Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers
Vol. 41, No. 1, pp. 115-120, February 2015.
ISSN 1225-0988 | EISSN 2234-6457
http://dx.doi.org/10.7232/JKIIE.2015.41.1.115

<Research Letter>

유한모집단의 신제품 품질평가를 위한 소표본 샘플링검사 방법에 대한 소고

변재현[1†] · 신병철[1] · 이창우[2]

[1]경상대학교 산업시스템공학부, 공학연구원 / [2]국방기술품질원 품질경영본부 대구센터

A Study on Small-Sample Inspection Plan for New Product Quality Evaluation of Finite Population

Jai-Hyun Byun[1] · Byung-Cheol Shin[1] · Chang-Woo Lee[2]

[1]Department of Industrial and Systems Engineering and Engineering Research Institute, Gyeongsang National University

[2]Daegu Center, Quality Management Bureau, Defense Agency for Technology and Quality

Evaluating product quality level is necessary before the manufactured items are delivered to the customer. When the amount of the items to be manufactured is limited and the product is of high price and should be evaluated by destructive testing, the number of samples to be tested should be as small as possible. This paper presents a small-sample inspection method using hyper-geometric distribution and Bayesian approach for finite small-sized population. A method of determining the minimum sample size is presented for given population size, allowable number of defectives, warranteed defective level, and confidence level which is the degree of confidence on the product quality level recognized by both the producer and the customer.

Keywords: Product development, Quality level, Finite population, Small-sample inspection, Bayesian approach, Hyper-geometric distribution, Confidence level

1. 유한 모집단의 소표본 샘플링검사계획의 필요성

고가의 신제품을 개발하고 그 품질을 보증해야 하는 활동을 수행함에 있어서, 제품기획, 설계, 제조과정에서 제품의 성능을 보장할 수 있도록 효과적이고 효율적인 시스템과 프로세스를 구축하는 것은 중요한 일이다. 하지만 제품을 구매하는 고객의 입장에서는 최종적으로 실제 제품의 성능이 어느 정도 보장되는지를 확인하고자 한다. 결국 제품이 제 기능을 달성하는지의 여부는 최종제품을 대상으로 검사 또는 시험을 통하여 성능특성 또는 품질특성이 필요한 수준을 달성하는지를 확인하는 것이 필요하다.

검사를 통하여 생산된 또는 생산예정인 제품의 성능이 원하는 만큼 보장되는지를 평가하는 데에는 전수검사와 샘플링검사 모두 쓸 수가 있는데, 파괴검사의 경우에는 샘플링검사를 사용할 수밖에 없다. 샘플링검사는 제품의 특성치를 측정하여 품질을 평가하는 계량형과 양품 또는 불량품으로 구분할 때에 쓰이는 계수형으로 구분할 수 있는데, 샘플링의 목적과 상황에 따라 다양한 샘플링 방법이 있다(Bai *et al*., 1999; Montgomery, 2012). 예를 들어, 계수규준형 1회 샘플링검사에서 생산자 위험 5%, 소비자 위험 10%, 합격품질수준 2%, 불합격품질수준 7%를 보장하기 위해서는 샘플크기 $n = 150$, 합격판정개수 $c = 5$인 샘플링검사 방법을 써야 한다. 즉, 로트에서 150개의 샘플을

이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2013062959).
† 연락저자 : 변재현 교수, 660-701 경남 진주시 진주대로 501 경상대학교 산업시스템공학부, Tel : 055-772-1692, Fax : 055-772-1699, E-mail : jbyun@gnu.ac.kr
2014년 11월 6일 접수; 2014년 12월 8일 수정본 접수; 2014년 12월 15일 게재 확정.

추출하여 불량개수가 5개 이하이면 합격, 6개 이상이면 불합격의 판정을 내리게 된다.

