

# 원샷 시스템의 저장 신뢰성 추정 정확성에 대한 샘플링 시점의 영향 분석\*

정용호<sup>1</sup> · 오봉식<sup>2</sup> · 이홍철<sup>3</sup> · 박희남<sup>1</sup> · 장중순<sup>1</sup> · 박상철<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>아주대학교 산업공학과, <sup>2</sup>한국산업인력공단, <sup>3</sup>한국건설기술연구원

## Influence Analysis of Sampling Points on Accuracy of Storage Reliability Estimation for One-shot Systems\*

Yong H. Chung<sup>1</sup> · Bong S. Oh<sup>2</sup> · Hong C. Lee<sup>3</sup> · Hee N. Park<sup>1</sup> · Joong S. Jang<sup>1</sup> · Sang C. Park<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>Department of Industrial Engineering, Ajou University

<sup>2</sup>Human Resources Development Service of Korea

<sup>3</sup>Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

**Purpose:** The purpose of this study is to analyze the effect of sampling points on accuracy of storage reliability estimation for one-shot systems by assuming a weibull distribution as a storage reliability distribution. Also propose method for determining of sampling points for increase the accuracy of reliability estimation.

**Methods:** Weibull distribution was divided into three sections for confirming the possible to estimate the parameters of the weibull distribution only some section's sample. Generate quantal response data for failure data. And performed parameter estimation with quantal response data.

**Results:** If reduce sample point interval of 1 section, increase the accuracy of reliability estimation although sampling only section 1. Even reduce total number of sampling point, reducing sampling time interval of the 1 zone improve the accuracy of reliability estimation.

**Conclusion:** Method to increase the accuracy of reliability estimation is increasing number of sampling and the sampling points. But apply this method to One-shot system is difficult because test cost of one-shot system is expensive. So propose method of accuracy of storage reliability estimation of one-shot system by adjustment of the sampling point. And by dividing the section it could reduce the total sampling point.

**Keywords:** Reliability Estimation, Storage Reliability, One-shot System, Weibull Distribution

### 1. 서론

신뢰도(reliability)란 “어느 부품/어셈블리/시스템이

특정 허용된 조건하에서 특정 기간 동안 의도된 기능을 성공적으로 수행할 확률”로 정의된다. 제품 및 시스템의 신뢰성은 안전성 제고 및 고객에 양질의 서비스

\* 본 연구는 한국연구재단(NRF-2015R1A2A2A01005871)과 방위사업청(UD150042AD)의 지원으로 수행되었습니다.

† 교신저자 scpark@ajou.ac.kr

2016년 2월 12일 접수; 2016년 3월 14일 수정본 접수; 2016년 3월 18일 게재 확정.

제고라는 점에서 근래 중요성이 더해가고 있다. 특히, 무기체계의 경우 복합 요소로 구성되어 고장의 발생 가능성이 높고 유사시 고장으로 인한 전투력 상실은 치명적인 결과를 초래할 수 있다. 또한 운용계획 수립, 예비품 관리 등 제반 RAM 분석 개발 활동의 입력 자료로써 사용되기 때문에 정확성이 매우 중요하다[1]. 그럼에도 불구하고, <Table 1>에서 나타난 바와 같이 신뢰성의 미흡으로 인한 문제 사례들이 빈번하게 발생하고 있으며, 이에 따라 체계의 가용도가 떨어짐으로서 군 전투 준비태세가 악화되고 있다.

무기체계는 크게 운용 시스템(operating system)과 원샷 시스템(one-shot system)으로 분류할 수 있다. 운용 시스템은 차량, 발사장비 등과 같은 물적 요소를 말하며, OMS/MP(운용형태종합/임무유형)에 의거하여 연간 운용(operating)된다. 이러한 운용 시스템의 신뢰도 예측을 위해 많은 연구들이 수행되어왔으며, 대부분의 연구들이 MIL-HDBK-217, 217-Plus, SR-332, NPRD, EPRD 등과 같은 신뢰도 예측 방법론을 기반으로 수행되었다[2, 3]. 이들 기법들은 지수분포를 적용하여 고장률을 추정한다. 그와 달리, 탄약, 장약, 미사일과 같은 무기류를 지칭하는 원샷 시스템은 특성상 장기간 저장되며, 1회 사용 후 완전히 파괴되거나 광범위한 수리 혹은 재작업이 이루어져야 한다[4]. 원샷 시스템은 장기간 저장되기 때문에 마모 인자가 아닌 자연적인 스트레스로 인한 구성품의 열화가 시스템 고장의 주요 원인이 된다. 따라서 원샷 시스템에 대한 신뢰도 분석은 운용 신뢰성이 아니라 저장 신뢰성 측면으로 접근해야 한다. 예를 들어 유도무기의 신뢰성은 장기 보관 측면을 강조하여 탄약 저장신뢰성 평가(Ammunition Stockpile Reliability Program)로 취

급되었다[5].

