

주품질특성 및 대응특성을 활용한 전수검사의 설계*

Design of Complete Inspection Procedures Using the Performance and Screening Variables*

홍성훈**

Sung-Hoon Hong**

Abstract

A quality inspection procedure interchangeably using the performance and screening variables is proposed. At the start of the inspection, the performance variable is measured for all items. As soon as i consecutive items are found to be free of defects, the screening variable is measured instead of the performance variable. If an item is rejected, the inspection based on the performance variable is resumed. All nonconforming items found in the inspection are either reworked or replaced with conforming items. It is assumed that the performance variable is dichotomous, and the screening variable given the performance variable is normally distributed with known mean and variance. 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.

1. 서론

충분히 잘 설계되고, 관리되는 공정이라 할 지라도 완전히 균일한 품질의 제품을 생산하기란 현실적으로 불가능하다. 따라서 제품의 출하를 결정하기 전에 품질검사를 하게 되는데, 과거에는 통계적 이론에 기초한 샘플링 검사를 많이 활용하였다. 그러나 최근 들어서는 완벽한 품질 보증을 위해 전수검사가 널리 활용되는 추세에 있다. 특히 생산공정이 자동화되면서, 품질검사에 있어서도 자동검사 시스템을 활용한 전수검사를 도입하는 추세에 있다. 예를들어 전자산업에서는 레이저, 초음파 검사, 컴퓨터

터 비전, 패턴인식기법 등을 활용한 자동화된 검사기계가 많이 개발되었다. 이러한 기계의 활용은 짧은 시간에 많은 양의 제품을 검사할 수 있고, 또한 항상 일관되고 정밀한 측정결과를 얻는 것을 가능하게 해주었다. 전수검사는 다음의 두가지 방법으로 할 수 있다. 첫째, 관심의 대상이 되는 주품질특성 (performance variable) 을 측정하는 전수검사와, 둘째, 주품질특성의 측정이 어려운 경우 주품질특성과 높은 상관관계를 갖는 대응특성 (screening variable) 을 측정하는 전수검사이다. 주품질특성을 활용한 검사에 대해서는 그동안 많은 연구가 진행되어 왔다. Tang (1988), Riew (1989), Hui (1990), Ng 와 Hui

* 이 논문은 1996년도 한국학술진흥재단 대학교수 해외파견연구에 의해 이루어졌음

** 전북대학교 산업공학과

(1996), 그리고 Hong과 Elsayed (1998).

한편 제품에 따라서는 주품질특성을 활용한 전수검사가 어려운 경우가 있다. 파괴검사를 요하는 제품이 그 대표적인 예이다. 또한 품질특성을 측정하는 데 많은 비용이 드는 경우 제품의 주품질특성을 직접 측정하는 것은 비경제적일 수 있다. 이러한 경우 주품질특성과 높은 상관관계를 갖고 검사비용이 상대적으로 낮은 대응특성을 활용해 제품을 검사할 수 있다. 주품질특성 대신 검사비용이 저렴한 대응특성을 측정하면 비용은 절감할 수 있으나, 검사에 따른 오류가 발생할 수 있다. 즉 대응특성을 검사함으로써 인해 실제로 양품인데도 불합격 되거나, 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 검사후 양품의 비율을 일정수준 이상으로 높이는 것이 주 연구 대상이었다. Owen 등(1975), Li 와 Owen (1979), Wong 등 (1985), 그리고 Boys 와 Dunsmore (1987), 한편 Tang (1987), Turkman 과 Turkman (1989), Bai와 Hong (1992), Bai 등 (1995), 그리고 Hong 등 (1998) 등은 대응특성의 검사비용, 불량제품의 합격으로 인한 손실비용, 그리고 불합격되는 제품으로 인한 비용 등을 고려하여 경제적인 관점에서 대응특성의 기각치를 구하였으며, Tang 과 Tang (1994) 은 주품질특성 또는 대응특성을 활용한 전수검사에 관한 기존의 연구결과들을 종합해 소개하는 논문을 발표하였다.

