

# 검사 오류를 고려한 다단계 선별절차에 관한 연구

권혁무\* · 김영진\*

\* 부경대학교 시스템경영공학과

## A Study on the Multistage Screening Procedure when Inspection Errors are Present

Hyuck-Moo Kwon\* · Young Jin Kim\*

\* Systems Management and Engineering Department, Pukyong National University

Key Words : Multistage Screening, Inspection Error

### Abstract

Multistage screening is a common practice when a component has a critical effect on the function of the assembly. A defect in a component might incur malfunction of an electronic device, resulting in a great amount of loss. Multistage screening, including duplicated screening inspections, may provide a good solution for this problem when inspection errors are present. In the company studied here, the manufacturing process of the multiple layer chip capacitor includes two-stage screening. In the first stage, screening inspection is performed repeatedly until no defects are found in the lot. In the second stage, sampling inspection is performed by a group of experts prior to shipment. In this article, we review the procedure used in the field and suggest a revised model of the multiple screening procedure and solution method for this situation. The usefulness of the proposed model is discussed through a practical example.

### 1. 서 론

과거 산업현장에서는 대고객 품질보증을 위해 전체 생산 공정을 거친 후 샘플링검사를 통하여 품질수준을 확인하는 방법을 많이 사용하였다. 그러나 근래에 들어 검사기술과 자동화설비의 발전으로 공정간 작업 결과를 확인하기 위해 전수검사를 많이 실시하고 있다. 즉, 처음부터 검사를 공정의 한 단계로 구성하여 중요 공정이 완료될 때마다 작업 결과가 제대로 되었는지 점검하고 피드백하는 것이 일반적이다. 이에 따라 검사에 관련된 연구도 과거와 달리 공정 간의 전수검사 혹은 전수선별 절차와 관련하여 다양한 연구 결과가 나오고 있다. 공정 간의 전수 검사에서

는 제품의 품질특성을 직접 측정하기보다는 주로 센서 등을 이용하여 품질특성을 대신할 수 있는 대응특성을 측정하여 이루어지기 때문에 많은 연구가 대응특성을 사용한 검사방식의 설계와 관련되어 있다.

전수선별검사 절차의 설계와 관련된 과거의 연구는 크게 선별검사에 사용되는 변수를 기준으로 주품질특성을 직접 측정한 성능변수인가 대응특성을 측정한 대응변수인가에 따라 분류할 수도 있고, 선별검사방식의 설계 모형을 기준으로 검사 후 품질수준을 보증하는 모형인가 혹은 경제적인 모형인가에 따라 분류할 수도 있다. Tang and Tang(1994)은 이와 같은 분류기준을 포함한 여러 가지 세분화된 기준으로 1994년 이전의 연구들을 분류하여 종합 정리하였다.

1995년 이후에도 여러 연구가 이루어졌는데 그 중 중요한 것을 정리하면 <표 1>과 같다. Bai 등(1995)은 규정된 출검품질을 보증하는 2단계 선별

† 교신저자 ichmkwon@pknu.ac.kr

\* 본 연구는 2004학년도 부경대학교 기성회 학술연구비에 의하여 연구되었음.

검사절차를 제안하였다. Drezner and Wesolowsky (1995)는 품질비용을 최소화하기 위한 다변량 선별 검사 절차를 제안하였다. Boys 등(1996)은 Bayes 최적 2단계 선별검사를 연구했다. Greenstein and Ravinowitz(1997)는 다품질특성 품목에 대한 2단계 선별검사에 대해 연구했다. Hong and Elsayed (1998)는 여러 가지 의사결정 대안이 있을 경우의 경제적 전수검사 방법을 제안하였고, Hong 등(1998)은 불량품이 재작업될 경우의 경제적 선별검사 절차를 제시하였다. 보다 최근에는 Hong 등(2001)이 성능변수와 대응변수를 같이 사용한 연속적 선별검사 절차에 대해 연구하였다.

