

무고장 시험 기반의 무기체계 신뢰성 시험 적용 방안

서양우*, 전동주, 김소정, 김용근
LIG넥스원 PGM IPS연구소

Application of Reliability Testing for Weapon System based on Zero Failure Test

Yang-Woo Seo*, Dong-Ju Jeon, So-Jung Kim, Yong-Geun Kim
Precision Guided Munition Integrated Product Support R&D Lab, LIG Nex1

요약 신뢰성 시험은 일정 및 비용의 제약사항에 따라 충분한 신뢰성 시험을 수행하는 것이 매우 어렵다. 이에 따라, 사업 착수 이전에 세부 신뢰성 시험 예산을 포함시켜 신뢰성 시험 업무를 수행해야 한다. 본 논문은 무기체계의 무고장 시험 기반의 신뢰성 시험 적용 방안을 제시하였다. 우선, 무기체계의 무고장 시험 기반의 신뢰성 시험 시료 수 결정을 위한 절차를 제시한 후 사례분석을 수행하였다. 또한, 고장률 값에 따른 신뢰성 시험 시료 수의 영향성을 분석하여 고장률 값 구간에 따른 신뢰성 시험 시료 수를 제시하였다. 본 논문의 결과는 무기체계의 체계개발 수행 시 이해관계자들이 신뢰성 시험 예산 반영을 위한 근거자료로 활용 가능하며, 강건한 무기체계 설계로 운용유지비용 절감을 기대할 수 있다.

Abstract Performing sufficient reliability testing on schedule and within cost constraints can be very challenging. Accordingly, reliability testing should be carried out by including a detailed reliability test budget prior to the commencement of a project. This paper presents a method for applying a reliability test based on a zero failure test of a weapon system. First, a case analysis was conducted after presenting a procedure for determining the number of reliability test samples based on the zero failure test of the weapon system. The influence of the number of reliability test samples according to the failure rate value was analyzed, and then, the number of reliability test samples according to the failure rate value range was presented. The results of this paper can be used by stakeholders as evidence to reflect the budget for reliability testing when establishing a system for engineering development, and they are expected to reduce operation and support costs by designing a robust weapon system.

Keywords : Reliability Testing, Reliability, Test Samples, Zero Failure Test, Failure Rate

1. 서론

신뢰성이란 주어진 조건 하에서 주어진 기간 동안 요구된 기능을 수행할 수 있는 확률이다[1]. 신뢰성은 확률적 사고를 기반으로 정량화 작업이 이루어지기 때문에 비용에 초점이 맞춰질 수밖에 없다.

즉, 미래 시점에서의 품질을 현재 상태에서 정량화하는 것이다. 따라서, 시스템의 설계가 신뢰성 요구 사항을

만족하는지 실증하기 위해서 실제 현업에서 신뢰성 시험을 수행하고 있다. 신뢰성 시험은 시간적, 경제적 제약사항으로 인해 필요한 시험을 수행하는 것이 매우 어렵다.

또한, 신뢰성 시험을 위한 시험 대상 및 시료 수를 선정하는 것이 사업 예산에 상당한 영향을 미치기 때문에 사업 착수 이전에 신뢰성 시험 예산을 사전에 결정해야 한다. 신뢰도 프로그램은 300업무를 수행하여 효과적인 신뢰성 시험 업무를 수행하라고 되어 있다[2]. 이를 기반

*Corresponding Author : Yang-Woo Seo(LIG Nex1)

email: yangwoo.seo2@lignex1.com

Received March 22, 2023

Accepted May 12, 2023

Revised April 24, 2023

Published May 31, 2023

2.1.2 정수 중단 시험

정수 중단 시험은 n개의 표본을 정해진 수(r)의 고장이 발생할 때까지 시험하고, 시험 종료시점에서 평균수명의 추정치가 합격판정시간 C보다 크면 합격 시키는 방법이다. 결정변수로는 고장 개수(r)와 합격판정 시간(C)이 해당된다. 표본의 크기와 합격판정 개수의 결정은 θ_1/θ_0 과 α , β 에 대응하는 r과 C/θ_0 값을 찾는다.