하지만 개발 후 생산 예정인 제품의 수가 한정되어 있는 고가의 파괴검사를 해야 하는 경우에는 가능한 시험에 사용되는 제품 또는 부품의 수를 줄여서 검사를 실시해야 하고, 그 결과에 근거하여 제품의 품질수준을 판단하기 위해서는 제품 구매자와 생산자 양측이 모두 동의할 수 있는 객관적인 정보를 제공할 수 있어야 한다. 이때에 가능한 적은 수의 검사를 하는 것이 필요한데, 예를 들어, 검사 결과가 모두 양품으로, 또는 1개를 제외하고 모두 양품으로 판정이 났을 때에 모집단의 보장불량률이 확보될 확률인 신뢰수준을 알 수 있어야 한다. 물론 엄격한 의미에서 샘플링검사는 제품 생산 완료 후 랜덤추출을 통해 검사하는 것이다. 하지만, 고가의 신제품의 품질을 파괴검사로 평가함에 있어서, 만일 모든 제품 생산을 완료하고 나서 평가를 했는데 불량수준이 높게 나오면 생산자 또는 수요자가 엄청난 손실을 입게 될 것이다. 그러므로 양산 이전에 개발 초도품을 검사하여 만족스러운 결과가 나오면 개발환경과 동일한 조건에서 생산을 하도록 하고, 만일 그렇지 못하면 제품 또는 공정설계를 개선하여 개발품을 생산한 후에 다시 검사를 하는 것이 바람직할 것이다(<Figure 1> 참조).

본 논문에서는 생산수량이 한정된 고가의 신제품의 품질을 평가함에 있어서, 필요한 표본(샘플) 만큼의 제품을 초도 생산하여 파괴검사로써 합격여부를 파악하기 위한 샘플링검사 방법을 개발하고자 한다. 검사결과가 양·불량으로 나타나는 한정된 모집단의 분포를 가장 정확하게 표현하는 초기하분포와 검사결과를 바탕으로 사후 확률을 계산할 수 있는 베이지안 규칙을 이용하여, 제품의 보장불량률, 신뢰수준, 허용불량개수가 주어졌을 때 최소의 샘플크기를 구할 수 있는 검사방법을 제시한다. 본 연구결과를 이용하면, 개발과 양산 환경이 동일한 경우에 생산자와 구매자가 제품의 품질수준을 정확하게 평가할 수 있을 것이다. 그런데 초기하분포를 이용하는 검사계획은 모집단의 크기에 따라 달라질 수 있다. 생산수량이 연차별로 정해지는 경우에 만일 1년차 이후의 생산예정 수량이 정해져 있지 않거나 1년차 이후 생산수량은 정해져 있지만 생산 환경이 달라질 수 있을 때에는, 우선 첫해 수량에 대하여 <Figure 1>과 같은 방법으로 검사를 하고, 그 이후에는 해당 연도의 생산예정 수량을 모집단 크기로 삼아 <Figure 1>의 흐름도를 따라야 한다. 반면에 생산수량이 연도별로 정해져 있고, 생산 환경을 매년 동일하게 유지할 수 있다면 모든 생산예정 수량의 합을 모집단의 크기로 삼고 <Figure 1>의 검사방법을 따르면 되겠다.

제 2장에서는 초기하분포와 베이지안 규칙을 이용한 소표본 샘플링검사 방법을 제안하고, 제품의 불량률이 0.2 이하일 신뢰수준을 60% 이상으로 보장하는 최소 샘플 수를 구하는 방법은 허용불량개수가 0과 1인 경우 각각에 대하여 제 3장에 제시한다. 본 연구의 결론과 향후 필요한 연구주제에 대해서는 제 4장에 기술하였다.

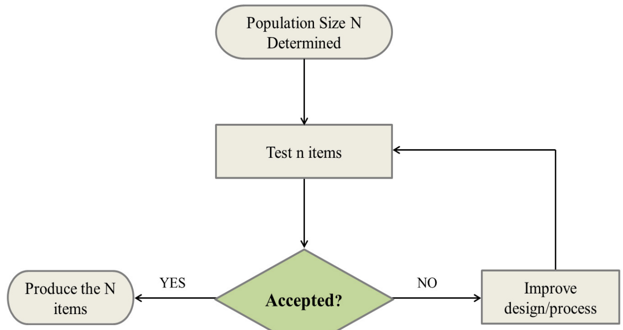


Figure 1. Flow chart of the product inspection plan

2. 소표본 샘플링 방법의 개발

본 논문에서는 개발 후 생산 예정인 제품의 수가 작고 비복원추출에 적합한 초기하분포(hyper-geometric distribution)를 이용하였고, 표본 검사 결과를 가지고 모집단의 불량률을 예측하기 위한 방법으로 베이지안 규칙(Bayesian rule)을 활용하였다.

