

운용 형태별 원샷 시스템의 신뢰도 예측 모델 제안

서양우*, 엄천섭, 남현우, 전동주
LIG넥스원 PGM IPS연구소

Proposal for Reliability Prediction Model of One-shot System by Operational Mode

Yang-Woo Seo*, Chun-Sup Um, Hyun-Woo Nam, Dong-Ju Jeon
Precision Guided Munition Integrated Product Support R&D Lab, LIG Nex1

요약 본 논문에서는 운용 형태별 원샷 시스템의 신뢰도 예측 모델을 제시하였다. 운용개념에 따른 운용 형태별 원샷 시스템의 신뢰도 예측 모델을 제시한 후 신뢰도 예측을 위한 절차를 제안하였다. 제안한 신뢰도 모델에 대한 사례분석을 통하여 모델간의 차이점을 분석하였다. Operational Model, Mixing Model, Storage Model 순으로 운용환경 조건이 가혹하기 때문에 고장률이 더 높음을 확인할 수 있었다. 따라서, 비운용 시간이 대부분인 원샷 시스템의 고장률은 상당히 적게 산출되기 때문에 운용개념에 따라 세분화하여 신뢰도를 산출해야 한다. 이 결과들을 활용하여 신뢰도 80% 이상 목표 값이 주어질 때 각각의 신뢰도 예측 모델별로 점검 시점을 확인하였다. 운용탄에서는 1년, 혼용탄에서는 1.3년, 저장탄에서는 5.6년 시점에서 점검을 수행해야 하는 결과를 도출하였다. 본 연구의 결과로 제시한 운용 형태별 원샷 시스템의 신뢰도 예측 모델을 기반으로 정확한 신뢰도 예측이 가능하다고 판단된다. 따라서, 본 연구는 어떠한 원샷 시스템이든 신뢰도 예측시 모델 기반으로 활용 가능하다. 현 시점에서의 모델들을 한국군 데이터 기반의 모델이 아니라는 제한사항이 있기에 향후에는 한국형 고장데이터를 포함한 보완된 모델을 제시할 필요가 있다.

Abstract This research proposed a reliability prediction model of One-shot systems by operational mode. The procedure for reliability prediction was proposed after presenting the reliability prediction model for each operational mode according to the operational concept. The differences between models were analyzed through case analysis for the proposed reliability prediction. It was confirmed from the analysis that the failure rate was higher because the operating environmental conditions were harsh. Harshness was low for the operational model, followed by the mixing and storage models in the same order. Since the failure rate of the One-shot system, which has most of the non-operating time, is calculated to be quite small, reliability should be calculated by subdividing it according to the operational concept. Subsequently, each reliability prediction model's inspection timing was checked using the results of the calculations when a target value of 80% or more reliability is given. The analysis results indicate that the inspection had to be performed every one year for the operational missile, 1.3 years for the mixed missile, and 5.6 years for the storage missile. It is also concluded that accurate reliability prediction is possible based on the reliability prediction model of the One-shot system by operational mode presented. Therefore, this study can be used as a model base while predicting the reliability of any One-shot system. Since the models presently used are not Korean military data-based models, it is necessary to present a supplemented model including Korean-style failure data in the future.

Keywords : Reliability, Reliability Prediction, Reliability Prediction Model, Operational Mode, One-shot System

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

email: yangwoo.seo2@lignex1.com

Received January 3, 2022

Accepted March 4, 2022

Revised January 24, 2022

Published March 31, 2022

1. 서론

신뢰도의 정의는 주어진 조건 하에서 주어진 기간 동안 요구된 기능을 수행할 수 있는 확률이다[1]. 다시 말하면, 고장이 발생하지 않을 확률을 의미하며, 신뢰성의 정량적인 표현을 신뢰도라 할 수 있다. 모든 무기체계는 반드시 고장이 발생하며, 고장 발생을 예측하는 것이 신뢰도 예측이라 할 수 있다.

신뢰도 예측의 목적은 군수신뢰도(Logistics Reliability) 및 임무신뢰도(Mission Reliability)를 예측하는 것이다 [2]. 군수신뢰도는 군수지원 없이 운용 가능한 시스템의 능력을 측정하는 척도이며, 임무신뢰도는 완벽한 임무 가능한 시스템의 능력을 측정하는 척도이다. 신뢰도 요구사항을 달성하는데 있어서 군수신뢰도는 고장 간 평균 시간(MTBF; Mean Time Between Failure)을 임무신뢰도는 임무 고장 간 평균시간(MTBCF; Mean Time Between Critical Failure)을 제시하도록 되어 있다[3]. 통상적으로 군수신뢰도 값은 임무신뢰도 값보다 작거나 같게 된다.