2.1.3 축차 시험

축차 시험은 시험 종료 시점이 미리 정해져 있지 않은 시험으로 합격/불합격 판정을 내리기 위해서 일정 개수의 고장이 발생할 때까지 또는 정해진 시간까지 시험을 하지 않는 방법이다. 결정변수로는 합격 판정선($r=a+bt$), 불합격 판정선($r=a+ct$), 정수중단 개수(r) 및 정시중단 시점(T)이 해당된다. 표본의 크기와 합격판정 개수의 결정은 θ_1/θ_0 과 α , β 에 대응하는 r과 C/θ_0 값을 찾는다.

2.1.4 고장률 보증 시험

고장률 보증하기 위한 정시 중단 시험을 제시하고 있다[16]. 고장률 보증 시험은 n개의 표본을 t_0 시간동안 시험을 실시하고, 고장이 r개 이하이면 평균수명을 신뢰수준 $100(1-\alpha)$ 로 입증하는 방법이다. 이 시험은 소비자에 대한 보호만을 고려하는 것이 특징이다. 결정변수로는 표본의 크기(n) 또는 시험기간(t_0)에 해당된다. 표본의 크기와 합격판정 개수의 결정은 지수분포를 따르는 우발고장에서 총 시험시간이 같으면, 같은 정도로 신뢰성을 보증할 수 있다. 또한, 가속계수를 알고 있는 경우 가속계수에 반비례하여 표본 수와 시험시간을 줄일 수 있다.

시험 결과가 합격 또는 불합격과 같이 2가지 가능한 결과만을 갖을 때 이항분포를 따른다. 신뢰성 시험은 시험 수행 결과를 합격 또는 불합격으로 처리할 수 있으므로 아래 Eq. (1)과 같다[17].

$$C = 1 - \sum_{i=0}^k \frac{N!}{i!(N-i)!} R^{N-i} (1-R)^i \quad (1)$$

Where, R denotes unknown reliability, C denotes confidence level, N denotes total number of test samples, k denotes number of failed item

Eq. (1)에서 만약에 고장이 발생하지 않는 $k=0$ 인 경우는 Eq. (2)와 같다.

$$C = 1 - R^N \quad (2)$$

Eq. (2)에서 시험 표본 크기 N을 정리하면 Eq. (3)과 같다.

$$\begin{aligned} R^N &= 1 - C \\ \ln R^N &= \ln(1 - C) \\ N &= \frac{\ln(1 - C)}{\ln R} \end{aligned} \quad (3)$$

Eq. (3)에서 $R(t) = e^{-\lambda t}$ 를 적용하면 N은 Eq. (4)와 같이 정리할 수 있다.

$$N = \frac{\ln(1 - C)}{\ln R} = \frac{\ln(1 - C)}{\ln e^{-\lambda t}} = \frac{\ln(1 - C)}{-\lambda t} \quad (4)$$

2.2 가속 계수

2.2.1 아레니우스 모델

가속계수는 기준조건의 수명과 가속조건의 수명의 비이다. 수명을 가속할 수 있는 대표적인 스트레스가 온도이다. 가속 수명시험의 가속 스트레스로 온도를 선정하여 시험을 진행하는 경우 통상적으로 수명-스트레스 관계식으로 아레니우스 모델 Eq. (5)를 적용하여 산출할 수 있다[18].

$$AF = \exp\left[\frac{E_a}{k} \left[\frac{1}{T_{Field}} - \frac{1}{T_{Test}} \right] \right] \quad (5)$$

Where, E_a denotes activation energy for the process, k denotes 8.62×10^{-5} eV/K(Boltzmann constant), T_{Field} denotes absolute Kelvin temperature at field, T_{Test} denotes absolute Kelvin temperature at test

2.2.2 활성화 에너지

아레니우스 모델에서 가속계수는 활성화 에너지(E_a)에 의해 결정되어진다. Table 1은 고장 메커니즘에 따른 활성화 에너지 값을 제시하고 있다[17].