크기 N인 유한모집단에서 불량품이 D개, 양품이 (N-D)개 있을 때, 이러한 모집단에서 크기 n인 표본을 랜덤하게 추출할 경우, 추출된 표본에 포함된 불량개수를 나타내는 확률변수를 X라고 할 때, 불량개수가 x개일 확률은 다음의 식 (1)과 같이 초기하분포를 이용하여 구할 수 있다.

$$P\{X=x\} = \frac{\binom{D}{x}\binom{N-D}{n-x}}{\binom{N}{n}}, \tag{1}$$
$$\max(0, n-N+D) \le x \le \min(n, D)$$

한편, 베이스 정리(Bayes' theorem)에 의하면, 데이터를 얻은 후 관심사인 사상(event) E의 조건부 확률은 다음과 같이 구할 수 있다(Sivia and Skilling, 2006) :

$$P(E|\{data\}) = \frac{P(E)P(\{data\}|E)}{P(\{data\})} \tag{2}$$

식 (2)에서 P(E)는 사전확률(prior probability)로서, 이 확률에 대한 정보는 사전에 있을 수도 있고 없을 수도 있다. 데이터를 얻은 후 구할 수 있는 조건부 확률인 P(E|{data})는 사후확률(posterior probability)이다. 베이지안 규칙을 이용하면, 데이터를 얻기 전 관심 있는 사상이 발생할 가능성(확률)은 데이터를 얻은 다음에는 관측 후의 발생확률인 사후확률로 수정하여 필요한 의사결정에 활용할 수 있다.

본 논문에서는 초기하분포와 베이지안 규칙을 접목하여 샘플 검사의 결과를 가지고 모집단의 불량률이 일정수준 이하임을 보장할 수 있는 신뢰수준 산출방법을 개발하였다. 신제품의 경우에는 기본적으로 개발 후 양산을 할 때에 불량률이 얼마가 될지 알 수 없으므로, 사전확률에 대한 정보가 없다는 가

정(non-informative prior assumption) 하에 산출식을 만들었다. 제품의 불량률을 구하기 위하여 근본적으로 우리가 추정해야 할 모수는 모집단에 속한 불량품의 개수 D인데, D의 사전확률은 식 (3)과 같이 이산균일분포(discrete uniform distribution)로 주어진다.

$$P(D) = \frac{1}{N},\ 0 \le D \le N \tag{3}$$

p를 모집단의 불량률, w를 보장불량률이라고 하면, 검사 결과 샘플의 불량개수가 x개 일 때, 모집단의 불량률이 보장불량률 w 이하일 확률인 신뢰수준(confidence level) cl은 다음과 같이 구할 수 있다 :

$$cl = P\{p \le w|X = x\} = \frac{P\{(p \le w) \cap (X = x)\}}{P\{X = x\}} \tag{4}$$

식 (1)과 식 (2)에 근거하여 생산(예정) 수량이 N개인 제품을 개발함에 있어서 n개의 개발품을 대상으로 성능시험을 한 결과 불량품이 x개 나왔다면, 신제품의 불량률을 w 이하로 보장할 수 있는 확률, 즉 신뢰수준은 식 (4)와 같이 구할 수 있다는 것이다. 신뢰수준 cl을 산출하는 식 (4)는 초기하분포를 이용하여 표현하면 식 (5)와 같이 표현할 수 있는데, 여기서 c는 샘플 내 허용불량개수를 의미한다.

$$cl = \frac{\displaystyle\sum_{x=0}^{c}\sum_{D=0}^{Nw}\frac{\binom{D}{x}\binom{N-D}{n-x}}{\binom{N}{n}}}{\displaystyle\sum_{x=0}^{c}\sum_{D=0}^{N}\frac{\binom{D}{x}\binom{N-D}{n-x}}{\binom{N}{n}}} \tag{5}$$