<표 1> 전수선별검사 관련 연구의 분류

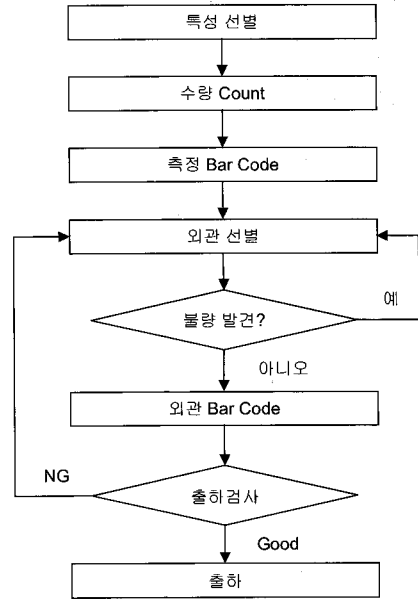
모형	사용 변수	
	대응변수	대응 및 성능변수
경제적 모형	Drezner and Wesolowsky(1995), Hong 등(1998), Hong and Elsayed (1998)	* 1994년 이전의 연구는 Tang and Tang(1994)의 Survey paper 참고
출검품질 보증모형	Greenstein and Ravinowitz(1997)	Hong 등(2001)
혼합모형	본 논문	Bai 등(1995), Boys 등(1996)

본 논문에서는 선별이 불완전하고 앞서 시행되었던 선별검사와 동일한 방법과 절차에 의한 선별이 반복적으로 수행되는 경우에 가장 적절한 선별검사 모형을 제시하고자 한다. 예를 들어 휴대 전화 단말기나 컴퓨터 등 전자제품에 많은 양이 소요되는 칩 부품의 경우 검사항목이 많고 검사 로트가 작게는 수만 개의 부품으로부터 크게는 100만개를 넘는 부품들로 구성되기 때문에 검사 오류가 거의 필연적으로 수반된다. 본 연구에서는 검사 보다는 선별에 초점이 맞추어진 공정을 대상으로 동일 방식과 절차에 의한 반복 선별이 허용되는 상황에서 많은 부품들로 구성된 로트 중에 포함된 불량품을 선별하는 절차에 대해 연구한다.

## 2. 다단계 선별검사절차

전자제품에 널리 사용되는 칩 부품의 경우, 단위 가격은 낮지만 이 부품에 문제가 발생하면 전체 제

품이 제 기능을 수행하지 못하게 되거나 경우에 따라서는 제품 책임문제도 유발시킬 수 있다. 이와 같은 부품의 제조 공정에서는 일반적으로 고객에게 완벽한 품질을 보증하기 위해 부품을 전수 검사하여 불량품을 제거한 후 납품한다.



<그림 1> S사의 칩 부품 검사 공정

<그림 1>은 S사의 칩 부품 제조공정 중 검사공정을 도시한 것이다. 검사절차는 일차적으로 부품의 기능을 먼저 검사(특성 선별)하여 이상이 없는 부품에 한하여 외관선별을 실시하여 불량 부품이 발견되지 않으면 최종적으로 출하검사를 거쳐 납품하게 된다. 만약 출하검사서 외관상의 하자가 발견되면 다시 선별하는 절차를 거치게 된다. <표 2>에서 알 수 있듯이 외관선별검사의 경우 검사항목이 많을 뿐 아니라 하나의 로트가 작게는 수만 개의 부품으로부터 크게는 100만개를 넘는 부품들로 구성되기 때문에 검사 시간이 많이 걸리게 된다.

사람이 현미경을 사용하여 육안으로 외관을 관측하여 선별할 때 검사량이 많아서 선별 오류의 위험이 상존한다. 이를 방지하기 위해 일부 검사를 자동화하여 실시하고 있지만 자동화 설비 역시 검사항목에 따라서는 완벽하게 결함을 검출해내지 못하거나 검사기준의 설정에 따라 양품을 불량품으로 잘못 판정할 수도 있다. 다만, 출하검사의 경우 훈련된 전문 검사요원에 의해 샘플링검사가 시행되므로 검사오

류가 없는 것으로 판단된다.

### 3. 선별 후의 평균출검품질

<표 2> 로트별 외관선별검사 시간

로트 종류	부품크기 (mm <sup>2</sup> )	로트크기 (개)	검사시간		
			설비	사람	계
1	10×5	170만	8	-	8
2	16×8	120만	8	-	8
3	20×12	73만	6	5	11
4	32×16	34만	3	4	7
5	32×25	14만	3	8	11
6	45×32	3.5만	8	-	8

#### 3.1 평균출검품질

기본적으로 <그림 2>의 다단계 선별검사 공정의 목적은 검사 후 출하 품질을 보증하고자 하는데 있으므로, 출검품질(검사 후 불량률)은  $(k, r)$ 을 결정하는데 고려해야 할 가장 중요한 요소라고 할 수 있다.

