Journal of the KSQC
Vol.21, No.1, June 1993

1993년 6월 韓國品質管理學會誌 제21권 제1호

비용을 고려한 계수치 2단계 샘플링 방법의 경제적 설계

The Economic Design of Two-Stage Sampling Plan for Attributes

李 京 鍾*
李 相 鎔**

ABSTRACT

The principal objective of a sampling plan is to make efficient use of the budget allocated and to obtain as precise an estimate of a population parameter as possible. In order to estimate the proportion of defectives produced or to determine some measure of product quality, it is necessary to select random samples which represent a population parameter of the process.

In this case, the two stage sampling is more efficient and convenient than simple random sampling. Therefore this paper aims to propose the design procedures of two stage sampling plan to obtain a representative samples in considering the sampling precision under the restricted sampling inspection cost.

* 曉園專門大學 工業經營科 副敎授
** 建國大學敎 產業工學科 敎授

1. 序　論

일반적으로 제조공정에서 만들어지는 제품은 장기간에 걸쳐 만들어진 제품보다는 단기간에 만들어진 제품이 品質 및 기타 特性들의 均一性이 더 높다고 할수 있는데 이는 장기간에 걸쳐 만들어진 제품에는 로트(lot)간 변동이라든가 제조일에 따른 날자간 변동 등이 크게 작용하기 때문이다. 특히 장치산업에서 생산되는 뱃치(batch) 생산제품에서 더더욱 그러한 현상을 볼수가 있는데 이러한 현상을 뱃치효과(batch effect)라고 부른다[3].

우리가 생산제품의 품질을 파악하기 위해서는 공정이라든가 또는 로트라고 하는 모집단으로부터 그 모집단을 대표할 수 있는 시료를 뽑아야 한다[4]. 따라서 뽑힌 시료는 그 모집단을 대표할 수 있는 것이어야 하기 때문에 흔히 랜덤샘플링(random sampling)에 의해 시료를 뽑고 있는데, 이 경우 샘플링 檢査費用이라든가 샘플링 精度가 문제되고 있어 이 분야에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다.

그간 計量値를 대상으로 샘플링精度와 費用을 고려한 샘플링설계에 관한 연구는 많이 있었지만 計數値에 대한 연구는 별로 없었으며, 특히 우리나라에서는 거의 없는 실정이다. 따라서 本論文에서는 뱃치생산제품을 기준해 母不良率의 推定精度와 檢査費用을 고려한 最適 샘플링 設計方法을 제시하고자 한다.

2. 2段階 샘플링 設計

(1) 샘플링 精度

각 부분집단은 N개로 구성되고, 이러한 부분집단이 K개로 구성된 유한모집단에서 제품불량률 p를 추정하기 위해서는 보통 2단계 샘플링검사를 실시한다.

이 경우 첫째로 K개의 부분집단(이하 층이라 한다)으로 부터 k개의 1차시료가 랜덤하게 뽑혀지고, 다음으로 선택된 k개의 1차시료 각 개로부터 다시 랜덤하게 n개의 2차시료가 선택된다. 이결과 총시료(total sample)는 nk가 되므로 제품의 모불량률은 다음과 같이 추정된다.

즉, $\hat{p} = d/nk$ 단, d는 총시료 nk개중 발견된 불량품수이다. 일반적으로 모불량률 추정치 $\hat{p}$가 참값 p에 가까워지길 바라지만 그러나 거기에는 확률변동(random variation)에 기인하는 통계적오류(statistical error)가 있게 마련이므로 추정치 $\hat{p}$의 精度(precision)를 결정하는 것이 중요하다. 추정치 $\hat{p}$의 정도는 그의 표준편차에 의해 측정되는데 $\hat{p}$의 표준편차에 대한 추정식은 다음과 같다[2, 8].

