

다중비교를 이용한 샘플수와 샘플링 시점수의 원샷 시스템 신뢰도 추정방법 정확성에 대한 영향 분석

Effect Analysis of Sample Size and Sampling Periods on Accuracy of Reliability Estimation Methods for One-shot Systems using Multiple Comparisons

손 영 갑*

Young Kap Son

Abstract

This paper provides simulation-based results of effect analysis of sample size and sampling periods on accuracy of reliability estimation methods using multiple comparisons with analysis of variance. Sum of squared errors in estimated reliability measures were evaluated through applying seven estimation methods for one-shot systems to simulated quantal-response data. Analysis of variance was implemented to investigate change in these errors according to variations of sample size and sampling periods for each estimation method, and then the effect analysis on accuracy in reliability estimation was performed using multiple comparisons based on sample size and sampling periods. An efficient way to allocate both sample size and sampling periods for reliability estimation tests of one-shot systems is proposed in this paper from the effect analysis results.

Keywords : One-shot System(원샷 시스템), Analysis of Variance(분산분석), Multiple Comparison(다중비교), Accuracy(정확성), Reliability Estimation(신뢰도 추정)

기호 설명

SSE : Sum of Squared Error

N : 비모수 추정법의 비누적법

C : 비모수 추정법의 누적법

O : 비모수 추정법의 정렬된 MLE법

(Ordered Maximum Likelihood Estimation method)

P : 모수 추정법

B : 베타분포를 사전분포로 하는 베이지안법

NB : 정규분포를 사전분포로 하는 베이지안법

SB : 결측균일분포를 사전분포로 하는 베이지안법

1. 서론

탄약, 미사일, 화생방 용품 등과 같이 1회 사용 후 임무를 완수하는 원샷 시스템(one-shot system, 일회성 시스템)의 신뢰도 추정은 일련의 임의 시점에서의 성

† 2012년 5월 7일 접수~2012년 6월 29일 게재승인

* 안동대학교(Andong National University)

책임저자 : 손영갑(ykson@andong.ac.kr)

공수/실패수로 표현되는 가부반응 데이터를 이용한다^[1~3]. 무기체계의 ASRP(Ammunition Stockpile Reliability Program) 데이터는 일종의 가부반응 데이터로 표현된다. 원샷 시스템의 신뢰도 추정에 관한 연구들은 대부분 문헌에 공개된 신뢰도 추정방법들에 대한 정확성을 비교하거나, 각 추정 방법들의 가부반응 데이터 수(샘플 수) 및 가부반응 데이터의 추출 시점 수(샘플링 시점 수)에 대한 영향도를 비교하였다.

추정방법들의 정확성 비교를 수행하기 위하여 추정해야 하는 일련의 시점에서의 참값 신뢰도를 정의하고, 정의된 참값 신뢰도로부터 모사한 가부반응 데이터를 이용하여 신뢰도를 추정하였다. 또한 일련의 시점에서의 참값 신뢰도와 추정한 신뢰도의 차이를 나타내는, 식 (1)로 표현되는 평균제곱오차합(SSE : Sum of Squared Error)을 이용하여 정확성을 비교하였다^[4,6~8].

$$SSE = \sum_{i=1}^T (R(t_i) - \hat{R}(t_i))^2 \quad (1)$$

여기서 T는 샘플링 시점 수, $R(t_i)$ 는 참값 신뢰도, $\hat{R}(t_i)$ 는 추정된 신뢰도이다.

평균제곱오차합을 이용하여 추정 방법들의 정확성을 비교한 연구에서 가부반응 데이터 모사에 관해서는 신뢰도 프로파일(profile)^[6,7]이나 수명분포를 가정^[8]하여 가부반응 데이터를 모사하거나 가속수명시험을 수행한 결과^[4]를 이용하여 가부반응 데이터를 모사하였다. 기존 연구들은 여러 가지 추정방법들을 동일한 가부반응 데이터에 적용하여 추정방법별 SSE를 비교하여 추정방법의 정확성을 상대적으로 비교하였는데, 정확성 비교시, t-검정을 이용하여 고려한 2가지 방법의 SSE 값의 차이에 대한 통계적인 유의성 검정을 수행하였다.