원샷 시스템의 저장 신뢰성에 대한 기존 연구는 크게 세 가지로 분류할 수 있다. 1) 신뢰도 추정법 개발 연구, 2) 특정 무기체계에 대한 신뢰도 추정 프로시저 연구 그리고 3) 실험 조건에 따른 신뢰도 추정 변화 분석 연구. 원샷 시스템과 관련하여, 신뢰도 추정 정확성을 높이기 위한 신뢰도 추정법 개발에 대한 연구가 진행되어왔다[6].

최인상 외[7]는 서로 다른 특성을 지니고 있는 운용 시스템과 1회성 시스템의 신뢰도 분석 방법론을 고찰하고, 하위 시스템의 수명분포, 하위 시스템의 결합구조, 그리고 하위 시스템의 고장 이벤트를 기반으로 하는 1회성 시스템의 신뢰도 분석 기법을 개발하였다. 문병민 외[8]는 작은 샘플 크기의 원샷 디바이스에 대하여 저장 신뢰도를 추정하기 위하여 와이블 분포의 모수에 대한 감마 사전분포 기반의 베이지안 추정법을 제안하였다. 홍혜진 · 김경미[2]는 발사체를 신규 개발하는 경우 베이지안 기법을 이용하여 신뢰도를 추정하는 절차를 제안하였다. 제안하는 방법은 개발 경험을 고려하여 처음 두 번의 발사 자료를 이용하여 베타 사전분포를 결정하도록 하여 신규 개발하는 발사체의 신뢰도를 보다 타당하게 추정하도록 하였다.

비록 저장 신뢰성을 추정하기 위한 많은 이론적 연구가 있을 지라도, 각 무기체계의 특성이 모두 다르기 때문에 실제 무기체계에 적용하기 위해서는 특정 무기체계에 대한 추가적인 연구가 수행되어야 한다. 장일호 외[9]는 155MM 조명탄용 KM5771A1 신관의 고장 메커니즘을 분석하고, 이에 대해 가속열화시험을 실시하여 저장 수명을 예측하였다. 장일호 외[16]는 자색 연막수류탄(KM18)의 악작용 발생현황 및 원인

Table 1 Cases of reliability problems

No.	System(year)	Phenomenon	Main cause
1	K2(2009)	ROC error	Degradation of transmission clutch[10]
2	K1A1(2009)	Insufficient transmission durability	Insufficient strength of clutch[11]
3	Jangbogo- II(2009)	occurrence of noise	Relaxation of fix bolt[12]
4	K9(2010)	Steering system error	Insufficient hardness of coupling[10]
5	PKX-A(2010)	Transport system error	Fault of bucket[10]
6	K21(2010)	Flooding	Fault of trim van[10]
7	PVS-04K(2011)	Observation system error	Image intensifier tube error[13]
8	K21(2011)	ROC error	Low technical skills[14]
9	Red shark(2012)	Targeting system error	Fault of guidance and control system[15]

을 분석하였고, 이를 기반으로 열화분포모델을 적용함으로써 가속조건에서의 수명을 평가하였다. 그리고 이를 이용하여 항온항습 조건에서의 저장수명을 예측하였다. 윤근식·박상원[17]은 155MM 추진장약 KM4A2의 저장탄약신뢰성평가 시험 데이터를 분석하여 추진장약의 저장수명에 미치는 영향이 큰 결점을 약포의 강도로 결론지었고, 이를 중심으로 KM4A2의 저장 신뢰도를 산출하였다.

신뢰도 추정의 정확성은 방법론 뿐만 아니라 실험 조건에 의해서도 많은 영향을 받는다. 이에 대해, 류장희 외[18]는 원샷 시스템의 저장 신뢰도가 와이블 분포를 따른다고 가정하였고, 이에 대해 추출 샘플 수에 따른 신뢰도 추정법들(비모수 추정법, 모수 추정법, 베이저안 추정법)의 정확성을 비교, 분석하였다. 손영갑·류장희[19]는 다양한 신뢰도 추정법을 가부반응 데이터에 적용하여 신뢰도를 추정하고 각 추정법이 샘플 수 변화 및 샘플링 시점 수 변화에 따른 정확성의 민감도를 분석하였다. 이를 확장하여, 손영갑[20]은 샘플 수 및 샘플링 시점 수가 원샷 시스템에 대한 신뢰도 추정방법들의 정확성에 미치는 영향을 분석하였다. 그리고 다중비교 분석결과를 이용하여 다양한 신뢰도 추정법들에 대한 효율적인 샘플 수 및 샘플링 시점 수를 선정하는 방안을 제시하였다.