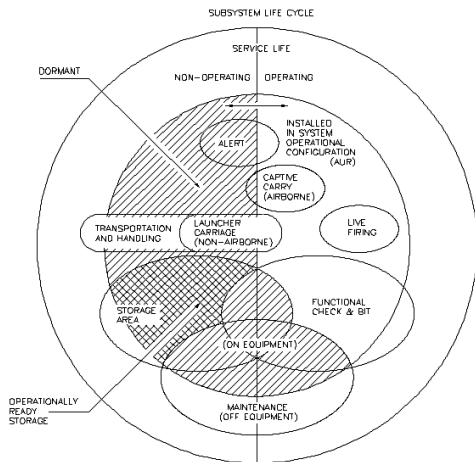


Fig. 1. Venn Diagram of Dormant[4]

원샷 시스템(유도탄)의 수명주기는 운용시간(operating time) 및 비운용 시간(nonoperating time)으로 구분하고, nonoperating time은 dormant, storage, alert, transportation & handing time 등으로 Fig. 1과 같이 벤다이어그램을 제시하고 있다[4]. Table 1은 상용 장비에 대한 dormant 조건에서의 운용시간의 비율을 정리한 표이다[5]. 대부분 산업 장비는 dormant 비율이 90% 이상, 안전 관련 장비는 98% 이상이다. 이는 장비 운용에 있어서 dormant 비율이 상당함을 알 수 있다.

Table 1. Typical Percentages of Calender Time for Equipment in Dormancy[5]

Equipments	Percentage of time spent in the dormant condition
·Domestic appliances	
- Television sets	75%
- Kitchen electrical appliance	95%
·Cars	
- Personal use	93%
- Taxis	38%
·Professional equipment	
- Personal calculations	98%
- Small copying machines	>75%
- Electrical test equipment	>90%
·Industrial equipment	
- Safety equipment	98%
- Standby power	>90%
- Value(most)	>75%
- Air conditioning	50~80%
- Built in test equipment	99%

기존 원샷 시스템의 신뢰도 예측 연구 사례를 살펴보면, Kim et al.[6]은 주기적 검사를 수행하는 원샷 시스템 환경조건을 고려하여 신뢰도를 산출하였으며, Chu[7]는 마르티네즈 모델을 활용하여 실제 신뢰도와 정기검사 주기가 원샷 시스템의 저장신뢰도에 미치는 정량적인 효과를 분석하였다. Jeong et al.[8]은 저장신뢰도 기반의 원샷 시스템의 검사주기 분석을 수행하였고, Seo et al.[9]는 원샷 시스템의 필드 고장 데이터를 기반으로 신뢰도 예측 방안을 제시하였다.

기존의 원샷 시스템의 신뢰도 분석 관련 논문들은 저장 신뢰도 및 다양한 신뢰도 예측 기준을 설정하여 예측을 수행하였다. 하지만, 이러한 원샷 시스템의 신뢰도 예측 방법을 적용하기 전에 원샷 시스템의 신뢰도 예측 모델이 적절한지가 먼저 고려되어야 한다.

현재 원샷 시스템 신뢰도 예측의 문제점은 λ_{system} 의 고장률을 저장신뢰도라 정의하여 분석하고 있는데, 이는 $\lambda_{nonoperating}$ 과 관련된 고장률 일부를 표현할 뿐 전체를 표현할 수가 없다. 즉, nonoperating time 영역에는 저장(발사준비상태) 상태만 있는 게 아니라 경계시간, 취급, 수송 등의 다양한 임무가 존재하기 때문에 이러한 임무들을 모두 포함하여 고장률을 산출해야 한다.

상용 장비 뿐만 아니라 방산분야에서도 특히, 원샷 시스템은 작전 중 nonoperating time 비중이 굉장히 높은 편이다. 따라서, nonoperating time을 충분히 반영한 신뢰도 예측이 수행되어야 한다. 하지만, 원샷 시스템의 신뢰도 예측 모델은 일관된 기준이 없기에 사업특성별로 의사결정을 통해 진행되고 있는 실정이다. 이에

따라, 운용 형태별로 제공하는 규격들을 조합하여 원샷 시스템의 신뢰도 예측 모델을 정의할 필요가 있다.

따라서, 본 논문에서는 원샷 시스템의 신뢰도 예측 모델 기준을 운용조건별로 제시하고자 한다. 운용탄, 정비탄 및 혼용탄에 대한 신뢰도 예측 절차를 제안하고, 각각의 신뢰도 예측 모델을 제시하고자 한다.