추정 방법들의 정확성에 대한 샘플 수 및 샘플링 시점 수의 영향도 분석에 관한 연구에서는 샘플 수 증가 및 샘플링 시점 수 증가에 따른 SSE 크기변화에 대한 통계적인 영향도 분석을 수행하지 않고 정량적인 비교만을 수행하였다. Guikema은 샘플 수 증가에 따른 SSE 값 변화 유무에 대한 분석을 통해 샘플 수에 대한 추정 방법들의 정확성에 대한 영향도를 상대적으로 분석하였다^[6]. 또한 손영갑 등^[7]은 정규화된 민감도분석을 통해 추출 샘플 수와 샘플링 시점 수 변화에 대한 추정방법들의 SSE 변화를 상대적으로 비교하였다. 그러나 이러한 샘플 수와 샘플링 시점 수 변

화에 따른 SSE의 정량적인 크기 비교를 통한 영향도 분석은 SSE 값 변화에 대한 통계적인 유의성 검증을 포함하지 않았다.

샘플 수와 샘플링 시점 수 변화에 따른 SSE 값 변화에 대한 통계적인 유의성 검증을 통해 각 신뢰도 추정방법의 샘플 수 및 샘플링 시점 수에 대한 정확한 영향도 평가가 가능하다. 또한 영향도 평가 결과를 이용하여 원샷 시스템의 신뢰도 평가를 수행할 때 효율적인 샘플 수 및 샘플링 시점 수를 선정함으로써 비용적인 측면에서 경제적인 시험평가를 수행할 수 있다.

본 논문은 샘플 수 및 샘플링 시점 수가 원샷 시스템에 대한 신뢰도 추정방법들의 정확성에 미치는 영향을 분석한 결과를 제시한다. 따라서 문헌에 공개된 가부반응 데이터 모사 방법을 적용하여 모사한 일련의 가부반응 데이터에 총 7가지 추정방법(3가지 비모수 추정법, 모수 추정법, 3가지 베이지안법)을 적용하여 신뢰도를 추정한다. 추정한 신뢰도값에 대한 SSE를 이용하여 각 추정방법의 신뢰도 변화율, 추출 샘플 수, 샘플링 시점 수 변화에 대한 분산분석(ANOVA : Analysis Of Variance)과 다중비교(multiple comparison) 분석을 수행한다. 다중비교 분석결과를 이용하여 문헌에 공개된 각 추정방법들을 적용하여 신뢰도 평가를 수행할 때 효율적인 샘플 수 및 샘플링 시점 수 선정 방안을 제시하고자 한다.

2. 정확성에 대한 영향 분석 방법

본 연구에서는 일련의 시점에서 참값 신뢰도를 나타내는 신뢰도 프로파일과 샘플링 시점들을 정의하고 각각의 샘플링 시점에서 균일분포 $U(0, 1)$ 를 따르는 샘플들을 S(추출 샘플 수)개 추출하여 각 시점에서 정의한 신뢰도 프로파일과 비교하여 추출한 샘플 값이 적으면 성공으로 고려하여 가부반응 데이터를 모사하였다^[6~8]. 가부반응 데이터를 이용하여 신뢰도를 추정하는 경우, 추출 샘플 수에 따라 실패 수가 다양하게 변화할 수 있기 때문에 추정한 신뢰도가 샘플 수에 따라 변화한다. 또한 가부반응 데이터를 확보하는 시점 수와 신뢰도 변화율에 따라 추정한 신뢰도가 변화할 수 있다. 따라서 가부반응 데이터를 모사하기 위한 참값 신뢰도는 시간에 따라 신뢰도가 급격히 변화하는 경우와 미소하게 변화하는 경우를 고려하여 신뢰

도 프로파일을 정의한다.

문헌에 공개된 가부반응 데이터를 이용하여 원샷 시스템의 신뢰도를 추정하는 방법은 비모수 추정법(non-parametric estimation method), 모수 추정법(parametric estimation method), 베이지안법(bayesian method)으로 구분된다⁴⁻⁶. 비모수 추정법은 각 시점에서의 가부반응 데이터만을 이용하여 신뢰도를 추정하는 방법이며^{5,6,12}, 모수 추정법은 수명 분포를 가정하여, 가부반응 데이터로 표현되는 우도함수를 최대화하는 수명분포 모수를 구하여 신뢰도를 추정하는 방법이다^{9,10}. 베이지안 추정법은 추정할 신뢰도에 대한 사전분포(prior distribution)를 가정하고 가부반응 데이터를 이용하여 우도함수를 평가함으로써 사후분포(posterior distribution)를 구하고, 사후분포에 대한 기대값(expected value)을 구하여 신뢰도를 추정하는 방법이다^{6,11-13}. 본 연구에서는 모사한 가부반응 데이터에 총 7개의 신뢰도 추정방법들을 적용하여 신뢰도를 추정한다.

