

A Study on the Proper Inspection Cycle Plan Through Reliability Analysis of One-Shot System

June-Young Lim* · Hyeonju Seol**†

*Department of Defense Management Engineering, Graduate School, Chungnam National University

**School of Integrated National Security, Chungnam National University

One-Shot System의 신뢰도 분석을 통한 적정 점검주기 방안 연구

임준영* · 설현주**†

*충남대학교 대학원 국방경영공학전공

**충남대학교 국가안보융합학부

Guided missiles are a one-shot system that finishes their purpose after being used once, and due to the long-term storage until launch, the storage reliability is calculated during development, and performance is maintained through periodic inspections until the life cycle arrives. However, the reliability standards applied in the development of guided missiles were established by analyzing data accumulated by the United States during long-term operation in the country, and since they are different from our environment, the 00 guided missiles that have been deployed in the armed forces for more than 10 years under the premise that there is a difference from actual reliability. As a result of verifying the appropriateness of the current inspection cycle by analyzing the actual reliability of the missile, the necessity of changing the inspection period was derived because it was higher than the predicted reliability. It is proposed to build and utilize a lifespan management system that can systematically collect all data such as shooting and maintenance results by classification, and to establish a reliable reliability standard based on the accumulated data.

Keywords : One-Shot System, Reliability, Inspection Cycle, Reliability Prediction

1. 서 론

2022년 2월 24일 러시아가 우크라이나를 미사일로 공습하고 지상군을 투입하는 등 전면 침공하면서 시작된 양국의 전쟁은 지금까지 진행 중에 있다. 이 전쟁에서 러시아는 개전 후 3개월 동안 약 2,100 여기의 유도탄을 발사하였고, 우크라이나도 미국으로부터 지원받은 재블

린 7,000기를 매일 500기씩 발사하였는데, 이 물량은 미국 록히드마틴사의 연간 생산량인 2,100기를 단 4일 만에 소비한 것으로 현대전에서 유도탄이 차지하는 비중을 보여주는 사례라 할 수 있다[5].

우리나라 역시 북한의 각종 위협을 상쇄하기 위해 임무 유형별로 지대지, 지대공, 함대지, 요격체계 등 다양한 유도탄을 개발하여 보유하고 있다. 유도탄은 1회 사용(발사) 후 그 용도를 마무리하는 One-Shot System으로 발당 수억 원에 이르는 고가이며, 배치 후 발사하기까지 장기저장 되기 때문에 운용자는 높은 신뢰도를 요구하고

Received 13 February 2023; Finally Revised 2 March 2023;

Accepted 3 March 2023

† Corresponding Author : hjseol@cnu.ac.kr

있고, 개발주도기관은 운용자가 요구하는 신뢰도를 충족시키기 위해 유도탄 특성을 고려한 규격을 적용하여 신뢰도를 예측하고 있다. 또한, 유도탄은 발사하기 전까지 고장 유무를 알 수 없기 때문에 개발 시 추정된 수명을 토대로 주기적인 검사를 통해 고장이 식별되면 정비 후 성능을 원상복구 하는 보증탄 개념을 적용하고 있다[11]. 그러나 유도탄 개발 시 적용하는 신뢰도 예측 규격은 미국이 자국 환경에서 장기간 운용하면서 축적한 방대한 데이터를 분석하여 제정한 것으로 우리나라 환경과는 차이가 있다. 따라서 본 연구는 저장탄약 수명관리 및 신뢰성평가 차원에서 00 유도탄 신뢰도 예측 값과 배치 후 실제 신뢰도를 비교분석하여 적정 점검주기를 포함한 효과적 수명관리 방안을 제시하는데 목적이 있다.

이를 위해 먼저 선행연구에서는 One-Shot System의 신뢰성과 관련된 기존 연구내용을 제시하였고, 3장 배경이론에서는 장기저장 유도탄 특성을 고려한 신뢰도 예측 규격 종류와 적용방법을 기술하였다. 이후 본연구의 핵심인 4장에서는 실증분석을 통해 00 유도탄의 실제 신뢰도 분석 후 적정 검사주기 방안을 제시하였다. 끝으로 결론에서는 유도탄 운용 및 저장 형태별 정비내역, 사격, 신뢰성평가 결과 등 운용제원을 체계적으로 수집/분석하여 공신력 있는 One-Shot System의 신뢰도 예측 규격 제정 필요성을 제안하였다.

