, z 가 0에서 품질특성치가 목표치로부터 멀어짐에 따라 손실이 크게 발생함을 의미한다. 제품의 단위당 판매가를 $A(> 0)$, 재가공비용을 R 이라고 할 때, 단위당 이익을 수식으로 나타내면 다음과 같으며 본 연구에서는 일차적으로 식(1)을 최대화하는 L 과 U 를 구하는데 목적으로 둔다.

$$P(z) = \begin{cases} A - S, & z < L \\ A - K|z|, & L \leq z \leq U \\ E[P] - R, & U < z \end{cases} \quad (1)$$

단위당 기대이익 $E[P]$ 를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} E[P] &= \int_{-\infty}^{\infty} P\phi(z)dz \\ &= \int_{-\infty}^L (A - S)\phi(z)dz + \int_L^U (A - K|z|)\phi(z)dz + \int_U^{\infty} (E[P] - R)\phi(z)dz \end{aligned}$$

이를 정리하면 다음과 같다.

$$E[P] = \frac{-S\Phi(L) + (A + R)\Phi(U) + K\phi(L) + K\phi(U) - 2K\phi(0) - R}{\Phi(U)} \quad (2)$$

식(2)를 L 과 U 에 대하여 편미분하면

$$\begin{aligned} \frac{\partial E(P)}{\partial L} &= -S\phi(L) - KL\phi(L) \\ &= -\phi(L)(S + KL) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E(P)}{\partial L} &= \frac{-\phi(U)}{[\Phi(U)]^2} \\ &\times [KU\Phi(U) - S\Phi(L) + K\phi(L) + K\phi(U) - 2K\phi(0) - R] \end{aligned} \quad (4)$$

식 (3)을 0으로 두면

$$L = -S/K \quad (5)$$

식 (4)를 0으로 두면

$$U\Phi(U) + \phi(U) = [S\Phi(L) + R]/K - \phi(L) + 2\phi(0) \quad (6)$$

여기서 $f(U) = U\Phi(U) + \phi(U)$ 라고 하면 $f'(U) = \Phi(U)$ 이므로 $f(U)$ 는 단조증가 함수이다. 따라서 식(5)를 만족하는 L^* 를 식(6)의 우변에 대입하면 식(6)을 만족하는 U^* 를 수치해석적인 방법으로 구할 수 있다.

3. 사례 연구

3.1 공정의 개요

지금까지 논의한 경제적 규격한계설정 방법을 A식품의 햄 생산공정에 적용한다. 햄 생산공정은 일반적으로 햄의 종류에 관계없이 대체로 다음과 같다.

먼저 필요한 부분의 돼지고기를 적당한 크기로 모양을 다듬은 다음, 혈액·액즙 등 부패의 원인이 되는 것을 제거하기 위하여 육량의 2~4%의 소금과 질산칼륨을 고기 표면 전체에 문질러서 약 5일간 5℃가량의 한랭한 장소에 쌓아둔다. 그리고 염수법 또는 건염법으로 절인다. 소금에 절인 고기는 프레스 햄이나 로스트 햄의 경우는 면포로 싸고 면사로 묶어서 원통형의 금속제 망에 넣어서 훈연한다. 프레스 햄 용의 고기는 잘게 갈아서 조미료, 식품첨가물, 향신료, 녹말 등을 섞어서 반죽한다. 이것을 케 이상(리테이너(H사의 경우), 소의 창자나 셀로판)에 넣고 흘러내리지 않게 한 후 훈연한다. 훈연 후 70℃에서 2~3시간 가열하여 고기 속의 유해 미생물을 없앤 후, 냉각시키는 절차를 따라 완성한다.

