

이변량 정규모형 하에서 연속생산형 스크리닝 절차의 설계

홍성훈[†]

전북대학교 산업정보시스템공학과

Design of a Continuous Screening Procedure in the Bivariate Normal Model

Sung Hoon Hong

Department of Industrial and Information Systems Engineering, Chonbuk National University, Jeonju, 561-756

A quality inspection procedure interchangeably using the performance and surrogate variables is proposed. At the start of the inspection, the continuous performance variable is measured for all items. As soon as i consecutive items are found to be conforming, the continuous surrogate variable is measured instead of the performance variable. If an item is rejected, the inspection based on the performance variable is resumed. It is assumed that the performance variable and the surrogate variable are jointly normally distributed with known means and standard deviations. The average outgoing quality (AOQ) expression is derived, and the methods of finding the inspection procedure with a specified average outgoing quality limit (AOQL) are presented.

Keywords: AOQL, continuous screening procedure, surrogate variable.

1. 서론

충분히 잘 설계되고, 관리되는 공정이라 할지라도 완전히 균일한 품질의 제품을 생산하기란 현실적으로 불가능하다. 따라서 제품의 출하 전에 품질검사를 하게 되는데, 과거에는 전체 제품 중 일부만을 검사하는 샘플링 검사를 많이 활용하였다. 그러나 최근 들어서는 완벽한 품질보증을 위해 전수검사가 널리 활용되는 추세에 있다. 특히 생산공정이 자동화되면서, 품질검사에 있어서도 자동화된 검사시스템을 활용한 전수검사가 도입되고 있다. 예를 들어 전자산업에서는 레이저, 초음파 검사, 컴퓨터 비전, 패턴 인식기법 등을 활용한 자동화된 검사 기계들이 많이 개발되었다. 이러한 기계의 활용은 짧은 시간에 많은 양의 제품을 검사할 수 있고, 또한 항상 일관되고 정밀한 측정결과를 얻는 것을 가능하게 해주었다. 이러한 영향으로 인해 학계에서도 전수검사에 관한 많은 연구 결과들이 발표되고 있다(Tang, 1988a; Riew, 1989; Hui, 1990; Ng and Hui, 1996; Hong and Elsayed, 1998).

한편 제품의 품질특성에 따라서는 전수검사가 어려운 경우

가 있다. 파괴검사를 요하는 제품이 그 대표적인 예이다. 또한 품질특성을 측정하는 데 많은 비용이 드는 경우 제품의 주품질특성을 직접 측정해 전수검사를 적용하는 것은 비경제적일 수 있다. 이러한 경우 주품질특성과 높은 상관관계를 갖고 검사비용이 상대적으로 낮은 대응특성을 활용해 제품을 검사할 수 있다. 하지만 이 경우 검사비용은 절감할 수 있으나, 검사에 따른 오류가 발생할 수 있다. 즉, 대응특성을 검사함으로써 실제로는 양품인데도 불합격되거나, 불량품이 합격되는 오류가 발생할 수 있다. 따라서 대응특성을 검사하는 경우 합격, 불합격의 판정기준이 되는 대응특성의 기각치를 구하는 것이 중요한 문제가 되는데, 처음에는 통계적인 관점에서 고려하여 검사한 후 양품의 비율을 일정수준 이상으로 높이는 것이 주연구 대상이었다(Owen *et al.*, 1975; Li and Owen, 1979; Wong *et al.*, 1985; Boys and Dunsmore, 1987). 한편 Tang(1987), Turkman and Turkman(1989), Bai and Hong(1992), 그리고 Hong *et al.* (1998)은 대응특성의 검사비용, 불량제품의 합격으로 인한 손실비용, 그리고 불합격되는 제품으로 인한 비용 등을 고려하여 경제적인 관점에서 대응특성의 기각치를 구하였으며, Tang

[†] 연락저자 : 홍성훈 교수, 561-756 전북 전주시 덕진구 덕진동 전북대학교 산업정보시스템공학과 Fax : 063-270-2333,
E-mail : shhong@chonbuk.ac.kr

and Tang(1994)은 주품질특성 또는 대용특성을 활용한 전수 검사에 관한 기존의 연구결과들을 종합해 소개하는 논문을 발표한 바 있다. 한편 Kwon *et al.*(2001)은 대용특성을 활용한 공정 모니터링 절차를 제안하였다.