본 연구는 세 번째 연구 그룹에 속하며, 샘플링 시점이 저장 신뢰성 예측의 정확성에 미치는 영향을 분석하고자 한다. 신뢰도 예측의 정확성을 향상시키기 위한 가장 직관적인 방법은 샘플링 수와 샘플링 시점의 수를 증가시키는 방법이다. 비록 신뢰도 추정법에 따라 정도가 다르지만, 이 두 가지 변수를 일정 수준까지 증가시켰을 때 신뢰도 예측의 정확성이 올라간다는 사실은 이미 기존 연구에서 입증되었다[21]. 하지만, 현실적으로 원샷 시스템은 파괴 시험을 수행하여 실제 시료가 파괴되며 사용되는 시료가 고가이기 때문에 많은 비용을 지출해야하는 문제가 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해, 본 논문에서는 샘플링 시점이 신뢰도 추정의 정확성에 미치는 영향을 분석하고자 한다[22]. 비록 원샷 시스템의 저장 신뢰성 예측에 대한 많은 기존 연구들이 있지만, 대부분의 연구들이 전체 수명 기간 동안 균일한 샘플링 시점을 가정하거나, 샘플링 시점을 중요하게 고려하지 않았다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 와이블 분포의 특성과 계수형 데이터의 생성에 대해 다루고,

제3장에서는 실험 방법 및 결과를 보여준다. 마지막으로, 제4장에서는 결론을 맺는다.

## 2. 이론적 접근방법

신뢰성 분야에서 광범위하게 사용되는 수명확률분포는 지수 분포(Exponential distribution)와 와이블 분포(Weibull distribution)이다[23]. 지수 분포는 일정 고장률을 가정하고 있어 일정한 고장률을 가지는 시스템에는 적용이 쉽다. 하지만 원샷 시스템과 같이 저장 기간 동안의 열화 작용으로 인해 고장률이 증가하는 경우에는 1939년에 스웨덴의 과학자 와이블(W. Weibull)이 제안한 와이블 분포를 대부분 사용한다. 아래 식은 와이블 분포에 따른 고장함수 및 신뢰도함수를 나타낸 것이다.

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left( \frac{t}{\eta} \right)^{\beta}}$$

$$F(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt = 1 - e^{-\left( \frac{t}{\eta} \right)^{\beta}}$$

$$R(t) = 1 - F(t)$$

Fig. 1 Weibull reliability function

여기서  $\eta$ 는 와이블 분포의 척도모수(scale parameter)로써 분포의 척도에 관계되고,  $\beta$ 는 형상모수(shape parameter)이며  $\beta$ 에 따라서 분포의 형상이 결정된다[22].

<Fig. 1>에서 보여주듯이, 형상 모수가 1 이상인 와이블 분포는 개념적으로 크게 세 구역(section)으로 나눌 수 있다. 두 개의 곡선 구역과 한 개의 직선 구역. 곡선 구역으로 판단되는 1구역과 3구역은 2구역에 비해 기울기 변화율이 크다. 비록 직선 구역으로 판단되는 2구역은 신뢰도 감소가 빠르게 이루어지지만, 거의 일정한 간격으로 신뢰성이 감소하기 때문에, 신뢰성 변화에 대한 예측이 비교적 수월하다고 판단된다. 각각의 구역에 대해 신뢰도 곡선을 분리하여 추정하게 된다면, 이는 1구역과 3구역이 2구역에 비해 더 많은 샘플 자료를 필요로 하게 될 것이다. 반대로 말하면, 2구역에서는 다른 구역만큼 많은 샘플링을 수행할 필요가 없다는 것을 의미한다. 따라서, 본 논문에서는 2구역의 샘플링 시점을 과감하게 줄이고, 이것이 신뢰성 추정에 미치는 영향을 알아본다.