참값 신뢰도와 추정된 신뢰도 값들의 차의 제곱합인 SSE를 이용하여 분산분석을 수행한다. 분산분석은 신뢰도 변화율과 샘플링 시점 수가 동일할 때 추출 샘플 수 변화에 따라 각 추정방법들의 SSE에 변화가 있는지를 분석하였으며, 신뢰도 변화율과 추출 샘플 수가 동일할 때 샘플링 시점 수 변화에 따라 추정방법들의 SSE에 변화가 있는지 분석한다. 이러한 분산분석을 통해 각 추정방법에 대해 추출 샘플 수와 샘플링 시점 수 변화에 따라 SSE에 변화가 있는지를 검정한다.

분산분석은 3개 이상의 표본 평균에 유의한 차이가 있는지를 통계적으로 검정하는 방법이다¹⁴. 분산분석 결과 귀무가설을 기각한다는 것은 표본의 평균들 간에 차이가 있다는 것을 의미한다. 그러나 어느 표본의 평균이 차이가 있고, 또 어떤 표본의 평균은 차이가 없는지 구체적으로 검정할 수는 없다. 따라서 어떤 표본의 평균에 차이가 있는지를 검정하기 위해 다중비교를 수행한다.

다중비교 방법에는 Tukey의 방법, Fisher의 방법, Dunnett의 방법, Hsu의 MCB 등이 있다. 그 중 Tukey의 방법은 반복수가 같은 경우 정확한 방법이므로 본 논문에서는 반복수가 1000으로 고정하고 Tukey의 방법을 이용하여 다중비교를 수행하였다. 다중비교 결과는 신뢰구간으로 표시되며, 평균 간에 차이가 없다는 귀무가설은 신뢰구간에 0이 포함되지 않는 경우에만 기각된다¹⁴. 분산분석의 모든 과정은 상용되는 통계

프로그램인 Minitab을 이용한다. 다중비교를 통해 추출 샘플 수 및 샘플링 시점 수 변화에 따른 각 추정방법의 정확성에 대한 영향도를 분석한다.

시간에 따른 신뢰도 변화율이 큰 경우와 작은 경우를 고려하기 위하여 2가지의 신뢰도 변화율을 정의하여 참값 신뢰도를 Table 1에 제시하였다. Table 1에서 Case A는 신뢰도 변화율이 -0.04/년, Case B는 -0.01/년을 나타낸다. Table 1의 각 시점에서의 추출 샘플 수는 2부터 200까지 총 9가지를 고려하였으며 샘플 수를 $S = [2, 4, 8, 10, 20, 40, 80, 100, 200]$ 로 정의하였다. 샘플링 시점 수는 총 4가지를 고려하였으며, 시점 수에 따른 시간[year]은 샘플링 시점 수가 10인 경우, $T = [11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20]$, 8인 경우 $T = [11, 12, 13, 14, 17, 18, 19, 20]$, 6인 경우 $T = [11, 13, 15, 17, 19, 20]$, 3인 경우 $T = [11, 16, 20]$ 이다. 또한 반복수는 1000으로 고려하였다.

샘플링 시점 수가 10인 경우, Case A와 Case B의 추출 샘플 수 변화에 대한 7가지 추정방법들의 방법에 따른 SSE를 Fig. 1의 (a)와 (b)에 각각 나타내었다. Fig. 1의 (a)로 부터 추출 샘플 수가 증가할수록 추정방법들의 SSE는 감소하는 경향을 나타낸다고 평가할 수 있다. 또한 Fig. 1의 (b)로 부터 추출 샘플 수가 증가할 때, SB를 제외한 6가지 추정방법들의 SSE는 거의 일정하거나 미소하게 감소하는 경향을 나타낸다고 평가할 수 있다. 이러한 경향이 통계적으로 유의한지를 검정하기 위해 분산분석을 수행한다.