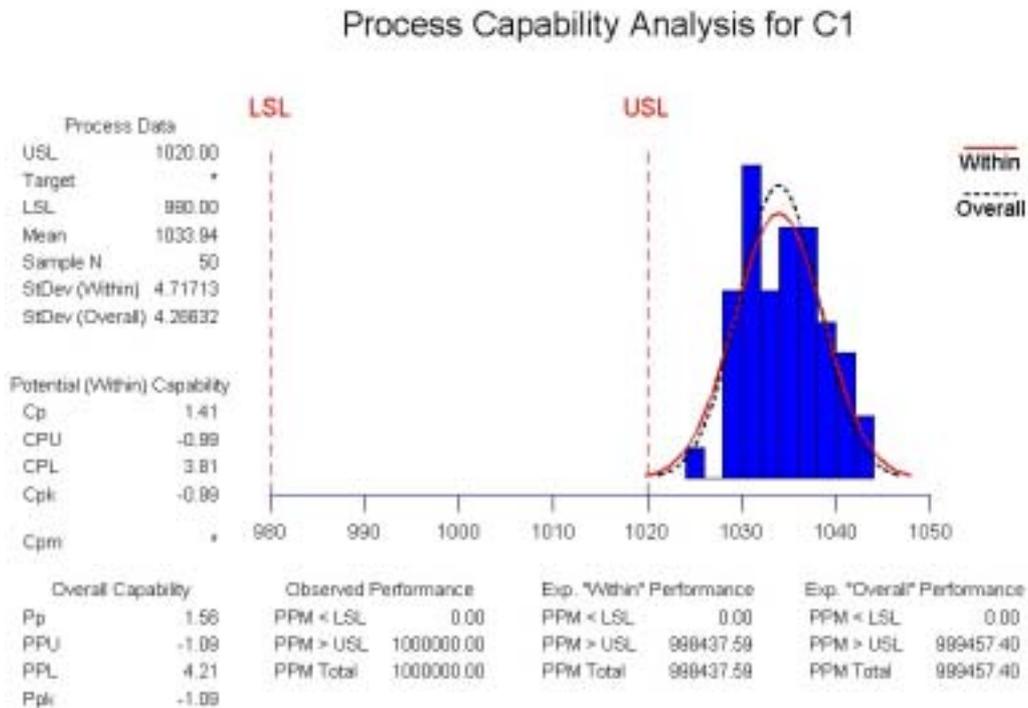


<그림 1> 햄의 정규성 검정

이러한 과정에서 리테이너에 햄 원료를 주입하는 공정은 햄의 중량에 결정적인 영향을 준다. 햄 원료의 밀도, 반죽상태, 수분함유량 등에 따라 동일 체적이라도 중량이 다르게 나타날 수 있는데도 불구하고 체적만 고려하여 케이싱하기 때문이다.

본 연구에서는 50개의 햄 중량을 측정하여 합리적인 규격한계를 설정하려고 한다. 연구대상으로 삼은 H사의 햄은 기준중량이 1kg이며, 식품관련규정에 의하여 $\pm 2\%$ 의 오차는 허용된다. 그러나 업계의 관행에 따르면 1kg 이하의 제품은 거의 생산하지 않으며 경제적 규격한계의 의미보다는 기준중량에 얼마를 추가하여 대체로 초과중량의 제품을 출하한다고 한다.

<그림 1>에서 보는바와 같이 햄의 중량은 정규분포를 따른다고 할 수 있으며, <그림 2>에서 나타낸 바와 같이 대부분의 제품이 규격상한을 초과하여 생산되고 있는 것으로 나타났다. 이에 따라 법적인 규격하한 980g 및 규격상한 1020g을 규격한계로 결정하였을 때 H사의 햄 공정은 생산자 입장에서 대부분 불량품을 생산하는 것으로 나타나 심각한 문제가 있는 것으로 판단되며, 초과중량만큼 이익을 상실하게 된다. 그러나 소비자 입장에서는 동일한 가격을 지불하고 기준중량을 초과하는 제품을 구입하게 됨으로써 이득을 누리게 된다.



<그림 2> 햄의 공정능력지수

3.2 최적 규격한계의 결정

본 절에서는 공정의 능력과 관계없이 설정된 법적 규격을 무시하고 공정 능력에 부합하는 경제적인 규격한계를 설정하고자한다. 2절에서 논리전개의 편의를 고려하여 표준정규분포를 가정하였다. 그러나 품질특성치가 표준정규분포를 따르지 않는 경우에도 2절에서 논의한 방법을 쉽게 적용할 수 있다. 즉, $L' = (L - 1000)/\sigma$, $U' = (U - 1000)/\sigma$ 의 관계를 이용하여 치환하면 된다. 즉, 식 (5) 및 (6)으로부터 (L^{**}, U^{**}) 를 구한 후 $L^* = \sigma L^{**} + 1000$ 및 $U^* = \sigma U^{**} + 1000$ 로 역 치환하면 된다.