<그림 2>의 외관선별 공정에서 로트의 초기 불량률을  $p_0$ 라 하고, 양품을 불량품으로 잘못 분류할 확률(제 1종 검사오류)을  $\alpha$ , 불량품을 양품으로 잘못 분류할 확률(제 2종 검사오류)을  $\beta$ 라 하자. 매 선별 검사에서 발견된 불량품을 모두 제거한다고 하면 1차 선별검사 후 걸보기 불량률은

$$q_1 = (1 - p_0)\alpha + p_0(1 - \beta), \tag{1}$$

이므로, 1차 선별검사 후 참 불량률(출검품질)은

$$p_1 = \frac{p_0\beta}{1 - q_1}, \tag{2}$$

이 된다. 만약 이와 같은 선별검사를  $k$ 회 반복한다고 하면,  $k$ 차 선별검사 후 걸보기 불량률과 참 불량률은 각각

$$q_k = (1 - p_{k-1})\alpha + p_{k-1}(1 - \beta), \tag{3}$$

$$p_k = \frac{p_{k-1}\beta}{1 - q_k}, \tag{4}$$

이 될 것이다.

출하검사는 샘플링검사로서 무작위로 추출된  $n$ 개 부품 중 불량품이 하나도 없으면 합격으로 판정하고 검사오류는 없다고 하자. 그러면 외관 선별을  $k$ 회 반복한 로트가 첫 출하검사에서 합격될 확률은

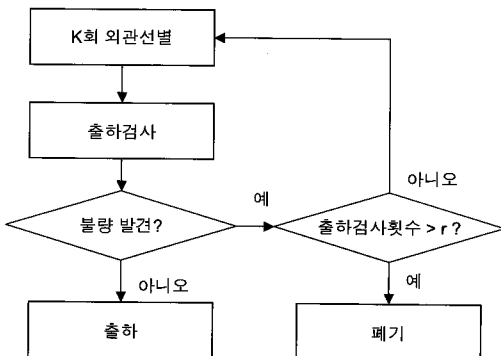
$$A(k, 1) = (1 - p_k)^n, \tag{5}$$

이 될 것이다. 만약, 출하검사에서 불합격된 로트에 대해 다시 선별할 때도  $k$ 회 반복한다고 하면 한 로트가  $r$ 번째 출하검사에서 합격할 확률은

$$A(k, r) = \{ \prod_{i=1}^{r-1} [1 - (1 - p_{ik})^n] \} (1 - p_{rk})^n, \tag{6}$$

이 된다. 단, 여기서  $p_{ik}$ 는  $i$ 번째의  $k$ 회 전수선별

외관선별에서 검사오류가 있을 경우, 반복검사를 실시한다고 하더라도 불량부품을 완벽하게 골라내는 것이 이론적으로 불가능하다. 따라서 불량이 발견되지 않을 때까지 반복 검사하는 방안보다 오류에 따르는 위험을 고려하여 반복검사횟수를 사전에 정해두는 방안이 경제적이 수 있다. 이제 S사 검사공정을 약간 수정하여 반복 선별 횟수를 사전에 정해두는 방식을 생각해보자. 즉, 동일 로트에 대해 한번에 행해지는 외관선별 횟수는  $k$ 회, 동일로트에 대한 출하검사의 최대 횟수는  $r$ 회로 정해져 있다고 하자. 그러면 그림 1의 검사공정이 다소 수정되어 모든 로트는  $k$ 회의 외관 선별검사를 거친 후 출하검사로 넘어가게 되고 출하검사에서 불합격되어 다시 선별하는 과정은 첫 선별검사를 포함하여 최대  $r$ 회를 넘기지 않게 된다. 이 과정을 외관선별과 출하검사 과정을 중심으로 도시하면 <그림 2>와 같다. 여기서  $(k, r)$ 은 우리가 정해주어야 할 결정변수가 된다.



<그림 2> 다단계 선별검사 공정

후 참 불량률을 나타낸다. 그러면  $r$  번째 출하검사  
에서 합격한 로트의 참 불량률은

$$OQ(k, r) = A(k, r) p_{rk} \tag{7}$$

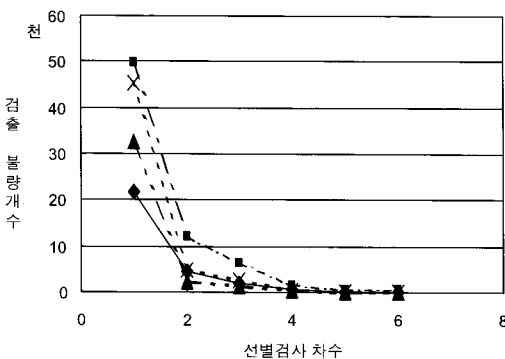
이 된다. 따라서 합격된 로트의 평균출검품질은

$$AOQ(k, r) = \frac{\sum_{j=1}^r A(k, j) p_{jk}}{\sum_{j=1}^r A(k, j)} \tag{8}$$

과 같이 구할 수 있다.