총 7가지 신뢰도 추정방법에 대하여 분산분석 수행 시 SSE를 이용하여 고려한 추출 샘플 수 및 샘플링 시점 수에서의 추정 정확성에 대한 영향을 분석한다. 유의수준을 0.05로 고려하여 분산분석 결과 p-value가 0.05 이상이면 추출 샘플 수 및 샘플링 시점 수 변화에 대한 추정 정확성은 차이가 없으며 0.05이하이면 추출 샘플 수 및 샘플링 시점 수 변화에 대한 추정 정확성에 차이가 있다고 평가한다. 또한 분산분석 결과 추출 샘플 수 및 샘플링 시점 수 변화에 따라 추정 정확성에 차이가 있을 때, 다중비교를 통하여 어떤 추출 샘플 수 및 샘플링 시점 수에 대해 정확성에 차이가 있는지 분석한다. 다중비교는 고려한 추출 샘플 수와 샘플링 시점 수의 쌍(pair)에 대해 분석하였다. 다중비교 결과는 신뢰구간으로 표시되며, 신뢰구간에 0을 포함한다는 것은 두 추출 샘플 수 또는 샘플링 시점 수에 대한 추정 정확성에 차이가 없다는 것을 나타낸다.

Table 1. True reliability value

시점 (year)	참값 신뢰도	
	Case A	Case B
11	0.90	0.90
12	0.86	0.89
13	0.82	0.88
14	0.78	0.87
15	0.74	0.86
16	0.70	0.85
17	0.66	0.84
18	0.62	0.83
19	0.58	0.82
20	0.54	0.81

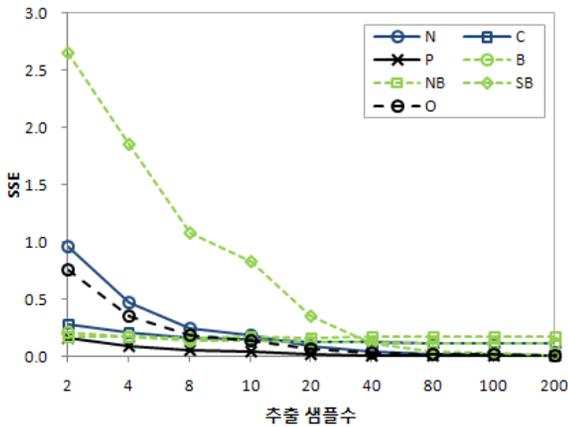
3. 정확성에 대한 영향 분석 결과

가. 추출 샘플 수 변화에 대한 비교

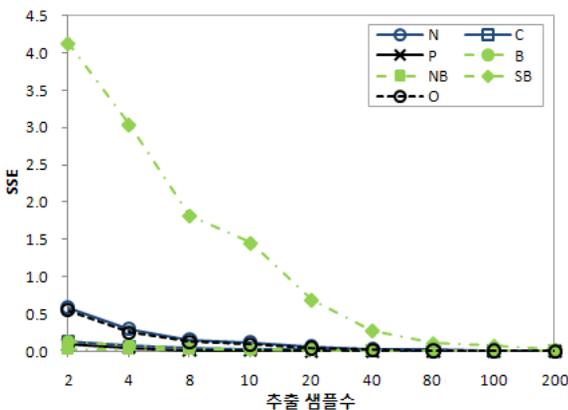
샘플 수 변화가 추정 방법의 정확성에 영향을 미치는가를 평가하기 위하여 샘플링 시점 수를 3과 10으로 고정하고 2장에서 제시한 총 9가지 샘플 수에 대한 분산분석과 다중비교를 수행하였다. 분산분석을 수행한 결과, 샘플링 시점 수에 무관하게 모든 추정방법의 p-value가 유의수준 0.05보다 작으므로 모든 추정방법은 추출 샘플 수 변화에 대해 추정 정확성에 차이가 있다. 따라서 각 방법에 대하여 다중비교를 수행하였다.

2가지 신뢰도 프로파일에 대하여 샘플링 시점수가 10인 경우, 고려한 2가지 샘플 수(S(i), S(j))에 대하여 N 방법의 다중비교 결과를 SSE 차이에 대한 신뢰구간으로 Table 2에 제시하였다. 또한 Table 2에 신뢰구간이 0을 포함하는 구간을 밑줄로 표기하였다. Table 3은 샘플링 시점 수가 3인 경우, N 방법의 다중 비교 결과를 나타낸다. Table 2와 3으로부터 N은 참값 신뢰도 변화율에 관계없이 샘플링 시점 수가 10이고 추출 샘플 수가 80 이상일 때 샘플 수 증가에 따른 SSE 차이가 유의하지 않기 때문에 추출 샘플 수 변화에 대한 추정 정확성에 차이가 없으며, 샘플링 시점 수가 3이고 추출 샘플 수가 40 이상일 때 추출 샘플 수 변화에 대한 추정 정확성에 차이가 없다.