Table 1. Activation Energy Values for Different Failure Mechanisms

Failure Mechanism	Activation Energy, E_a (eV)
Gate oxide defect	0.3~0.5
Bulk silicon defects	0.3~0.5
Silicon junction defect	0.6~0.8
Metalization defect	0.5
Au-Al inter-metallic growth	1.05
Electro-migration	0.6~0.9
Metal corrosion	0.45~0.7
Assembly defects	0.5~0.7
Bond related	1.0
Wafer fabrication(chemical contamination)	0.8~1.1
Wafer fabrication(silicon/crystal defects)	0.5~0.6
Dielectric breakdown, field > 0.04 micron thick	0.3
Dielectric breakdown, field ≤ 0.04 micron thick	0.7
Adhesive tack: bonding-debonding	0.65~1.0

2.3 신뢰성 시험 시료 수 산출 절차 제안

신뢰성 시험 입증 설계 시 표본 크기, 허용 고장 수, 시험시간을 설정하는 것이다. 신뢰성 시험 입증은 주어진 기간 동안 주어진 시료 수에 대하여 허용 고장 수를 정한 뒤 시험하는 것으로 주어진 시험 기간 내 허용 고장 수 이하가 발생하면 신뢰성 기준을 만족한 것으로 판단하고 시험을 종료하게 된다. 본 논문은 신뢰성 시험 입증

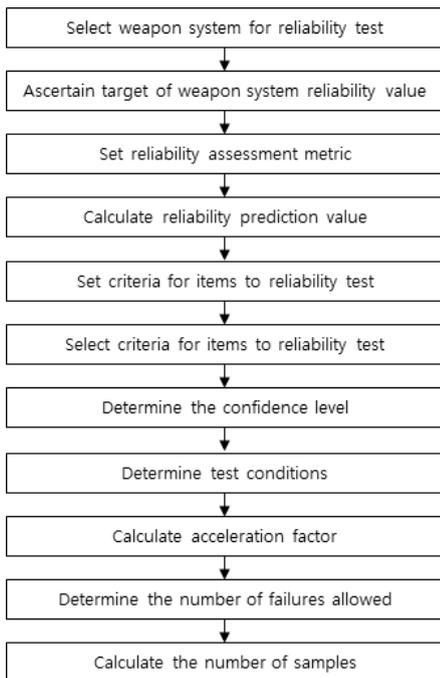


Fig. 2. Procedure for calculating the number of reliability test samples

설계 시 무고장 시험 기반의 신뢰도 목표 값을 만족하기 위한 필요한 적정 표본 크기를 설정하는 것이 목적이며, 이에 따라 Fig. 2의 절차를 제시한다. 신뢰도 목표 값 기반의 신뢰성 평가 척도를 설정한 후, 신뢰성 시험을 위한 신뢰수준, 시험조건, 가속계수 및 허용고장 수를 결정하여 시료 수 산출하는 순서를 따른다.

2.4 신뢰성 시험 시료 수 설계 및 결과

무고장 보증 방법을 제시하기 전에 가정 사항을 다음과 같이 설정하였다.

2.4.1 가정 사항

무고장 보증 방법은 신뢰수준에 따른 신뢰도를 보증하기 위해 필요한 시료 수를 산정하는 방법이다. 이는 목표 시간까지 시험하여 고장이 한 번도 발생하지 않으면 목표 신뢰도를 만족한다고 판정한다.

첫째, 신뢰성 시험 품목의 고장시간은 지수분포를 따른다.

둘째, 활성화 에너지는 일렉트로마이그레이션 기준에서의 최대 값인 0.9eV로 설정한다[17].

셋째, 고장 메커니즘을 가속하는 인자를 고온으로 설정[18]하고, 가속수명시험에 따른 수명-스트레스 관계식으로 아레니우스 모델을 적용한다.

넷째, 정상조건인 운용온도는 25℃, 가속조건인 시험 온도는 75℃이다.

2.4.2 신뢰성 시험 시료 수 선정 프로세스

- 가. 000 유도탄을 신뢰성 시험 대상 무기체계로 선정하였다. 분석 대상은 보안을 고려하여 000 무기체계로 기술하였다.
- 나. 000 무기체계의 신뢰도 목표 값은 MTBF 0, 000 시간 이상이다.
- 다. 000 무기체계의 신뢰도 목표 값에 따른 신뢰성 평가 척도는 MTBF로 설정하였다.
- 라. 000 무기체계의 레벨 4수준의 품목을 나열한 핵심 부품 및 구성품의 고장률은 Table 2와 같다. 고장률의 단위는 통상 10⁶시간당 횟수를 적용하였다. MTBF는 지수분포로 가정할 때 고장률과 역수 관계가 있다.
- 마. 신뢰성 시험 대상 품목 선정은 아래 기준을 모두 적용되는 품목에 대하여 설정하였다.