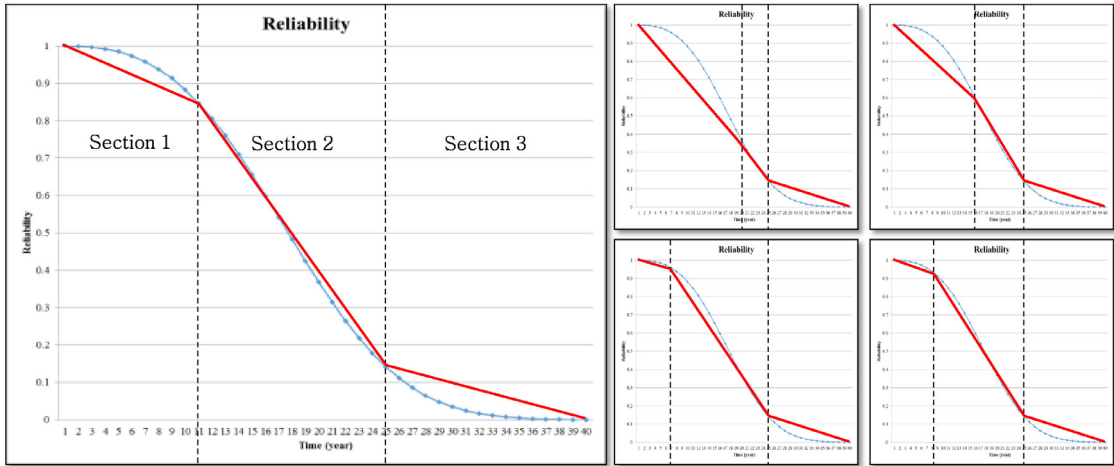


Fig. 2 Weibull distribution that consists of three area

<Fig. 3>의 와이블 분포의 또 다른 특징을 보여준다. 형상 모수가 3에서 5로 변경되었을 때, 1구역은 신뢰도가 높아졌고, 3구역은 낮아짐으로써 1구역과 3구역이 모두 변경되었다. 형상 모수가 7로 변경되었을 때도 마찬가지로의 결과를 보여준다. 결론적으로, 이것은 특정 모수에 대해서 1구역의 모양을 알면, 3구역의 모양도 알 수 있다는 것을 의미한다. 이것은 1구역이 정해지면 3구역은 자연스럽게 정해진다는 것을 의미한다. 다시 말해서 1구역의 샘플만으로도 와이블 분포의 모수를 추정할 수 있다는 것을 의미한다. 이를 통해, 우리는 와이블 분포 기반의 신뢰성 추정 수행 시 두 가지 사항을 고려할 수 있다.

- 가정 1: 와이블 분포는 크게 두 개의 곡선 구역과 한 개의 직선 구역으로 나눌 수 있으며, 직선 구역으로 판단되는 2구역은 다른 구역들에 비해 적은 샘플 자료로도 샘플링 추정의 정확성에 큰 영향을 미치지 않는다.
- 가정 2: 와이블 분포는 형상 모수의 변화에 따라 1구역과 3구역이 동시에 변화한다. 따라서 1구역의 샘플만으로도 신뢰도 추정의 정확성을 유지할 수 있다.

본 논문에서는 위 두 가지 가정을 검증함으로써 샘플링 시점이 신뢰도 추정의 정확성에 큰 영향을 미친다는 것을 보여주고자 한다.

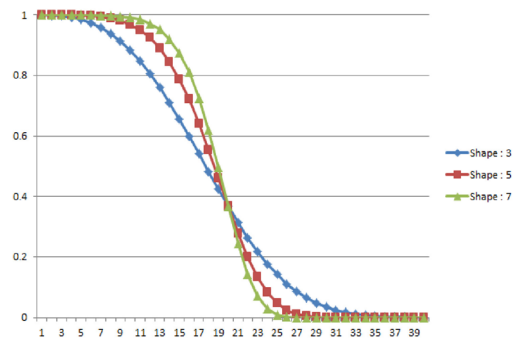


Fig. 3 Change of weibull distribution function based on shape parameter

### 3. 실험 계획 및 결과

이번 장에서는 샘플링 시점에 따른 신뢰도 추정 정확성의 영향에 대한 실험을 수행하기 위한 과정을 설명할 것이다. 제2장에서 설명한 와이블 분포의 신뢰성 추정에 대한 두 가지 가정을 검증하는 실험을 수행하였고, <Fig. 4>가 실험 방법을 보여준다. 실험은 총 세 단계로 구성된다. <Fig. 4 (a)>는 수명 전 주기에 걸쳐서 균일한 시점에 샘플링을 수행하여 신뢰도를 추정하는 실험이다. 앞서 언급했듯이, 신뢰도 추정에 대한 대부분의 기존연구들이 균일한 샘플링 시점을 가정하여 실험을 수행하였다. 이 실험을 통해 얻은 신뢰도 추정 정확성 결과는 샘플링 시점이 정확성에 미치는 영향을 판단하기 위한 기준이 될 것이다. 2단계

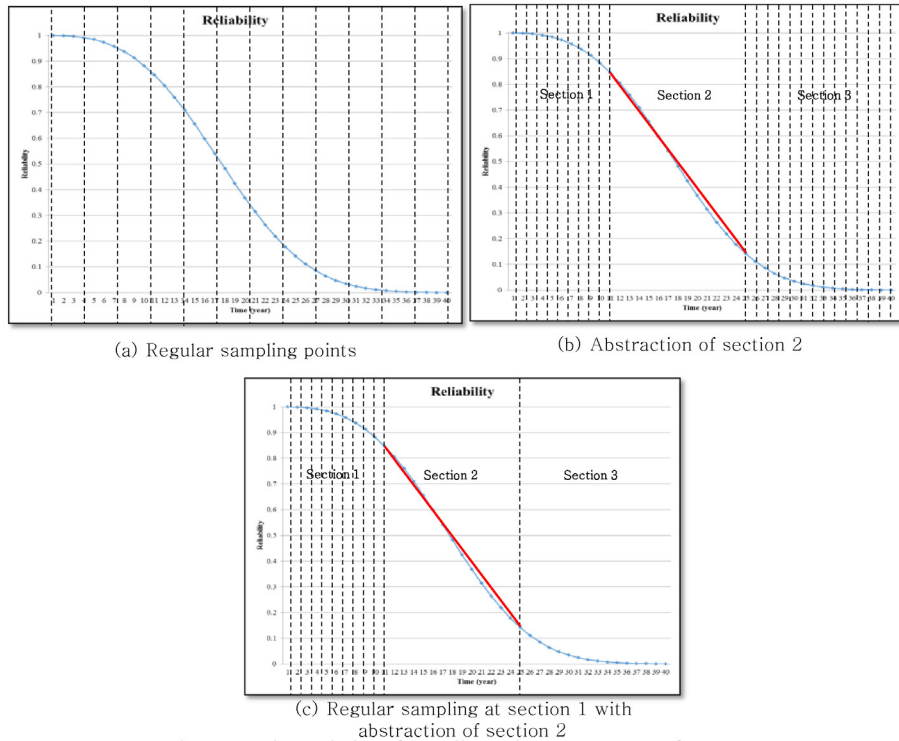


Fig. 4 Experimental plan of sampling points on accuracy of reliability estimation