C와 P 방법에 대한 다중비교 결과로 부터 두 방법 모두 신뢰도 변화율과 고려한 샘플링 시점 수에 관계없이 추출 샘플수가 40 이상일 때 추출 샘플 수 변화에 대한 추정 정확성에 차이가 없다. B 방법은 고려한 샘플링 시점 수에 관계없이 Case A인 경우, 추출 샘플 수가 20 이상일 때 추출 샘플 수 변화에 대한 추정 정확성에 차이가 없다. 또한 Case B인 경우, 추출 샘플 수가 40 이상일 때 추출 샘플 수 변화에 대한 추정 정확성에 차이가 없다. NB 방법은 Case A에 대하여 샘플링 시점 수가 10인 경우, 추출 샘플 수가 40 이상일 때, 샘플링 시점 수가 3인 경우 추출 샘플 수가 10 이상일 때 신뢰구간에 0을 포함하기 때문에 추출 샘플 수 변화에 대한 추정 정확성에 차이가 없다. 그러나 Case B인 경우 샘플링 시점 수에 관계없이 추출 샘플 수가 80 이상일 때 추출 샘플 수 변화에 대한 추정 정확성에 차이가 없다. SB 방법은 샘플링 시점 수가 3인 경우, 신뢰도 변화율에 관계없이 추출 샘플 수가 40 이상일 때 추출 샘플 수 변화에 대한 추정 정확성에



(a) Case A



(b) Case B

Fig. 1. SSE for different sample sizes (sampling period = 10)

차이가 없다. 또한 샘플링 시점 수가 10이고 Case A 인 경우, 추출 샘플 수가 80 이상일 때 추출 샘플 수

Table 2. Multiple comparison results for sample sizes with sampling period = 10(N)

샘플 수	Case A	Case B
S(2), S(1)	(-0.514, -0.472)	(-0.302, -0.268)
S(3), S(1)	(-0.742, -0.699)	(-0.450, -0.416)
S(4), S(1)	(-0.797, -0.755)	(-0.482, -0.448)
S(5), S(1)	(-0.887, -0.845)	(-0.544, -0.510)
S(6), S(1)	(-0.935, -0.893)	(-0.575, -0.541)
S(7), S(1)	(-0.959, -0.917)	(-0.590, -0.557)
⋮	⋮	⋮
S(9), S(5)	(-0.106, -0.064)	(-0.073, -0.039)
S(7), S(6)	(-0.045, -0.003)	<u>(-0.032, 0.001)</u>
S(8), S(6)	(-0.049, -0.007)	(-0.036, -0.002)
S(9), S(6)	(-0.059, -0.017)	(-0.042, -0.008)
S(8), S(7)	<u>(-0.026, 0.017)</u>	<u>(-0.020, 0.014)</u>
S(9), S(7)	<u>(-0.035, 0.007)</u>	<u>(-0.026, 0.007)</u>
S(9), S(8)	<u>(-0.031, 0.012)</u>	<u>(-0.023, 0.011)</u>

Table 3. Multiple comparison results for sample sizes with sampling period = 3(N)

샘플 수	Case A	Case B
S(2), S(1)	(-0.144, -0.123)	(-0.114, -0.093)
S(3), S(1)	(-0.211, -0.190)	(-0.162, -0.141)
S(4), S(1)	(-0.225, -0.203)	(-0.172, -0.151)
⋮	⋮	⋮
S(6), S(5)	(-0.025, -0.004)	<u>(-0.020, 0.001)</u>
S(7), S(5)	(-0.032, -0.010)	(-0.025, -0.004)
S(8), S(5)	(-0.033, -0.012)	(-0.026, -0.005)
S(9), S(5)	(-0.035, -0.014)	(-0.028, -0.006)
S(7), S(6)	<u>(-0.017, 0.004)</u>	<u>(-0.015, 0.006)</u>
S(8), S(6)	<u>(-0.019, 0.002)</u>	<u>(-0.016, 0.005)</u>
S(9), S(6)	<u>(-0.021, 0.000)</u>	<u>(-0.018, 0.003)</u>
S(8), S(7)	<u>(-0.012, 0.009)</u>	<u>(-0.011, 0.010)</u>
S(9), S(7)	<u>(-0.015, 0.007)</u>	<u>(-0.013, 0.008)</u>
S(9), S(8)	<u>(-0.013, 0.008)</u>	<u>(-0.012, 0.009)</u>

변화에 대한 추정 정확성에 차이가 없다. O 방법은 Case A에 대하여 샘플링 시점 수가 10인 경우, 추출 샘플 수가 80 이상일 때 추출 샘플 수 변화에 대한 추정 정확성에 차이가 없다. 또한 Case A에 대하여 샘플링 시점 수가 3인 경우와 샘플링 시점 수에 관계없이 Case B에 대하여 추출 샘플 수가 40 이상일 때 추출 샘플 수 변화에 대한 추정 정확성에 차이가 없다.