결과적으로 생산 예정 제품의 개수(N)가 정해져 있고 보장불량률(w)과 신뢰수준(cl)이 주어질 때, 샘플 내 허용불량개수(c)에 따라 식 (5)를 이용하면 검사를 위한 최소 샘플수량 n을 구할 수 있고, 이로부터 샘플링검사방식인 (n, c)를 정할 수 있다. 본 논문에서 제시하는 소표본 샘플링 방법은 기본적으로 개발품 검사 후 합격판정을 내리게 되는 경우에, 생산(예정) 제품은 개발품과 동일한 환경에서 양산된다는 가정 하에 적용할 수 있다. 제3장에서는 가능한 검사비용을 줄이기 위해 샘플 내 허용불량개수가 0 또는 1일 때의 검사계획을 구하는 방법을 예시한다.

3. 소표본 검사 방법의 예시

국내 A기업은 고객사인 B기업으로부터 신제품을 수주한 후, 2년간의 연구개발 활동을 통하여 초도품 생산을 완료하였다. 고객기업은 시제품의 성능시험을 통하여 내년도에 인도될 예정인 50개 제품의 품질수준을 평가하고자 한다. 제품의 품질수준은 파괴검사를 통하여 평가할 수 있는데, 이를 위하여 A기업과 B기업은 서로 합의한 시험평가조건에서 가능한 최소한의 검사횟수로 개발된 제품의 품질을 평가하고자 한다. 양쪽 기업의 담당자들은 '제품의 불량률이 0.2 이하일 신뢰수준이 60% 이상'이면 예정대로 생산을 진행하기로 하였다. 샘플을 검사하여 모두 양품으로 판정되거나 1개의 불량품을 허용하는 각각의 경우에 대한 최소 샘플개수를 알아보도록 하자.

3.1 보장불량률과 신뢰수준을 만족하는 최소 샘플개수 결정 : c = 0인 경우

모집단 크기 N = 50, 보장불량률 w = 0.2, 신뢰수준 cl = 60%이고, 샘플 검사 결과가 모두 양품일 때 합격판정을 내리기로 했다면 샘플 내 허용불량개수 c = 0이 되며, 샘플개수는 식 (5)의 신뢰수준 산출식에서 n의 값을 증가시켜가면서 신뢰수준 60% 이상을 만족하는 n의 최소값으로 정하면 될 것이다. n = 1, 2인 경우 신뢰수준은 38.8%, 52.6%이고, n = 3이면 경우 신뢰수준은 63.4%가 되어, 주어진 보장불량률과 신뢰수준을 만족하는 최소 샘플개수는 3개가 된다.

그러면 샘플크기 n = 3인 경우에 신뢰수준을 계산하는 과정을 살펴보자. X를 샘플 내 불량개수라고 하면, 식 (1)의 초기하분포에 근거하여 모집단의 불량개수 D의 값에 따라 '3개 모두 양품일 확률'인 P(X = 0)를 계산하면 다음과 같다:

$D = 0 \rightarrow P(X = 0) = {}_{50}C_3/{}_{50}C_3 = 1$
$D = 1 \rightarrow P(X = 0) = {}_{49}C_3/{}_{50}C_3 = (49)(48)(47)/(50)(49)(48) = 0.94$
$D = 2 \rightarrow P(X = 0) = {}_{48}C_3/{}_{50}C_3 = (48)(47)(46)/(50)(49)(48) = 0.88$
$D = 3 \rightarrow P(X = 0) = {}_{47}C_3/{}_{50}C_3 = (47)(46)(45)/(50)(49)(48) = 0.83$
$D = 4 \rightarrow P(X = 0) = {}_{46}C_3/{}_{50}C_3 = (46)(45)(44)/(50)(49)(48) = 0.77$
$D = 5 \rightarrow P(X = 0) = {}_{45}C_3/{}_{50}C_3 = (45)(44)(43)/(50)(49)(48) = 0.72$
$D = 6 \rightarrow P(X = 0) = {}_{44}C_3/{}_{50}C_3 = (44)(43)(42)/(50)(49)(48) = 0.68$
$D = 7 \rightarrow P(X = 0) = {}_{43}C_3/{}_{50}C_3 = (43)(42)(41)/(50)(49)(48) = 0.63$
$D = 8 \rightarrow P(X = 0) = {}_{42}C_3/{}_{50}C_3 = (42)(41)(40)/(50)(49)(48) = 0.59$
$D = 9 \rightarrow P(X = 0) = {}_{41}C_3/{}_{50}C_3 = (41)(40)(39)/(50)(49)(48) = 0.54$
$D = 10 \rightarrow P(X = 0) = {}_{40}C_3/{}_{50}C_3 = (40)(39)(38)/(50)(49)(48) = 0.50$
$D = 11 \rightarrow P(X = 0) = {}_{39}C_3/{}_{50}C_3 = (39)(38)(37)/(50)(49)(48) = 0.47$
$\vdots$
$D = 36 \rightarrow P(X = 0) = {}_{14}C_3/{}_{50}C_3 = 0.02$
$D = 37 \rightarrow P(X = 0) = {}_{13}C_3/{}_{50}C_3 = 0.01$
$\vdots$
$D = 40 \rightarrow P(X = 0) = {}_{10}C_3/{}_{50}C_3 = 0.01$
$D = 41 \rightarrow P(X = 0) = {}_{9}C_3/{}_{50}C_3 = 0.00$

위의 계산 결과에 근거하여, 3개의 샘플이 모두 양품일 때에 로트의 불량률이 보장불량률인 0.20 이하일 사후확률은 식 (6)과 같이 구할 수 있다. 식 (6)의 두 번째 줄에서 분자에 D가 0에서 10까지의 초기하분포 확률값을 더한 이유는 보장불량률 w

= 0.2에 대응하는 D의 값이 Nw = (50)(0.2) = 10이기 때문이다.

$$P\{p \le 0.2 \mid X = 0\} = \frac{P\{(p \le 0.2) \cap (X = 0)\}}{P\{X = 0\}} = \frac{\sum_{x=0}^{0}\sum_{D=0}^{10} \frac{\binom{D}{x}\binom{50-D}{3-x}}{\binom{50}{3}}}{\sum_{x=0}^{0}\sum_{D=0}^{50} \frac{\binom{D}{x}\binom{50-D}{3-x}}{\binom{50}{3}}} = \frac{1+0.94+\cdots+0.50}{1+0.94+\cdots+0.01} = 0.634 \tag{6}$$

요약하면 샘플 3개를 검사한 결과 모두 양품일 때에, 고객에게 보증할 수 있는 것은 현 개발환경으로 양산을 할 수 있다고 할 때에, 신제품의 불량률이 20% 이하일 확률인 신뢰수준은 63.4%라고 말할 수 있다.

이제 모집단의 크기를 고려하지 않는 이항분포를 이용할 때에 어떤 결과가 나오는지를 보도록 하자. 모집단 불량률 p가 연속균일분포(continuous uniform distribution)를 따른다고 가정하면, 샘플 n개 중 불량품이 c개 이하일 확률은 식 (7)과 같다.

$$P\{X \le c\} = \int_0^1 \sum_{x=0}^{c} \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} dp \tag{7}$$

식 (7)을 이용하여, 샘플 3개가 모두 양품일 확률은 다음의 식 (8)과 같이 구할 수 있다.

$$P\{X = 0\} = \int_0^1 \binom{3}{0} p^0 (1-p)^{3-0} dp = 0.25 \tag{8}$$

3개의 샘플이 모두 양품일 때에, 베이지안 규칙을 이용하여 모집단의 불량률이 0.2 이하일 확률을 구하면 식 (9)와 같다.