$$\hat{\sigma}_{\hat{p}} = [\{1/k(k-1)\}(1-k/K) \sum^{K}(\hat{p}_i-\hat{p})^2 + \{k^2(n-1)\}^{-1} (k/K)(1-n/N)\sum^{K}\hat{p}_i(1-\hat{p}_i)]^{1/2} \quad \cdots\cdots (1)$$

여기서, $\hat{p}_i$: i번째 층에서 관측된 제품불량률

윗식은 2단계 샘플링시 각 단계에서 발생되는 변동(variability)으로서 $\hat{p}$의 精度推定値이다. 즉, 제1항은 층간변동에 기인하는 값이고, 제2항은 층내변동에 기인하는 不確實性을 나타내는 값이다. 따라서 p에 대한 95%, 99% 신뢰구간의 근사값은 각각 $\hat{p}\pm1.96\hat{\sigma}_{\hat{p}}$, $\hat{p}\pm2.58\hat{\sigma}_{\hat{p}}$이다. 이 구간은 이항분포의 정규분포근사식[7]

에 의해 얻어지는데, 이 때 np가 매우 작지 않는한 또는 층간변동이 크지 않는 한 보다 근사하게 된다[5].

또한 $(1-k/K)$와 $(1-n/N)$은 有限母集團修正係數[1]인데, 만일 각 층이 $k = K$개로 뽑힌다면 즉, K개의 모든 층을 대상으로 샘플링한다면 제1항은 소멸되어 층간변동은 존재않고 층내변동만 존재하게 된다. 이와 달리 만일 선택된 층에서 $n = N$ 즉, 샘플링된 층의 개체 모두를 검사한다면 제2항이 소멸되어 층내변동은 존재않고 층간변동만 존재하게 됨을 알 수 있다. 따라서 층간변동뿐 아니라 층내변동을 반영시킬 수 있도록 샘플링설계를 해야 하는데 우선 $\hat{p}$의 모표준편차 $\sigma_{\hat{p}}$를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\sigma_{\hat{p}} = [(1-k/K)(K-1)^{-1}\sum^{K}(p_i-p)^2/k + \{1-(n-1)/(N-1)\}(nk)^{-1}(K)^{-1}\sum^{K}p_i(1-p_i)]^{1/2} \quad \cdots\cdots (2)$$

윗식의 제1항은 층을 샘플링할 때 즉, 1차 샘플링(primary sampling)시 야기되는 변동이고 제2항은 층내에서 검사단위를 샘플링할 때 즉, 2차 샘플링(secondary sampling)에 기인하는 변동을 나타낸다. 따라서 만일 층내변동이 아주 작다고 가정하면, 제품변동의 대부분은 층간의 差에서 오는 변동이라고 할 수 있다.

이 경우 단일 또는 소수의 층에 바탕을 둔 시료는 너무나 均一해서, 모집단의 전체변동(total variation)을 반영시킬 수가 없게 되므로 층내시료의 크기 n을 아무리 크게 하더라도 모불량률 p의 추정치 $\hat{p}$는 매우 不正確한 값으로 얻어 지게 된다.

따라서 1차, 2차 샘플링시 시료의 할당은 만일, 층내변동이 없다면 즉, 층내의 제품이 모두 良이거나 또는 모두 不良이라면 각 층으로 부터 단지 1단위의 시료로 족하므로 이 때에는 가능한한 많은 층으로부터 시료를 뽑아야 하고, 반대로 각 층의 불량률이 같다면 아무리 많은 층이 선택된다고 하더라도 差가 없으므로 이 때에는 바로 한층에서 시료를 취하는 것으로 족하다.

(2) 샘플링 檢査費用

2단계 샘플링검사시 소요되는 비용은 다음과 같은 선형식으로 나타낼 수 있다[9].

$$TC = C_0 + C_1k + C_2nk \quad \cdots\cdots\cdots (3)$$

여기서, C_0 : 1차 및 2차샘플링에 관계없이 발생되는 비용 즉, 고정비

C_1 : 1차샘플링 1단위를 샘플링할 때 소요되는 비용

C_2 : 2차샘플링 1단위를 샘플링할 때 소요되는 비용 (검사비 포함)

윗식은 k개의 각 층으로부터 n단위의 시료를 샘플링할 때 소요되는 총비용을 뜻한다. 따라서 비용 TC가 고정되어 있다고 하면, 모불량률 p의 가장 정확한 가능추정치 즉, 精度를 最大로 할 수 있는 k와 n을 정해야 하는데 이는 $\hat{p}$의 標準偏差를 最小化하므로써 精度를 最大化시킬 수 있다.