### 3.2 평균출검품질의 변화

만약 검사오류가 없다면 선별검사 후에는 불량률이 0이 될 것이다. 그러나 미세한 크기의 칩부품 수십만 내지 수백만 단위로 구성된 로트를 선별할 경우 현실적으로 오류 없는 완벽한 검사를 기대하는 것이 어렵다. 예로서 <그림 3>은 S사의 검사 공정에서 깨짐, 터짐, 번짐, 깎임의 네 불량항목에 대해 선별검사 차수별로 발견된 불량품수(겉보기 불량)를 도시한 것으로 2차 이후의 선별검사에서도 불량이 발견되고 있다. 만약, 검사 오류가 없는 상태라면 첫 선별검사에서만 불량이 발견되고 2차 이후에는 발견된 불량품이 없어야 한다.



<그림 3> 항목별 검출 불량개수

실제 현장에서 얻어지는 데이터는 참 불량여부는 알 수 없고 검사 결과 발견된 불량품을 나타내므로 <그림 3>의 검출 불량개수는 겉보기 불량률  $q_k$ 에 대응된다고 볼 수 있다. 따라서 검사차수 증가에 따른  $q_k$ 의 감소 양상도 이와 유사할 것으로 생각된다.

다만  $q_k$ 는 검사오류의 영향을 많이 받게 되므로  $\alpha$ 와  $\beta$ 의 값에 따라 감소 정도가 다르게 된다.

실제 우리가 관심을 가지고 있는 것은 선별검사 후의 참 불량률을 기초로 얻어지는 평균출검품질이 얼마인가이므로  $q_k$ 보다  $AOQ(k, r)$  값의 변화를 살펴보는 것이 더 의미가 있다. 다만, 전수검사를 통해 불량품을 선별한다는 측면에서 보면  $r$ 의 증가는 출하검사(샘플링 검사)를 한 번 더 거친다는 점 외에  $k$ 의 증가와 차이가 없으므로 여기서는  $r=1$ 로 고정시켜 두고  $k$ 의 증가에 따른 평균출검품질  $AOQ(k, 1)$ 의 변화를 살펴본다.

<표 3>은 선별검사의 반복에 따른 출검품질의 변화를 살펴보기 위해  $\alpha=0.01$ ,  $\beta=0.01$ 일 때,  $p_0$ 의 값이 0.01, 0.05 및 0.10일 경우에 대해  $k$ 의 증가에 따른 평균출검품질  $AOQ(k, 1)$ 의 값을 정리한 것이다. <표 3>에서 알 수 있듯이 다소의 검사오류가 있다하더라도 평균출검품질은 급격하게 향상됨을 알 수 있다.

<표 3>  $\alpha=\beta=0.01$ 일 때 평균출검품질

(단위: ppm)

$p_0$	$k$			
	1	2	3	4
0.01	102.02	1.03	0.01	0.00
0.05	531.35	5.37	0.05	0.00
0.10	1121.08	11.34	0.11	0.00

다음으로 검사오류의 크기가 평균출검품질에 어느 정도 큰 영향을 주는지 살펴보자. 여기서는  $\alpha$ 를 일정한 값으로 고정시켜두고  $\beta$ 의 변화에 따른 평균출검품질의 변화를 간단한 예를 통하여 살펴본다. 그 이유로서 첫째, 고객에 대한 완벽한 품질보증이라는 측면에서  $\alpha$ 보다  $\beta$ 가 더 중요하고, 둘째, 이와 같은 점을 고려하지 않더라도  $\alpha$ 와  $\beta$ 의 다양한 범위의 값에 대해 계산해 본 결과 평균출검품질이  $\alpha$ 보다는  $\beta$ 에 훨씬 더 영향을 많이 받는 것으로 나타났기 때문이다.