Table 2. Failure Rate of OOO Weapon System

Components	Failure Rate (failures/10 ⁶ hr)	MTBF (hr)
A Assembly	1.92	520,833
B Assembly	0.20	5,000,000
C Assembly	2.02	495,050
D Assembly	0.61	1,639,344
E Assembly	2.57	389,105
F Assembly	3.49	286,533
G Assembly	30.00	33,333
H Assembly	0.50	2,000,000
I Assembly	22.78	43,898
J Assembly	8.31	120,337
K Assembly	1.24	806,452
L Assembly	4.40	227,273
M Assembly	11.73	85,251

첫째, 고장 발생 시 치명도 2이상인 품목
 둘째, 신규로 국산화 개발하는 품목
 셋째, 필수임무 수행 기능이면서 임무수행 불가시 시스템 중단이 요구되는 품목

바. 위 기준을 적용하여 신뢰성 시험 대상 품목을 선정한 결과는 Table 3과 같이 A, B, C, D 및 G 조립체 5품목을 선정하였다.

Table 3. Selection of Items related to Reliability Test

Assembly	Severity Code	Domestic Development	Essential Mission Function	System Abort
A	2	√	√	√
B	2	√	√	√
C	2	√	√	√
D	2	√	√	√
E	2	√	√	
F	2	√	√	
G	2	√	√	√
H	3	√		
I	2	√	√	
J	2	√	√	
K	3	√		
L	3	√	√	
M	3	√		

사. 신뢰수준은 무기체계의 신뢰성 시험 신뢰수준을 60, 70, 80 및 90%로 설정하였다[19].

아. 시험조건은 가정 사항에 따라 정상조건인 운용온도는 25℃, 가속조건인 시험온도는 75℃로 설정하였다.

자. 가속계수는 기준조건인 수명과 가속조건인 수명의 비이다. 수명을 가속할 수 있는 대표적인 스트레스가 온도이다. 온도의 가속성은 아레니우스 모델을 따른다. 가속계수를 산출하기 위해서는 아레니우스 모델을 적용하여 가속계수를 도출하였다. 정상조건인 운용온도 25℃, 가속조건인 시험온도 75℃에서 E_a = 0.9eV를 적용하여 가속계수를 추정하면 Table 4와 같다.

Table 4. Estimated Acceleration Factor using Arrhenius Model

E _a (eV)	Boltzmann constant (eV/K)	Operating Temperature(K)	Testing Temperature(K)	Acceleration Factor
0.9	8.62 × 10 ⁻⁵	298.16	348.16	152.7719456

Eq. (5)에 E_a = 0.9eV, k = 8.62 × 10⁻⁵eV/K, 정상조건인 절대온도 T_{Field} = 273 + 25 = 298.16K, 가속조건인 절대온도 T_{Test} = 273 + 75 = 348.16K를 적용하여 가속계수(AF : Acceleration Factor)를 추정하면 152.7719456을 산출할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 AF &= \exp\left[\frac{E_a}{k} \left[\frac{1}{T_{Field}} - \frac{1}{T_{Test}}\right]\right] \\
 &= \exp\left[\frac{0.9}{0.0000862} \left[\frac{1}{298.16} - \frac{1}{348.16}\right]\right] \\
 &= 152.7719456
 \end{aligned}$$

따라서, 활성화 에너지, 시험 온도 설정에 따라 가속계수를 추정가능하다.

차. 허용 고장 수는 가정 사항에 따라 무고장 시험 기반임에 따라 0으로 설정하였다. 신뢰성 시험 수행 시 최소 비용을 적용하려면 시제 수량이 적어야 되기 때문에 무고장 시험이 가능한 시제 수량을 결정하였다.

카. 고장 시간을 신뢰성 척도로 적용 시 가속계수 관계식은 Eq. (6)과 같다. t_{Field}는 정상조건인 운용시간, t_{Test}는 가속수명의 시험시간에 해당된다.

$$t_{Field} = t_{Test} \times AF \tag{6}$$

Eq. (6)을 Eq. (4)에 적용하면, 신뢰성 시험 시제 수량을 결정하는 Eq. (7)을 도출할 수 있다. Eq. (6)에서 t_{Field} 로 $t_{Test} \times AF$ 로 대체하여 식을 재정리할 수 있다.

$$N = \frac{\ln(1 - C)}{-\lambda t} = \frac{\ln(1 - C)}{-\lambda t_{Test} AF} \tag{7}$$

따라서, 시료 수량 결정을 위한 어뢰기만 송신장치의 신뢰성 입증 시험 시료 수량은 Table 5와 같다. 고장률이 작은 경우 신뢰성 시험은 시간 및 비용이 상당히 커질 수밖에 없다. 즉, 평균수명이 길면 장시간의 시험을 수행하는 것이 현실적으로 어렵기 때문에 가속시험이 필요하다.