2. 선행연구

One-Shot System의 신뢰도에 관한 연구로는 Kim et al.[10]이 신뢰도 중심 정비를 통해 대함유도탄 신뢰도 향상방안과 모수추정법을 이용하여 검사주기 타당성을 연구하였다. Hong and Jung[6]은 00 유도탄 사격 및 주기검사 결과를 수집하여 프로빗 분석 후 점검주기 연장 필요성을 제시하였다. Jung and Lee[7]는 00 유도탄 사격 결과를 수집, 모수추정법으로 저장신뢰도를 분석하여 점검주기 연장 및 저장기간 동안 식별된 검사결과를 토대로 신뢰도를 갱신하여 품질보증기간을 결정하는 방안을 제시하였다. Lee et al.[12]는 같은 목적으로 개발된 유도탄이라도 저장위치, 저장조건에 따라 신뢰도의 차이가 있을 수밖에 없음에도 동일한 평가기준을 적용하고 있어 신뢰성평가의 정확도가 저하된다며 유도탄별 환경조건 등이 반영된 신뢰성 평가를 2~3년 주기로 수행하여 신뢰도를 최신화해야 한다고 제시하였다. Yoon and Lee[18]는 현재 적용중인 로트 단위 신뢰성평가는 시험장 부족 등 여건 불비로 안전성 판단과 신뢰도 분석에 한계가 있어 현재보다 많은 탄약을 평가할 수 있는 품목별 표본 추출 방안을 제시하였다. Seo[17]는 00 대함유도탄 카드조립체 저장신뢰도 예측 시 미국이 제정한 MIL-HDBK-217F

및 RADC-TR-85-91 규격을 이용하여 운용신뢰도를 구한 후 저장환경 변환계수(Conversion Factors)를 적용한 결과, 저장고장률이 운용고장률 대비 약 7%만 고장나는 것으로 제시하였다. Kim and Yoon[9]은 Martinez[13]가 제시한 저장신뢰도 산출식을 바탕으로 지수분포 및 와이블분포 모형을 적용하여 신뢰도를 산정한 결과, 기존 Martinez 모형이 신뢰도를 과도하게 추정하고 있으나 신규 모형도 정비계단, 정비장비 수 등 정비환경이 반영된 세부적인 산출이 제한된다며 One-Shot System 운용형태가 반영된 RAM 시뮬레이션 이용 방안을 제안하였다.

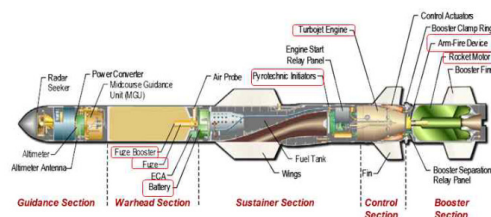
기존 One-Shot System에 대한 신뢰도 분석 연구들은 사격 및 야전점검 결과를 수집, 실제 신뢰도를 분석한 후 예측신뢰도와 비교하여 점검주기 연장 및 신뢰성평가의 효율적 추진방안을 제시하였다. 그런데 신뢰도 분석에 활용되는 사격결과는 저장중인 유도탄을 생산연도별 무작위 추출 후 같은 사수가 사격한 것을 활용하는 것이 가장 좋으나, 안전 등의 문제로 사격 전 종합점검장비로 검사하여 성능이 검증된 탄만을 사격하고 있어 발사되지 않는 경우가 극히 드물고, 주기점검 결과도 점검 인원의 숙련도에 따라 고장 식별이 달라지는 등 각각 단점이 내재되어 있다.

따라서 본 연구에서는 One-Shot System에 대한 신뢰도 분석의 객관성 유지를 위해 '19년 00 유도탄 전수검사 간 처음부터 종결될 때까지 동일한 인원과 점검장비를 이용하여 고장이 발견된 탄에 대해 업체가 정비한 결과를 수집하여 분석하였다.