주품질특성 또는 대응특성을 활용한 전수검사에 관한 기존의 연구들에서는 모두 주품질특성 또는 대응특성 중 단지 하나의 특성만 측정해 제품의 합격여부를 판정하였다. 그런데 이 두가지 품질특성들은 각각 나름대로의 장단점을 갖고 있다. 첫째, 주품질특성을 측정하는 경우는, 품질 상태를 정확히 파악하여 고객에게 만족스런 제품만을 공급할 수 있다는 장점이 있다. 또한 공정에 이상요인 발생시 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 대응특성을 활용한다면, 검사비는 크게 줄일

수 있으나, 대응특성의 검사에 따른 검사오류가 생길 수 있다. 또한 공정에 이상요인 발생시 이를 탐지하는데 상당한 시간을 필요로 한다. 이러한 점에 착안해서 본 연구에서는 주품질특성 또는 대응특성만을 측정하는 검사의 단점을 보완할 수 있는 새로운 검사절차를 제안하고자 한다. 검사절차의 기본 개념은 검사결과에 따라 주품질특성 및 대응특성을 선택적으로 검사하는 것이다. 즉 검사초기에는 주품질특성을 검사하다가, 공정이 안정상태에 있다고 판단되면 대응특성을 검사한다. 그러나 대응특성을 검사하다가 공정에 이상요인이 발생했다는 판단이 서면 즉시 대응특성의 검사를 중지하고, 다시 주품질특성을 검사한다. 이 검사 절차는 전수검사와 샘플링 검사를 선택적으로 적용하는 연속생산형 샘플링 검사 (continuous sampling plan; CSP)와 기본개념이 유사한 것으로, 본 연구에서도 CSP와 같이 선별 후 불량제품의 비율, 즉 평균 출검품질한계 (average outgoing quality limit; AOQL)를 보증하는 검사절차를 구하고자 한다.

2. 모형 설정

검사대상이 되는 제품의 주품질특성을 T 라 정의하자. 주품질특성 T 는 제품이 양품일 때 $T=0$, 불량품일 때 $T=1$ 을 취하는 이치형 (Dichotomous) 확률변수이다. 본 연구의 기본 가정은 주품질특성의 측정은 많은 비용을 필요로 하지만, 파괴검사를 요하지 않고 측정 가능하다는 것이다. 또한 주품질특성과 높은 상관관계를 갖고 상대적으로 낮은 검사비용을 갖는 대응특성을 X 라 하자. 대응특성을 활용한 검사에서는 주품질특성과 대응특성의 관계를 올바르게 설정하는 것이 중요한데, 본 논문에서는 $T=i$, $i=0,1$ 일 때, X 의 조건부 확률분포는 평균 μ_i ($\mu_0 > \mu_1$), 분산 σ_i^2 인 정규분포를 따른다 가정한다. 물론 $\mu_0 < \mu_1$ 인 경우도 동일한 방법에 의해 최적 검사방식을 구할 수 있다. Boys 와 Dunsmore (1987), Bai 등 (1995) 주품질특성이 이치형 변수일 때를 고려한 이 분야의 다른 연구 논문들도 동일한 가정을 한 바 있다.

본 연구에서 제안하는 검사절차는 다음과 같다.

- i) 검사초기에는 생산되는 모든 제품에 대해 주품질특성 T 를 측정한다. 양품이면 합격, 그렇지 않으면

- 면 불합격 시킨다.
- ii) 주품질특성을 측정하는 검사에서 연속 i 개의 양품이 나오면, 그다음 제품 부터는 대용특성 X 를 측정한다. 이 때 X 의 측정값 $x \geq \omega$ 이면 제품 합격, 그렇지 않으면 불합격 시킨다. 단 ω 는 상수이다.
- iii) 만일 대용특성의 검사에서 불합격품이 나오면 즉시 대용특성 검사를 중지하고, 다시 주품질특성을 검사하여 연속 i 개의 양품이 나올 때까지 계속한다.
- iv) 검사에서 발견된 불량품은 모두 양품으로 교체한다.