(3) 最適샘플의 크기 決定

일반적으로 계량치의 경우 $V(\bar{\bar{y}})$의 불편추정량 $v(\bar{\bar{y}})$는 다음과 같다[2].

$$v(\bar{\bar{y}}) = \frac{1-f_1}{k} s_1^2 + \frac{f_1(1-f_2)}{kn} s_2^2 \quad \cdots\cdots (4)$$

여기서, $f_1 = k/K$: 1차 샘플링비율
$f_2 = n/N$: 2차 샘플링비율

$$s_1^2 = \frac{\sum^{k}(y_i - \bar{\bar{y}})^2}{k-1} \quad : \text{층간분산}$$

$$s_2^2 = \frac{\sum^{k}\sum^{n}(y_{ij} - \bar{y}_i)^2}{k(n-1)} \quad : \text{층내분산}$$

이제 윗식을 다음과 같이 정리하자.

$$v(\bar{\bar{y}}) = \frac{1}{k}\left(s_1^2 - \frac{s_2^2}{N}\right) + \frac{1}{nk} s_2^2 - \frac{1}{K} s_1^2 \quad \cdots\cdots (5)$$

윗식의 제3항 및 (3)식의 C_0는 n, k에 무관하므로 고정된 TC값에 대해 V를 최소화하기 위한 n과 k를 구하면 되는데 이는 다음 식으로부터 유도해 낼 수가 있다.

$$\left(V + \frac{1}{K} s_1^2\right)(TC - C_0) = \left\{\left(s_1^2 - \frac{s_2^2}{N}\right) + \frac{s_2^2}{n}\right\}(C_1 + C_2 n) \quad \cdots\cdots (6)$$

윗식을 최소화하기 위한 n값은 Cauchy-Schwarz 不等式[2, 6]을 이용하거나 또는 다음과 같이 간단히 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
&\left\{\left(s_1^2 - \frac{s_2^2}{N}\right) + \frac{s_2^2}{n}\right\}(C_1 + C_2 n) \\
&= \left(s_1^2 - \frac{s_2^2}{N}\right)(C_1 + C_2 n) + \frac{C_1 s_2^2}{n} + C_2 s_2^2 \\
&= \left(s_1^2 - \frac{s_2^2}{N}\right)C_1 + \left(s_1^2 - \frac{s_2^2}{N}\right)C_2 n + \frac{C_1 s_2^2}{n} + C_2 s_2^2
\end{aligned}$$

윗식을 Z라 놓고 최소치를 구하기 위해 Z를 n으로 미분하고 0으로 놓으면 다음과 같이 2차 시료의 최적크기 n_{opt}을 구할 수 있다.

$$\frac{dZ}{dn} = \left(s_1^2 - \frac{s_2^2}{N}\right)C_2 - \frac{C_1 s_2^2}{n^2} = 0$$

$$n^2 = \frac{C_1 s_2^2}{\left(s_1^2 - \frac{s_2^2}{N}\right)C_2}$$

$$n_{opt} = \frac{s_2}{\sqrt{s_1^2 - \frac{s_2^2}{N}}}\sqrt{\frac{C_1}{C_2}} \quad \cdots\cdots (7)$$

윗식에서 보듯이 n_{opt}은 고정비 C_0와는 관련이 없으므로 비용 고려시 C_1, C_2 만을 고려하면 되겠다. 따라서 2차시료의 크기 n의 최적치는 근사적으로 다음과 같이 된다.