주품질특성 또는 대용특성을 활용한 전수 검사에 관한 기존의 연구들에서는 모두 주 품질특성 또는 대용특성 중 단지 하나의 특성만 측정해 제품의 합격여부를 판정하였다. 그런데 이 두 가지 품질특성을 활용한 검사 절차는 각각 나름대로의 장·단점을 갖고 있다. 첫째, 주품질특성을 측정하는 경우는 품질상태를 정확히 파악하여 고객에게 만족스런 제품만을 공급할 수 있다는 장점이 있다. 또한 공정에 이상요인 발생 시 빠르게 대처할 수 있다. 그러나 단위당 검사비용이 많이 드는 제품의 경우는 과도한 검사비 지출이 문제가 된다. 또한 자격을 갖춘 검사원의 확보, 과도한 검사량, 그리고 시간상의 어려움도 있을 수 있다. 한편 주품질특성 대신 이와 높은 상관관계를 갖고 또한 낮은 검사비용을 갖는 대용특성을 활용한다면, 검사 비용은 크게 줄일 수 있으나, 대용특성의 측정에 따른 검사 오류가 생길 수 있다. 또한 공정에 이상요인 발생 시 이를 탐지하는 데 상당한 시간을 필요로 한다. 이러한 점에 착안해 주품질특성 또는 대용특성을 상호 보완적으로 활용해, 각 검사방식의 단점을 보완하기 위한 연구들이 진행되어 왔는데 이 단계 스크리닝 절차가 그 대표적인 예이다. 이 단계 스크리닝 절차는 Tang(1988b), Kim *et al.*(1994), Bai and Kwon(1995), Bai *et al.*(1995), 그리고 Lee *et al.*(2001, 2002) 등에 의해 연구되었다. 이는 2회 샘플링 검사의 개념을 스크리닝 절차에 도입한 것으로, 먼저 대용특성을 측정된 후 품질이 아주 좋거나 또는 아주 나쁘면 제품을 합격 또는 불합격 처리하고, 그렇지 않으면 이 단계로 주 품질특성을 추가로 측정해 제품의 합격/불합격 여부를 판정하는 방법이다. 이와 같이 주품질특성 및 대용특성을 상호 보완적으로 활용한 검사를 적용하기 위해서는 주품질특성의 측정에 많은 비용이 들지만 파괴검사를 요하지 않고, 측정 가능해야 한다는 것이다. 또한 주품질특성과 높은 상관성을 가지며 상대적으로 낮은 검사비용을 갖는 대용특성이 있어야 한다. 이러한 품질특성의 예로 Tang(1988b)과 Kim *et al.*(1994) 등에서 제시한 전자부품의 내부전압(주품질특성) 및 외부전압(대용특성)의 관계, 그리고 Lee *et al.*(2001, 2002)의 시멘트 백 중량(주품질특성)과 로드-셀의 전류(대용특성)의 관계를 생각할 수 있다.

본 논문에서는 위와 같은 특성을 갖는 제품에 대해 적용할 수 있는 새로운 개념의 스크리닝 절차를 제안하고자 한다. 연속생산형 샘플링 검사(continuous sampling plan; CSP)의 기본 개념을 스크리닝 절차에 도입한 것으로, 검사절차의 기본 개념은 검사결과에 따라 주 품질특성 및 대용특성을 선택적으로 검사한다는 것이다. 즉, 검사 초기에는 주 품질특성을 검사하다가, 공정이 안정상태에 있다고 판단되면 대용특성을 검사한다. 그러나 대용특성을 검사하다가 공정에 이상요인이 발생했다는 판단이 서면 즉시 대용특성의 검사를 중지하고, 다시 주

품질특성을 검사한다. 이러한 유형의 품질검사방식은 좋은 품질의 제품을 제공하는 공급자에게는 검사에 따른 부담을 줄여 주며, 반대로 나쁜 품질의 제품을 제공하는 공급자에게는 까다로운 검사를 적용해 품질을 보증할 수 있다는 이점을 갖고 있다. 대부분의 샘플링 검사방식이 의도하는 목적과 동일하다 하겠다. 연속생산형 스크리닝 절차는 Hong *et al.*(2001)에 의해 처음으로 연구가 진행된 바 있는데, 이 논문에서는 주품질특성이 이치형 변수이고 대용특성이 연속형 변수인 경우 로지스틱 모형 하에서 선별 후 불량품의 비율을 통계적인 관점에서 보증하는 검사절차를 제안하였다. 본 논문에서는 주품질특성과 대용특성이 모두 연속형 변수인 경우로 모형을 확장하고자 한다. 주품질특성과 대용특성 간의 관련성을 나타내기 위해 이변량 정규모형을 활용하며, 연속생산형 샘플링 검사와 마찬가지로 선별 후 불량품의 비율을 보증하는 평균출검품질한계(average outgoing quality limit; AOQL) 보증 연속생산형 스크리닝 절차를 구하고자 한다.