나. 샘플링 시점 수 변화에 대한 비교

샘플링 시점 수 변화가 추정 방법의 정확성에 영향을 미치는가를 평가하기 위하여 2장에서 제시한 바와 같이 총 9개의 샘플 수 각각에 대하여 총 4가지의 샘플링 시점 수, SP = [3, 6, 8, 10]에 대한 분산분석을 수행하였다. 각각의 샘플수를 고정한 후, 샘플링 시점 수 변화에 대한 분산분석을 수행한 결과, N 방법을 제외하고 6가지 방법들의 p-value가 유의수준 0.05보다 작은 값을 가지므로 6가지 추정방법들은 샘플링 시점 수 변화에 대해 추정 정확성에 차이가 있다고 평가할 수 있다. N 방법에 대한 분산분석을 수행한 결과를 Table 4에 p-value로 나타내었다. Table 4에서 0.000으로 표기된 것은 p-value가 0.001이하의 값을 가지는 것을 나타낸다.

Table 4. p-value in ANOVA test of sampling periods(N)

샘플수	Case A	Case B
2	0.000	0.006
4	0.052	0.474
8	0.055	0.870
10	0.311	0.936
20	0.706	0.221
40	0.020	0.778
80	0.021	0.138
100	0.002	0.707
200	0.360	0.761

7가지 추정방법에 대하여 다중비교를 수행하였으며, 샘플수가 2, 10, 80, 200일 때, Case A인 경우 N과 SB 방법에 대하여 샘플링 시점 수에 대한 다중비교 결과를 Table 5에, Case B인 경우 N과 P 방법에 대한 다중비교 결과를 Table 6에 각각 제시하였다. Table 5와 6에서 SP(i), SP(j)는 고려한 2가지 샘플링 시점 수에

다른 SSE 차이를 나타낸다. Table 5와 6에서 N 방법은 고려한 모든 샘플 수에서 샘플링 시점 수가 3인 경우를 포함한 것을 일부 제외하고 신뢰구간이 모두 0을 포함한다. 고려한 2가지의 샘플링 시점 수가 3을 포함한 경우 SSE 차이가 통계적으로 유의하기 때문에 Table 4의 일부 샘플 수에서 p-value가 0.05이하의 값을 나타내었다. 따라서 N 방법은 샘플링 시점 수가 추정 정확성에 영향을 미치지 않는다고 평가할 수 있다. SB 방법은 Case A에 대하여 샘플수가 200일 때, 고려한 샘플링 시점 수가 6개 이상인 경우 Table 5로부터 신뢰구간이 모두 0을 포함한다. 그러므로 SB 방법은

Case B에 대하여 샘플수가 200개 이상인 경우 샘플링 시점 수가 정확성에 영향을 미치지 않는다고 평가할 수 있다. 그러나 SB 방법은 Table 5에 나타난 것과 같이 샘플수가 200 미만인 경우, 대부분의 신뢰구간이 모두 양의 값을 가지므로 샘플링 시점 수가 증가함에 따라 추정 정확성이 떨어진다고 평가할 수 있다. 이러한 경향은 Case B의 경우에도 동일하다. Table 6에 나타난 P 방법의 신뢰구간과 유사하게 다른 방법들(C, O, B, NB)의 신뢰구간도 모두 음의 값을 가지기 때문에 신뢰도 변화율에 무관하게 샘플링 시점 수가 증가함에 따라 추정 정확성은 높아진다.