먼저 실제 데이터를 기초로 작성된 <그림 2>를 살펴보면 크기 100만인 로트로부터 검출된 불량 부품의 수가 대략 100개 정도에서 안정된 형태를 취하고 있음을 알 수 있다. 이것은  $\alpha$ 의 값이 대략 0.0001 정도임을 시사한다. 따라서 여기서는  $\alpha$ 의

값을 0.0001로 고정시키고  $\beta$  값의 영향을 살펴보기 위해  $\beta=0.01, 0.03, 0.05$ 일 경우에 대해 각각  $AOQ(k, 1)$  값을 ppm 단위로 계산하였다.  $p_0$ 의 값은 0.001, 0.005 및 0.01일 경우를 대상으로 하였다. <표 4>는 계산 결과를 정리한 것이다.

<표 4>  $p_0, \beta, k$ 의 변화에 따른 AOQ  
(단위: ppm)

$p_0$	$\beta$	$k$			
		1	2	3	4
0.001	0.01	10.01	0.10	0.00	0.00
	0.03	30.03	0.90	0.03	0.00
	0.05	50.05	2.50	0.13	0.01
0.005	0.01	50.25	0.50	0.01	0.00
	0.03	150.75	4.52	0.14	0.00
	0.05	251.22	12.57	0.63	0.03
0.010	0.01	101.01	1.01	0.01	0.00
	0.03	302.87	9.09	0.27	0.01
	0.05	504.85	25.26	1.26	0.06

<표 4>에서 초기불량률  $p_0$ 가 동일하고  $\beta$  값만 다를 경우의 AOQ를 비교해 보면,  $\beta$ 가 AOQ에 직접적인 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 즉, 첫 선별검사 후의 AOQ는  $\beta$ 에 비례하고 두 번째 선별검사 후의 AOQ는  $\beta^2$ 에 비례하는 등 일반적으로  $k$ 번째 선별검사 후의 AOQ는  $\beta^k$ 에 비례하는 경향을 보여주고 있다.

따라서 만약 선별검사를 통해 달성하고자 하는 AOQ의 수준이 주어지고 제 2종 선별검사오류  $\beta$ 의 값이 알려져 있다면 식 (4) 혹은 식 (8)을 이용한 복잡한 계산과정을 거치지 않고 전체적으로 필요한 선별검사 횟수  $rk$ 를 근사적으로 설정할 수 있을 것이다. 다음으로  $r$ 과  $k$ 의 개별 값은 경제적인 측면을 고려하여 설정할 수 있다.

### 4. 경제적 모형

#### 4.1 총 기대비용

전수검사를 통해 양품만을 선별하는 궁극적인 목적은 고객에 대한 완벽한 품질보증을 통하여 매출을 확보하고 이윤을 극대화하기 위한 것이다. 특

히 검사오류가 있어 완벽한 선별이 어렵고, 전수선별에 소요되는 시간이 길 경우 경제적인 측면을 고려하여 검사방식을 정하는 것이 의미가 있다고 하겠다.

경제적인 모형을 설정하기 하나의 로트를 전수 선별하는 단위비용을  $c_s$ , 로트별 출하검사의 단위비용을  $c_p$ , 로트 폐기비용을  $c_w$ , 불량에 대한 고객의 클레임으로 인한 손실을  $c_c$ 라 하자.

먼저 로트 당 평균 출하검사의 횟수는

$$B(k, r) = \sum_{j=1}^r jA(k, j) + r[1 - \sum_{j=1}^r A(k, j)]$$

이고 출하검사 1회당  $k$ 회의 선별검사가 이루어지므로 로트 당 평균 선별검사 횟수는

$$B(k, r)k$$

가 되고, 따라서 로트 당 평균 선별검사 비용은

$$B(k, r)kc_s$$

으로 주어진다.

다음으로 로트 당 평균 출하검사비용은 로트 당 평균 출하검사 횟수에 로트당 출하검사비용을 곱하면 되므로

$$B(k, r)c_p$$

과 같이 구해진다.

로트 당 누출 불량으로 인한 손실은 합격로트에 대해서만 발생하므로 평균값은

$$\begin{aligned} & \sum_{j=1}^r OQ(k, j)c_c + [1 - \sum_{j=1}^r A(k, j)](0) \\ & = \left\{ \sum_{j=1}^r A(k, j)p_{jk} \right\} c_c \end{aligned}$$

과 같다. 반대로 로트 폐기비용은 불합격 로트에 대해서만 발생하므로 로트 당 평균 폐기비용은

$$\left\{ 1 - \sum_{j=1}^r A(k, j) \right\} c_w$$

이 된다.

마지막으로 선별검사의 전 과정에서 불량품으로 판정된 부품들에 대한 처리비용은 각 선별검사 시마다 나타나는 결보기불량률에 비례하므로 로트 당 평

균 비용은

$$\left\{ \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^k q_{i+(j-1)k} A(k, j) \right\} c_w$$

과 같이 얻을 수 있다.