2. 품질검사 절차

검사대상이 되는 제품의 주품질특성 Y 에 대한 규격하한 L 이 존재한다. 즉 $Y \geq L$ 이면 양품, 그렇지 않으면 불량품이다. 본 연구의 기본 가정은 주품질특성의 측정은 많은 비용을 필요로 하지만, 파괴검사를 요하지 않고 측정 가능하다는 것이다. 또한 주품질특성과 높은 상관관계가 있으면서 상대적으로 낮은 검사비용을 갖는 대용특성치를 X 라 하자. 대용특성을 활용한 품질검사에서는 X 와 Y 사이의 관계를 올바르게 설정하는 것이 중요한 바, 본 연구에서는 X 와 Y 가 평균 (μ_x, μ_y) , 분산 (σ_x^2, σ_y^2) , 그리고 상관계수 $\rho > 0$ 를 갖는 이변량정규분포를 따른다고 가정한다. 물론 $\rho < 0$ 인 경우도 동일한 방법에 의하여 선별검사방식을 구할 수 있다. X 와 Y 의 결합확률밀도함수를 $h(x, y)$, X 의 주변확률밀도함수를 $f(x)$, 그리고 $X = x$ 일 때 Y 의 조건부 확률밀도함수를 $g(y | x)$ 라 할 때,

$$h(x, y) = g(y | x)f(x) \quad (1)$$

이 된다. 단 식(1)에서 $f(x)$ 는 평균 μ_x , 분산 σ_x^2 인 정규분포이고, $g(y | x)$ 는 평균 $\mu = \mu_x + \rho(\sigma_y/\sigma_x)(x - \mu_x)$, 분산 $\sigma^2 = \sigma_y^2(1 - \rho^2)$ 인 정규분포를 따르게 된다.

본 연구에서 제안하는 검사절차는 다음과 같다.

- i) 검사초기에는 생산되는 모든 제품에 대해 주품질특성 Y 를 측정한 후, 양품이면 합격, 그렇지 않으면 불합격시킨다.
- ii) 주품질특성을 측정하는 검사에서 연속 i 개의 양품이 나오면, 그 다음 제품부터는 대용특성 X 를 측정한다. 이때 X 의 측정값이 $x \geq \omega$ 이면 제품 합격, 그렇지 않으면

- 불합격시킨다. 단 ω 는 상수이다.
- iii) 만일 대응특성의 검사에서 불합격품이 나오면 즉시 대응 특성의 검사를 중지하고, 다시 주품질특성을 검사하여 연속 i 개의 양품이 나올 때까지 계속한다.
- iv) 검사에서 발견된 불량품은 모두 양품으로 교체한다.

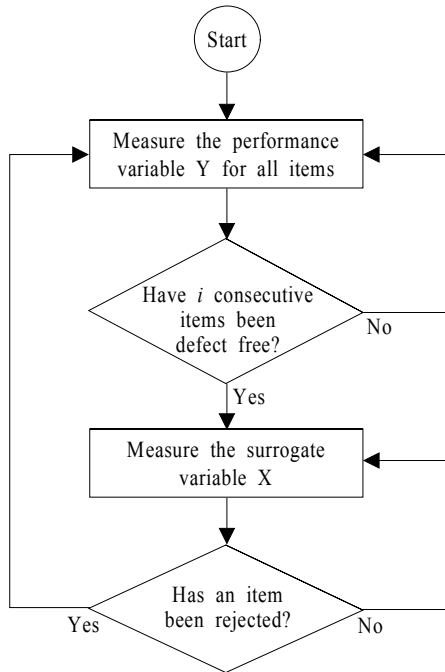


Figure 1. The Inspection Procedure.

위의 검사절차는 공정이 안정상태일 경우, 대응특성을 측정하여 검사비용을 줄이며, 공정에 이상요인이 있다는 판단이 서면 주품질특성을 측정하여 불량품의 출하를 방지하고 공정의 이상요인을 빠르게 탐지할 수 있다는 장점을 갖는다.

<Figure 1>은 이 검사절차를 나타낸 것으로, 이는 Dodge (1943)에 의해 제안된 연속생산형 샘플링 검사 CSP-1과 검사절차가 유사하다. 공정이 안정상태일 때 CSP-1에서는 f 의 비율로 샘플링 검사를 하는 데 반해, 본 논문에서는 대응특성을 활용해 제품을 전수선별한다는 것이 다른 점이라 할 수 있다. 물론 CSP-1에서의 결정변수는 (i, f) 인 반면, 본 논문에서는 (i, ω) 가 결정변수이다.