Table 5. Multiple comparison results for sampling periods (Case A)

샘플수	시점수	N	SB
2	SP(2), SP(1)	(0.00323, 0.01450)	(0.09018, 0.10053)
	SP(3), SP(1)	(-0.00332, 0.00795)	(0.14915, 0.15950)
	SP(4), SP(1)	(0.00126, 0.01254)	(0.19471, 0.20506)
	SP(3), SP(2)	(-0.01219, 0.00000)	(0.05380, 0.06415)
	SP(4), SP(2)	(-0.00760, 0.00300)	(0.09936, 0.10971)
	SP(4), SP(3)	(-0.00105, 0.01022)	(0.04038, 0.05073)
10	SP(2), SP(1)	(-0.00035, 0.00220)	(0.02001, 0.02471)
	SP(3), SP(1)	(-0.00075, 0.00180)	(0.04091, 0.04560)
	SP(4), SP(1)	(-0.00066, 0.00189)	(0.06611, 0.07080)
	SP(3), SP(2)	(-0.00167, 0.00087)	(0.01855, 0.02324)
	SP(4), SP(2)	(-0.00158, 0.00096)	(0.04375, 0.04844)
	SP(4), SP(3)	(-0.00118, 0.00136)	(0.02285, 0.02754)
80	SP(2), SP(1)	(0.00004, 0.00037)	(-0.00013, 0.00030)
	SP(3), SP(1)	(-0.00007, 0.00026)	(0.00051, 0.00094)
	SP(4), SP(1)	(-0.00006, 0.00027)	(0.00147, 0.00190)
	SP(3), SP(2)	(-0.00027, 0.00006)	(0.00042, 0.00085)
	SP(4), SP(2)	(-0.00026, 0.00007)	(0.00138, 0.00181)
	SP(4), SP(3)	(-0.00016, 0.00018)	(0.00075, 0.00118)
200	SP(2), SP(1)	(-0.00002, 0.00011)	(-0.00018, -0.00004)
	SP(3), SP(1)	(-0.00004, 0.00010)	(-0.00013, 0.00001)
	SP(4), SP(1)	(-0.00003, 0.00011)	(-0.00012, 0.00002)
	SP(3), SP(2)	(-0.00009, 0.00005)	(-0.00002, 0.00012)
	SP(4), SP(2)	(-0.00008, 0.00006)	(-0.00001, 0.00013)
	SP(4), SP(3)	(-0.00006, 0.00008)	(-0.00005, 0.00009)

Table 6. Multiple comparison results for sampling periods (Case B)

샘플수	시점수	N	P
2	SP(2), SP(1)	(-0.00843, 0.00241)	(-0.02337, -0.01702)
	SP(3), SP(1)	(-0.00974, 0.00109)	(-0.02743, -0.02108)
	SP(4), SP(1)	(-0.01274, -0.00190)	(-0.02999, -0.02364)
	SP(3), SP(2)	(-0.00674, 0.00410)	(-0.00723, -0.00088)
	SP(4), SP(2)	(-0.00973, 0.00111)	(-0.00980, -0.00345)
	SP(4), SP(3)	(-0.00841, 0.00242)	(-0.00574, 0.00061)
10	SP(2), SP(1)	(-0.00107, 0.00075)	(-0.00380, -0.00268)
	SP(3), SP(1)	(-0.00111, 0.00070)	(-0.00456, -0.00344)
	SP(4), SP(1)	(-0.00097, 0.00084)	(-0.00496, -0.00384)
	SP(3), SP(2)	(-0.00095, 0.00086)	(-0.00133, -0.00021)
	SP(4), SP(2)	(-0.00081, 0.00100)	(-0.00173, -0.00061)
	SP(4), SP(3)	(-0.00076, 0.00105)	(-0.00096, 0.00016)
80	SP(2), SP(1)	(-0.00001, 0.00021)	(-0.00044, -0.00030)
	SP(3), SP(1)	(-0.00007, 0.00014)	(-0.00055, -0.00041)
	SP(4), SP(1)	(-0.00006, 0.00015)	(-0.00060, -0.00047)
	SP(3), SP(2)	(-0.00017, 0.00005)	(-0.00018, -0.00004)
	SP(4), SP(2)	(-0.00016, 0.00006)	(-0.00023, -0.00009)
	SP(4), SP(3)	(-0.00010, 0.00012)	(-0.00012, 0.00002)
200	SP(2), SP(1)	(-0.00004, 0.00004)	(-0.00019, -0.00014)
	SP(3), SP(1)	(-0.00004, 0.00005)	(-0.00024, -0.00018)
	SP(4), SP(1)	(-0.00006, 0.00003)	(-0.00026, -0.00020)
	SP(3), SP(2)	(-0.00004, 0.00005)	(-0.00007, -0.00002)
	SP(4), SP(2)	(-0.00005, 0.00003)	(-0.00009, -0.00004)
	SP(4), SP(3)	(-0.00006, 0.00003)	(-0.00005, 0.00001)

4. 결론

본 논문은 문헌에 공개된 총 7가지 원샷 시스템의 신뢰도 추정방법들에 대하여 샘플 수 및 샘플링 시점 수 변화가 각 추정방법들의 정확성에 영향을 미치는가를 분산분석과 다중비교를 통하여 평가하였다.