따라서 총 기대비용 ETC는 각 항목별 기대비용을 모두 합하여

$$\begin{aligned} ETC = & \left( 1 - \sum_{j=1}^r A(k, j) \right) c_w \\ & + \left\{ \sum_{j=1}^r A(k, j) p_{jk} \right\} c_c \\ & + B(k, r)(c_i + kc_s) \\ & + \left\{ \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^k q_{i+(j-1)k} A(k, j) \right\} c_w \end{aligned} \quad (9)$$

과 같이 구할 수 있다.

식 (9)에서  $A(k, j)$ ,  $p_{jk}$ ,  $q_j$  등의 값들을 축차적으로 구할 수 있으므로 ETC를 최소화하는  $r$ 과  $k$ 의 값도 비용계수들의 값이 주어지면 축차적인 계산을 통하여 구할 수 있다. 현실적으로 대고객 품질보증을 위한 목표 품질 수준이 주어지면 로트 당 필요한 총 선별검사횟수  $rk$ 가 결정되므로 실제로는  $r$ 과  $k$ 의 몇 가지 조합에 대해서만 경제성을 비교하면 된다.

### 4.2 예제

여기서 고려하고 있는 칩 부품의 단위 가격은 아주 작지만 조립제품에 장착된 칩 부품에 문제가 있으면 조립제품 자체를 못 쓰게 될 뿐 아니라 클레임이나 제품책임 문제를 유발할 수 있고 기업이미지 손상 등 부가적인 손실까지 입게 된다. 즉, 선별검사 결과 불량으로 잘못 분류된 양품을 폐기하는 손실은 부품 단가가 워낙 낮으므로 전체 손실에 주는 영향이 작지만, 검사결과 합격으로 판정되어 출하된 로트 속에 포함된 불량부품 한 단위로 인한 손실은 최소한 조립품의 가격 이상이 될 것이며 고객의 클레임이나 기업이미지 손상 등의 부가적인 손실까지 고려하면 전체 손실에 끼치는 영향이 매우 크게 된다. 이와 같은 상황을 감안하여 적절한 비용계수를 설정하고  $r$ 과  $k$ 의 값을 구하는 절차를 예를 통하여 살펴보자.

먼저 ETC를 가장 작게 하는  $r$ 과  $k$ 의 값은 비

용의 단위에 영향을 받지 않으므로 한 로트를 폐기 처분하는 비용  $c_w=1$ 로 두자. 고려 대상 칩 부품의 대표적인 기종의 경우 한 단위 가격은 10원 내외이고 한 로트의 크기는 100만개 내외로서 한 로트를 처분하는 비용은 대략  $(10 \times 100\text{만}) = 1000\text{만원}$ 이 된다. 따라서  $c_w=1$ 로 두면 기본 단위가 1000만원이 되는 셈이다. 칩 부품이 장착되는 휴대폰 단말기의 대당 가격은 50만원 내외이므로 출하된 불량 부품 한 단위로 인한 손실을 50만원으로 가정한다. 그러면 로트 단위로 환산된 손실은  $(50\text{만} \times 100\text{만})\text{원}$ 으로서  $c_c=50000$ 을 얻을 수 있다. 또, 하나의 로트를 전수 선별하는데 대체로 하루 정도가 소요되어 약 10만원 정도의 인건비가 발생하므로  $c_s=0.01$ 이다. 샘플링에 의한 출하검사의 경우 약 15분 정도 소요되며 일반 검사요원 급여의 1.5배 정도인 전문요원에 의해 검사가 진행된다면 계산에 의해 대략  $c_i=0.0005$  정도로 둘 수 있다. 이제 로트의 초기 불량률이 1%이고  $\alpha=0.0001$ ,  $\beta=0.01$ 라고 하고 출하 후 평균 품질수준을 3.4ppm 이내로 하는  $r$ 과  $k$ 의 값을 구해보자.

<표 4>로부터 로트에 대한 총 선별검사 횟수는 2 이상이 되어야 목표 품질 수준을 달성할 수 있다. 따라서  $(r, k)=(1, 2), (1, 3), (1, 4) \dots, (r, k)=(2, 1), (2, 2), (2, 3) \dots$  등에 대해 ETC를 계산하여 비교함으로써 최적의 검사방식  $(r^*, k^*)$ 를 구할 수 있다.

