⊠ 응용논문

선별형 2회 샘플링 검사방식의 최적설계를 위한 알고리즘 개발

강보철 · 조재립
경희대학교 산업공학과

An Algorithm for Determining Double Rectifying Inspection Plans

Bo-Chul Kang · Jai-Rip Cho
Dept. of Industrial Engineering, Kyung-Hee University

Abstract

These days, customers have attached great importance to the function of product liability and quality assurance. In Korea, the single rectifying sampling inspection for attribute (KS A 3105) has been used. But this inspection plan given by tables (KS A 3105) has some defects. There are limitations in the range of applications and irrationality of approximate probability and the double rectifying sampling inspection is not mentioned. Moreover, ATI (average total inspection) does not reflect sampling costs and the loss of nonconforming item. Therefore, the objectives of this study is to develope new algorithms and computer program that provide the optimal sampling inspection plan based on minimum linear costs (single & double inspection plan).

The result of this study revealed that the new algorithm is less than KS A 3105 in ATI and basically, double inspection plan is more economical. Also it comes over restrictions in KS A 3105. So, it is definite that the optimal solution can be obtained considering cost factors in manufacturing and sampling process, and costs can be saved in the long term.

1. 서론

1.1 연구의 배경

오늘날의 기업경영환경은 소비자 중심의 시장이 정착되고 있는 시점에서 많은 어려움을 겪고 있다. 소비자들의 요구는 날로 다양화, 세분화되고 있으며 그들의 권리 또한 확대되고 있어 품질보증의 기능은 강하게 요구되고 있다. 더구나 안전에 대한 인식의 증대로 제품의 불량으로 인한 기업의 손실이 증대됨에 따라 제품책임의 개념 역시 기업이 부담해야 할 위험요소로 대두되고 있다[조재립, 1995]. 이러한 환경 하에 경쟁은 날로 극심해지고 있어 결국 소비자에게 전달되는 제품의 불량품 감소가 더욱 강하게 요구되고 있다. 결국 생산라인에서의 불량률 감소와 함께 판매제품에 대한 검사의 기능이 완벽하게 이루어져 소비자에게 불량품이 전달되지 않도록 미연에 방지하여야 한다.

이러한 관점에서 여러 검사의 방법 중 불량품을 최대한 많이 가려낼 수 있는 선별형 샘플링 검사방식이 더욱 많이 활용될 전망이다. 따라서 기존의 테이블을 이용한 선별형 검사방식의 설계방법은 고객의 품질에 대한 요구수준과 기업의 비용절감 측면에서 다시 한번 검토되어야 할 필요가 있다.

1.2 기존 설계방식의 한계

현재 우리나라에서 사용하고 있는 KS A 3105 '계수선별형 1회 샘플링검사' 방식은 다음과 같은 한계점을 가지고 있다.

① 소비자의 품질욕구에 대한 유연성이 없다.

기존의 검사방식은 KS A 3105의 경우 AOQL=0.5~5% 의 6단계, LTPD=1~10%의 10단계, 소비자위험 β=0.1로 고정되어 있다. 따라서 보다 엄격한 검사방식의 설계는 찾아낼 수 없다.

② 근사확률값의 사용으로 인한 부정확성

LTPD 보증의 경우 정확한 초기하분포를 사용하지 않아 $P_a(\text{LTPD}) < \beta$ 의 조건을 만족시키지 못하는 경우가 있으며, 임의의 (n, c)에 대한 로트사이즈의 범위가 부정확하다. 다음 표는 KS A 3105의 검사방식중 $P_a(\text{LTPD}) < \beta$ 의 조건을 만족시키지 못하는 몇가지 예를 보여주고 있다.

③ 검사비용에 대한 측면

기존의 검사방식은 고객의 다양한 욕구와 기능의 확대로 인한 복잡한 생산공정의 비용요소들을 고려하지 못하고 있으며, 특히 제품책임에 대한 인식이 증가하고 있는 추세에 불량품의 판매가 기업에게 심각한 피해를 가져다 줄 수 있는 경우에는 단순한 총 검사비용보다는 불량품에 의한 손실비용을 반영시킬 필요가 있다.

< 표 1.1 > KS A 3105 LTPD 보증방식 (β=0.1)

N	n	c	P_a(LTPD)	$\bar{p}$(%)
2000	125	8	p(0.1)=0.11	2.3~3.3
3000	100	6	p(0.1)=0.11	1.2~2.2
5000	150	6	p(0.1)=0.102	2.3~3.3
10000	395	14	p(0.05)=0.104	1.2~2.2
20000	420	15	p(0.05)=0.102	1.2~2.2

④ 2회 검사방식의 설계가 불가능하다.

2회샘플링 검사를 사용하는 경우 비용과 직접적으로 관계되는 평균시료갯수(ASN)는 보통 1회의 경우보다 적어진다[김성인, 1988]. 따라서 2회 샘플링 검사로 확장시키 비용 절감효과를 기대할 수 있다. 하지만 로트의 품질이 경계값 부근에 있을 때는 도리어 1회의 경우보다도 평균시료갯수가 많아지는 경우가 있으므로 1회, 2회 모두를 고려해야 한다.

결국 고객의 관점에서는 요구되는 품질한계를 어떠한 값이라도 수용할 수 있어야 하며 생산자의 관점에서는 소비자를 만족시킴과 동시에 보다 근본적으로 비용을 줄일 수 있는 검사방식설계 프로그램이 개발되어야 한다. 따라서 현재의 검사방식의 단점을 보완키 위해 단순한 평균총검사수 대신 실제 비용문제를 반영시킬 수 있는 선형비용함수를 도입하며, 정확한 확률값을 이용 AOQL, LTPD, β값에 제한 없이 선별형 1회, 2회 검사방식 설계를 위한 알고리즘을 개발하고 이를 컴퓨터 프로그램화하여 신속, 정확한 검사시스템을 구축할 필요가 있다.