3. AOQ 함수식의 유도 및 검사방식 결정

주품질특성을 측정하다가 연속 i 개의 양품이 나오면 대응특성을 활용한 검사로 넘어가는데, 연속 i 개의 양품이 나올 때까지의 평균검사개수를 u 라 정의하면

$$u = \frac{1 - \{1 - \Phi(\xi)\}^i}{\Phi(\xi)\{1 - \Phi(\xi)\}^i} \quad (2)$$

이 된다(Dodge, 1943). 단, 식 (2)에서 $\xi = \frac{L - \mu_y}{\sigma_y}$ 이고 $\Phi(\cdot)$ 는 표준정규분포의 누적분포함수이다. 즉, 식 (2)에서 $\Phi(\xi)$ 는 선별 전 불량제품의 비율로서, $\Phi(\xi) = P(Y < L)$ 로부터 계산된 값이다.

한편, 대응특성을 측정하는 경우 하나의 불합격품이라도 나오면 주품질특성을 활용한 검사로 돌아가는데, 하나의 제품이 불합격될 확률은

$$p(X < \omega) = \Phi(\eta) \quad (3)$$

이 된다. 단 식 (3)에서 $\eta = \frac{\omega - \mu_x}{\sigma_x}$ 이다. 대응특성의 검사에서 하나의 불합격품이 나올 때까지의 평균검사개수를 v 라 정의하면 기하분포의 평균으로부터

$$v = \frac{1}{\Phi(\eta)} \quad (4)$$

이 된다.

주품질특성을 측정하다가 연속 i 개의 양품이 나와서 대응특성을 활용한 검사로 넘어가고, 대응특성을 활용한 검사에서 불합격품이 발견되어 다시 주품질특성을 활용한 검사로 돌아갈 때까지를 하나의 검사주기라 하면, 한 검사주기에서 생산된 제품의 평균개수는 $u + v$ 가 된다. 또한 한 주기당 대응특성을 측정하는 제품의 비율은

$$\frac{v}{u + v} = \frac{\Phi(\xi)\{1 - \Phi(\xi)\}^i}{\{1 - \{1 - \Phi(\xi)\}^i\} \cdot \Phi(\eta) + \Phi(\xi)\{1 - \Phi(\xi)\}^i} \quad (5)$$

이 된다. 따라서 품질검사 후 출하되는 제품의 평균출검품질 (average outgoing quality; AOQ)은

$$\begin{aligned} AOQ &= \frac{v}{u + v} P(Y < L \mid X \geq \omega) \\ &= \frac{v}{u + v} \frac{P(Y < L, X \geq \omega)}{P(X \geq \omega)} \\ &= \frac{\Phi(\xi)\{1 - \Phi(\xi)\}^i}{\{1 - \{1 - \Phi(\xi)\}^i\} \cdot \Phi(\eta) + \Phi(\xi)\{1 - \Phi(\xi)\}^i} \\ &\quad \cdot \frac{\Phi(\xi) - \Psi(\eta, \xi; \rho)}{1 - \Phi(\eta)} \end{aligned} \quad (6)$$

이 된다. 단, 식 (6)에서 $\Psi(\cdot, \cdot; \rho)$ 는 상관계수 ρ 를 갖는 표준 이변량 정규분포의 누적분포함수이다 <Figure 2>는 $\rho = 0.80$ 인 상황에서 $(i, \eta) = (30, -1.645)$ 인 검사방식을 적용하는 경우 선별 전 불량제품의 비율 $\Phi(\xi)$ 값에 따른 AOQ 함수의 형태이다. 그림에서 보는 바와 같이 $\Phi(\xi)$ 값이 낮은 경우 출하되는 제품의 평균출검품질도 작은 값을 갖게 되나, $\Phi(\xi)$ 값이 증가함에 따라 AOQ도 점차 커지게 된다. 그러나

선별 전 불량제품의 비율 $\phi(\xi)$ 가 아주 큰 경우는 제품 대부분에 대해 주품질특성을 활용한 검사를 적용하고 대응특성을 측정하는 비율은 상대적으로 줄어들게 되므로 AOQ 값도 점차 감소하게 된다. 본 예제의 경우 선별 전 불량제품의 비율이 7.4% 일 때, AOQL은 0.64%가 됨을 알 수 있다.

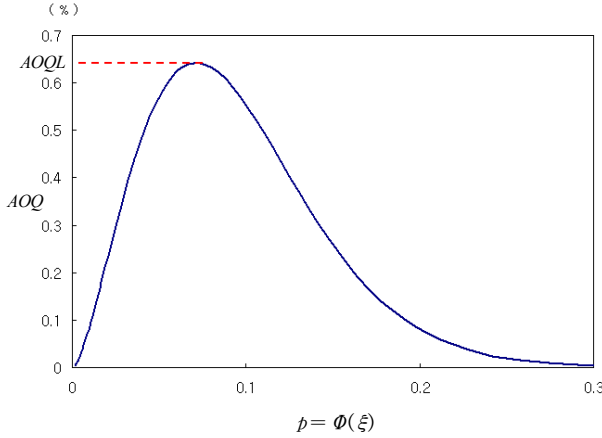


Figure 2. AOQ function for screening procedure with $(i, \eta) = (30, -1.645)$ when $\rho = 0.8$.