실험에서는 가정 1에 대한 검증을 수행하기 위해, 2구역의 샘플링 시점에 해당하는 신뢰도 분포 구간을 직선으로 추상화하고, 1단계와 같은 샘플링 시점 수만큼 1구역과 3구역에서 샘플링을 수행하여 신뢰도를 추정한다. <Fig. 4 (b)> 가 2단계 실험 계획에 대한 내용을 보여준다. 마지막으로 3단계에서는 2단계로부터 3구역에 대한 샘플링 시점이 제외된 후에 신뢰도 추정이 수행된다. 이전 두 단계와는 달리, 샘플링 시점이 3단계 샘플링 시점만큼 감소되었다. 이 실험을 통해, 가정 2에 대한 검증을 수행할 수 있다.

### 3.1 가부 반응 데이터 모사

본 논문의 목적은 샘플링 시점이 와이블 분포의 신뢰도 추정 정확성에 미치는 영향을 알아보는 것이다. 실험을 위해 반드시 필요한 것이 고장 데이터이다. 실제 관찰 데이터를 사용할 수 없기 때문에, 우리는 가부반응 데이터를 모사하여 실험에 이용하였다[24]. 우리는 가부 반응 데이터를 모사하기 위해 Guikema가 제안한 참값 신뢰도 프로파일(profile) 방법을 변

Time (year)	Reliability	Count	Random Number	State
1	0.99988	1	0.75707	success
2	0.99900	2	0.40641	success
3	0.99663	3	0.99081	failure
4	0.99203	4	0.05019	success
5	0.98450	5	0.54259	success
6	0.97336	6	0.37888	success
7	0.95803	7	0.97024	failure
8	0.93800	8	0.43269	success
9	0.91290	9	0.08973	success
10	0.88250	10	0.27310	success
...	...	...	...	...
39	0.00060	999	0.53344	success
40	0.00034	1000	0.61697	success

Fig. 5 Generation of quantal-response data based on true reliability

형하여 이용하였다. 이는 참값 신뢰도 프로파일을 가정하고 이를 이용하여 각 시점별 추출 샘플 수에 따른 성공/실패 수로 가부 반응 데이터를 생성하는 방법이다. 샘플링 시점에서 정해진 샘플 수만큼 균일분포 (Uniform distribution)를 기반으로 난수를 발생시켜서 추출된 값이 샘플링 시점의 참값 신뢰도보다 작으면 양품, 그렇지 않으면 고장으로 판단한다. Guikema의 연구에서는 참값 신뢰도를 샘플링 시점이 증가할수록 일정하게 감소한다고 가정하였다. 하지만 제2장에서

언급하였듯이, 원샷 시스템의 고장은 자연적인 스트레스로 인하여 구성품이 열화되어 발생하기 때문에 고장시간은 와이블 분포를 따른다고 가정하였다. 따라서 신뢰도가 일정하게 감소하는 것이 아니고 와이블 분포의 형태로 감소하게 된다. 이를 고려하여 생성한 가부 반응 데이터는 <Fig. 5>와 같다.

각 시점에서의 신뢰성 값은 <Fig. 1>에서 언급한 와이블 분포식을 이용하여 계산할 수 있다. 와이블 분포의 척도 모수와 형상 모수는 각각 20과 3으로 가정하였다. 각 시점에서의 샘플링은 균일분포  $U(0, 1)$ 를 기반으로 1,000개씩 추출되었다. <Fig. 5>의 참값 신뢰도에서 볼 수 있듯이, 약 40년이 되면 신뢰도가 거의 0에 근접하기 때문에 해당 예제의 수명은 약 40년이라고 볼 수 있다.

### 3.2 신뢰도 추정 및 결과 분석

<Fig. 6>에서 볼 수 있듯이, 2단계와 3단계에서는 1구역의 범위를 결정하는  $t_1$ 을 일정 기간 단위만큼 줄여나가면서 샘플링 시점을 결정하고, 이를 통해 가부 반응 데이터를 모사하고, 모수 추정법(parametric estimation method)을 이용하여 신뢰도를 추정하였다.

모수 추정법은 수명분포를 가정하고, 수명분포 특성을 나타내는 모수와 각 시점에서의 성공/실패 수의 함수로 표현된 우도함수(likelihood function)를 최적화하여 모수를 추정함으로써 신뢰도를 추정하는 방법이다.