2. 이론

2.1 샘플링검사의 기본함수

(1) OC 함수(Operating Characteristic Function)

OC 곡선은 샘플링검사에 의한 로트의 합격확률(P_a)을 로트 또는 공정불량률(p)의 함수로 나타낸 것이다. 어떤 임의의 검사방식이 (N, n, c)이라면 이 검사방식의 판별력 또는 품질보호의 정도는 불량률 p의 변화에 따른 합격확률(이항분포나 초기하분포의 확률)의 변화정도로 알아낼 수 있다. 계수 1회 샘플링검사의 로트에 대한 합격 · 불합격 판정절차는 (N, n, c)에 의하여 결정되며 A형 OC곡선의 경우 $P_a(p) = H(N, n, Np, c)$, B형 OC곡선의 경우 $P_a(p) = B(n, c, p)$로 결정된다[김성인, 1988; Guenther 1970].

$$P_a = \sum_{x=0}^{c} \frac{\binom{Np}{x}\binom{N-Np}{n-x}}{\binom{N}{n}}, \text{ 또는 } P_a = \sum_{x=0}^{c} \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \tag{2.1}$$

2.2 계수선별형 샘플링검사

선별형 샘플링검사는 불량판정을 받은 로트의 불량품을 처리하는 방법에 따라 다음의 두 가지로 나뉠 수 있다.

i) 불량품을 모두 양품으로 대체하는 경우

ii) 불량품을 모두 제거하는 경우

선별형 샘플링검사는 품질보증의 개념에 따라 AOQL 보증, LTPD 보증의 두 가지 개념에서 설계될 수 있으며 설계된 여러 검사방식중 비용과 직접적인 관계가 있는 평균총검사갯수 (ATI)를 최소로 하는 검사방식을 택하게 된다.

(1) 평균총검사갯수 : ATI (Average Total Inspection)

불합격된 로트에 대하여 전수선별을 규정하는 경우 등에서 로트당 검사하여야 되는 평균갯수를 말한다. 선별형 샘플링검사의 선택 기준이 된다[Hald, 1981].

$$\mathrm{ATI} = n + (1 - P_a(p))(N - n) \tag{2.2}$$

기존의 선별형 샘플링검사는 여러 (n, c)의 조합중 ATI를 최소로 하는 검사방식을 채택하였다.

(2) 평균출검품질 : AOQ (Average Outgoing Quality)

선별형검사를 제외한 모든 샘플링검사는 검사전 로트의 불량률이나 검사후 로트의 불량률의 차이가 거의 없다. 하지만 선별형 샘플링검사의 경우는 불합격된 로트에 대하여 불량품을 전부 양품으로 교체 또는 제거하게 되므로 검사후의 로트의 품질은 더욱 좋아지게 된다. 따라서 선별형 샘플링검사에서는 OC곡선 이외에 품질보증의 측면에서 평균출검품질을 생각할 수 있다. 불량률이 p인 다수 로트가 검사를 받을 때 합격된 로트의 품질과 불합격되어 전수선별된 로트의 품질평균을 평균출검품질(AOQ)라 한다[Jaraiedi and Nelson, 1987]. 불량품을 양품으로 교체하는 경우와 불량품을 제거하는 경우의 두 AOQ의 차는 매우 작은 값으로 무시할 수 있으므로[Wortham and Mogg, 1970] 본 연구에서는 불량품을 양품으로 교체하는 경우에 한하여 프로그램 하였다.

$$\text{평균출검품질 AOQ} = \frac{P_a(p) \cdot (N-n)p}{N} \tag{2.3}$$

AOQL 은 평균출검품질 한계로서 불량률 p에 따른 AOQ 값 중에 가장 큰 값이다. 즉 임의의 선별형 샘플링검사를 받은 로트는 검사전의 로트의 불량률이 아무리 크더라도 검사후의 로트는 최소한 AOQL 보다는 작거나 같은 불량률을 가지게 됨을 의미한다.

2.2.1 LTPD 보증과 AOQL 보증 방식

(1) AOQL 보증 방식

AOQL 보증방식은 다수로트의 평균품질을 보증하기 위한 것이다. 즉, 검사전 로트의 불량률이 어떠한 값이라도 검사후 평균불량률이 주어진 어떤 한계값, 즉 AOQL을 넘지 않도록 보장하는 샘플링검사방식을 찾는 것이나. 이렇게 결정된 샘플링검사를 적용하면 검사결과 불합격된 로트를 전수선별할 때 검사전 로트의 불량률이 아무리 나빠도 이 검사를 받고 나가는 로트들의 평균불량률은 주어진 AOQL 값을 넘지 않음이 보장된다.

(2) LTPD 보증 방식

로트 개개의 불량률에 관심이 있는 경우로서 나쁜 품질의 로트가 합격되는 것을 방지하는 소비자보호의 필요성이 있을 때 이를 보장하기 위한 것이다. 즉, 소비자가 만족하지 못하는 나쁜 품질 로트의 불량률을 로트허용불량률(LTPD : 이하 p_t로 한다)로 하고 p_t를 불량률로 하는 로트는 소비자 위험 β정도로만 합격시키고자 하는 것이다. 즉, 로트의 불량률이 p_t 일 때 로트의 합격확률이 β이하로 되는 검사방식 (n, c) 를 찾아내는 방식이다[Guenther, 1984]. 이는 점 $(p_t,\ \beta)$를 지나는 OC 곡선을 갖는 샘플링검사방식을 찾는 것과 같다.

2.2.2 2회 검사방식으로의 확장

2회 샘플링검사는 두 번의 시료채취 결과로써 로트의 합격 · 불합격 판정이 내려지는 방식이다.