3. 배경 이론

3.1 유도탄

유도탄이란 원격장치 또는 내부 조종장치를 이용하여 탄도나 비행 궤적을 변경할 수 있는 무인비행 추진체를 말하며, <Figure 1>과 같이 유도부(Guidance Section), 탄두부(Warhead Section), 추진부(Sustainer/Booster), 제어부(Control Section)로 구성되어 있다. 구성품 특성으로 보면 화학품(기폭 및 폭발), 기계류(구성품 보호 및 위치제어), 전자류(신호처리, 전원분배)로 되어 있다[16].



<Figure 1> Composition of Guided Missile

3.2 신뢰도 개념

신뢰도(Reliability)는 특정 체계/장비가 일정 시간 동안 주어진 운용 조건에서 요구된 기능을 만족하게 수행할 수 있는 정도(확률)를 의미한다[14]. 무기체계 신뢰도는 운용 간 발생할 수 있는 고장을 최소화하여 가동률 보장과 유지비 절감 측면에서 중요하며, 시스템의 임무와 관련되어 고장 발생 시 수리 가능 여부, 주행거리, 사격 발수 등 장비별 특성에 따라 적용하는 척도가 다르며, 종류는 <Table 1>과 같다[2].

<Table 1> Criteria for Reliability

Criteria for Reliability	Description
MTTF (Mean Time To Failure)	A basic criterion for reliability of unrepairable system. It is an average of system operating time
MTBF (Mean Time Between Failure)	A basic criterion for reliability of repairable system. It is the total number of failures in total operating hours for certain period of time
MKBF (Mean Kilometers Between Failure)	The total number of failures in total distance for certain period of time
MRBF (Mean Round Between Failure)	The total number of failures in total amount of ammunition fired for certain period of time
R(t) (Reliability)	$R(t) = e^{-\frac{1}{MTBF}t}$, Assumption of exponential distribution

신뢰도 함수 $R(t)$ 는 시점(t)까지 해당 부품이 고장나지 않을 확률을 의미한다. 수명을 확률변수 T 로 정의하면 t 시점에서의 신뢰도 $R(t)$ 는 $\Pr(T > t)$ 와 같이 표현할 수 있다. t 시점에서의 고장밀도함수를 $f(t)$ 로 정의하면 $F(t)$ 는 누적 고장밀도함수가 되므로 신뢰도 $R(t)$ 는 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$R(t) = \Pr(T > t) = 1 - F(t) \tag{1}$$

3.3 신뢰도 예측

신뢰도 예측은 부품 또는 시스템 운용조건을 고려하고 규격서와 표준서를 이용하여 MTBF, MRBF와 같은 신뢰도 척도 값을 예측하는 과정으로 설계 및 개발단계에서 신뢰성 목표를 달성하기 위해 수행하는 업무이다. 기계 및 전자부품 등으로 구성된 모든 무기체계는 사전 충분한 검토과정을 거쳐 개발하더라도 현장 운용간 고장 발생은 불가피하다. 따라서 시스템을 운용하

는 소요군의 임무달성을 위해 고장 발생을 예측하여 정비정책에 반영함으로써 가동률을 보장하고, 적정한 수리부속 확보와 정비인력 배치 등 예산낭비를 제거하는 업무이다. 종합군수지원개발 실무지침서 및 무기체계 RAM (Reliability · Availability · Maintainability) 업무지침&편람에서는 무기체계 개발 시 사용되는 주요 신뢰도 예측 규격을 <Table 2>과 같이 제시하면서 무기체계 특성을 고려하여 선택적으로 적용하도록 하고 있다[3].