2. 본론

2.1 연구 절차

본 논문의 연구 절차는 Fig. 2와 같이 수행하였다. 서론에서 선행 연구 분석 및 문제를 정의하고, 본문에서는 원샷 시스템의 신뢰도 예측 절차 및 운용 형태별 신뢰도 예측 모델을 제안하였다. 제안한 신뢰도 예측 프로세스 및 모델에 대한 사례분석을 수행한 후 기대효과를 기술하였다.

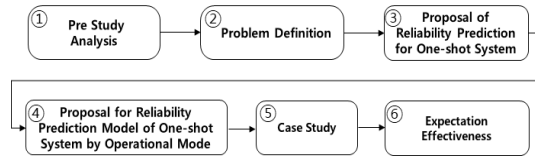


Fig. 2. The Main Research Procedure for this Paper

2.2 신뢰도 예측

2.2.1 신뢰도 예측 모델

신뢰도 예측 모델은 Eq. (1)과 같이 operating time 및 nonoperating time을 고려할 수 있다[10].

operating time 및 nonoperating time의 비율을 조합하여 임무주기(duty cycle) 개념을 적용하는 모델이다. 임무주기는 전체 시간 대비 운용시간의 비율이다. 따라서, 비운용 시간을 무시할 때에는 Eq. (2)과 같으며, 비운용 시간을 무시하지 않을 때는 Eq. (3)와 같이 표현할 수 있다.

$$P_s = P(\text{operating}) \times P(\text{nonoperating}) \quad (1)$$

$$P_s = e^{-\lambda_1 t d} \quad (2)$$

$$P_s = e^{-[\lambda_1 t d + \lambda_2 t(1-d)]} \quad (3)$$

where,

P_s = the probability of survival

λ_1 = failure rate during operation

λ_2 = failure rate during nonoperation

d = duty cycle

Eq. (3)을 활용하여 고장률(λ) 기반으로 표현하면, Eq. (4)와 같다.

$$\lambda_{system} = \lambda_{operating} \cdot d + \lambda_{nonoperating} \cdot (1-d) \quad (4)$$

where,

$\lambda_{operating}$ = failure rate during operation

$\lambda_{nonoperating}$ = failure rate during nonoperation

d = duty cycle

원샷 시스템은 한 번만 사용되는 소모성 시스템이다. 시스템이 운용될 때 수행결과가 성공 또는 실패로 나타나는 유도탄과 같은 시스템을 원샷 시스템이라 한다[11]. 원샷 시스템은 통상적으로 휴면 상태의 작전준비 운용개념을 따르기 때문에 저장신뢰도(storage reliability) 및 휴면신뢰도(dormant reliability)를 적용할 수 있다. Dormant는 시스템이 정상 운용 상태이지만 운용되지 않는 상태이며, Storage는 시스템이 비활성화되어 저장 영역에 있는 상태를 의미한다.

미 공군은 원샷 시스템의 운용개념 관점에서 nonoperating을 storage와 dormancy로 구분하고 있다. RADC TR 85 91의 고장률 모델[12]은 dormancy 및 storage 개념이 포함되어 있는 모델이다. Eq. (5)는 Diode의 고장률 모델 예제로써 dormant 환경에서 π_{cyc} 이라는 전원 on-off 주기 관련한 입력 항목이 설정되어 있는 것이 특징이다.

$$\lambda_P = \lambda_{nb} \cdot \pi_{NT} \cdot \pi_{NQ} \cdot \pi_{NF} \cdot \pi_{cyc} \quad (5)$$

where,

λ_p = predicted diode nonoperating failure rate

λ_{nb} = nonoperating base failure rate (failures/10⁶ hours)

π_{NT} = nonoperating temperature factor
 $= \exp(-A_n[(1/T)-(1/298)]+(T/T_m)^P)$

A_n = temperature coefficient

π_{NQ} = nonoperating quality factor

π_{NF} = nonoperating environmental factor

π_{cyc} = nonoperating power on-off cycling factor
 $= 1 + 0.083(N_c)$

N_c = number of equipment power on-off cycles per 10³ nonoperating hours

미 육군은 원샷 시스템의 운용개념 관점에서 storage에 한정하여 고장률 모델을 제시하고 있다. Eq. (6)은 Diode의 고장률 모델[13]으로써 π_{ES} 이라는 저장 환경용 입력 요소로 고려하여 산출한다.

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot (\Pi_Q \cdot \Pi_{ES}) \cdot 10^{-6} \quad (6)$$

where,

- λ_p = device failure rate
- λ_b = base failure rate
- π_Q = quality factor
- π_{ES} = storage environmental factor

따라서, RADC-TR-85-91 및 LC-82-2 규격은 미군의 유도탄 운용 개념에 따라 모델을 개발한 것을 확인할 수 있다. 미 공군은 유도탄 운용 전 점검활동을 수행하는 반면에 미 육군은 배치된 이후에는 점검 없이 보증하는 형태의 개념을 갖고 있다.