활성화 에너지 값이 0.9eV일 때 가속계수는 152.7719456을 적용하였다. 시험시간은 1달을 24시간 30일 기준으로 720시간을 적용하였다. 시험기간은 1달, 2달, 3달 및 6달로 설정하였다. 위 기준에 따른 신뢰수준 60, 70, 80 및 90% 별로 신뢰성 시험 시료 수 산정을 수행하였다. 예를 들어, 활성화 에너지 0.9eV, 신뢰수준 60%, 시험시간 720시간, 고장률 1.92회/10⁶시간인 경우 신뢰성 시험 시료 수를 산출하면, 시료 수는 4.3개이며, 올림하여 반영한 결과로 5개가 된다.

$$N = \frac{\ln(1 - C)}{-\lambda t AF}$$

$$= \frac{\ln(1 - 0.9)}{-1.92 \times 10^{-6} \times 720 \times 152.7719456}$$

$$= 4.3$$

시료 수량 결정을 위한 신뢰수준에 따른 조립체별 신뢰성 입증 시험 시료 수량을 산출한 결과는 Table 5와 같다. 예를 들어, 11개의 A 조립체로 720시간 시험하여 고장 발생이 없으면, 신뢰수준 90%로 고장률 1.92회/10⁶시간을 보증한다고 할 수 있다.

위와 같이 산출된 각 장치마다의 시료 수를 결정함에 있어서 관련 이해관계자들과 협의 및 절충이 필요하다. 방위산업사업을 고려한 신뢰수준을 표준 60%로 설정 [19] 시 시험시간 1달(720시간), 활성화 에너지 0.9eV일 때 신뢰성 시험 시료 수는 A 조립체는 5개, B 조립체는 42개, C 조립체는 5개, D 조립체는 14개 및 G 조립체는 1개가 필요한 것으로 산출되었다.

Table 5. Reliability Test Quantity by Assembly

Assembly	Ea (eV)	Testing Time (hr)	The Numbers of Samples to the Confidence Level			
			60%	70%	80%	90%
A	0.9	720	5	6	8	11
		1,440	3	3	4	6
		2,160	2	2	3	4
		4,320	1	1	2	2
B	0.9	720	42	55	74	105
		1,440	21	28	37	53
		2,160	14	19	25	35
		4,320	7	10	13	18
C	0.9	720	5	6	8	11
		1,440	3	3	4	6
		2,160	2	2	3	4
		4,320	1	1	2	2
D	0.9	720	14	18	24	35
		1,440	7	9	12	18
		2,160	5	6	8	12
		4,320	3	3	4	6
G	0.9	720	1	1	1	1
		1,440	1	1	1	1
		2,160	1	1	1	1
		4,320	1	1	1	1

2.5 고장률 값에 따른 영향성 분석

2.5.1 일정 제약이 있는 경우 시료 수 결정

고장률 값에 따라 시료 수량이 변동이 차이가 크며, 이는 시험예산과 직결이 된다. 이에 따라, 고장률 값 구간을 설정하여 신뢰성 시험 시료 수 산정을 수행하였다. 고장률 구간을 0.5이하, 0.6 ~ 1, 2 ~ 5, 6 ~ 10, 11 ~ 20 및 20이상으로 구간을 설정하였다. 신뢰수준 표준 60%, 정상조건인 운용온도 25℃, 가속조건인 시험온도 75℃에서 $E_a = 0.9\text{eV}$ 를 적용, 시험시간은 1달, 2달, 3달 및 6달로 설정하여 분석한 결과는 Table 6과 같다.