$$n_{opt} = (C_1/C_2)^{1/2}[K^{-1}\sum^{K} p_i(1-p_i)]^{1/2}$$
$$[(1-1/N)(K-1)^{-1}\sum^{K}(p_i-p)^2$$
$$-(KN)^{-1}\sum^{K} p_i(1-p_i)]^{1/2}$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (8)$$

그리고 1차시료의 크기 k의 최적치는 (3) 식으로부터 $k = (TC-C_0)/(C_1 + C_2 n)$을 얻을 수 있는데 앞에서 지적했듯이 C_0는 n, k에 관계없이 발생하는 고정비 이므로 이를 제외시킨 변동비를 즉, $TC-C_0 = C$라고 하면 1차시료의 최적크기 k_{opt}은 다음과 같이 된다.

$$k_{opt} = C/(C_1 + C_2 n_{opt}) \cdots\cdots\cdots\cdots (9)$$

이제 $R = (K-1)^{-1}\sum^{K}(p_i-p)^2 / [\mathrm{K}^{-1}\sum^{K} p_i(1-p_i)]$로 정의하면

$$(K-1)^{-1}\sum^{K}(p_i-p)^2 = R[K^{-1}$$
$$\sum^{K} p_i(1-p_i)]$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (10)$$

여기서 R는 단지 층간변동과 층내변동의 比를 分散比로 나타낸 값이다.

이제 식(10)을 식(8)에 대입하면 n_{opt}은 다음과 같이 간단히 나타낼 수 있다. 즉,

$$n_{opt} = (C_1/C_2)^{1/2}[(1-1/N)R-1/$$
$$N]^{1/2} \cdots\cdots\cdots\cdots (11)$$

단, 이 경우 R값은 사전에 알고 있다고 가정한다.

위의 식(9)와 (11)에서보면 C_1이 C_2에 비해 상대적으로 커지거나 또는 층내변동이 층간변동에 비해 상대적으로 커지면 2차 시료의 크기 n가 커지는 동시에 1차시료의 크기 k는 작아짐을 알수 있다.

따라서 C_1/C_2가 0에 접근하면 1차샘플링코스트는 2차샘플링코스트에 비해 미미한 값이 되므로 최적샘플링 설계는 가능한한 1차시료의 크기 k를 최대화하고, 반대로 C_2/C_1가 0에 접근하면 2차샘플링코스트는 1차샘플링코스트에 비해 미미한 값이되므로 1차시료의 크기 k를 최소화시켜야 할 것이다.

한편 n_{opt}에서 R는 사전에 알고 있음을 가정하고 있으므로, 과거 실적데이터로부터 사전에 이 값에 대한 정확한 先行推定이 필요하다. 또한 최적샘플링설계는 샘플링 검사비용 뿐만 아니라 샘플링의 精度도 고려해야 하므로 이를 위해 식(2)의 $\sigma_{\hat{p}}$를 분산 즉, $\sigma^2_{\hat{p}}$으로 나타내면 다음과 같다.

$$\sigma^2_{\hat{p}} = (1-k/K)(K-1)^{-1}\sum^{K}(p_i-p)^2/k$$
$$+\{1-(n-1)/(N-1)\}(nk)^{-1}$$
$$K^{-1}\sum^{K} p_i(1-p_i) \cdots\cdots\cdots\cdots (12)$$

그리고 윗식을 R에 관한 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\sigma^2_{\hat{p}} = p(1-p)[(1-k/K)k^{-1}R/$$
$$\{1+(k-1)R/K\}$$
$$+\{1-(n-1)/(N-1)\}(nk)^{-1}/$$
$$\{1+(K-1)R/K\}] \cdots\cdots (13)$$