<표 5>  $(r, k)$ 에 따른 ETC 값

r	k			
	1	2	3	4
1	4.68	0.082	0.041	0.051
2	4.59	0.081	0.041	0.051

<표 5>는 적절한  $(r, k)$  값에 대한 ETC를 계산하여 정리한 것으로  $k \geq 3$ 일 경우  $ETC(1, k)$ 과  $ETC(2, k)$ 의 차이가 극히 미세하여 소수점 이하 자리수를 늘려도 잘 드러나지 않아 간결하게 소수 셋째자리까지만 나타내었다. 예제의 경우는  $ETC(2, 3)$ 의 값이  $ETC(1, 3)$ 의 값보다 근소하게 작게 되어  $(r^*, k^*)=(2, 3)$ 이 최적해가 되었다. 즉, 선별검사를 3회 실시한 후 출하검사를 실시하되 출하검사 2회까지 합격하지 못하면 당해 로트는 폐기처분하는

것이 경제적이다. 실제 현장에서는 외관선별검사를 불량부품이 발견되지 않을 때까지 반복 실시한 후 출하검사로 이행하고, 출하검사에서 불합격되면 다시 전수선별검사를 실시하는 과정을 반복하고 있다. 그러나  $\alpha$  값이 거의 0이 아니면 이와 같은 방식은 오히려 생산성 저하와 비용 증가의 요인이 될 수 있다.

### 4.3 비용계수의 영향

4.2절에서 현실 상황을 고려하여 비용계수를 설정하고 최적 선별검사방식을 결정하는 예를 살펴 보았다. 그러나 현장의 여러 자료들이 충분히 주어진다 고 하더라도 가장 적절한 비용계수를 설정하는 것은 불가능하다. 시간의 경과에 따른 부품과 제품 가격의 변동, 납기지연으로 인해 발생하는 기회 손실, 클레임을 비롯하여 부품 결합 시에 발생하게 되는 손실의 차이 등 다양한 요인들에 의해 각 비용계수가 항상 가장 적절한 하나의 특정 값을 취한다고 보기 어렵다. 여기서는 4.2절의 예제를 기초로 하여 다양한 비용계수들의 값에 대하여 ETC 및 최적 검사방식이 어떻게 달라지는지 살펴본다.

먼저  $c_w$ 는 기본 단위로서 1로 고정시키고 전자 제품 가격이 유동적이고 칩 부품의 불량으로 인해 제품 전체가 항상 문제되는 것은 아니므로  $c_c$ 의 값은 보다 폭 넓은 범위의 값 1000, 10000, 50000을 고려한다. 선별검사의 경우 단순 검사비용 뿐 아니라 긴 검사시간으로 인해 생산성 저하를 초래하고 납기지연으로 이어져 추가 손실을 유발할 수 있다. 이와 같은 점을 고려하여  $c_s$ 는 예제보다 더 큰 값인 0.05 및 0.10일 경우에 대해 추가 분석을 실시한다. 마지막으로  $c_i$ 는 샘플링검사가 검사시간 혹은 인건비에 의존하므로 전수선별검사비용에 비례할 것으로 생각된다. 따라서  $c_i = c_s/10$  및  $c_i = c_s/20$ 일 경우를 고려한다.

<표 6>은 각 비용계수의 여러 가지 값에 따른  $(r^*, k^*)$  및 ETC\*의 값들을 정리한 것이다. <표 6>으로부터 알 수 있듯이 불량품 출하로 인한 손실 대비 선별 및 출하 검사비용이 커질수록  $k^*$ 보다  $r^*$ 가 큰 쪽으로 최적해가 구해진다.  $r^*$ 가 커지면 로트 당 평균 선별검사횟수가 감소하게 되므로 이와 같은 현상은 당연한 귀결로 생각된다.

<표 6> 비용계수별  $(r^*, k^*)$  및 ETC\*

$c_s$	$c_i$	$c_c$		
		1000	10000	50000
0.01	0.0005	(2,2) 0.0317	(2,2) 0.0408	(2,3) 0.0413
	0.0010	(2,2) 0.0322	(2,2) 0.0413	(2,3) 0.0418
0.05	0.0025	(2,2) 0.1138	(2,2) 0.1229	(3,2) 0.1633
	0.0050	(2,2) 0.1163	(2,2) 0.1254	(3,2) 0.1658
0.10	0.0050	(3,1) 0.1954	(2,2) 0.2255	(2,2) 0.2659
	0.0100	(3,1) 0.1999	(2,2) 0.2305	(2,2) 0.2709

### 4.4 $p_0$ 및 $\beta$ 의 영향

다음으로 검사오류 및 초기 불량률의 차이에 따라 최적 검사방식이 어떻게 달라지는지 분석해 보자. 선별검사의 주목적이 불량품을 골라내는데 있으므로 여기서는 불량품을 제대로 골라내지 못할 오류 즉, 제 2종 검사 오류  $\beta$ 와 초기불량률  $p_0$ 의 영향에 대해서만 살펴본다.