각 단계에서 샘플링 시점 간격이 변하더라도 샘플링 시점 수는 모두 같다. 따라서 1단계와는 달리 2단계와 3단계에서는 곡선 구역에 대한 더 많은 샘플 데이터를 획득할 수 있다. 본 논문에서는 평균제곱오차합(Sum of Squared Error, SSE)을 이용하여 신뢰도 추정 정확성을 비교하였다. 평균제곱오차합이 작을수록 신뢰도 추정에 대한 정확도가 높다는 것을 의미하며, 샘플링 시점 수( $T$ ), 참값 신뢰도( $R(t_i)$ ), 추정된 신뢰도( $\hat{R}(t_i)$ )를 이용하여 식 (1) 같이 계산할 수 있다.

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

<Fig. 7> 실험결과에서 보여주듯이, 1단계에서는  $t_1$ 의 변화를 고려하지 않고 전 수명 구간에서 균일한 샘플링 시점을 기반으로 신뢰도를 수정하였기 때문에,

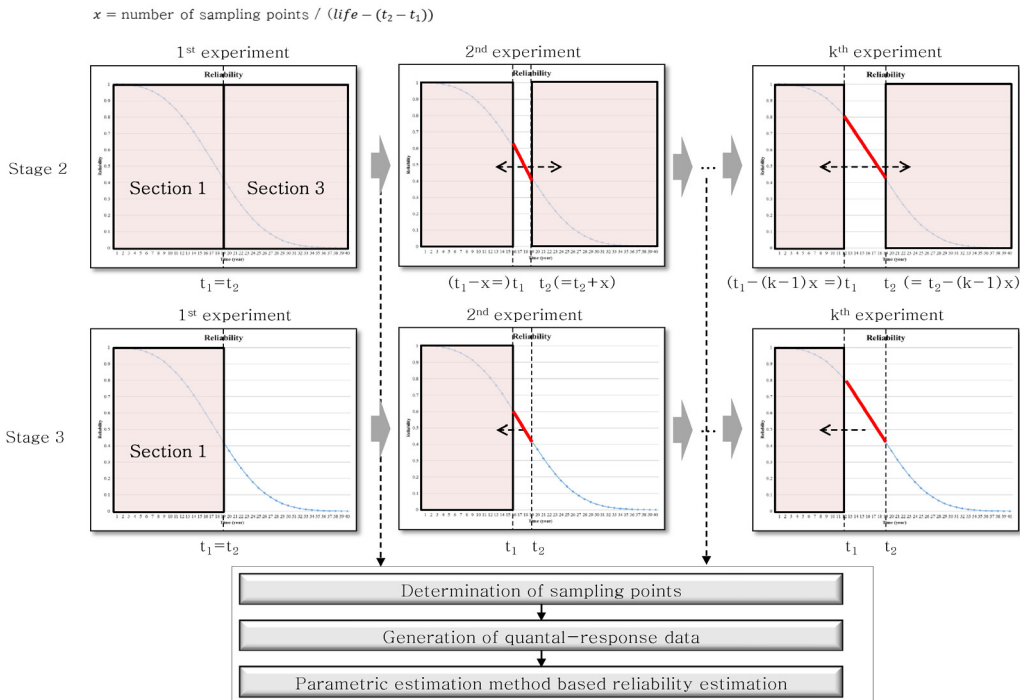


Fig. 6 Experimental plan for second and third stages

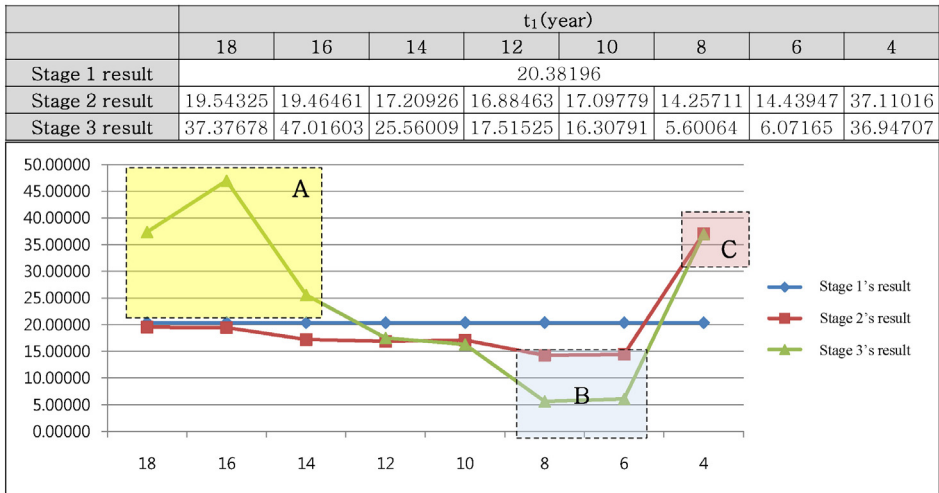


Fig. 7 Experimental result

$t_1$ 과 관계없이 같은 신뢰도 추정값이 일정하다. 1단계의 신뢰도 추정값과 비교하였을 때, 2, 3단계의 실험 결과를 보면 세 가지 특징 구역이 나타난다. A구간은 3단계의 실험 결과의 일부이며, 1단계 결과보다 높은 평균 계급 오차함을 나타낸다.  $t_1$ 이 18에서 14로 감소하면서 1구역에 대한 샘플링 시점 간격이 줄어들어 곡선구역에 대한 정확도가 올라가는 것을 기대하였지만, 아직까지는 시점 간격이 충분히 줄어들지 않았기 때문에 신뢰도 추정 정확도가 1단계 결과보다 떨어졌다. 게다가 3단계 실험은 1, 2단계에서 보다 적은 샘플링 시점 수를 기반으로 신뢰도 추정을 수행한 것이 A구간과 같은 악영향을 초래하였다. 하지만 3단계 실험 결과 그래프는  $t_1(16)$  시점을 기점으로 신뢰도 추정 정확도가 높아지는 것을 보여준다. 2, 3단계의 실험 결과는  $t_1$ 이 감소하면서 신뢰도 추정 정확도가 지속적으로 높아지다가 B구간에서 가장 높은 정확도를 보여준다. B구간에서 2단계의 신뢰도 추정 정확도가 1단계 결과보다 높다는 것은 와이블 분포의 직선구역으로 표현되는 2구역에서의 샘플링보다는 곡선구역인 1, 3구역에서의 샘플링 데이터가 전체 신뢰성 추정 정확도에 더 높은 영향력을 가진다는 것을 의미한다. 또한, 3단계의 신뢰도 추정 정확도가 1단계 결과보다 높다는 것은 샘플링 시점 수가 감소하더라도 1구역에서의 샘플링 시점 간격을 줄어든게 하여 더 많은 데이터를 획득하는 것이 전체 구간에 대해서 샘플링을 하는 것보다 정확도를 더 향상시킬 수 있다는 것을 보여준다. 그리고, 2단계 실험보다 더 좋은 것은 샘플링 시점 간