1차시료 갯수	n_1	: 처음에 채취되는 시료의 크기
2차시료 갯수	n	: 다음에 채취되는 시료의 크기
1차 합격판정갯수	c_1	: 1차 시료에서의 합격판정 기준 불량품의 갯수
2회 검사속행 판정갯수	c_2	: 2회 검사여부 판정 기준 불량품의 갯수
2차 합격판정기준	c_3	: 1, 2차 시료 전체에서의 합격판정 불량품의 개수

라 할 때, 처음에 n_1개의 시료를 채취하여 검사한 후 불량품갯수 $X_1 \leq c_1$ 이면 로트를 합격시키고 $X_1 > c_2$이면 불합격시킨다. $c_1 < X_1 \leq c_2$ 검사속행을 실시하여 n_2개의

시료를 추가로 채취하여 1차시료와 2차시료에서의 불량품의 누적갯수 $X_1+X_2 \le c_3$ 이면 로트를 합격시키고 $X_1+X_2 > c_3$ 이면 불합격시키는 검사과정을 갖는다.

1) 합격 확률과 불합격 확률

$P_{a1}=P\,[X_1 \le c_1]$: 1차시료에서 합격할 확률

$P_{r1}=P\,[X_1 > c_2]\ =1-P\,[X_1 \le c_2]\ =1-\sum_{x_1=0}^{c_2} P\,[X_1=x_1]$

: 1차 시료에서 불합격 확률

$$P_{a2}=\sum_{x_1=c+1}^{c_2}\ \sum_{x_2=0}^{c_3-x_1} P\,[X_1=x_1]\ P\,[X_2=x_2 \mid X_1=x_1]$$

$$P\,[X_2=x_2 \mid X_1=x_1]\ =\binom{Np-x_1}{x_2}\binom{N-n_1-(Np-x_1)}{n_2-x_2}\Big/\binom{N-n_1}{n_2}$$

$$=\binom{n_2}{x_2}p^{x_2}(1-p)^{n_2-x_2}$$ [Guenther, 1970].

$P_{r2}=1-(P_{a1}+P_{a2}+P_{r1})$: 2차 시료에서 불합격 확률

$P_a=P_{a1}+P_{a2}$: 로트가 합격할 확률

$1-P_{a1}-P_{r1}$: 2회 검사를 할 확률

2) AOQ 함수

1차시료에서 합격하는 경우와 2차시료까지 가서 합격되는 경우 두 가지 경우가 존재하므로 불량품을 양품으로 대체하는 경우,

$$AOQ=\frac{p\,[P_{a1}(N-n)+P_{a2}(N-n_1-n_2)]}{N} \tag{2.4}$$

가 된다.

3) ATI 함수

$$\begin{aligned}\text{ATI}\ &=P_{a1}n_1+P_{r1}N+P_{a2}(n_1+n_2)+P_{r2}N\\ &=n_1+P_{r1}(N-n_1)+(1-P_{a1}-P_{r1})n_2+P_{r2}(N-n_1-n_2)\end{aligned} \tag{2.5}$$

이 된다[Chow et al.,1972; Salas and Olorunniwo, 1982].

2.3 Hald의 선형비용함수 모델

평균총검사갯수(ATI)는 선별형 샘플링검사에서 중요한 선택기준이 된다. 하지만 생산라인과 완제품 검사과정 등에는 많은 비용요소들이 존재한다. 먼저 생산라인에서 로트의 불합격에 대해서는 지연, 생산공정의 장애 등의 비용이 발생하게 되고, 불량품을 합격시킬 경우 그 불량품이 공정 내에서 계속 작업을 수행하게 되면 그 처리비용, 조립 및 분해비용, 다른 품목에 끼치는 손상비용, 재작업 및 재검사 비용 등을 초래하게 된다. 완제품에 대한 검사의 경우 합격된 제품의 불량품과 관련된 사후 처리비용, 샘플링에서 발견된 불량품에 대한 추가비용 등이 있다. 또한 공정비용이 저렴하고 샘플링 및 검사비용이 고가인 제품과 공정비용이 고가이나 샘플링 및 검사비용이 저렴한 경우는 같은 검사방식 하에서 그 실제 비용에는 많은 차이가 있을 것이다. 또한 오늘날 제품책임(product liability)의 중요성이 높아지는 현실에서 기업은 제품이 생산되어 판매되고 그 수명이 끝날 때까지 소비자에게 책임과 함께 많은 비용을 들여야 한다. 그러므로 샘플링비용과 검사비용만을 고려한 ATI 함수를 이용한 판정기준 보다는 현실적인 판정기준이 요구되어진다. Hald(1981)는 이러한 비용요소들을 고려한 선형비용모델을 제시하였다[Hald, 1981].

ATI는 로트가 합격되면 n값을 취하고 로트가 불합격되면 N값을 취하는 함수의 기대값이다.

1회 검사방식에서의 검사갯수에 대한 함수를 g_1라 하면

$$g_1 = g_1(x, k; N, n, c, p) = \begin{cases} n & \text{if } x \le c \\ N & \text{if } x > c \end{cases}$$

k : 로트내의 불량품의 수

x : 로트로부터 취한 샘플의 불량품 수

이 되며 이의 기대값은 $n + (N-n)(1 - P_a(p))$ 즉 ATI가 된다.

Hald가 제시한 선형비용함수는 비용에 관계되는 6개의 비용요소를 정하여 g의 식을 변형시킨 것이다. 이 변형된 식은 다음과 같다.