<표 7>  $\beta$  및  $p_0$ 에 따른  $(r^*, k^*)$ 와 ETC\*

$\beta$	$p_0$		
	0.001	0.01	0.05
0.01	(3,2) 0.0267	(3,3) 0.0413	(3,3) 0.0835
0.05	(3,3) 0.0381	(2,4) 0.0541	(2,4) 0.1075
0.10	(2,4) 0.0469	(2,4) 0.1014	(2,4) 0.3527

<표 7>은 현장에서 가능성이 높다고 판단되는  $\beta$ 와  $p_0$ 의 몇 가지 값에 대해 최적 선별검사방식과 ETC의 값을 구하여 보여주고 있다. 표로부터 초기 불량률  $p_0$ 의 값이 작을수록 전수선별검사 횟수  $k^*$ 는 감소하고 제 2종 검사오류의 값이 클수록 전수선별검사의 횟수  $k^*$ 는 증가하게 됨을 알 수 있다. 또한,  $p_0$ 가 증가하더라도 전수선별검사횟수  $k^*$ 가 무

한정 커지지는 않고 3 혹은 4 정도의 값으로 안정되는 경향이 있다. 따라서 현장에서 현재 사용되고 있는 선별검사 차수를 제한하지 않는 방식은 개선의 여지가 있다고 판단된다.

### 5. 결 론

검사오류로 인해 불량품에 대한 완벽한 선별이 불가능할 경우, 다단계 선별절차의 출검품질을 구하고 경제적 모형을 설정한 후 최적 검사방식을 구하는 방법을 제시하였다. 또 실제 사례를 바탕으로 한 수치적 예제를 들고 초기불량률 및 검사오류의 차이에 따른 최적해의 변화를 살펴보았다.

다소의 검사 오류가 있다고 하더라도 선별검사 차수의 증가에 따라 평균 출검품질은 급격하게 개선되므로 현장에서 실시하고 있는 현행 검사방식과 같이 선별검사 횟수를 제한하지 않고 반복하는 것은 바람직하지 않은 것으로 분석되었다. 또한 로트 당 단위검사비용이 불량품 출하로 인한 손실 대비 어느 정도 인가에 따라 전수선별검사 횟수의 최적 값이 영향을 받으며 검사비용이 클수록 선별검사횟수에 비해 샘플링검사 횟수를 증가시키는 것이 바람직한 것으로 나타났다. 초기불량률과 검사오류 및 각종 비용계수들의 현실적인 값의 범위 내에서 선별검사 횟수는 대체로 4이하에서 결정되었다. 따라서 불량이 발견되지 않을 때까지 무제한으로 선별검사를 실시하는 S사의 현행 검사방식은 개선이 필요할 것으로 판단된다.

향후 여러 품질특성을 가질 경우의 종합적인 분석 방법에 대한 연구가 기대된다. 또한 실 사례에 대한 다양한 분석을 추가하면 현장에서 빈번하게 발생하고 있는 문제들에 대해 효과적인 해법을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

[1] 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*, Vol. 42, pp. 1081-1097.

[2] Boys, R. J., Glazebrook, K. D., and Laws, D. J.(1996), "A Class of Bayes-optimal Two-stage Screens", *Naval Research Logistics*, Vol. 43, pp. 1109-1125.

[3] Drezner, Z. and Wesolowsky, G. O.(1995), "Multivariate Screening Procedures for Quality Cost Minimization", *IIE Transactions*, Vol. 27, pp. 300-304.

[4] Greenstein, E. and Rabinowitz, G.(1997) "Double-stage Inspection for Screening Multi-characteristic Items", *IIE Transactions*, Vol. 29, pp. 1057-1061.

[5] Hong, S. H. and Elsayed, E. A.(1998), "Economic Complete Inspections with Multi-decision Alternatives", *International Journal of Production Research*, Vol. 36, pp. 3367-3378.

[6] 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*, Vol. 108, pp. 65-73.

[7] 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*, Vol. 39, pp. 2333-2340.

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