는 (i, j) 인 반면, 본 논문에서는 (i, ω) 가 결정변수이다.

3. AOQ 함수의 유도 및 검사방식 결정

주품질특성을 측정하는 경우 연속 i 개의 양품이 나오면 대용특성을 측정하게 되는데, i 개의 양품이 나올 때까지의 평균검사개수를 u 라 정의하면

$$u = \frac{1 - (1-p)^i}{p(1-p)^i} \quad (1)$$

이 된다; Dodge (1943) 참조 단 식 (1)에서 p 는 제품이 불량품일 확률로서, $p=P(T=1)$ 이 된다.

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

$$\begin{aligned} P(X < \omega) &= P(X < \omega, T=0) + P(X < \omega, T=1) \\ &= P(X < \omega | T=0)P(T=0) + P(X < \omega | T=1)P(T=1) \\ &= (1-p)\gamma_0 + p\gamma_1, \end{aligned} \quad (2)$$

이 된다. 단 $\gamma_i = \Phi\left(\frac{\omega - \mu_i}{\sigma_i}\right)$, $i = 0, 1$, 그리고 $\Phi(\cdot)$ 는 표준 정규분포의 누적분포함수이다. 대용특성의 검사에서 하나의 불합격품이 나올 때까지의 평균검사개수를 v 라 정의하면 기하분포의 평균으로부터

$$v = \frac{1}{P(X < \omega)} = \frac{1}{(1-p)\gamma_0 + p\gamma_1} \quad (3)$$

이 된다.

주품질특성을 측정하다가 연속 i 개의 양품이 나와서 대용특성을 활용한 검사로 넘어가고, 대용특성을 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 대용특성을 측정하는 제품의 비율은

$$\frac{v}{u+v} = \frac{p(1-p)^i}{\left[1 - (1-p)^i\right] \left\{ (1-p)\gamma_0 + p\gamma_1 \right\} + p(1-p)^i} \quad (4)$$

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

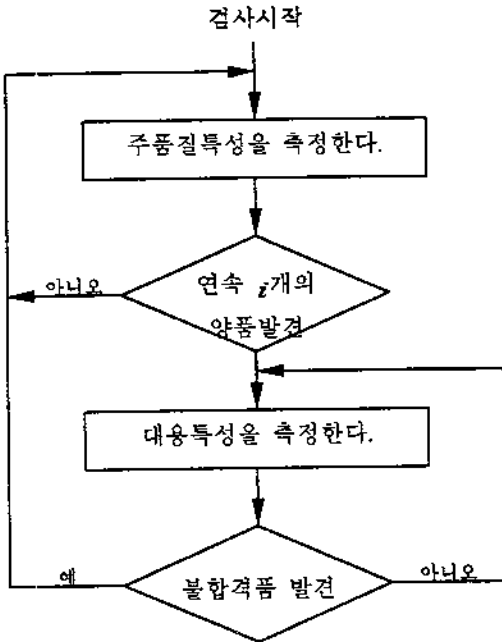


그림 1. 품질검사절차

위의 검사절차는 공정이 안정상태일 경우 대용특성을 측정하여 검사비용을 줄이며, 공정에 이상요인이 있다는 판단이 서면 주품질특성을 측정하여 불량품의 출하를 방지하고 공정의 이상요인을 빠르게 탐지할 수 있다는 장점을 갖는다. 그림 1은 이 검사절차를 나타낸 것으로, 이는 Dodge (1943)에 의해 제안된 연속생산형 샘플링 검사 CSP-1과 검사절차가 유사하다. 공정이 안정 상태일 때 CSP-1에서는 f 의 비율로 샘플링 검사를 하는데 비해, 본 논문에서는 대용특성을 활용해 제품을 전수선별한다는 것이 다른점이라 할 수 있다. 물론 CSP-1에서의 결정변수