<Figure 2>에 표시된 바와 같이 AOQ 값 중 최대값을 AOQL이라 하는데, 본 논문에서는 AOQL을 보증하는 검사방식을 구하고자 한다. 품질검사에서 AOQL을 보증한다는 의미는 선별 전 불량제품의 비율이 어떤 값을 갖는가에 상관없이, 검사 후 출하되는 제품의 평균불량률은 AOQL 이하로 유지할 수 있다는 뜻이다.

따라서 계수선별형 샘플링 검사나 연속생산형 샘플링 검사를 포함한 많은 품질검사방식을 결정하기 위한 기준으로 널리 활용되고 있다. 특히 주품질특성이 이치형인 경우 연속생산형 스크리닝 절차를 설계한 Hong *et al.*(2001)에서도 AOQL을 보증하는 검사절차를 구한 바 있다.

AOQL은 모든 가능한 p 값 중 AOQ를 최대화하는 값이다. 그런데, 선별 전 불량제품의 비율 $p = \phi(\xi)$ 는 ξ 만의 단조증가함수이다. 따라서 모든 가능한 p 값에 대해 AOQ를 최대화하는 AOQL을 구하는 것은 모든 가능한 ξ 값에 대해 AOQ를 최대화하는 AOQL을 구하는 것과 동일하다. 식 (6)에서 AOQ 값을 최대로 하는 ξ 의 값을 ξ_L 이라 정의하면 AOQL은 다음과 같이 된다.

$$AOQL = \frac{\Phi(\xi_L) \{1 - \Phi(\xi_L)\}^i}{\{1 - \{1 - \Phi(\xi_L)\}^i\} \cdot \Phi(\eta) + \Phi(\xi_L) \{1 - \Phi(\xi_L)\}^i} \cdot \frac{\Phi(\xi_L) - \Psi(\eta, \xi_L; \rho)}{1 - \Phi(\eta)} \quad (7)$$

단 식 (7)에서 ξ_L 은 $\frac{\partial AOQ}{\partial \xi} = 0$ 를 만족하는 ξ 값이다. ξ_L 을 구하기 위해서는 AOQ를 ξ 에 대해 편미분해야 하는데, 이를 위해 우리는 다음의 두 가지 관계식을 활용할 수 있다.

$$\frac{\partial \Phi(\xi)}{\partial \xi} = \phi(\xi) \quad (8a)$$

$$\frac{\partial \Psi(\eta, \xi; \rho)}{\partial \xi} = \phi(\xi) \Phi\left(\frac{\eta - \rho\xi}{\sqrt{1 - \rho^2}}\right) \quad (8b)$$

위의 두 식을 이용해 $\frac{\partial AOQ}{\partial \xi}$ 를 구한 후, $\frac{\partial AOQ}{\partial \xi} = 0$ 를 만족하는 식을 구하면 다음과 같이 된다.

$$\frac{\Phi(\xi_L) \{1 - \Phi(\xi_L)\} \left\{ 1 - \Phi\left(\frac{\eta - \rho\xi_L}{\sqrt{1 - \rho^2}}\right) \right\}}{\Phi(\xi_L) - \Psi(\eta, \xi_L; \rho)} = \frac{i\Phi(\xi_L)\Phi(\eta) - \{1 - \Phi(\xi_L)\} [1 - \{1 - \Phi(\xi_L)\}^i] \Phi(\eta)}{[1 - \{1 - \Phi(\xi_L)\}^i] \Phi(\eta) + \Phi(\xi_L) \{1 - \Phi(\xi_L)\}^i} \quad (9)$$

식 (9)에서 ξ_L 값은 (i, η) 두 변수의 함수가 된다는 것을 알 수 있다. 또한 식 (7)의 AOQL은 (i, η, ξ_L) 세 변수의 함수이므로, 어떤 특정한 품질검사방식 (i, η) (즉, (i, ω)) 하에서의 AOQL 값은 식 (8)에서 ξ_L 을 구한 후, 이를 식 (7)에 대입함으로써 구할 수 있다.