Table 6. Reliability Test Quantity to Scope of Failure Rate($E_a = 0.9\text{eV}$)

Failure Rate (failures/10 ⁶ hr)	Ea (eV)	Testing Time (hr)	The Numbers of Samples to the Confidence Level			
			60%	70%	80%	90%
0≤0.5	0.9	720	17	22	30	42
		1,440	9	11	15	21
		2,160	6	8	10	14
		4,320	3	4	5	7
0.6~1	0.9	720	9	11	15	21
		1,440	5	6	8	11
		2,160	3	4	5	7
		4,320	2	2	3	4

2~5	0.9	720	2	3	3	5
		1,440	1	2	2	3
		2,160	1	1	1	2
		4,320	1	1	1	1
6~10	0.9	720	1	2	2	3
		1,440	1	1	1	1
		2,160	1	1	1	1
		4,320	1	1	1	1
11~20	0.9	720	1	1	1	1
		1,440	1	1	1	1
		2,160	1	1	1	1
		4,320	1	1	1	1
more than 20	0.9	720	1	1	1	1
		1,440	1	1	1	1
		2,160	1	1	1	1
		4,320	1	1	1	1

분석 결과를 보면, 고장률이 6이상인 경우는 신뢰수준 60%에서 신뢰성 시험 시료 수가 1개로 산출되어졌다. 특히, 고장률 0.5이하인 품목에 대하여 급격하게 신뢰성 시험 시료 수가 증가함을 볼 수 있었다. 고장률 1이하인 품목에 대한 신뢰성 시험 대상 품목으로 설정되었을 시 신뢰수준 60%수준에서 가속조건에서의 시험시간을 증가시킴으로써 신뢰성 시험 시료 수를 줄일 수 있는 것으로 분석되었다. 따라서, 사업 특성을 고려하여 고장률 기반에서 신뢰수준 및 시험시간을 절충하여 신뢰성 시험 시료 수를 결정할 필요가 있다. 한편, 위와 같은 조건에서 활성화 에너지를 $E_a = 0.7\text{eV}$ 를 적용, 시험시간은 1달, 2달, 3달 및 6달로 설정하여 분석한 결과는 Table 7과 같다. 고장률이 6이상인 경우는 신뢰수준 60%에서 신뢰성 시험 시료 수가 1개로 산출 대비 고장률 값 1이상인 경우에는 시료 수가 적절하게 산출되어지는 것을 알 수 있었다.

Table 7. Reliability Test Quantity to Scope of Failure Rate($E_a = 0.7\text{eV}$)

Failure Rate (failures/ 10^6hr)	E_a (eV)	Testing Time (hr)	The Numbers of Samples to the Confidence Level			
			60%	70%	80%	90%
0≤0.5	0.7	720	51	67	90	128
		1,440	26	34	45	64
		2,160	17	23	30	43
		4,320	9	12	15	22
0.6~1	0.7	720	26	34	45	64
		1,440	13	17	23	32
		2,160	9	12	15	22
		4,320	5	6	8	11
2~5	0.7	720	6	7	9	13
		1,440	3	4	5	7
		2,160	2	3	3	5

6~10	0.7	4,320	1	2	2	3
		720	3	4	5	7
		1,440	2	2	3	4
		2,160	1	2	2	3
11~20	0.7	4,320	1	1	1	2
		720	2	2	3	4
		1,440	1	1	2	2
		2,160	1	1	1	2
more than 20	0.7	4,320	1	1	1	1
		720	2	2	3	3
		1,440	1	1	2	2
		2,160	1	1	1	1
		4,320	1	1	1	1

2.5.2 비용 제약이 있는 경우 시험 기간 결정

시험예산보다 시험기간이 사업에서 더 중요한 경우의 고장률 값에 따른 시료 수량의 영향성을 분석하였다. 이에 따라, 신뢰수준 및 활성화 에너지 값을 조정하여 신뢰성 시험 시료 수 산정을 수행하였다. 신뢰수준 표준 60% 및 90%, 정상조건인 운용온도 25℃, 가속조건인 시험온도 75℃에서 $E_a = 0.9\text{eV}$ 를 적용, 시험시간은 6개월, 1

Table 8. Reliability Test Quantity to Scope of Testing Time($E_a = 0.9\text{eV}$)

Failure Rate (failures/ 10^6hr)	E_a (eV)	Confidence Level (%)	Testing Time (hr)	The Numbers of Samples (ea)
0≤0.5	0.9	60	4,320	3
			8,760	2
			13,080	1
			17,520	1
		90	4,320	4
			8,760	2
			13,080	2
			17,520	1
0.6~1	0.9	60	4,320	2
			8,760	1
			13,080	1
			17,520	1
		90	4,320	1
			8,760	1
			13,080	1
			17,520	1
more than 5	0.9	60	4,320	1
			8,760	1
			13,080	1
			17,520	1
		90	4,320	1
			8,760	1
			13,080	1
			17,520	1

년, 1년 6개월 및 2년으로 설정하여 분석한 결과는 Table 8과 같다. 고장률 5이상 인 경우 $E_a = 0.9\text{eV}$ 를 적용 시 신뢰수준 60% 또는 90%와 상관없이 시료 수는 1개로 산출됨을 볼 수 있었다. 시험 기간을 1년 이상 진행하는 것보다 6개월 이하로 진행하는 것이 일정상 효율적이라고 분석되었다.