N 방법은 샘플 수가 증가함에 따라 정확성은 증가하지만 샘플 수가 80 이상인 경우 정확성에 영향을 미치지 않으며 샘플링 시점 수도 정확성에 영향을 주지 못한다. 따라서 N 방법을 적용할 때, 동일한 시험평가 시료수에 대하여 샘플링 시점 수를 늘리는 것 보다 각 시점에서의 추출 샘플 수를 늘려 신뢰도를 평가하는 것이 효율적이다.

SB를 제외한 5가지 방법은 샘플링 시점 수가 증가함에 따라, 그리고 샘플수가 증가함에 따라 정확성이 증가한다. 그러나 C와 P, 그리고 B 방법은 샘플수를 40개 이상 증가시키더라도, O와 NB 방법은 샘플수를 80개 이상 증가시키더라도 정확성을 증가시킬 수 없다. 따라서 각 방법을 적용할 때 동일한 시료수에 대하여 샘플링 시점 수는 증가시키지만 각 시점에서의 추출 샘플 수는 방법에 따라 40개 또는 80개 이하로 제한하여 신뢰도를 평가하는 것이 효율적이다.

SB 방법은 샘플 수가 증가함에 따라 정확성은 증가하지만 샘플 수가 80개 이상인 경우 샘플수가 정확성에 영향을 미치지 않는다. 그러나 SB 방법은 샘플링 시점 수가 증가함에 따라 정확성이 떨어지지만 샘플수가 200개 이상이면 샘플링 시점수는 정확성에 영향을 미치지 못한다. 따라서 제한된 시험평가 시료 수에 대하여 샘플링 시점 수는 줄이면서 각 시점에서의 추출 샘플 수를 80개 이하로 제한하여, 또는 최소한의 샘플링 시점 수를 고려하여 각 시점에서 추출 샘플 수를 200개 이상으로 신뢰도를 평가하는 것이 효율적이다.

References

- [1] 손영갑 외, “Operating system과 One-shot system의 신뢰도 분석 방법론 비교”, 한국경영과학회/대한산업공학회 춘계공동학술대회, 2009.
- [2] Morgan, Byron J. T., Analysis of Quantal Response Data, CHAPMAN & HALL, 1992.
- [3] 손영갑 외, “원샷 시스템의 신뢰도 추정”, 제16회 지상무기학술대회, 2008.
- [4] 손영갑 외, “가속수명시험을 이용한 원샷 시스템의 신뢰도 추정방법 비교”, 대한산업공학회지, Vol. 36, No. 4, pp. 212~218, 2010.
- [5] Nelson, W., Applied Life Data Analysis, John Wiley & Sons Inc., 2003.
- [6] Guikema, S. D., “A Comparison of Reliability Estimation Methods for Binary Systems”, Reliability Engineering and System Safety. Vol. 87, pp. 365~376, 2005.
- [7] 손영갑 외, “계수형 데이터에 대한 신뢰도 추정방법의 샘플 수와 샘플링 시점 수에 따른 민감도 분석”, 한국산학기술학회논문지, Vol. 12, No. 2, pp. 581~587, 2011.
- [8] 류장희 외, 2010, “가부반응 데이터 특성을 가지는 탄약 체계의 신뢰도 추정방법 비교”, 한국군사과학기술학회지, Vol. 13, No. 6, pp. 1~8, 2010.
- [9] Zheng B., Cai F., and Xu J., “Evaluation of System Storage Reliability”, International Journal of Systems & Cybernetics, Vol. 33, No. 2, pp. 438~445, 2004.
- [10] Nolander J. L. and Dietrich, D. L., “Attribute Data Reliability Decay Models”, Microelectronics Reliability, 34, pp. 1565~1596, 1994.
- [11] Michael S. Hamada et al., Bayesian Reliability, Springer, 2008.
- [12] Guikema, S. D. and Pate-Cornell, M. E., “Bayesian Analysis of Launch Vehicle Success Rates”, Journal of Spacecraft and Rockets, Vol. 41, No. 1, pp. 93~102, 2004.
- [13] Box, George E. P. and Tiao, George C., Bayesian Inference in Statistical Analysis, John Wiley & Sons Inc., 1992.
- [14] P. R. Krishnaiah, Analysis of Variance, North-Holland Pub., 1980.