격이 상대적으로 넓은 3구역의 데이터가 신뢰도 추정에 있어서 악영향을 미칠 수 있다는 것을 의미한다. 하지만 1구역에 대한 범위가 과도하게 줄어들게 되면 2구역을 직선구역으로 표현하는데 있어서 한계점이 존재한다. 그렇기 때문에 1구역에 대한 과도한 범위 감소 작업은 신뢰도 정확도를 낮추게 되고, C구간이 그 사례를 보여준다.

#### 4. 결 론

신뢰도 예측의 정확성을 향상시키기 위한 가장 직관적인 방법은 샘플링 수와 샘플링 시점의 수를 증가시키는 방법이다. 비록 신뢰도 추정법에 따라 정도가 다르지만, 이 두 가지 변수를 일정 수준까지 증가시켰을 때 신뢰도 예측의 정확성이 올라간다는 사실은 이미 기존 연구에서 입증되었다. 하지만 이러한 접근방법은 고비용을 필요로 하는 윈샷 시스템이 경우에는 샘플링 시점을 증가시키는 방법을 적용하기가 현실적으로 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위해, 본 논문에서는 샘플링 시점의 조절에 의한 윈샷 시스템의 저장 신뢰도 추정 정확도의 향상에 대해 언급하였고, 이를 증명하기 위한 실험을 수행하였다.

윈샷 시스템과 같이 저장 기간 동안의 열화 작용으로 인해 고장률이 증가하는 경우에는 주로 와이블 분포를 가정하여 신뢰도 분포를 추정한다. 본 논문에서는 와이블 분포에 대한 두 가지 특징을 언급하였다.

첫째로, 와이블 분포는 두 개의 곡선구역과 한 개의 직선구역으로 구성되고, 둘째로 와이블 분포는 형상 모수의 변화와 같이 두 개의 곡선구역이 동시에 변화한다는 것이다. 이 두 가지 특징을 기반으로 총 세 단계의 실험을 수행하였다. 1단계에서는 기존 연구들과 같이 수명 전 주기 동안 균일한 분포의 샘플링 주기를 기반으로 신뢰도를 추정하였다. 2단계에서는 직선구역인 2구역의 샘플링을 제외하였으며, 그 수만큼 나머지 두 곡선구역에서의 샘플링 시점을 추가하여 신뢰도를 추정하였다. 우리는 2단계의 실험을 통해 2구역의 샘플링 데이터가 신뢰도 추정의 정확성에 큰 영향을 미치지 않으며, 곡선 구역에 대한 샘플링 시점 간격을 줄이는 것이 신뢰도 추정의 정확성을 더 향상시킬 수 있다는 것을 보여주었다. 3단계에서는 2단계로부터 3구역의 샘플링 데이터를 제외하였다. 3단계의 실험을 통해 3구역의 샘플링 데이터를 제거하여 전체 샘플링 시점 수를 감소시키더라도, 1구역의 샘플링 시점 간격을 줄이면 신뢰도 추정의 정확성을 향상시킬 수 있다는 것을 보여주었다.