<Table 2> Major Standards for Projecting Reliability

Major Standards	Agency(company)	Remarks
MIL-HDBK-217F	DOD	Included in commercial analyzing tool
NSWC-06/LE1	US Navy	
RIDC-HDBK-217Plus	DSIA(US)	
CNET	Telcordia(FRA)	
Telcordia SR-332	Telcordia(US)	
PRISM	DSIAC(US)	
GJB/Z299B & 299C	CHINA	
RDF 2000	BIC(UK)	
Itatel IRPH93	Telecom(ITA)	
NPRD	DSIAC(US)	
EPRD		
RADC-TR-85-91	RADC(US)	Dormant reliability
LC-82-1/2	US Missile Command	
System Reliability Toolkit	US RiAC	Conversion factor is applied
Def Stan 00-40	MOD(UK)	One-Shot Item

또한, 예측하는 시스템에 대한 고장데이터 확보 시 이를 적용하고, 미확보 시 자재명세서(BOM, Bill of Materials)를 이용하여 구성품의 원재료와 같은 기초정보와 부품별 온도, 전기, 환경 등 스트레스 조건을 추가로 확인하여 전기 및 전자부품은 MIL-HDBK-217F N2와 EPRD를, 기계부품은 NSWC와 NPRD를 적용하도록 명시되어 있다[3, 4] 배치 후 탄약고에 장기간 저장하는 유도탄은 저장신뢰도를 예측하는데 과거에는 외부 노출 시간을 고려하여 운용신뢰도 대비 1/10, 1/30, 1/60의 비율을 적용했으나, 최근에는 MIL-HDBK-217F N2와 RADC-TR-85-91에서 산출된 예측값에 System Reliability Toolkit Conversion Factors의 환경 변환계수를 추가 적용하고 있으며, 환경별 변환계수는 <Table 3>과 같다.

<Table 3> Dormant Conversion Factors

Part Type	Ground Active To Ground Passive	Airborne Active To Airborne Passive	Airborne Active To Ground Passive	Naval Active To Naval Passive	Naval Active To Ground Passive
IC	0.08	0.06	0.04	0.06	0.05
Diode	0.04	0.05	0.01	0.04	0.03
Transistor	0.05	0.06	0.02	0.05	0.03
Capacitor	0.10	0.10	0.03	0.10	0.04
Resistor	0.20	0.06	0.03	0.10	0.06
Switch	0.40	0.20	0.10	0.40	0.20
Relay	0.20	0.20	0.04	0.30	0.08
Connector	0.005	0.005	0.003	0.008	0.003
Circuit Board	0.04	0.02	0.01	0.03	0.01
Transformer	0.20	0.20	0.20	0.30	0.30

또한, 내장된 전자부품은 전원인가 시 전기적 스트레스를 받는 등 운용시간(Operation)과 비운용시간(Nonoperation)의 비율에 따라 고장률이 달라지기 때문에 유도탄 수명주기 동안 운용시간 비율인 임무주기(Duty cycle)를 적용하고 있으며, 산출식은 식 (2)와 같다[15].

$$\lambda_{sys} = \lambda_O \cdot d + \lambda_N \cdot (1-d) \quad (2)$$

where

λ_O : failure rate during operation

λ_N : failure rate during nonoperation

d : duty cycle

4. 실증 분석

4.1 연구자료 수집 및 처리

본 연구의 대상인 00 유도탄은 미국이 제정한 규격을 적용하여 신뢰도를 예측한 결과, 배치 후 6.2년부터 목표 신뢰도(80%) 이하로 저하됨에 따라 5년 주기로 검사하여 목표 신뢰도를 유지하는 것으로 결정되었는데, 현재 저장된 지 10년 이상 경과되어 예측 신뢰도와 배치 후 실제 신뢰도와 비교하기에 적합하다. 분석에 사용한 데이터는 <Table 4>와 같이 2006년~2016년까지 납품된 0000발을 대상으로 '19년 전수검사가 간 고장으로 판명되어 정비한 수량이며, 신뢰도 분석을 위해 고장 유도탄의 저장기간을 표현하였다.

신뢰성에서의 수명자료는 시스템이 부여된 기능을 정상적으로 발휘하지 못하는 경우 발생한 자료이며, 납품된 시점으로부터 고장이 발생한 시간까지이다. 유도탄이 통상 연발

에 납품되는 점을 고려하여 저장시점은 매년 12월 30일로 하였고, 검사결과가 정상인 탄은 전수검사가 종료된 2019년 6월 30일 기준으로 우측관측중단 처리하였다.