$$\begin{aligned}
 AOQ &= \frac{v}{u+v} P(T=1 | X \geq \omega) \\
 &= \frac{v}{u+v} \frac{p(1-\gamma_i)}{[1-(1-p)\gamma_0 p \gamma_i]} \\
 &= \frac{p(1-p)^j(1-\gamma_i)}{[(1-(1-p)^j)\{(1-p)\gamma_0 + p\gamma_i\} + p(1-p)^j] \cdot [1-(1-p)\gamma_0 p \gamma_i]} \quad (5)
 \end{aligned}$$

이 된다. 그림 2는 $\mu_0=15.0$, $\mu_1=10.0$, $\sigma_0=\sigma_1=3.0$, 인 상황에서 $(i, \omega)=(10, 13.5)$ 인 검사방식을 적용하는 경우 공정불량률 p 값에 따른 AOQ 함수의 형태이다. 그림에서 보는 바와 같이 불량률이 낮은 경우 출하되는 제품의 평균 출검품질도 작은 값을 갖게되나, 불량률이 증가함에 따라 AOQ 도 점차로 증가하게 된다. 그러나 불량률 p 가 아주 큰 경우는 제품 대부분에 대해 주품질특성을 활용한 검사를 적용하고 대응특성을 측정하는 비율은 상대적으로 줄어들게 되므로 AOQ 값도 점차로 감소하게 된다.

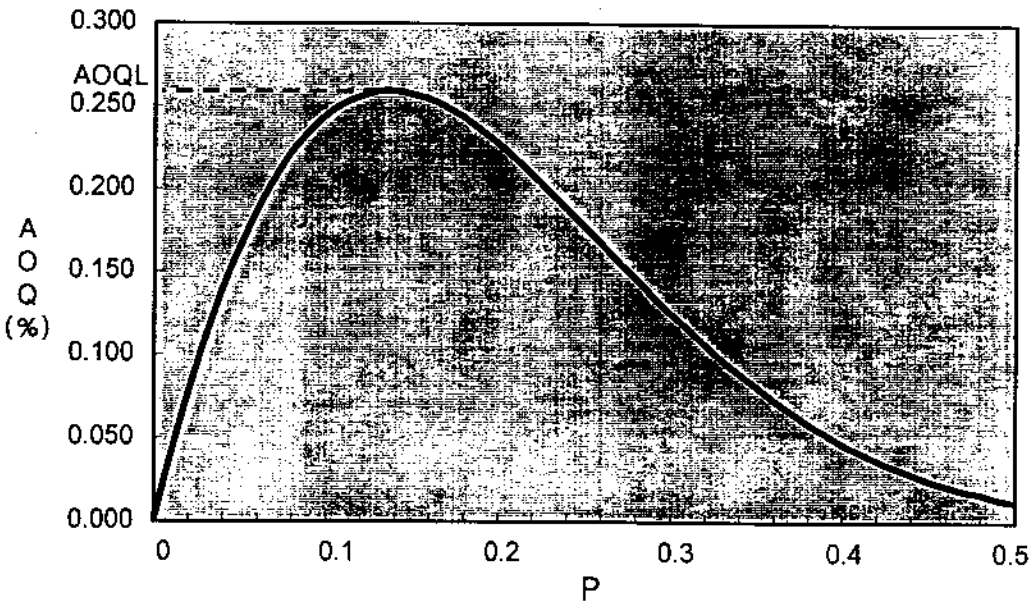


그림 2. AOQ 함수의 형태

그림 2에 표시된 바와 같이 AOQ 값 중 최대값을 $AOQL$ 이라 하는 데, 본 논문에서는 $AOQL$ 을 보증해주는 검사방식을 구하고자 한다. 품질검사에서 $AOQL$ 을 보증한다는 의미는 공정불량률이 어떠한 값을 갖는가에 상관없이, 검사 후 출하되는 제품의 평균불량률은 $AOQL$ 이하로 유지할 수 있다는 뜻이다. 따라서 계수선별형 샘플링 검