3. 결론

신뢰성 시험은 신뢰성 프로그램 수행 시 가장 중요한 업무이지만, 비용 및 일정에 따른 제약사항으로 완벽하게 진행되는 것이 어려운 실정이다. 하지만, 이러한 제약사항에 반하여 신뢰성 시험 대상 및 시료 수를 선정하여 사업 예산이 체계개발에 반영되어 신뢰성 있는 무기체계 개발을 수행해야 한다.

이에 본 논문에서는 무고장 시험에 한정한 적절한 신뢰성 시험 시료 수를 산출하였다. 이 때, 무고장 시험 기반의 신뢰성 시험 시료 수 결정을 위한 절차를 제시하였다. 제시한 절차에 따라 OOO 무기체계에 대하여 사례 분석을 수행하였다.

OOO 무기체계의 신뢰성 시험 수량은 신뢰수준 60%, 시험시간 720시간, 활성화 에너지 0.9eV 인 경우, 신뢰성 시험 시료 수는 A 조립체는 5개, B 조립체는 42개, C 조립체는 5개, D 조립체는 14개 및 G 조립체는 1개로 산출되었다. 또한, 고장률 값에 따른 신뢰성 시험 시료 수의 영향성을 분석하여 고장률 값 구간에 따른 신뢰성 시험 시료 수를 산출하였다. 고장률이 6이상인 경우는 신뢰성 시험 시료 수가 거의 1개로 산출되어졌으며, 고장률 0.5이하인 품목은 시험기간 및 신뢰수준에 따라 수량의 변동이 큼을 알 수 있었다. 특히, 고장률이 적은 품목에 대해서 신뢰성 시험 시료 수 결정 시 예산 반영을 위한 사전 검토가 필히 진행될 필요가 있다. 무기체계의 수명주기 동안 총수명주기 비용 측면에서 비용을 절감할 수 있는 방안은 설계의 신뢰성이 확보되어 운용되어져야 운용유지비용을 절감할 수 있다.

본 논문의 결과는 무기체계의 체계개발 수행 시 이해관계자들이 신뢰성 시험 예산 반영을 위한 근거자료로 활용 가능하다. 향후에는 무고장 시험 외의 적정 수준의 고장 발생 건에 대한 신뢰성 시험 시료 수를 산정할 필요가 있다.

References

- [1] MIL-STD-721C, Definitions of Terms for Reliability and Maintainability, Department of Defense, p. 8, 1981.
- [2] MIL-STD-785B, Reliability Program for System & Equipment Development & Production, Task Section 302 ; Reliability Development/Growth Test(RDGT) Program, Department of Defense, pp. 1-2, 1980.
- [3] J. Emahiser/ADUSD(L), Life Cycle and O&S Costs, DA ILS Symposium, pp. 5-7, 1997.
- [4] JCIDS Manual, Manual for the Operation of the Joint Capabilities Integration and Development System, pp. B-A 2-3, 2012.
- [5] H. S. Lee, J. H. Park, S. I. Sung, "Development of Reliability Acceptance Sampling Plan for the Case where the Degradation Quantity of the Performance Characteristic Follows Weibull Distribution based on the Accelerated Degradation Test", *Journal of Applied Reliability*, Vol. 18, No. 2, pp. 122-129, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.33162/JAR.2018.06.18.2.122>
- [6] D. C. Kim, J. G. Kim, "A Bulk Sampling Plan for Reliability Assurance", *Journal of Korea Safety Management & Science*, Vol. 9, No. 2, pp. 123-134, 2007.
UCI: G704-001460.2007.9.2.009
- [7] S. H. Kim, J. S. Yeom, I. S. Baek, J. S. Kim, S. I. Sung, "Determining the Statistical Sample Size for Reliability Testing", *Journal of Applied Reliability*, Vol. 20, No. 1, pp. 84-93, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.33162/JAR.2020.3.20.1.84>
- [8] Y. R. Chun, K. H. Kim, "Design of LTML Qualification Reliability Test Plans for Weibull Distribution", *Journal of the Korean Institute of Plant Engineering*, Vol. 7, No. 4, pp. 5-16, 2002.
UCI: G704-000615.2002.07.4.009
- [9] N. Y. Kim, H. S. Sim, Y. S. Kim, "Study on Acceleration Factor and Acceleration Coefficient Determination by Analyzing Brake Failure Data", *Journal of Applied Reliability*, Vol. 19, No. 4, pp. 421-428, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.33162/JAR.2019.12.19.4.421>
- [10] H. E. Kim, B. S. Kang, Y. H. Cho, "Study on Acceleration Factor Model with Accelerated Stress Interactions", *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineering A*, Vol. 36, No. 7, pp. 751-757, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.3795/KSME-A.2012.36.7.751>
- [11] M. B. Kong, I. G. Park, "Estimation of Failure Rate and Acceleration Factor in Accelerated Life Testing under Type-I Censoring", *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol. 29, No. 2, pp. 145-149, 2003.
UCI: G704-000227.2003.29.2.005
- [12] H. J. Cho, I. H. Lee, S. B. Kim, S. J. Park, M. S. Yang,