H사의 경우 기준중량이 1,000g 이므로 $\mu = 1000$, <표 2>로부터 $\sigma = 4.72$ 라고 하자. 여기서 $\sigma = 4.72$ 인 가정은 공정이 안정된 경우를 전제로 하는데 본 연구에서는 실제 공정정보를 반영한다는 의미에서 불안정하지만 공정값을 그대로 적용한다. 또한 A, S, R 및 K 의 값은 가변적이므로 실제로는 공정에서 적용하는 값을 적용하여야한다. 그러나 경제적으로 규격한계를 설정한다는 개념이 없는 실정으므로 본 연구에서는 합리적인 값을 가정하기로 한다. 만약 가정된 입력 모수에 대하여 L^{**} 와 U^{**} 가 각각 법적규격하한인 980g이하 또는 1020g 이상이면 최적규격한계가 법적규격한계를 초과하므로 적용할 수 없기 때문에 경제적인 최적의 의미에 앞서서 법적인 문제가 발생할 수 있으므로 현실성이 없다고 판단한다.

만약 $\sigma = 4.72$, $A = 4000$, $S = 500$, $R = 300$ 및 $K = 10$ 이라하자. 그러면 $K' = K\sigma^2 = 222.8$ 이므로

$$L^{**} = \frac{-S}{K'} = -2.244$$

이다. 또한 식(6)으로부터 $U^{**} = 2.322$ 이다. 따라서

$$L^* = 4.72 \cdot (-2.244) + 1000 = 989$$

이고,

$$U^* = \sigma U^{**} + 1000 = 1011$$

이다.

3.3 최적 규격한계의 실질 적용방안

규격한계의 결정에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 재료의 육질밀도, 수분함유량 및 리테이너의 사양이다. 본 연구에서 산출한 규격한계는 밀도 및 수분함유량의 균질성을 전제로 설정된 것이므로 이들은 통제 불가능한 요소가 된다. 결국 본 연구에서 제안한 경제적 규격한계에 맞추어 리테이너의 사양을 최적으로 설계하면 H사의 경제적 이익은 극대화할 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결 론

지금까지 공정평균의 목표치가 주어진 경우 기대이익을 최대로 하는 규격한계의 설정방법에 대하여 다루었다. 제품의 품질특성치가 정규분포를 따른다고 가정하고 재가공비용, 경제적 손실비용, 가격할인 등을 고려하여 이익모형을 설정하였다. 규격범위 내의 손실함수가 선형인 경우에 한하여 햄 생산공정에 적용한 사례와 함께 다루었다.

향후 연구방향으로는 손실함수 및 비용 모수에 대한 현장연구가 필요하다. 손실함수의 경우 본 연구에서는 1차식을 가정했지만 2차 손실함수 등 비선형 손실함수를 고려할 필요가 있을 것이며, 비용모수에 대해서는 연구사례기업의 재무자료를 면밀히 분석한 후 보다 실제적인 검토가 가능할 것이다.

참고문헌

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. 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.
3. Golhar, D.Y. and Pollock, S.M.(1988). Determination of the Optimal Process Mean and the Upper Limit for a Canning Problem, *Journal of Quality Technology*, Vol. 20. 4. pp.188-192.
4. Lee, J.M., Cha, Y.J., and Hong, Y.W.(2005). A Study on the Improvement Methods for Sausage Stuffing Process, *Journal of the Korean Data & Information Science Society*, Vol. 16. 2. pp. 391-400.
5. 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.
6. Tang, K.(1988), Economic Design of Product Specifications for a Complete Inspection Plan, *International Journal of Production Research*, Vol.26, No 2, pp.203-217.

[2005년 10월 접수, 2005년 11월 채택]