<Table 4> Malfunction Guided Missile Storage Periods

Supply	Storage Period(year)											
	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	
'06.12.30.												19
'07.12.30.											23	
'08.12.30.									4			
'09.12.30.								4				
'10.12.30.							9					
'11.12.30.						10						
'12.12.30.					4							
'13.12.30.				5								
'14.12.30.			1									
'15.12.30.		-										
'16.12.30.	-											

4.2 00 유도탄 개발 시 산출된 저장 신뢰도 예측값

00 유도탄은 배치 후 대부분 휴면상태이기 때문에 저장신뢰도를 예측하는데 예측방법은 식 (3)과 같이 부품별 운용 고장률을 구한 후 <Table 3>처럼 RADC-TR-85-91 “Impact of nonoperating periods on equipment reliability”의 저장변환 계수인 Conversion factors를 적용하면 고장률(λ)은 4.04(회/10⁶시간)가 되고, 이를 역수로 취하면 MTBF는 247,361시간이 된다.

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_Q \pi_E \pi_T (failures/10^6 \text{ hours}) \quad (3)$$

where

λ_P : parts failure rate

λ_b : base failure rate

π_Q : Quality factors

π_E : Environment factors

π_T : Temperature factors

유도탄 수명주기 동안 성능을 보장하기 위한 검사주기는 저장신뢰도가 6.2년 이후부터 80% 이하로 저하됨에 따라 5년 주기검사를 실시하여 성능을 유지하고 있다 [7, 8].

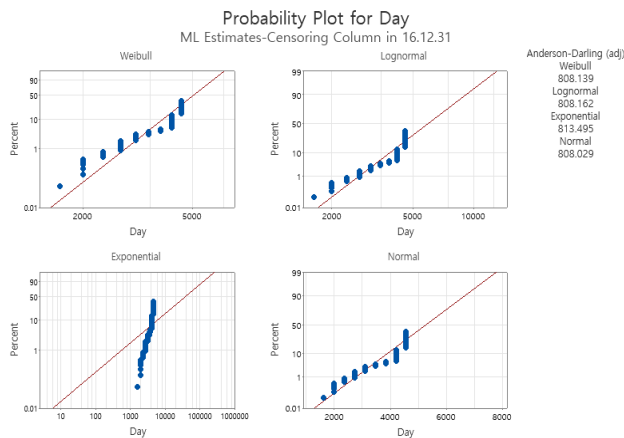
4.3 수명분포적합

수명분포 적합을 위해 Anderson-Darling(A-D) 검정을

이용했는데, A-D 검정은 경험적 누적분포함수를 이용하여 여러 분포로 비교 후 적합도가 가장 높은 분포를 찾아낼 수 있으며, 확률지에 도시된 직선과 타점과의 제곱 거리를 구하여 검정값이 가장 낮은 분포가 더 적합하다는 것을 의미한다. <Table 5>와 같이 네 개 분포 모두 유사한 통계량 값을 나타냈으나, 장기저장 되는 동안 열화 작용으로 인해 고장률이 증가하는 경우 보편적으로 와이블분포를 사용한다[1]. 이에 본 논문에서도 와이블분포를 적용하였다. <Figure 2>는 신뢰도 분석에 이용되는 데이터를 시각화한 것으로 확률도의 데이터 점이 직선을 따른다면 해당 분포를 사용하는 것이 타당하다.

<Table 5> Comparison of AD, Correlation

Division	Weibull	Log-normal	Exponential	normal
A-D	808.139	808.162	813.495	808.029



<Figure 2> Distribution Analysis

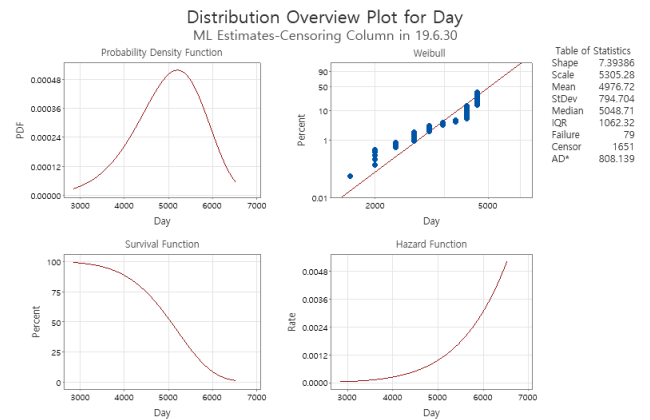
4.4 모수분포 분석

모수적 접근방법은 데이터의 모집단이 특정분포를 따른다는 가정 하에 표본을 통해 추정하는 것으로, 본 연구처럼 관측중단자료는 최우추정법(Maximum Likelihood Estimation)을 사용하는 것으로 알려져 있는데 이는 어떤 모수가 주어졌을 때 원하는 값들이 나올 가능성을 최대로 만드는 모수를 선택하는 방법이다.