S_1 : 단위 제품당 샘플링과 시험비용

S_2 : 샘플링에서 발견한 불량품에 대한 추가비용(수리비용 등)

A_1 : 합격된 로트에서 검사되지 않은 N-n개의 제품과 관련된 단위 제품당 비용

A_2 : 합격된 제품의 불량품과 관련된 비용

R_1 : 불합격된 로트의 N-n개에 남아 있는 제품들의 단위당 검사비용

R_2 : 불합격된 로트에 남아 있는 N-n개의 제품중 불량품과 관련된 수리 또는 대체비용

이라 할 때,

$$g_1 = g_1(x, k; N, n, c, p) = \begin{cases} nS_1 + xS_2 + (N-n)A_1 + (k-x)A_2 & \text{if } x \le c \\ nS_1 + xS_2 + (N-n)R_1 + (k-x)R_2 & \text{if } x > c \end{cases}$$

G_1를 g_1값을 취하는 확률변수라 하면 g_1의 기대값이 선형비용함수가 된다.

$$\begin{aligned} G_1 = & P_a[nS_1 + xS_2 + (N-n)A_1 + (k-x)A_2] \\ & + (1-P_a)[nS_1 + xS_2 + (N-n)R_1 + (k-x)R_2] \end{aligned}$$

위 식을 정리해보면,

$$\begin{aligned} E[G_1] = & n(P_aR_1 - P_aA_1 + S_1 - R_1) + E[K](P_AA_2 - P_aR_2 + R_2) \\ & + E[X](S_2 - R_2 + P_aR_2 - P_aA_2) + N(P_aA_1 + R_1 - P_aR_1) \end{aligned}$$

에서 k와 x의 평균값은 초기하분포나 이항분포에서 모두 $E(K) = Np, E(X) = np$이므로, 위 식에서 $E[K]$와 $E[X]$를 각각 Np, np로 바꾸어 주고 n과 N에 대해서 정리해주면

$$\begin{aligned} E[g_1(x, k; N, n, c, p)] & = n(P_aR_1 - P_aA_1 + S_1 - R_1 + pS_2 - pR_2 + P_apR_2 - P_apA_2) \\ & \quad + N(P_aA_1 + R_1 - P_aR_1 + P_apA_2 - P_apR_2 + pR_2) \\ & = P_an(R_1 + pR_2 - A_1 - pA_2) + n(S_1 - R_1 + pS_2 - pR_2) \\ & \quad + P_aN(A_1 + pA_2 - R_1 - pR_2) + N(R_1 + pR_2) \end{aligned}$$

여기서,

$KS(p) = S_1 + S_2p, KA(p) = A_1 + A_2p, KR(p) = R_1 + R_2p$라 하면

$$\begin{aligned} E[g_1(x, k; N, n, c, p)] & = P_an(KR - KA) + n(KS - KR) + P_aN(KA - KR) + NKR \\ & = n\,KS + (N-n)[P_aKA + KR(1-P_a)] \\ & = n\,KS + (N-n)[KA + (KR - KA)(1-P_a)] \qquad (2.6) \end{aligned}$$

$R_1 = S_1 = 1$, 이고 다른 모든 비용상수가 "0" 이면 $E(G_1)$=ATI 가 된다.

2.4 2회 검사방식에서의 선형비용함수

Hald가 제시한 1회 선별형 샘플링검사방식을 위한 선형비용모델은 2회 샘플링검사에 있어서도 같은 방법으로 확장될 수 있다.

2회 샘플링검사방식에서 g_2 함수는 다음과 같이 정의된다.

$$g_2(x_1, x_2, k; N, n_1, n_2, c_1, c_2, c_3, p)$$
$$= \begin{cases} n_1S_1 + x_1S_2 + (N-n_1)A_1 + (k-x_1)A_2 & \text{if } x_1 \le c_1 \\ n_1S_1 + x_1S_2 + (N-n_1)R_1 + (k-x_1)R_2 & \text{if } x_1 > c_2 \\ (n_1+n_2)S_1 + x_2S_2 + (N-n_1-n_2)A_1 + (k-x_1-x_2)A_2 & \text{if } x_1+x_2 \le c_3 \\ (n_1+n_2)S_1 + x_2S_2 + (N-n_1-n_2)R_1 + (k-x_1-x_2)R_2 & \text{if } x_1+x_2 > c_3 \end{cases}$$

2회 선형비용함수의 평균값 $E(G_2)$는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} E(G_2) &= P_{a1}[n_1S_1 + E[X_1]S_2 + (N-n_1)A_1 + (E[K-X_1])A_2] \\ &+ P_{r1}[n_1S_1 + E[X_1]S_2 + (N-n_1)R_1 + (E[K-X_1])R_2] \\ &+ P_{a2}[(n_1+n_2)S_1 + E[X_2]S_2 + (N-n_1-n_2)A_1 + (E[K-X_1-X_2])A_2] \\ &+ P_{r2}[(n_1+n_2)S_1 + E[X_2]S_2 + (N-n_1-n_2)R_1 + (E[K-X_1-X_2])R_2] \end{aligned}$$

에서 $E[k], E[X_1], E[X_2]$를 평균수 Np, n_1p, n_2p로 치환하여 식 (2.6)에서와 같이 정리하면

$$\begin{aligned} E(G_2) = KS\cdot[n_1 + n_2(1-P_{a1}-P_{r1})] + KA\cdot[P_{a1}(N-n_1) + P_{a2}(N-n_1-n_2)] \\ + KR\cdot[P_{r1}(N-n_1) + P_{r2}(N-n_1-n_2)] \end{aligned} \tag{2.7}$$

$S_1 = R_1 = 1$ 이고 나머지 비용상수의 값은 "0"일때 $E(G_2)$= ATI 가 된다.