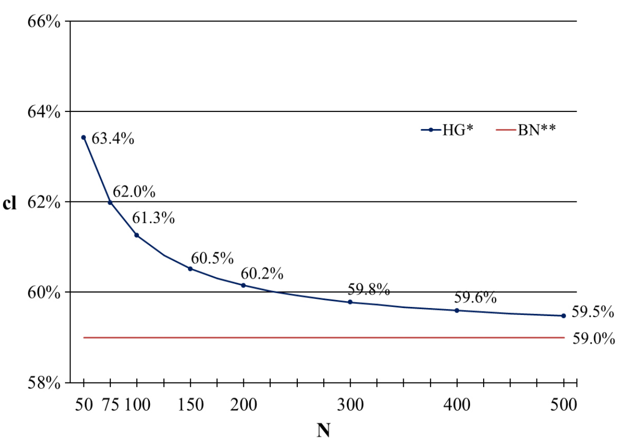
$$P\{p \le 0.2 \mid X = 0\} = \frac{P\{(p \le 0.2) \cap (X = 0)\}}{P\{X = 0\}} = \frac{\int_0^{0.2} \binom{3}{0} p^0 (1-p)^{3-0} dp}{\int_0^1 \binom{3}{0} p^0 (1-p)^{3-0} dp} = \frac{0.1476}{0.25} = 0.590 \tag{9}$$

이항분포를 이용할 경우, 신제품의 불량률이 20% 이하일 확률인 신뢰수준은 초기하분포를 이용할 때보다 4.4% 낮은 59.0%가 된다. 이와 같이 신뢰수준에 차이가 생기는 이유는 초기하분포를 이용하면 유한모집단의 크기를 감안하여 정확하게 확률을 계산할 수 있기 때문이다.

이제 초기하분포를 이용하는 경우, 동일한 샘플링검사방식에 따라 산출되는 신뢰수준이 모집단 크기에 따라 어떻게 변하는지를 알아보도록 하자. 보장불량률 w = 0.2, 샘플개수 n = 3, 샘플 내 허용불량개수 c = 0일 때, 모집단 크기 N에 따른 신뢰수준 cl의 변화를 <Table 1>과 <Figure 2>에 나타내었다. <Table 1>을 보면 모집단 크기가 커질수록 신뢰수준은 낮아지는데, 모집단 크기가 500이 되면 그 값이 59.5%가 되어 이항분포를 이용한 경우와 비교하여 0.5% 밖에 차이가 없다. 모집단의 크기가 커짐에 따라 초기하분포를 이용할 때의 신뢰수준은 이항분포를 이용하는 경우의 값에 점차적으로 수렴하게 된다.

Table 1. Confidence levels according to the population size (n = 3, c = 0 case)

N	cl
50	63.4%
75	62.0%
100	61.3%
150	60.5%
200	60.2%
300	59.8%
400	59.6%
500	59.5%



* : Hyper-Geometric, ** : Binomial

Figure 2. Graph of confidence level changes (n = 3, c = 0 case)

3.2 보장불량률과 신뢰수준을 만족하는 최소 샘플개수 결정 : c = 1인 경우

샘플 내 허용 불량개수 c가 1인 경우에도 c = 0일 때와 같은 방식으로 최소 샘플개수를 결정할 수 있다. 식 (5)를 이용하여 n을 하나씩 늘려가면서 신뢰수준 60% 이상을 만족하는 n의 최소값을 구하면 되는데, n = 5인 경우 신뢰수준은 58.6%, n = 6일 때 신뢰수준이 65.7%가 되므로 신뢰수준 60% 이상을 만족하는 최소 샘플개수는 6개가 된다.

샘플 6개를 검사한 결과 모두 양품이거나 이중에서 한 개만 불량품인 경우 신뢰수준 산출하려면, 우선 모집단 내 불량개수(D)에 따라 P(X = 0), P(X = 1)를 별도로 계산한 후, 그 확률들을 더한 결과를 이용해야 하는데, D의 값에 따라 2개의 확률값을 더한 결과를 <Table 2>에 나타내었다.