수명분포 적합에서 선정한 와이블분포로 모수를 추정한 결과, 척도모수(η)는 5305.28, 형상모수(β)는 7.39386로 각각 도출되었다. 형상모수(β)가 1보다 크면 시간이 경과할수록 고장률이 증가하는 마모고장의 모습을 보이고, $\beta=1$ 이면 고장률이 일정하며, $\beta < 1$ 은 감소한다. 척도모수(η) 5305.28은 시스템의 63.2%가 고장 나는 시간을 의미하며, 식 (4)로 나타낼 수 있다.

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right] = 1 - \exp[-1] = 0.632 \quad (4)$$

평균수명은 4976.72일(13.7년)로 추정되는데 시간 경과에 따른 유도탄의 생존 확률인 신뢰도함수(Reliability Probability)는 저장기간이 경과 할수록 신뢰도가 낮아지고, 위험함수(Hazard Function)의 고장률도 저장기간이 경과될수록 증가하는 것으로 나타났는데, 그래프는 <Figure 3>와 같다.



<Figure 3> PDF, Survival Function, Hazard Function

<Table 6>은 신뢰도함수를 이용하여 백분위 수명을 환산한 결과이며, 00 유도탄의 20%가 고장나는 B_{20} 시점은 4331.17일로 약 11.8년으로 추정되었다. 따라서 개발 시 예측한 신뢰도를 적용한 5년 단위 점검은 검사 시 유도탄에 가해지는 전기적 스트레스 감소와 점검예산 절감 차원에서 연장할 필요가 있다.

<Table 6> Percentile of 00 Guided Missile

Percent	Percentile	Standard Error	Minimum	Maximum
1	2874.79	93.1021	2671.04	3036.24
10	3913.16	60.6313	3796.11	4033.82
20	4331.17	69.9150	4196.29	4470.40
40	4844.54	102.019	4648.66	5048.68
60	5242.92	136.080	4982.88	5516.53
80	5657.96	176.654	5322.11	6051.01
99	6522.44	272.459	6009.71	7078.92

또한, 유도탄 저장연수별 생존확률을 추정한 결과, <Table 7>처럼 배치 후 10년까지는 90% 이상 신뢰도가 유지되나, 12년차부터 80% 이하로 저하되는 점을 고려할 때 2회차는 야전점검장비로 전기적 저항값만 확인하기 보다는 12년차에 유도탄 분해를 통한 창정비 방안을 고려할 필요가 있다.

〈Table 7〉 Probability to Survive by Years of Storage

Years of Storage	Probability to Survive	Minimum	Maximum
5	0.9996	0.9998	0.9990
6	0.9985	0.9993	0.9969
7	0.9955	0.9975	0.9918
10	0.9389	0.9523	0.9220
12	0.7847	0.8226	0.7350
15	0.2830	0.4359	0.1467

5. 결 론

배치된 지 10년 이상 경과된 00 유도탄의 정비내역을 수집하여 신뢰도를 분석한 결과, 개발 시 미국 규격을 적용하여 산정한 예측 값과 다르다는 것을 알 수 있다. 이렇듯 우리나라 환경에서 운용되는 유도탄의 신뢰도 예측 정확도 향상을 위해서는 3.3에서 제시한대로 현재 운용 중인 유도탄의 고장률 분석자료를 최대한 반영해야 하며, 이를 실현하기 위해서는 운용제원의 체계적 관리가 반드시 필요하나, 군의 운용제원 관리시스템은 정비지시서에 의한 작업내용만 입력할 수 있어 정확한 신뢰도 분석이 제한되고 있는 실정이다.