3. 알고리즘의 개발

3.1 LTPD 보증 검사방식 설계 프로그램

LTPD 보증을 위한 계수선별형 검사방식이란 이 검사를 받은 로트의 품질이 최악의 경우라도 기준값인 LTPD 보다는 좋은 품질임을 보증한다는 것이다. 따라서 알고

리즘의 목적은 주어진 LTPD를 로트의 불량률이라는 가정 하에 합격확률이 소비자 위험 β 보다는 작을 조건을 만족시키는 n, c의 조합을 찾아내는 것이다. 모든 확률의 분포는 개개의 로트마다의 품질보증을 위해 직접 초기하분포를 사용한다. n이 일정할 때 c의 증가는 ATI를 감소시킨다. 그러므로 $c=j$, $j=0 \cdot 1 \cdots$라 하고 n_j = 합격판정갯수가 j일 때 $P_a \le \beta$를 만족시키는 최소의 샘플링갯수라 할 때 합격판정개수가 j에서는 n_j에서 ATI가 최소가 된다. 따라서 $P_a \le \beta$를 만족하는 (n_j, c_j)중 비용을 최소로 하는 검사방식을 최적값으로 한다. 알고리즘은 다음과 같다.
<부록 1. 프로그램 리스트 -LTPD 1회 검사방식 참조>.

STEP 1 : 로트의 크기 N, LTPD = p_t, β, 공정평균불량률 ($\bar{p}$)결정

STEP 2 : n = 1, c = 0에서 시작.

STEP 3 : 주어진 각 분포에서의 합격확률 P_a를 계산.

STEP 4 : $P_a(p_t) > \beta$면 n을 1 증가시켜 STEP 3 으로 가고, 그렇지 않으면 STEP 5로 간다.

STEP 5 : $P_a(p_t) \le \beta$면 n = n으로 하고 STEP 6 으로 간다.

STEP 6 : 로트당 평균비용
$$E(G_1) = n\,KS + (N-n)[KA + (KR-KA)(1-P_a(\bar{p}))]$$를 계산한다.

STEP 7 : 현재의 n에서 $P_a(p_t) \le \beta$를 만족하는 c와 이 때의 평균비용들을 계산하여 최소 비용을 갖는 n, c를 결정하고 STEP 8 로 간다.

STEP 8 : STEP 7 의 로트당 평균비용이 감소 후 증가하면 알고리즘을 끝내고 그 시점의 n과 c 값을 최적 검사방식으로 결정하고, 그렇지 않으면 n을 1 증가시키고 STEP 3 으로 간다

위의 알고리즘을 선형비용함수에 이용하는 경우에는 약간 변경된다. 식 (2.6)의 선형비용함수의 KR, KA 값이 중요한 요인이 된다. KR-KA 값이 양수이면 ATI를 이용하는 경우와 마찬가지로 합격확률이 증가함에 따라 비용이 감소한다. 그러나 KR-KA 값이 음수이면 N, n이 일정할 때 합격확률이 증가함에 따라 비용은 증가하게 된다 [Guenther, 1985] 따라서 n이 일정할 때 c=0에서 비용은 최소가 된다. 따라서 c=0 으로 고정시키고 $P_a(p_t) \le \beta$의 조건을 만족하는 (n, 0)에서 비용을 최소로 하는 검사방식을 최적 검사방식으로 한다.

N=1000, n=100, p=0.05, S_1=0.25, S_2=5.0, A_1=0.05, A_2=7.0, R_1=0.1 R_2=5.0에서 합격판정갯수 c의 증가에 따른 합격확률과 비용의 변화는 <표 3.1>과 같다.
(KR-KA = -0.05)

< 표 3.1 > c의 증가에 따른 합격확률과 비용의 변화

	c	P_a	비용
N=1000 n=100	2	0.106	369.8
	3	0.243	375.9
	4	0.429	384.3
	5	0.617	392.8
	6	0.775	400.0

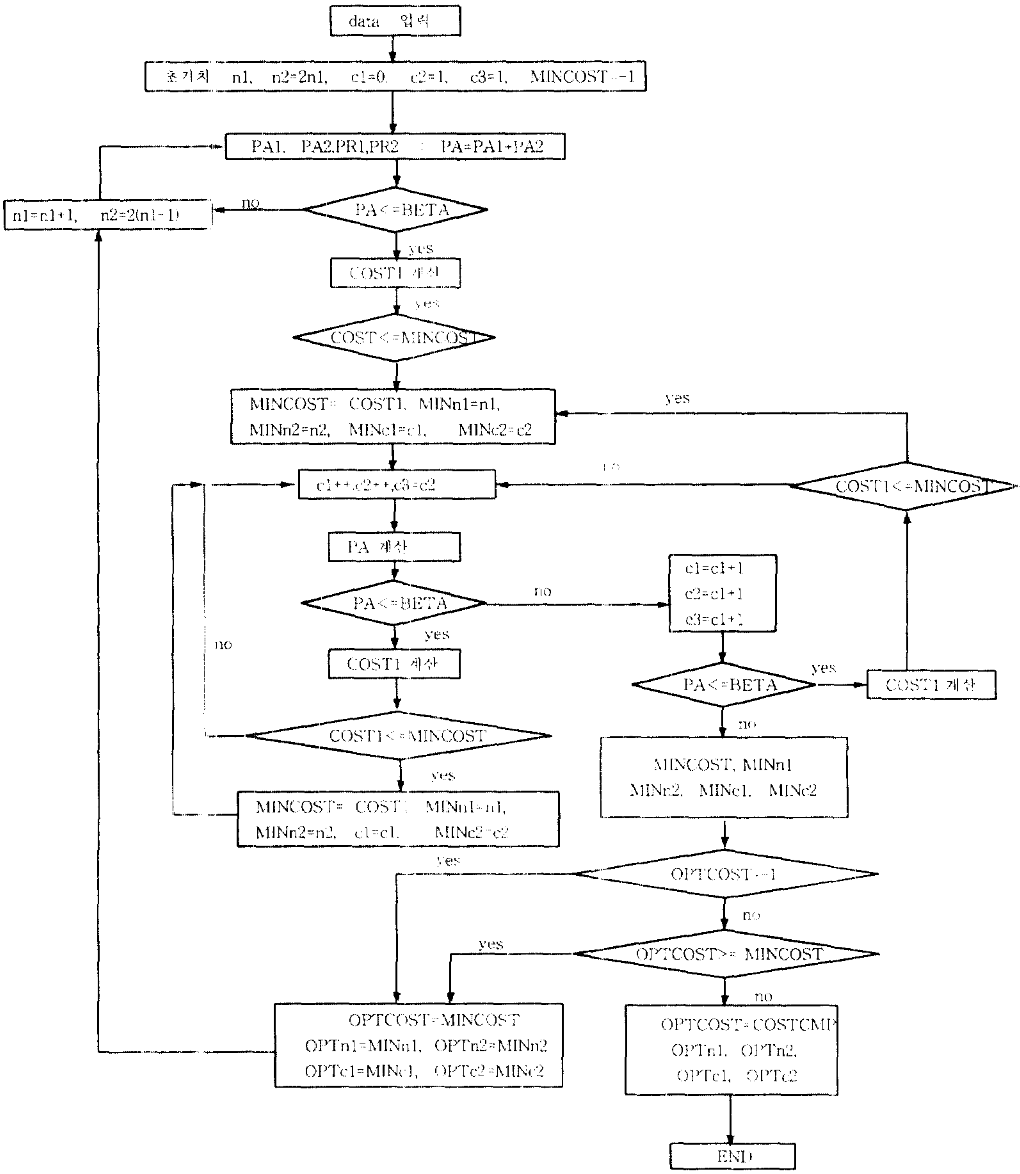
따라서 본 연구에서 제시된 알고리즘은 ATI대신 확장된 선형비용함수를 기준으로 최적 설계방식을 찾아내는 것이므로 비용상수의 값이 KR-KA ≥0 인 경우와 KR-KA<0 인 두가지 경우에 대해서 합격판정갯수 c값의 변화양상을 다르게 함으로써 달성될 수 있다.