Table 2. Probability calculation for (n, c) = (6, 1) plan

D	P(X = 0)	P(X = 1)	P(X = 0, 1)
0	1.00	0.00	1.00
1	0.88	0.12	1.00
2	0.77	0.22	0.99
3	0.68	0.29	0.97
4	0.59	0.35	0.93
5	0.51	0.38	0.90
6	0.44	0.41	0.85
7	0.38	0.42	0.81
8	0.33	0.43	0.76
9	0.28	0.42	0.71
10	0.24	0.41	0.66
11	0.21	0.40	0.60
⋮	⋮	⋮	⋮
34	0.00	0.01	0.01
35	0.00	0.01	0.01
36	0.00	0.00	0.00

<Table 2>의 계산 결과를 이용하면, 6개의 샘플을 검사한 결과 5개 이상이 양품으로 판정이 났을 때, 모집단의 불량률이 0.2 이하일 확률은 식 (10)과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} P\{p \le 0.2 \mid X=0,1\} &= \frac{P\{(p \le 0.2) \cap (X=0,1)\}}{P\{X=0,1\}} \\ &= \frac{\sum_{x=0}^{1}\sum_{D=0}^{10} \frac{\binom{D}{x}\binom{50-D}{6-x}}{\binom{50}{6}}}{\sum_{x=0}^{1}\sum_{D=0}^{50} \frac{\binom{D}{x}\binom{50-D}{6-x}}{\binom{50}{6}}} \\ &= \frac{1+1+0.99+\cdots+0.66}{1+1+0.99+\cdots+0.01} \\ &= 0.657 \end{aligned} \tag{10}$$

신제품 개발 후, 6개를 검사하여 1개 이하가 불량으로 판정이 났을 때에, 동일한 공정조건에서 생산을 한다면 신제품의 불량률이 20% 이하일 확률인 신뢰수준은 65.7%가 될 것이다. 이번에도 이항분포를 이용한 신뢰수준을 산출하여 초기하분포를 이용한 경우와 비교해 보도록 하겠다. 식 (7)을 이용하여 샘플 6개 중 불량품이 1개 이하일 확률을 계산하면 식 (11)과 같다.

$$\int_0^1 \sum_{x=0}^{1} \binom{6}{x} p^x (1-p)^{6-x} dp = 0.2857 \tag{11}$$

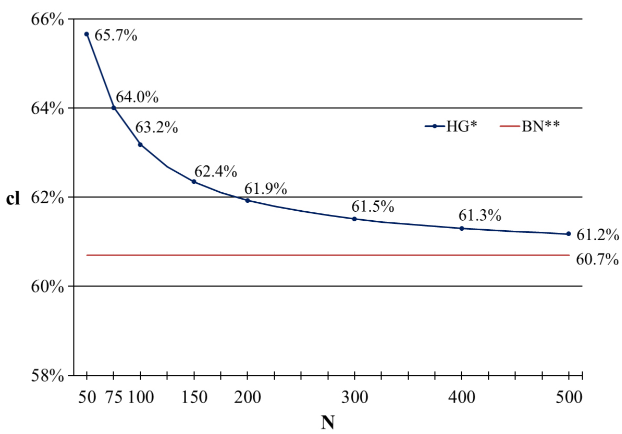
6개의 샘플 중 5개 이상이 양품일 때에, 베이지안 규칙을 이용하면 모집단의 불량률이 0.2 이하일 확률인 신뢰수준은 식 (12)와 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} P\{p \le 0.2 \mid X=0\} &= \frac{P\{(p \le 0.2) \cap (X=0,1)\}}{P\{X=0,1\}} \\ &= \frac{\int_0^{0.2} \sum_{x=0}^{1} \binom{6}{x} p^x (1-p)^{6-x} dp}{\int_0^{1} \sum_{x=0}^{1} \binom{6}{x} p^x (1-p)^{6-x} dp} \\ &= \frac{0.1734}{0.2857} = 0.607 \end{aligned} \tag{12}$$

개발품 6개를 검사하여 1개 이하의 불량품이 나오면 합격으로 판정하는 샘플링검사계획에서 이항분포를 이용하면 초기하분포를 이용할 때보다 신뢰수준이 5.0% 낮게 나온다. 이 경우에도, 모집단 크기 N에 따라 신뢰수준 cl이 어떻게 변화하는지를 구하여 <Table 3>과 <Figure 3>에 나타내었다.