한편, 특정한 AOQL 값을 갖는 품질검사방식을 구하기 위해서는 좀더 복잡한 절차를 거쳐야 한다. 품질검사방식을 결정하기 위해서는 식 (7)과 식 (9)를 동시에 만족하는 (i, η) 를 구해야 한다. 그런데 두 변수 간의 상관관계 ρ 를 알고 있는 경우 식 (7)과 (9)에서 미지의 변수는 (i, η, ξ_L) 의 세 가지이다. 반면, 조건식은 식 (7)과 (9), 두 가지에 불과하다. 따라서 Dodge의 CSP-1에서와 같이 특정한 AOQL 값을 만족하는 (i, η) 값의 조합은 무수히 많이 존재하게 된다.

따라서 품질검사방식을 구하기 위해서는 먼저 i 값을 고정시킨 후, i 값에 대응하는 ξ_L 과 η 를 식 (7)과 (9)로부터 구한다. 또한 i 값을 변화시키면서 동일한 절차를 반복하면 특정한 AOQL 조건을 만족하는 (i, η) 의 조합을 얻을 수 있다. <Figure 3>은 $\rho = 0.8$ 인 경우 AOQL=0.1%, 0.3%, 0.5%, 1.0%, 그리고 2.0%를 만족하는 i 와 η 의 조합을 그림으로 표시한 것이다.

한편 η 값을 구한 후 ω 는 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$\omega = \sigma_x \Phi^{-1}(\eta) + \mu_x \quad (10)$$

단, 식 (10)에서 $\Phi^{-1}(\cdot)$ 는 표준정규분포 누적분포함수의 역함수이다.

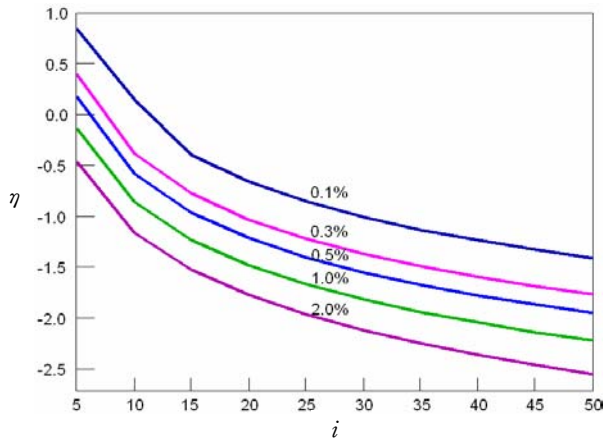


Figure 3. The i and η combinations with a specified AOQL values when $\rho = 0.8$.

<예제> 어떤 전자제품은 내부전압이 9볼트 이상이면 정상적으로 가동한다. 내부전압이 9볼트 이하이면 그 효율이 감소하게 되는데, 이 제품의 내부전압을 측정하기 위해서는 제품을 분해해야 하는 등 시간상의 어려움과 함께 비용도 다소 많이 든다. 반면, 이 제품의 내부전압은 외부전압과 높은 상관관계를 갖고 있으며, 외부전압의 측정은 내부전압에 비해 상대적으로 수월하다고 한다. 또한 과거의 경험으로 보면 주품질특

성인 내부전압 Y 와 외부전압 X 는 상관계수 $\rho = 0.8$ 을 갖는 이변량 정규분포를 따르는 것으로 알려져 있다.

이 전자제품의 구매기업은 매우 까다로운 품질기준을 갖고 있는데, $AOQL = 0.5\%$ 를 보증하는 품질검사방식의 적용을 제조사 측에 요구하고 있다. <Figure 3>에서 보는 바와 같이 $AOQL$ 조건을 만족하는 (i, η) 는 무수히 많은 조합이 존재한다. 예를 들어 i 가 10이면 $\eta = -0.581$ 이 되고, $i = 30$ 이면 $\eta = -1.552$, $i = 50$ 이면 $\eta = -1.950$ 등이 된다. 이러한 많은 대안 중 특정 검사절차의 선택은 제품의 생산량, 검사원 수 등을 포함한 생산공정의 조건을 고려해 결정하면 된다.

<Table 1>은 ρ 와 $AOQL$ 의 변화에 따라 i 와 η 가 어떻게 변화하는가를 알아보기 위해 <Figure 3> 중 일부를 정리한 것으로, 표에는 (i, η) 값 외에 ξ_L , $\Phi(\eta)$, 그리고 $\frac{v}{u+v}$ 값을 제시하였다. $\frac{v}{u+v}$ 는 전체 제품 중 대응특성을 측정하는 제품의 비율로, 이 값의 계산시 $\mu_y = 10$ 볼트 그리고 $\sigma_y = 2$ 볼트, 즉 $\frac{L - \mu_y}{\sigma_y} = -1.5$ 인 조건하에서 구한 값이다. 표를 분석한 결과, 동일한 $AOQL$ 값을 보증하기 위해 i 값이 커질 때 η 값은 작아짐을 알 수 있으며, 상관계수 ρ 값이 커지면 η 값 역시 작아짐을 알 수 있다. 한편 $AOQL$ 값이 커지면 대응특성을 측정하는 비율 $\frac{v}{u+v}$ 역시 점차로 커짐을 알 수 있다.