LTPD 2회 검사방식은 1회의 경우보다 다소 복잡하나 <그림 3.1 참조>.

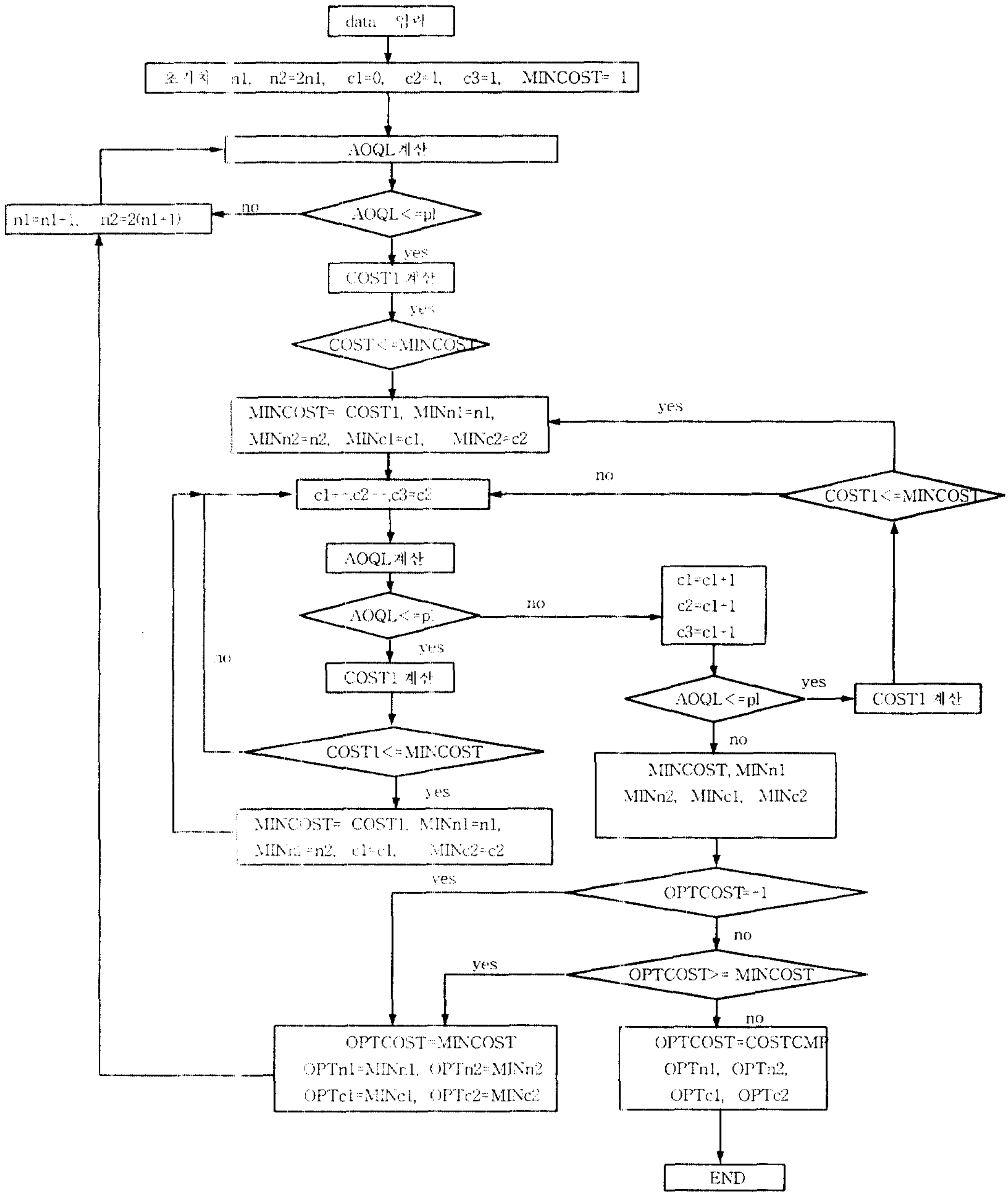
$P_a(p_t) \leq \beta$의 조건을 만족해야 하므로 n_1, n_2, c_1, c_2, c_3의 변화에 따른 합격확률의 변화 양상이 중요하다. 1회 검사방식과 마찬가지로 n_1, n_2의 증가는 합격확률이 감소하고 c_1, c_2, c_3의 증가는 합격확률이 증가한다. 이를 나누어 분석하면 동일한 n_1, n_2에서 c_1의 증가가 합격확률을 가장 많이 증가시키고 그 다음이 c_2, c_3의 증가, 그리고 c_3의 증가는 가장 적은 합격확률의 증가를 가져온다. 따라서 1회 검사방식과 동일하게 일정한 c_1, c_2, c_3에서 n_1, n_2를 증가시켜 $P_a \leq \beta$의 조건을 만족할 때까지 많은 조합에서 비용을 계산하도록 한다. 초기치 $n_1 = 1, n_2 = 2n_1$에서 시작하여 $c_1 = 0, c_2 = 1, c_3 = 1,\ c_1 = 1, c_2 = 2, c_2 = 2, \cdots$의 형태로 증가시키면서 최소값을 갖는 n_1, n_2, c_1, c_2, c_3의 조합을 찾아낸 후 여기서 c_3만을 증가시키는 형태로 알고리즘을 구현한다. 또한, 2회 검사방식에 있어서도 KR-KA<0 인 경우에는 $c_1 = 0$, $c_2 = 1$, $c_3 = 1$으로 고정시키고 샘플의 크기만을 변화시키는 알고리즘을 사용하여 비용을 최소로 하는 최적의 검사방식을 찾아낸다.