사나 연속생산형 샘플링 검사를 포함한 많은 품질검사방식을 결정하기 위한 기준으로 널리 활용되고 있다. AOQ 값을 최대로 하는 p 의 값을 p_L 이라 정의하면 $AOQL$ 은 다음과 같이 된다.

$$AOQL = \frac{p_L(1-p_L)^j(1-\gamma_i)}{[(1-(1-p_L)^j)\{(1-p_L)\gamma_0 + p_L\gamma_i\} + p_L(1-p_L)^j] \cdot [1-(1-p_L)\gamma_0 p_L \gamma_i]} \quad (6)$$

여기서 p_L 은 $\partial AOQ / \partial p = 0$ 를 만족하는 p 값으로서 다음 식으로부터 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 & \{ (1-p)\gamma_0 + p\gamma_i \} \cdot [2(1-p)\{1-(1-p)^j\}(1-\gamma_0) - p\{1-(1-p)\gamma_0 p \gamma_i\}] \\
 & + p(1-p)\{ (1-p)^j(1-2\gamma_0 + \gamma_i) + \gamma_0 \gamma_i \} = 0 \quad (7)
 \end{aligned}$$

식 (7)에서 p_L 값은 (i, γ_0, γ_i) 3변수의 함수가 된다는 것을 알 수 있다. 그러나 앞에서 정의하였듯이 $\gamma_0 = \Phi\left(\frac{\omega - \mu_0}{\sigma_0}\right)$

이므로, $\omega = \sigma_0 \Phi^{-1}(\gamma_0) + \mu_0$ 이고, 이로부터

$\gamma_i = \Phi\left[\frac{\sigma_0 \Phi^{-1}(\gamma_0) + \mu_0 - \mu_i}{\sigma_i}\right]$ 이 된다. 즉 정규분포와 관련된 모수들인 μ_i 와 σ_i , $i=0,1$, 값을 안다면, 식 (7)에서 p_L 은 (i, γ_0) 2변수의 함수가 된다. 또한 식 (6)의 $AOQL$ 은 (i, γ_0, p_L) 3가지 변수의 함수이므로, 어떤 특정한 품질검사방식 (i, ω)

(즉 (i, γ_0))하에서의 AOQL 값은 식 (7)에서 p_L 을 구한 후 이를 식 (6)에 대입함에 의해 구할 수 있다.

한편 특정한 AOQL 값을 갖는 품질검사방식을 구하기 위해서는 좀 더 복잡한 절차를 거쳐야 한다. 품질검사방식은 식 (6)과 식 (7)을 동시에 만족하는 (i, γ_0) 를 구하면 되는 데, 식 (6)과 (7)에서 미지의 변수는 (i, γ_0, p_L) 3가지 인 데 반해, 조건식은 식 (6)과 (7), 2개에 불과하다. 따라서 Dodge 의 CSP-1 에서와 같이 특정한 AOQL 값을 만족하는 (i, γ_0) 값의 조합은 무수히 많이 존재하게 된다. 검사방식을 구하기 위해서는 먼저 i 값을 고정시킨 후, i 값에 대응하는 p_L 과 γ_0 를 식 (6)과 (7)로부터 구한다. 또한 i 값을 변화시키면서 동일한 절차를 반복하면 특정한

AOQL조건을 만족하는 (i, γ_0) 의 조합을 얻을 수 있다. 한편 γ_0 값을 구한 후 ω 는 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$\omega = \sigma_0 \Phi^{-1}(\gamma_0) + \mu_0 \tag{8}$$

<예 제> 자동차의 연료주입장치에 쓰이는 부품인 노즐 (nozzle)의 주품질특성 중 하나는 연료를 올바르게 분사시켜 주는가이다. 이 기능의 검사를 위해서는 노즐을 통해 실험용 기름을 분사한 후, 분사되는 기름의 형태를 관찰 함에 의해 노즐의 작동 상태를 알 수 있다. 그러나 이 검사는 상당한 시간과 비용을 필요로 한다. 따라서 대응특성으로 연료주입장치 작동시 노즐의 바늘 부분이 몸체 부