Table 1. The parameter values i , ξ_L , η , $\Phi(\eta)$, and $u/(u+v)$ for screening procedures with specified $AOQL$ values when $\rho = 0.8$ and 0.9

AOQL (%)	ρ	i	ξ_L	η	$\Phi(\eta)$	$v/(u+v)$ (%)
0.5	0.8	10	-0.773	-0.581	0.281	19.3
		30	-1.461	-1.552	0.060	13.7
		50	-1.715	-1.950	0.026	7.8
	0.9	10	-0.677	-0.724	0.195	25.6
		30	-1.403	-1.627	0.035	21.7
		50	-1.673	-2.002	0.013	14.2
1.0	0.8	10	-0.817	-0.861	0.123	35.3
		30	-1.464	-1.817	0.017	36.1
		50	-1.696	-2.223	0.005	28.9
	0.9	10	-0.739	-0.956	0.235	22.2
		30	-1.425	-1.860	0.052	15.6
		50	-1.672	-2.249	0.023	8.8
2.0	0.8	10	-0.849	-1.161	0.170	28.3
		30	-1.438	-2.120	0.031	23.4
		50	-1.637	-2.552	0.012	15.1
	0.9	10	-0.793	-1.215	0.112	37.4
		30	-1.419	-2.137	0.016	37.1
		50	-1.629	-2.559	0.005	29.3

4. 결론

본 논문에서는 AOQL을 보증하는 주품질특성 및 대응특성을 활용한 연속생산형 스크리닝 절차를 구하였다. 주품질특성과 대응특성은 모두 연속형 변수인 상황을 고려하였으며, 두 변수는 이변량 정규분포를 따른다는 가정하에 모형을 구성하였다. 본 논문에서 제안된 검사방식의 기본개념은 공정이 정상 상태에 있다고 판단되면 대응특성을 측정하여 검사에 소요되는 비용을 줄이고, 불합격품이 발견되어 공정에 이상요인이 있을지도 모른다는 판단이 서면 곧바로 주품질특성을 측정하여 출하되는 제품의 품질수준을 높이는 것이다. 품질검사방식 (i, η) 를 구하기 위한 조건식이 복잡하여 (i, η) 에 대한 정확한 표현식을 얻을 수는 없었으나, 수치적인 방법에 의해 그 값을 구할 수 있었다. 연속생산형 샘플링 검사에서와 같이 AOQL을 만족하는 검사방식은 단일해가 아닌 (i, η) 의 여러 조합으로 얻어지게 되는데, 그 중 특정한 검사방식의 선택은 제품의 생산량, 검사원 수 등을 포함한 생산공정의 조건을 고려해 결정할 수 있다. 본 논문에서는 두 변수 간의 상관관계수 $\rho=0.8$ 인 경우에 대해 AOQL이 각각 0.1%, 0.3%, 0.5%, 1.0%, 그리고 2.0%를 만족하는 스크리닝 검사방식 (i, η) 조합을 구하기 위한 노모그래프를 제시하였다. ρ 와 AOQL의 여러 값에 대해 수리적으로 분석한 결과, ρ 값이 커짐에 따라, 또한 AOQL 값이 커짐에 따라 η 값은 반대로 감소하게 됨을 알 수 있었다. 또한 AOQL 값이 커짐에 따라 대응특성을 측정하는 제품의 비율 $\frac{v}{u+v}$ 역시 점차로 커짐을 알 수 있었다.

이 논문에서는 주품질특성에 대한 규격이 한쪽으로부터 주어지는 경우를 고려하였다. 하지만, 많은 경우 규격 하한/상한 두 가지를 모두 갖는 제품들이 많이 있다. 이러한 상황을 모형화하는 경우 결정변수는 i 와 대응특성의 기각치 (ω_1, ω_2) 가 된다. 이 논문에서는 수학적인 복잡성으로 인해 이 문제를 고려하지 못하였으나, 추후 연구과제로 생각할 수 있을 것이다. 또한 이 분야의 또 다른 추후 연구과제로 AOQL 같은 통계적 관점이 아닌 여러 비용항목을 고려한 경제적 관점에서 검사방식을 구하는 문제를 생각할 수 있다. 또한 두 변수 간의 관계가 이변량 정규분포가 아닌 상황, 예를 들어 이변량 지수분포를 따르는 경우 등에 대한 추가 분석도 필요하다고 생각된다.