3.2 AOQL 보증 검사방식 설계 프로그램

n, c의 변화와 AOQL의 변화의 관계는 식 (2.3)으로부터 추정할 수 있다. 1회와 2회에서 모두 합격확률이 증가함에 따라 AOQ값이 증가하게 된다. 따라서 AOQL역시 증가한다. 결국 LTPD 보증방식의 알고리즘에서 단 하나의 조건이 변화되는 알고리즘을 갖는다. LTPD 보증방식 1회의 경우 초기하분포를 사용하나 여기서는 이항분포를 사용하고 ATI 대신 새로운 비용함수를 사용하여 최적검사방식을 설계하게 된다.



< 그림 3.1 > LTPD 2회 검사방식의 순서도 ($KR-KA \geq 0$)



< 그림 3.2 > AOQL 2회 검사방식의 순서도 ($KR-KA\geq 0$)

즉, $P_a \le \beta$의 조건 대신에 임의의 검사방식에서 AOQL이 보증하고자 하는 AOQL보다 작으면 주어진 AOQL을 보증하는 검사방식인 것이다.
<부록 1. 프로그램 리스트 -AOQL 1회 검사방식 참조>.

제시된 알고리즘은 Turbo C++를 컴파일러로서 프로그램 되었다. 알고리즘상에서 빈번히 사용되는 누적초기하분포값의 계산은 기존의 포트란이나 베이직 언어의 경우 수행속도나 메모리, 변수정의의 한계 등에 의해서 프로그램이 올바로 실행되지 않을 우려가 있다. 또한 컴파일후 자동으로 실행화일을 생성해 냄으로 현재 대중화되어 있는 IBM 호환기종에서 활용이 가능하므로 간편성과 효율성이 뛰어나다 할 수 있다. 또한 공정평균불량률, 소비자 위험, LTPD, AOQL 값을 사용자가 직접 입력하는 변수로 작성함으로써 생산라인의 불량률, 공정상태, 소비자의 만족도 등에 대한 제약이 없어 필요로하는 모든 상황에서의 검사방식 설계가 가능하다.

4. 프로그램 결과

본 절에서는 개발된 프로그램을 이용하여 설계한 검사방식과 KS A 3105의 검사방식을 실제 예제를 통하여 분석하고 선형비용함수를 고려한 다른 문헌의 예와 프로그램의 결과를 비교하여 본 알고리즘의 우수성을 평가해 보고, 2회 검사방식과 1회 검사방식의 비용비교를 통하여 2회 검사방식의 효율성을 제시하고자 한다.

4.1 LTPD 보증 검사방식 <부록 2. 예제결과 리스트 참조>.

예제 1) N=1500, LTPD=0.1, β=0.1, $\bar{p}$=0.025 이고 선형비용함수의 변수값은 $S_1=0.25$, $S_2=R_2=5.0$, $A_1=0.05$, $A_2=7.0$, $R_1=0.2$이라 할 때 각각의 검사방식을 구해보면 다음과 같다.

< 표 4.1 > LTPD 보증 검사방식 결과 ($\beta=0.1$)

	n	c	$P_a(0.1)$	$P_a(0.025)$	ATI	비용함수
KSA 3105	125	8	0.102	0.998	128.43	356
개발된 알고리즘 1회 (ATI 기준)	102	6	0.097	0.990	116.43	354
개발된 알고리즘 2회 (ATI 기준)	n_1=102 n_2=204	c_1=6 c_2=18 c_3=18	0.098	0.999	*104.12	353
개발된 알고리즘 1회 (비용함수 기준)	90	5	0.096	0.980	118.59	353
개발된 알고리즘 2회 (비용함수 기준)	n_1=90 n_2=180	c_1=5 c_2=16 c_3=16	0.098	0.999	118.33	*351

< 표 4.2 > LTPD 보증 검사방식 결과 ($\beta = 0.05$)

	n	c	$P_a(0.05)$	$P_a(0.025)$	ATI	비용함수
KSA 3105	해당사항 없음					
개발된 알고리즘 1회 (ATI 기준)	126	7	0.049	0.990	139.0	358
개발된 알고리즘 2회 (ATI 기준)	n_1=126 n_2=252	c_1=7 c_2=17 c_3=17	0.049	0.980	128.82	358
개발된 알고리즘 1회 (비용함수 기준)	114	6	0.048	0.982	140	357
개발된 알고리즘 2회 (비용함수 기준)	n_1=114 n_2=228	c_1=6 c_2=13 c_3=13	0.047	0.999	139	*355