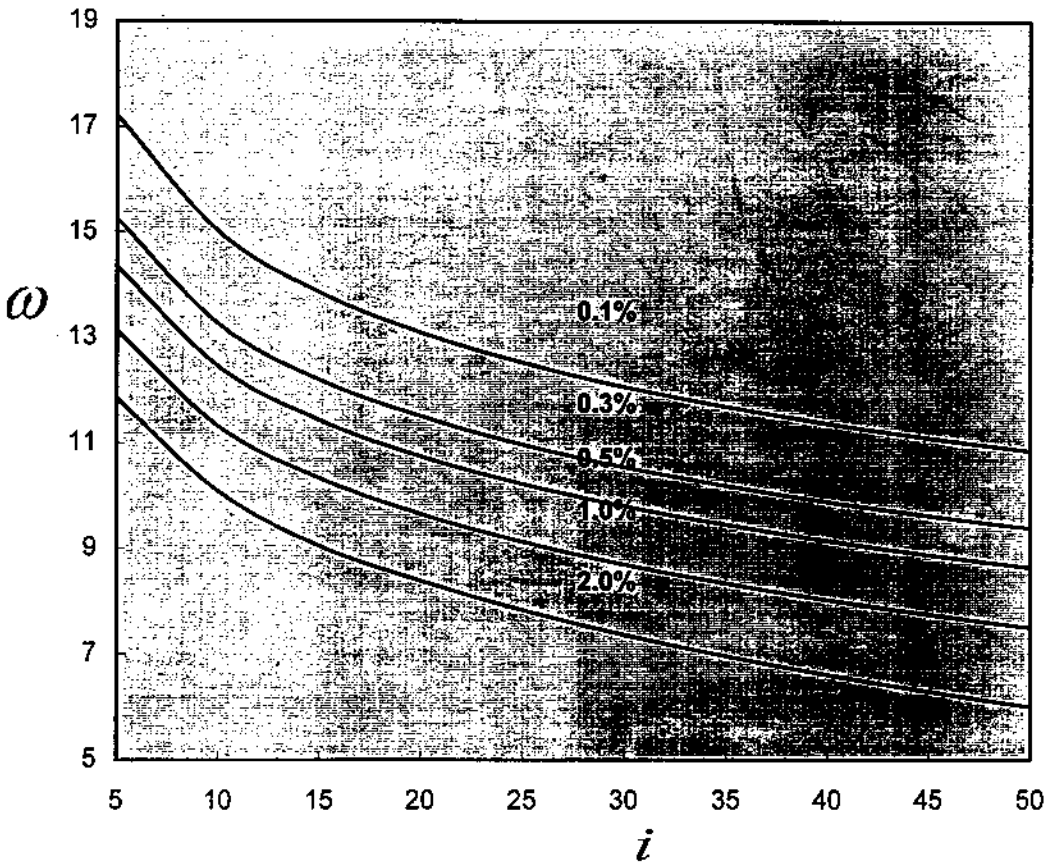


그림 3. AOQL의 값에 대응하는 (i, ω)

분위로 나오는 순간, 새어나오는 공기의 유동량을 측정하여 노즐의 품질을 검사할 수 있다. 과거의 검사기록들을 토대로 분석한 결과 노즐이 정상적으로 작동할 때 공기의 유동량은 분당 평균 15.0 리터이고, 표준편차는 3.0 리터인 정규분포를 따르는 것으로 알려져 있다. 또한 노즐이 불량일 때의 유동량은 평균 10.0 리터, 표준편차 3.0 리터인 정규분포를 따른다.