따라서 정확한 신뢰도 예측을 위해 일련번호가 부여되는 유도탄별로 운용·저장지역 기후조건, 저장 환경(온·습도 조정 가능한 저장고, 진지, 무기체계탐재 등)별로 구분하여 일일/주간점검, 주기검사, 사격 결과, 수명 주기 도래 전 실시하는 신뢰성평가 및 창정비 결과 등 모든 운용제원을 입력할 수 있는 수명관리시스템으로 개선해야 한다. 또한 전문분석기관인 국방신뢰성연구센터가 축적된 데이터로 우리나라 환경에서의 저장조건별 신뢰도를 분석하여 향후 유도탄 개발 시 활용토록 함은 물론, 장기적으로는 공신력 있는 신뢰도 예측 규격 제정을 위한 지속적인 연구가 요구된다.

References

- [1] Chung, Y.H. and Oh, B.C., Influence analysis of sampling points on accuracy of storage reliability estimation for one-shot system, *Journal of Applied Reliability*, 2016, Vol. 16, NO.1, pp. 32-40.
- [2] Defence Acquisition Program Administration, Weapons system RAM LAW & Guide Book, p. 35, 2018.
- [3] Defence Acquisition Program Administration, Weapons system RAM LAW & Guide Book, pp. 54, 2018.
- [4] Defence Acquisition Program Administration, "Guidelines for the Development of Integrated Logistics Support", pp. 87-93, 2015.
- [5] COUNCIL FOREIGN RELATIONS, <https://www.cfr.org/background/ukraine-conflict-crossroads-europe-and-russia>.
- [6] Hong, S.J. and Jung, S.H., A study of reliability of guided missile(OO) using probit analysis, *Journal of the Korea Soc. Qual. Manag.*, 2016, Vol. 44, No. 3, pp. 553-564.
- [7] Jung, S.H. and Lee, S.B., A study on warranty and quality assurance model for guided missile based on storage reliability, *Journal of Applied Reliability*, 2017, Vol. 17, No. 2, pp. 83-91
- [8] Jo, Y.S. and Park, D.H., The estimate 00 system guided missile's storage reliability, Agency for Defense Development, pp. 6-7, 2001.
- [9] Kim, H.W. and Yoon, W.Y., Reliability analysis for one-shot system with periodic inspection, *Journal of the Korea Institute of Industrial Engineers*, 2016, Vol. 42, No.1, pp. 20-29
- [10] Kim, S.K., Wang, Y.J., and Kim, Y.J., A study on the reliability analysis of anti-ship missile using field data, *Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, 2011, Vol. 6, No. 6, pp. 881-887.
- [11] Lee, K.S. and Lee, Y.H., Study of simulation method for certified missile rounds concepts with constraints, *Journal of the Korea Society for Simulation*, 2011, Vol. 20, No. 4, pp. 127-138.
- [12] Lee, Y.H., Kim, J.Y., Moon, K.S., and Lee, K.S., A study on stockpile program for effective life cycle management of domestically missile, *Journal of the Korea Association of Industry Studies*, 2021, Vol. 28, No. 1, pp. 81-91.
- [13] MIL-STD-721C, Definitions of Terms for Reliability, Department of Defense, p. 8, 1981.
- [14] MIL-STD-756B, Reliability Modeling and Prediction, Section Task 102: Mission, Reliability Model, Department of Defense, 1981, pp. 2-6.
- [15] Ryoo, B.N. and Kim, B.Y., A study on the missile service life extension plan, *Journal of the Korea Society of Propulsion Engineers*, 2017, Spring Conference, pp. 163-167.
- [16] Seo, Y.W., Study on the improvement of mtbf-based field data analysis model to raise the accuracy of guide missile reliability prediction [Thesis], [Suwon, Korea]: Ajou University, 2019.

- [17] Yoon, K.S. and Lee, J.C., A case study on the reliability assessment of stockpile ammunition, *Journal of the Korea Society for Quality Management*, 2102, Vol. 40, No. 3, pp. 259-269.

ORCIDJune Young Lim | <http://orcid.org/0000-0002-6770-9714>Hyeonju Seol | <http://orcid.org/0000-0001-6953-9766>