예제 2) N=1000, LTPD=0.1, β=0.1, $\bar{p}$=0.04 이고 선형비용함수의 변수값은 $S_1 = 0.25$, $S_2 = R_2 = 5.0$, $A_1 = 0.05$, $A_2 = 7.0$, $R_1 = 0.2$이라 할 때, [Guenther, 1985]는 다음문제의 최적해로서 K(1000, 113, 7, 0.04)=348.78을 제시하고 있다. 개발된 알고리즘을 이용한 최적검사방식은 다음과 같다.

	n	c	비용함수
개발된 알고리즘 1회 (비용함수 기준)	113	7	348.78
개발된 알고리즘 2회 (비용함수 기준)	n_1=113 n_2=226	c_1=7 c_2=17 c_3=17	*346.7

4.2 AOQL 보증 검사방식 <부록 2. 예제결과 리스트 참조>.

예제 3) N=1500, AOQL=0.03, $\bar{p}$=0.015 이고 선형비용함수의 변수값은 $S_1 = 0.25$, $S_2 = 5.0$, $A_1 = 0.05$, $A_2 = 7.0$, $R_1 = 0.2$, $R_2 = 5.0$이라 할 때 각각의 검사방식을 구해보면 다음과 같다.

< 표 4.3 > AOQL 보증검사방식결과

	n	c	AOQL	$P_a(0.015)$	ATI	비용함수
KSA 3105	65	3	0.029	0.983	89.40	246.47
개발된 알고리즘 1회 (ATI 기준)	62	3	0.029	0.986	82.4	245.5
개발된 알고리즘 2회 (ATI 기준)	n_1=45 n_2=90	c_1=2 c_2=3 c_3=3	0.029	0.976	*79.8	244.4
개발된 알고리즘 1회 (비용함수 기준)	45	2	0.029	0.970	88.7	245.4
개발된 알고리즘 2회 (비용함수 기준)	n_1=45 n_2=90	c_1=2 c_2=3 c_3=3	0.029	0.976	88.7	*244.4

5. 결론

위의 결과에서 알 수 있듯이 개발된 알고리즘을 이용한 검사방식의 설계가 기존의 KS A 3105 검사표를 사용한 경우보다 ATI와 비용의 측면에서 더욱 낮은 값을 나타낸다. 또한 예제 1)의 KS A 3105에 의한 최적설계방식은 (125, 8)인데 이때의 로트허용불량률에서의 합격확률은 0.102로서 소비자 위험 0.1보다 큰 값을 가지므로 이 설계방식은 엄밀히 말해서 LTPD보증을 만족한다고 할 수 없다. 그러므로 1회와 2회의 값들을 비교한 후 여러 검사여건을 고려하여 최적의 검사방식을 설계할 수 있다. 이제 소비자위험 β값의 변화에 따른 검사방식 고려해 보자. 보다 엄격한 검사를 하고자 하는 경우 즉, $\beta=0.05$로 규정했을 때의 검사결과는 <표 4.2>와 같다. $\beta=0.05$의 경우 기존의 설계방법으로는 최적값을 구할 수가 없다. 프로그램을 이용한 결과 엄격한 검사를 함으로 해서 평균검사갯수와 비용이 $\beta=0.1$일 때 보다 증가함을 볼 수 있다. 따라서 개발된 알고리즘을 이용하여 임의의 소비자위험에 대하여 최적 검사방식을 계산해 낼 수 있다.

본 연구에서는 기존의 검사방식이 가지는 특성과 제약조건을 극복하고 정확한 값을 구할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 개발된 알고리즘을 이용하여 소비자가 요구하는 품질수준(β), 다양한 공정상황(공정평균 불량률 등), 불량품에 의한 손실비용 등을 입력값으로 하여 총비용을 종합적으로 고려한 최적의 검사방식 설계가 가능하게 되었으며, 2회 검사방식을 빠르고 간편하게 구할 수 있게 되었다. 이는 날로 다양화되고 엄격해지는 소비자의 품질에 대한 요구조건을 만족시킴과 동시에 극심해지는 경쟁환경속에서 현실적인 비용절감효과를 가져다 줄 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

[1] 김성인, 「샘플링 검사」, 박영사, 1988.

[2] 조재립, 「품질경영」, 청문각, 1995.

[3] Chow, B., Dickinson, P.E. and Hughes, H.(1972), "A Computer Program for the Solution of Double Sampling Plans," *Journal of Quality Technology*, Vol. 4, No. 4, pp. 205-209.

[4] Guenther, W.C.(1970), "Procedure for Finding Double Sampling Plans for Attributes," *Journal of Quality Technology*, Vol. 2, No. 4, pp. 219-225.

[5] Guenther, W.C.(1984), "Determination of Rectifying Inspection Plans Single by Attribute," *Journal of Quality Technology*, Vol. 16, No. 2, pp. 56-63.

[6] Guenther, W.C.(1985), "Rectifying Inspection for Nonconforming Items and the Hald Linear Cost Model," *Journal of Quality Technology*, Vol. 17, No. 2, pp. 81-85.

[7] Hald, A.(1981), 「Statistical Theory of Sampling by Attributes」, Academic Press, New York.

[8] Jaraiedi, M. and Nelson, P.R.(1987), "Computing the Average Outgoing Quality after Multiple Inspection," *Journal of Quality Technology*, Vol. 19, No. 1, pp. 52-54.

[9] Salas, J.R. and Olorunniwo, F.O.(1982), "An Algorithm for Determining Double Attribute Sampling Plans," *Journal of Quality Technology*, Vol. 14, No. 3, pp. 166-171.

[10] Wortham, A.W. and Mogg, J.W.(1970), "A Technical Note on Average Outgoing Quality," *Journal of Quality Technology*, Vol. 2, No. 1, pp. 30-31.