그림 3은 AOQL=0.1, 0.3, 0.5, 1.0, 2.0 (%)를 만족하는 품질검사방식들을 구한 것이다. 동일한 AOQL 조건을 만족하는 검사방식은 (i, ω) 의 무수히 많은 조합이 존재한다. 이 중 특정 검사절차의 선택은 제품의 생산량, 검사원 수 등을 포함한 생산공정의 조건을 고려해 결정하면 된다. 그림 3에서 보는 바와 같이 동일한 AOQL 조건을 만족하는 검사방식은 i 값이 커짐에 따라 ω 값은 감소하게 됨을 알 수 있다. 한편 표 1은 그림 3중 일부를 정리한

것으로, 표에는 (i, ω) 값 외에 $p_L \frac{u}{u+v}$, 그리고 ω 값을 제시하였다. 여기서 ω 는 대응특성만을 측정해 제품을 전수선별하는 경우 검사전 불량률 p_L 을 검사 후 AOQL로 높이기 위한 대응특성의 기각치이다. 표로부터 ω 는 모든 경우 ω 에 비해 매우 큰 값을 갖게 됨을 알 수 있다. 즉 대응특성만을 측정해 제품을 전수선별하게 되면 동일한 AOQL을 보증하기 위해 불합격시켜야하는 제품의 비율이 본 연구에서 제안된 절차에 비해 매우 높아지게 된다. 한편 전체 제품 중 주품질특성을 측정하는 비율 $\frac{u}{u+v}$ 는 AOQL=2.0%, $i=50$ 인 경우 그 비율이 46.60%로 크게 낮아짐을 알 수 있다. 이는 주품질특성 대신 대응특성을 검사함으로써 인해 검사비용을 크게 줄일 수 있음을 의미한다. 또한 p_L 값의 경우 AOQL이나 ω 보다는 i 값에 큰 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 AOQL을 보증하는 주품질특성 및 대응특성을 활용한 검사방식을 구하였다. 주품질특성은 양품 또는 불량품으로 구분 가능한 이치형 변수이고, 대응특성은 연속형 변수인 경우를 고려하였다. 주품질특성과 대응특성의 관련성을 나타내기 위해, 주품질특성 값이 주어진 경우 대응특성의 조건부 확률분포가 정규분포를 따른다 가정하였다. 본 논문에서 제안된 검사방식의 기본개념은 공정이 정상상태에 있다고 판단되면 대응특성을 측정하여 검사에 소요되는 비용을 줄이고, 불합격품이 발견되어 공정에 이상요인이 있을지도 모른다는 판단이 서면 곧바로 주품질특성을 측정하며 출하되는 제품의 품질 수준을 높이고자 하였다. 품질검사방식 (i, ω) 를 구하기 위한 조건식이 복잡하여 (i, ω) 에 대한 정확한 표현식을 얻을 수 는 없었으나, 수치적인 방법에 의해 그 값을 구할 수 있었다. 연속생산형 샘플링 검사에서와 같이 AOQL을 만족하는 검사방식은 단일해가 아닌 (i, ω) 의 여러 조합으로 얻 어지게 되는 데, 그 중 특정한 검사방식의 선택은 제품의 생산량, 검사원 수 등을 포함한 생산공정의 조건을 고려 해 결정할 수 있다. 한편 동일한 AOQL 조건을 만족하는 검사방식들은 i 값이 커짐에 따라 ω 값은 반대로 감소하게 됨을 알 수 있었다.