## References

- [1] Seok, C. C. and Son, M. K. (2008). "A Study on the Improvement for RAM for Weapon Systems". *Journal of the Applied Reliability*, Vol. 8, No. 1, pp. 39-59.
- [2] Hong, H. J. and Kim, K. M. (2014). "Bayesian Reliability Estimation of a New Expendable Launch Vehicle". *Journal of the Korean Society for Quality Management*, Vol. 42, No. 2, pp. 199-208.
- [3] Park, J. W. (2014). "Reliability Test Guideline for the Principal Parts of Weapon Systems". *Proceedings of The Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. 2014, No. 2, p. 9.
- [4] Kim, S. K. et al. (2011). "A Study on the Reliability Analysis of Anti-ship missile using Field Data". *The Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, Vol. 6, No. 6, pp. 991-997.
- [5] Kim, D. K., Kang, W. S. and Kang, S. J. (2013) "A Study on the Storage Reliability Determination Model for One-shot System". *Journal of the Korean Operations Research and Management Science Society*, Vol. 38, No. 1, pp. 1-13.
- [6] Jang, H. J. and Son, Y. K. (2011). "Development of a reliability estimation method for one-shot systems". *Proceedings of The Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. 2011, No. 5, pp. 101-107.
- [7] Choi, I. S., Cheon, L. M., Back, S. J. and Son, Y. K. (2009). "Comparison Study of Operating System and One-shot System for Reliability Analysis Methodology". *Proceedings of The Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol. 2009, No. 5, pp. 981-985.
- [8] Mun, B. M., Sun, E. J. and Bae, S. J. (2013). "Bayesian Reliability Estimation for Small Sample-Sized One-shot Devices". *Journal of the Applied Reliability*, Vol. 13, No. 2, pp. 99-107.
- [9] Chang, I. H. et al. (2010). "Storage lifetime estimation of detonator in Fuse MTSQ KM577A1". *Journal of the Korean Society for Quality Management*, Vol. 38, No. 4, pp. 504-511.
- [10] Lee, Y. H. (2015). "A study on the formation process in defense weapon systems test and evaluation policy". Kwangwoon University.
- [11] YTN. (2010). [http://www.ytn.co.kr/search/search\\_view.php?s\\_mcd=0101&key=201009072331172556](http://www.ytn.co.kr/search/search_view.php?s_mcd=0101&key=201009072331172556).
- [12] The Asia Economy Daily. (2011). <http://www.asiae.co.kr/news/view.htm?idxno=2011051808505200483>.
- [13] The Munhwa Ilbo. (2012). <http://media.daum.net/society/others/view.html?cateid=1067&newsid=20120824121106876&p=munhwa>.
- [14] Kim, S. Y. and Son, J. S. (2012). "A study on the localization policy of defense R&D projects". *Proceedings of Institute of Control, Robotics and Systems*, Vol. 2012, No. 7, pp. 287-296.
- [15] The JoongAng Ilbo. (2012). <http://news.joins.com/article/9207000>.
- [16] Chang, I. H., Hong, S. H., Jang, H. J. and Son, Y. K. (2012). "Storage Life Evaluation of a Violet Smoke Hand Grenade(KM18) using Degradation Data". *Journal of the KIMST*, Vol. 15, No. 2, pp. 215-223.
- [17] Yoon, K. S. and Park, S. W. (2014). "A Study on the Estimation of Shelf-life for 155mm propelling charge KM4A2 using ASRP's data". *Journal of the Korean Society for Quality Management*, Vol. 42, No. 3, pp.



- 291-299.
- [18] Ryu, J. H., Back, S. J. and Son, Y. K. (2010). "Comparison of Reliability Estimation Methods for Ammunition Systems with Quantal-response Data". *Journal of the KIMST*, Vol. 13, No. 6, pp. 982-989.
- [19] Son, Y. K. and Ryu, J. H. (2011). "Sensitivity analysis of reliability estimation methods for attribute data to sample size and sampling points of time". *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 12, No. 2, pp. 581-587.
- [20] Son, Y. K. (2012). "Effect Analysis of Sample Size and Sampling Periods on Accuracy of Reliability Estimation Methods for One-shot Systems using Multiple Comparisons". *Journal of the KIMST*, Vol. 15, No. 4, pp. 435-441.
- [21] Choi, K. T., Lee, S. Y., Lee, H. M., Kim, S. W. and Jeong, H. M. (2012). "Enhancing the Efficiency and Reliability for M&S based Test and Evaluation System Development". *Journal of the Korea society for simulation*, Vol. 21, No. 1, pp. 89-96.
- [22] Park, J. W. (2015). "The Action of the Reliability Enhancement in Test and Evaluation of the Weapon Systems". *Journal of the Applied Reliability*, Vol. 15, No. 2, pp. 108-123.
- [23] Kim, G. S. and Seo, S. G. (1994). "Development of Reliability Acceptance Sampling Plans for Exponential Lifetime Distribution under Periodic Inspection and Type I censoring". *Proceedings of The Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol. 1994, No. 4, pp. 372-372.
- [24] Kim, K. C., Kim, Y. H., Shin, J. H. and Han, K. J. (2011). "A Case Study on Application for Software Reliability Model to Improve Reliability of the Weapon System", *Journal of KIISE*, Vol. 38, No. 8, pp. 405-418.