이 논문의 결과를 현장에 적용하기 위해서는 연속생산형 공정 내에 주품질특성 및 대응특성을 측정할 수 있는 검사장비를 함께 갖추고 있어야 한다. 또한 주품질특성에서 대응특성으로, 또는 대응특성에서 주품질특성으로 검사방식을 전환하는 과정이 생산공정의 흐름을 방해해서는 안 된다. 만일 이와 같은 조건을 갖추지 못한 공정이라면, 이 논문의 결과를 활용하기보다는 기존의 연구결과들인 전수검사, 대응특성을 활용한 스크리닝 검사, 또는 샘플링 검사기법 중 해당 공정에 가장 적합한 방법을 선택해야 할 것이다.

참고문헌

- Bai, D.S. and Hong, S.H. (1992), Economic Screening Procedures Using a Correlated Variable with Multidecision Alternatives, *Naval Research Logistics* **39**(4), 471-485.
- Bai, D.S. and Kwon, H.M. (1995), Economic Design of a Two-Stage Screening Procedure with a Prescribed Outgoing Quality, *Metrika* **42**(1), 1-18.
- Bai, D.S., Kwon, H.M., and Lee, M.K. (1995), An Economic Two-Stage Screening Procedure with a Prescribed Outgoing Quality in Logistic and Normal Models, *Naval Research Logistics* **42**(7), 1081-1097.
- Boys, R.J. and Dunsmore, I.R. (1987), Diagnostic and Sampling Models in Screening, *Biometrika* **74**(2), 356-374.
- Dodge, H.F. (1943), A Sampling Inspection Plan for Continuous Production, *Annals of Mathematical Statistics* **14**(3), 264-279.
- Hong, S.H. and Elsayed, E.A. (1998), Economic Complete Inspection Plans with Multi-Decision Alternatives, *International Journal of Production Research* **36**(12), 3367-3378.
- Hong, S.H., Kim, S.B., Kwon, H.M., and Lee, M.K. (1998), Economic Design of Screening Procedures When the Rejected Items are Reprocessed, *European Journal of Operational Research* **108**(1), 65-73.
- Hong, S.H., Lee, M.K., Kwon, H.M., and Kim, S.B. (2001), A Continuous Screening Procedure Using the Performance and Surrogate Variables, *International Journal of Production Research* **39**(11), 2333-2340.
- Hui, Y.V. (1990), Economic Design of a Complete Inspection for Bivariate Products, *International Journal of Production Research* **28**(2), 259-265.
- Kim, C.T., Tang, K., and Peters, M. (1994), Design of a Two-Stage Procedure for Three-Class Screening, *European Journal of Operational Research* **79**(3), 431-442.
- Kwon, H.M., Hong, S.H., Lee, M.K., and Kim, S.B. (2001), A Process Monitoring Procedure Based on a Surrogate Variable for Dichotomous Performance Variable, *IIE Transactions* **33**(12), 1129-1133.
- 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* **138**(2), 118-126.
- Lee, M.K., Hong, S.H., and Elsayed, E.A. (2001), The Optimum Target Value under Single and Two-Stage Screenings, *Journal of Quality Technology* **33**(4), 506-514.
- Li, L. and Owen, D.B. (1979), Two-Sided Screening Procedures in the Bivariate Case, *Technometrics* **21**(1), 79-85.
- Ng, W.C. and Hui, Y.V. (1996), Economic Design of a Complete Inspection Plan with Interactive Quality Improvement, *European Journal of Operational Research* **96**(1), 122-129.
- Owen, D.B., McIntire, D. and Seymour, E. (1975), Tables Using One or Two Screening Variables to Increase Acceptable Product Under One-Sided Specifications, *Journal of Quality Technology* **7**(3), 127-138.
- Riew, M.C. (1989), Economic Selection of Specification Limits for a Given Target Value, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers* **15**(2), 57-64.
- Tang, K. (1987), Economic Design of a One-Sided Screening Procedure Using a Correlated Variable, *Technometrics* **29**(4),

- 477-485.
- Tang, K. (1988a), Economic Design of Product Specifications for a Complete Inspection Plan, *International Journal of Production Research* **26**(2), 203-217.
- Tang, K. (1988b), Design of a Two-Stage Screening Procedure Using Correlated Variables: A Loss Function Approach, *Naval Research Logistics* **35**(5), 513-533.
- Tang, K. and Tang, J. (1994), Design of Screening Procedures: A Review, *Journal of Quality Technology* **26**(3), 209-226.
- Turkman, K.F. and Turkman, M.A.A. (1989), Optimal Screening Methods, *Journal of the Royal Statistical Society Series B* **51**(2), 287-295.
- Wong, A., Meeker, J.B., and Selwyn, M.R. (1985), Screening on Correlated Variables: A Bayesian Approach, *Technometrics* **27**(4), 423-431.