Table 3. Confidence levels according to the population size (n = 6, c = 1 case)

N	cl
50	65.7%
75	64.0%
100	63.2%
150	62.4%
200	61.9%
300	61.5%
400	61.3%
500	61.2%



* : Hyper-Geometric, ** : Binomial

Figure 3. Graph of confidence level changes (n = 6, c = 1 case)

제 3.1절과 제 3.2절의 결과에서 볼 수 있듯이, 유한모집단의 샘플링검사방식을 구하는 데 있어서 이항분포를 이용하는 것보다 초기하분포를 이용할 때에 신뢰수준을 보다 정확하게 구할 수 있음을 알 수 있다. 모집단의 크기가 작을 때에는 사용하는 분포에 따라 신뢰수준 값의 차이가 크고, 모집단 크기가 커질수록 초기하분포를 이용하는 경우의 신뢰수준이 이항분포를 이용할 때의 결과에 근접해진다. 결과적으로 동일한 검사방식을 사용하는 경우, 생산예정 제품의 수가 소량일수록 보다 정확한 신뢰수준을 제공하는 초기하분포를 이용하는 것이 합리적이라고 볼 수 있다.

4. 결론 및 토의

본 연구에서는 개발 후 생산 예정인 제품의 수가 한정되어 있는 고가의 파괴검사를 해야 하는 경우에, 제품의 품질을 일정 수준 보장할 수 있는 확률인 신뢰수준을 산출하는 방법을 초기하분포와 베이지안 규칙을 이용하여 개발하였고, 이 방법을 통해 모집단 크기, 보장불량률, 신뢰수준, 허용불량개수가 주어졌을 때, 최소 시험횟수를 구하는 방법을 제시하였다. 이항분포를 이용하는 경우와 비교한 결과, 모집단 크기를 고려하는 초기하분포를 이용하는 것이 더 높은 신뢰수준을 제공하는 것을 확인하였다. 한 가지 유의할 점은 본 연구 방법을 적용할 수 있으려면 생산 예정인 제품의 양산 환경이 초도 개발품의 공정과 동일해야 한다는 것이다. 이러한 기본전제를 바탕으로 본 연구결과를 이용하면 최소한의 성능시험 횟수로 구매자와 생산자 양측이 모두 동의할 수 있는 제품의 품질에 대한 객관적인 평가를 내릴 수 있을 것이다. 본 논문은 신제품을 개발한 후 개발품의 품질을 평가하기 위하여 주어진 보장불량률과 신뢰수준을 만족하는 샘플링검사방식을 구하기 위한 방법을 제시한 것인데, 신제품이 로트단위로 지속적으로 생산되는 경우에도 본 논문의 결과가 각 로트의 샘플링검사 방법에 그대로 활용될 수 있다.

향후 본 논문에서 개발된 검사방법을 이용하여 다양한 모집단 크기와 보장불량률에 따라 주어진 신뢰수준을 만족하는 샘플개수와 허용불량개수의 조합을 활용표로 작성하여 샘플링검사계획을 제공하고, 실제 검사결과에 따라 정확한 신뢰수준을 제시할 수 있는 신뢰수준 산출시스템을 개발하는 것이 필요할 것이다. 이와 더불어 생산수량이 한정된 고가의 신제품을 개발하는 다양한 산업에 본 연구의 결과를 실제적으로 적용하려면 어떤 면의 보완이 필요한지를 확인하여 적은 수의 시험으로 제품의 성능을 평가할 수 있는 효율적이고 실제적인 방법을 지속적으로 연구하는 것이 요망된다.

참고문헌

Bai, D. S., Ryu, M. C., Kwon, Y. I., Yun, W. Y., Kim, S. B., Hong, S. H., and Choi, I. S. (1999), *Statistical Quality Control*, 2nd ed, Youngjimunhwasa, Seoul.

Montgomery, D. C. (2012), *Introduction to Statistical Quality Control*, 7th ed. Wiley, New York.

Sivia, D. S. and Skilling, J. (2006), *Data Analysis : A Bayesian Tutorial*, 2nd ed, Oxford University Press, New York.