이 분야에서의 추후 연구과제로는 주품질특성과 대응

〈표 1〉 AOQL의 값에 대응하는 $(i, \omega, p_L \frac{u}{u+v}, \omega)$

AOQL(%)	i	ω	p_L	$\omega(u+v)$ (%)	ω
0.1	5	17.228	0.279	92.50	22.423
	10	15.018	0.142	93.53	20.773
	30	12.073	0.048	93.13	18.402
	50	10.859	0.029	91.98	17.305
0.3	5	15.263	0.265	89.95	20.145
	10	13.268	0.135	89.70	18.462
	30	10.549	0.047	86.45	16.019
	50	9.389	0.029	82.93	14.882
0.5	5	14.364	0.256	87.86	19.026
	10	12.455	0.131	86.62	17.326
	30	9.805	0.047	81.03	14.850
	50	8.648	0.030	75.93	13.706
1.0	5	13.134	0.243	83.58	17.447
	10	11.319	0.127	80.46	15.730
	30	8.699	0.049	70.46	13.215
	50	7.495	0.033	62.51	12.042
2.0	5	11.852	0.232	76.96	15.793
	10	10.085	0.127	71.30	14.077
	30	7.363	0.055	55.82	11.506
	50	5.999	0.041	46.60	10.395

특성이 모두 연속형 변수인 경우 이변량 정규모형 하에서의 검사방식을 구하는 문제와, AOQL같은 통계적 관점이 아닌 여러 비용 항목을 고려한 경제적 관점에서 검사방식을 구하는 문제를 고려할 수 있으리라 생각된다.

5. 참고문헌

[1] Bai, D.S., and Hong, S.H., "Economic Seceening Procedures Using a Correlated Variable with Multidecision Alternatives", *Naval Research Logistics*, Vol. 39, pp. 471-485, 1992.

[2] Bai, D.S., and Kwon, H.M., and Lee, M.K., "An Economic Two-Stage Screening Procedure with a Prescribed Outgoing Quality in Logistic and Normal Models", *Naval Research Logistics*, Vol. 42, pp. 1081-1097, 1995.

[3] Boys, R.J., and Dunsmore, I.R., "Diagnostic and Sampling Models in Screening", *Biometrika*, Vol. 74, pp. 356-374, 1987.

[4] Dodge, H.F., "A Sampling Inspection Plan for Continuous Production", *Annals of Mathematical Statistics*, Vol. 14, pp. 264-279, 1943.

[5] Hong, S.H., and Elsayed, E.A., "Economic Complete Inspection Plans with Multi-Decision Alternatives", *International Journal of Production Research* (in press), 1998.

[6] Hong, S.H., Kim, S.B., Kwon, H.M., and Lee, M.K., "Economic Design of Screening Procedures When the Rejected Items are Reprocessed", *European Journal of Operational Research* (in press), 1998.

[7] Hui, Y.V., "Economic Design of a Complete Inspection for Bivariate Products", *International Journal of Production Research*, Vol. 28, pp. 259-265, 1990.

[8] Li, L. and Owen, D.B., "Two-Sided Screening

Procedures in the Bivariate Case", *Technometrics*, Vol. 21, pp. 79-85, 1979.

[9] Ng, W.C., and Hui, Y.V., "Economic Design of a Complete Inspection Plan with Interactive Quality Improvement", *European Journal of Operational Research*, Vol. 96, pp. 122-129, 1996.

[10] Owen, D.B., McIntire, D. and Seymour, E., "Tables Using One or Two Screening Variables to Increase Acceptable Product Under One-Sided Specifications", *Journal of Quality Technology*, Vol. 7, pp. 127-138, 1975.

[11] Riew, M.C., "Economic Selection of Specification Limits for a Given Target Value", *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol. 15, pp. 57-64, 1989.

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

[13] Tang, K., "Economic Design of Product Specifications for a Complete Inspection Plan", *International Journal of Production Research*, Vol. 26, pp. 203-217, 1988.

[14] Tang, K. and Tang, J., "Design of Screening Procedures: A Review", *Journal of Quality Technology*, Vol. 26, pp. 209-226, 1994.

[15] Turkman, K.F. and Turkman, M.A.A., "Optimal Screening Methods", *Journal of the Royal Statistical Society Series B*, Vol. 51, pp. 287-295, 1989.

[16] Wong, A., Meeker, J.B., and Selwyn, M.R., "Screening on Correlated Variables: A Bayesian Approach", *Technometrics*, Vol. 27, pp. 423-431, 1985.