"No-Failure Accelerated Life Test of Flap Actuating System using Weibull Distribution", *Journal of Aerospace System Engineering*, Vol. 10, No. 1, pp. 51-58, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.20910/JASE.2016.10.1.51>

- [13] S. R. Lee, H. E. Kim, "Determination of No-Failure Test Times for the Life Test of Hydraulic System Components", *Journal of the Korea Fluid Power Systems Society*, Vol. 3, No. 3, pp. 8-13, 2006.
UCI: G704-002160.2006.3.3.003
- [14] Y. I. Kwon, "Economic Design of Zero-Failure Reliability Qualification Test", *Journal of Korean Society for Quality Management*, Vol. 39, No. 1, pp. 71-77, 2011.
UCI: G704-000306.2011.39.1.013
- [15] DAPA, Department of Defense Instruction, Number 706, ROK Ministry of National Defense, p. 52, 2021.
- [16] MIL-STD-690D, Failure Rate Sampling Plans and Procedures, Department of Defense, pp. 11-20, 2005.
- [17] Patrick Oconnor and Andre Kleyner, Practical Reliability Engineering, John Wiley & Sons Ltd, 5th Edition, pp. 331, 358-359, 2012.
- [18] DEF-STAN 00-42, Reliability and Maintainability Assurance Guides, Ministry of Defence, P 28, 1997.
- [19] Practical Guidebook for Testing and Evaluation of Weapon Systems, R.O.K Joint Chiefs of Staff, The Department of Test & Evaluation, p. 157, 2015.

서 양 우(Yang-Woo Seo)

[정회원]



- 1998년 2월 : 홍익대학교 전기공학
학과 (공학사)
- 2014년 8월 : 아주대학교 IT융합
공학과 (공학석사)
- 2019년 2월 : 아주대학교 시스템
공학과 (공학박사)
- 1998년 7월 ~ 현재 : LIG넥스원
수석연구원

〈관심분야〉

RAMS, 시스템 엔지니어링, 데이터 분석

전 동 주(Dong-Ju Jeon)

[정회원]



- 2012년 2월 : 한성대학교 산업경
영공학과 (공학사)
- 2014년 2월 : 연세대학교 산업공
학과 (공학석사)
- 2015년 1월 ~ 현재 : LIG넥스원
선임연구원

〈관심분야〉

신뢰성, 최적화, 데이터 분석

김 소 정(So-Jung Kim)

[정회원]



- 2018년 2월 : 아주대학교 산업공
학과 (공학사)
- 2020년 2월 : 아주대학교 산업공
학과 (공학석사)
- 2020년 1월 ~ 현재 : LIG넥스원
선임연구원

〈관심분야〉

신뢰성, 품질, M&S

김 용 근(Yong-Geun Kim)

[정회원]



- 2020년 2월 : 한양대학교 산업공
학과 (공학사)
- 2020년 1월 ~ 현재 : LIG넥스원
선임연구원

〈관심분야〉

신뢰성, 통계, 데이터분석