〈증명 1〉: 식(13)

$$\begin{aligned} p(1-p) &= p - p^2 \\ &= p - K^{-1}\sum^{K} p_i^2 + K^{-1}\sum^{K} p_i^2 - p^2 \\ &= K^{-1}\sum^{K} p_i(1-p_i) + K^{-1}\sum^{K}(p_i-p)^2 \quad \cdots\cdots ① \\ &= K^{-1}\sum^{K} p_i(1-p_i) + K^{-1}\{(K-1)RK^{-1}\sum^{K} p_i(1-p_i)\} \\ &= K^{-1}\sum^{K} p_i(1-p_i)[1+(K-1)R/K] \end{aligned}$$

그러므로

$$K^{-1}\sum^{K} p_i(1-p_i) = p(1-p)[1+(K-1)R/K]^{-1} \cdots ②$$

$$(K-1)^{-1}\sum^{K}(p_i-p)^2 = p(1-p)R[1+(K-1)R/K]^{-1} \quad \cdots\cdots ③$$

이제 식 ②, ③을 식(12)에 대입하면

$$\begin{aligned} \sigma^2_{\hat{p}} &= (1-k/K)p(1-p)R[1+(K-1)R/K]^{-1}/k \\ &\quad + \{1-(n-1)/(N-1)\}(nk)^{-1}p(1-p)[1+(K-1)R/K]^{-1} \\ &= p(1-p)[(1-k/K)k^{-1}R/\{1+(K-1)R/K\} \\ &\quad + \{1-(n-1)/(N-1)\}(nk)^{-1}/\{1+(K-1)R/K\}] \end{aligned}$$

〈증명 2〉: 식 ①

$$\text{제1항}: p-K^{-1}\sum^{K} p_i^2 = K^{-1}\sum^{K} p_i - K^{-1}\sum^{K} p_i^2 = K^{-1}\sum^{K} p_i(1-p_i)$$

$$\begin{aligned} \text{제2항}: K^{-1}\sum^{K} p_i^2 - p^2 &= K^{-1}(\sum^{K} p_i^2 - Kp^2) \\ &= K^{-1}\{\sum^{K} p_i^2 - (\sum^{K} p_i)^2/K\} \\ &= K^{-1}\{\sum^{K} p_i^2 - 2(\sum^{K} p_i)^2/K + (\sum^{K} p_i)^2/K\} \\ &= K^{-1}\{\sum^{K} p_i^2 - 2(\sum^{K} p_i/K)\sum^{K} p_i + K(\sum^{K} p_i/K)^2\} \\ &= K^{-1}\{\sum^{K} p_i^2 - 2p(\sum^{K} p_i + Kp^2\} \\ &= K^{-1}\sum^{K}(p_i-p)^2 \end{aligned}$$

그런데 식(13)에서 $p(1-p)$는 p의 推定値를 구하기 前까지는 알수 없는 값이므로 이것을 좌변으로 이항시킨 다음 식으로 샘플링의 정도를 평가해 샘플링설계시 사용하면 되겠다.

$$\sigma^2_{\hat{p}}/p(1-p) = [(1-k/K)k^{-1}R/\{1+(K-1)R/K\} + \{1-(n-1)/(N-1)\}(nk)^{-1}/\{1+(K-1)R/K\}] \quad \cdots\cdots (14)$$

(4) **最適샘플링 設計**

샘플링검사 비용을 나타내는 식(3)에서 C_0는 n, k에 무관한 고정비이므로 이를 제외시킨 변동비만으로 나타내면 다음과 같다. 즉,

$$C = TC - C_0 = C_1 k + C_2 nk \quad \cdots (15)$$

따라서 식(9) 및 (11)에 의해 각각 k_{opt}, n_{opt}을 구하고 윗식 (15)에 의해 구한 C가 주어진 비용을 만족시키며 동시에 식(14)에 의해 구한 $\sigma^2_{\hat{p}}/p(1-p)$의 최소치를 갖는 n, k를 구하면 이것이 制限된 費用下에서 샘플링精度를 最大化시키는 最適샘플링 設計가 된다.

3. 數値例

$K = 100$, $N = 1{,}000$, $TC = 12{,}000$원,
$C_0 = 2{,}000$원, $C_1 = 100$원 $C_2 = 20$원
$R = 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.7, 1.0, 1.2, 1.5, 3.0$
일 경우의 k_{opt} 및 n_{opt}, C, $\sigma^2_{\hat{p}}/p(1-p)$를 구하면 〈표 1〉과 같다.

〈표 1〉

R	k_{opt}	n_{opt}	C	$\sigma^2_{\hat{p}}/p(1-p)$
0.1	42	7	10,080*	0.0043
0.2	50	5	10,000	0.0050
0.3	55	4	9,900	0.0054
0.5	62	3	9,920	0.0056
0.7	62	3	9,920	0.0057
1.0	71	2	9,940	0.0056
1.2	71	2	9,940	0.0055
1.5	71	2	9,940	0.0053
3.0	83	1	9,960	0.0046

* 상기 숫자의 수치맺음은 KS A 0021에 의해 처리했음

〈표 1〉에서 보듯이 R이 커질수록 n_{opt}은 작아지고(0에 수렴) 반면에 k_{opt}은 커지는데 이는 C_1/C_2의 비가 작아질수록 더욱 강하게 나타난다.

그런데 R=0.1일 때 샘플링의 정도는 가장 좋으나, C=10,080원으로 주어진 변동비 10,000원을 초과하므로 n과 k를 n_{opt}, k_{opt} 부근의 값에서 다시 정해야 된다 이때 k와 n는 최적치 k_{opt}, n_{opt} 으로부터 멀어질수록 精度가 낮아지므로 최적치 부근에서 n을 할당하고 식(9)에 의해 k를 구한후, 주어진 비용(C)를 만족시키면서 精度가 최대가 되는 k와 n을 선택한다. 따라서 k와 n의 여러가지 값에 대한 C와 $\sigma^2_{\hat{p}}/p(1-p)$를 다시 계산하면 〈표 2〉와 같다.

여기서 보면 k=38, n=8로 하면 C=9,880원으로 최소가 되는 最適샘플링 設計가 된다. 그러나 샘플링 精度는 k=42, n=7일때 보다 조금 떨어짐을 알 수 있다.

〈표 2〉

k	n	nk	C	$\sigma^2_{\hat{p}}/p(1-p)$	$\sigma_{\hat{p}}=0.1$	$U(0.05)\sigma_{\hat{p}}$
83	1	83	9,960	0.0112	0.0317	0.0621
72	2	144	10,080	0.0067	0.0246	0.0482
62	3	186	9,920	0.0054	0.0220	0.0431
56	4	224	10,080	0.0048	0.0208	0.0408
50	5	250	10,000	0.0045	0.0201	0.0394
45	6	270	9,900	0.0045	0.0201	0.0394
42	7	294	10,080	0.0043	0.0197	0.0386
38	8	304	9,880	0.0045	0.0201	0.0394
36	9	324	10,080	0.0044	0.0199	0.0390
33	10	330	9,900	0.0046	0.0203	0.0398
29	12	348	9,860	0.0048	0.0208	0.0408
25	15	375	10,000	0.0051	0.0214	0.0419
20	20	400	10,000	0.0059	0.0230	0.0451
15	28	420	9,900	0.0073	0.0256	0.0502
12	37	444	10,080	0.0086	0.0278	0.0545
10	45	450	10,000	0.0101	0.0301	0.0590
8	58	464	10,080	0.0123	0.0333	0.0653
7	66	462	9,940	0.0139	0.0354	0.0694
6	78	468	9,960	0.0160	0.0379	0.0743
5	95	475	10,000	0.0190	0.0414	0.0811
4	120	480	10,000	0.0235	0.0460	0.0902
3	162	486	10,020	0.0310	0.0528	0.1035
2	245	490	10,000	0.0460	0.0643	0.1260
1	495	495	10,000	0.0910	0.0905	0.1774

또한 k, n의 값이 k_{opt}, n_{opt}치로부터 멀어짐에 따라 샘플링정도가 서서히 감소하는 것을, 그리고 $k=1$일 때는 $k=2$일 때 보다 샘플링 精度가 半減하는 것을 볼 수가 있다.

한편 p는 N개로 구성된 K개의 층에 대한 母不良率로서 $\hat{p}=d/nk$로 추정할 수 있는 값이기 때문에, 不良率이 10%로 推定될 경우의 $\sigma_{\hat{p}}$와 95% 信賴區間을 계산하기 위한 $U(\alpha)\sigma_{\hat{p}}$값을 계산해 놓았다.

따라서 $k=38$, $n=8$로 2단계 샘플링검사를 실시할 때 $\sigma^2_{\hat{p}}=0.000404$이고, 母不良率의 95% 信賴區間은 $0.10 \pm 0.0394 = 0.0606 \sim 0.1394$로 추정된다.

4. 結 論

샘플링 檢査를 效率的으로 실시하기 위해서는 샘플링 誤差를 최대한 줄이고 동시에 費用을 최소화 시켜야 할 것이다.

따라서 本論文에서는 제품의 불량률을 대상으로 2단계 샘플링검사를 경제적으로 수행하기 위한 샘플링 設計를 위해 여러 측면을 고려하

여 硏究했는데 그 結果를 要約하면 다음과 같다.

(1) 검사비용중 고정비는 제외시키고 시료의 크기에 영향을 받는 변동비만을 고려해 최적 1차시료의 크기 k_{opt}을 식(9)에 의해 구한다.

(2) 2단계샘플링시 층간변동과 층내변동의 비는 分散比로 나타낸 R값으로 정의되는데 이를 위해 통계량으로 또는 과거 데이터로부터 推定이 쉽게 된다면 이를 先行推定値로 사용해 검사비용을 고려한 최적 2차시료의 크기 n_{opt}을 식(11)에 의해 구한다.

(3) 샘플링精度를 確保하기 위해서는 精度를 測定해야 하는데 이 경우 직접 $\sigma^2_{\hat{p}}$을 구할 것이 아니라, 식(14)에 의해 손쉽게 $\sigma^2_{\hat{p}}/p(1-p)$를 계산하여 평가한다.

(4) 실제 문제에서 1차시료의 크기 k와 2차시료의 크기 n값은 k_{opt}, n_{opt}으로 결정되지만, 주어진 조건에 꼭 일치하지 않는 경우에는 制限된 費用이 우선인지 또는 精度가 우선인지를 고려해 k_{opt}, n_{opt}의 부근에서 다시 구하여 결정한다.

본 연구는 생산현장에서 뱃치생산(batch manufacturing) 제품에 적용하면 좋다. 그리고 실무상의 편의성을 위해서는 보다 여러가지의 C_1/C_2 및 R, k, n에 대한 최적샘플링설계표가 만들어져야 한다고 본다.

參 考 文 獻

1. Bhattacharyya, Gouri K. and Johnson, Richard A. (1977), Statistical Concepts and Methods, John Wiley & Sons, Inc.
2. Cochran, William G. (1977), Sampling Techniques, John Wiley & Sons, Inc.
3. Feder, Paul I. (1975), "*Sampling from Batches*" Journal of Quality Technology, Vol. 7, No. 2, April, pp.53-58.
4. Hahn, G. J. (1972), "*The Absolute Sample Size is what Counts!*" Quality Progress, Vol. 5, No.5, May, pp. 15-22.
5. Hahn, G. J. and Shapiro, S. S. (1967), Statistical Models in Engineering, John Wiley & Sons, Inc.
6. Kish, L. (1964), Survey Sampling, John Wiley & Sons, Inc.
7. Stephens, L. J. (1978), "*A Closed Form Solution for Single Acceptance Sampling Plans*" Journal of Quality Technology, Vol. 10, No. 4, pp. 159-163.
8. Yamane Taro, (1967), Elementary Sampling Theory, Prentice-Hall, Inc.
9. 近藤良夫 (1977), 技術者のための統計的方法, 共立出版社.