2.2.2 신뢰도 예측 시 환경조건

Table 2는 신뢰도 예측 수행 시 적용하는 환경조건에 대한 설명이다[14]. 각각의 운용개념에 따라 환경조건을 적용한다. 즉, 운용환경이 지상, 해상 또는 항공인지를 구분하여 환경설정을 적용하는 것을 말한다. 예를 들어, 지상인 경우 G_B , 해상인 경우 N_S , 항공인 경우는 A_{UF} 를 적용한다.

Table 2. Environment for Reliability Prediction

Environment	Description
Ground, Benign	Nonmobile, temperature and humidity controlled environments readily accessible to maintenance.
Ground, Fixed	Moderately controlled environments such as installation in permanent racks with adequate cooling air and possible installation in unheated buildings.
Ground, Mobile	Equipment installed in wheeled or tracked vehicles and equipment manually transported.
Naval, Sheltered	Includes sheltered or below deck conditions on surface ships and equipment installed in submarines.
Naval, Unsheltered	Unprotected surface shipborne equipment exposed to weather conditions and equipment immersed in salt water.
Missile, Flight	Conditions related to powered flight of air breathing missiles, cruise missiles, and missiles in unpowered free flight.
Missile,	Severe conditions related to missile

Launch	launch(air, ground and sea), space vehicle boost into orbit, and vehicle re-entry and landing by parachute.
Airborne, Inhabited, Cargo	Typical conditions in cargo compartments which can be occupied by an aircrew.
Airborne, Inhabited, Fighter	Same as A_{IC} but installed on high performance aircraft such as fighters and interceptors.
Airborne, Uninhabited, Cargo	Environmentally uncontrolled areas which cannot be inhabited by and aircrew during flight.
Airborne, Uninhabited, Fighter	Same as A_{UC} but installed on high performance aircraft such as fighters and interceptors.
Airborne, Rotary, Winged	Equipment installed on helicopters.
Space, Fight	Earth orbital. Approaches benign ground conditions. Vehicle neither under powered flight nor in atmospheric reentry.
Cannon Launch	Extremely severe conditions related to cannon launching of 150mm, and 5 inch guided projectiles.

2.3 원샷 시스템의 신뢰도 예측 절차 제안

원샷 시스템의 신뢰도 예측 절차를 Fig. 3과 같이 제시한다. 원샷 시스템의 운용환경 및 운용개념에 따른 각각의 신뢰도 예측 모델을 적용한 신뢰도 예측을 수행하는 절차이다. 제시한 절차의 각각의 활동은 다음과 같다.

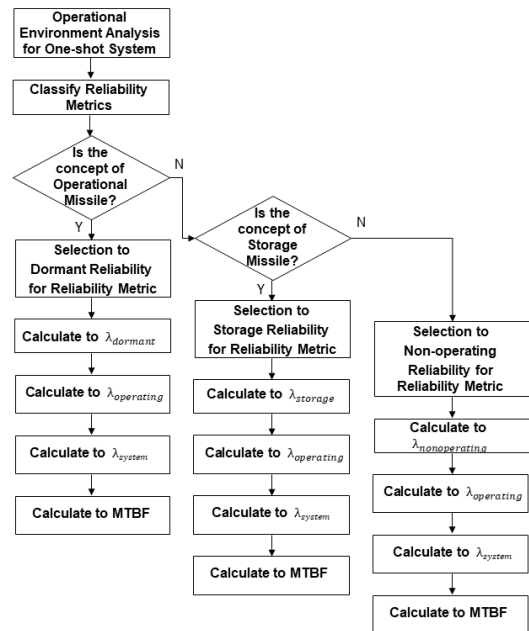


Fig. 3. Proposed Process of Reliability Prediction for One-shot System

- 1단계: 원샷 시스템에 대한 운용환경을 분석한다.
- 2단계: 신뢰도 척도를 분류한다.
- 3단계: 운용개념별 신뢰도 예측 모델을 선정한다.
- 3-1단계: 운용개념이 운용탄인 경우
 - 3-1-1단계: 신뢰도 척도를 Dormant Reliability로 선정한다.
 - 3-1-2단계: $\lambda_{dormant}$ 의 고장률을 산출한다.
 - 3-1-3단계: $\lambda_{operating}$ 의 고장률을 산출한다.
 - 3-1-4단계: λ_{system} 의 고장률을 산출한다.
 - 3-1-5단계: MTBF를 산출한다.
- 3-2단계: 운용개념이 저장탄인 경우
 - 3-2-1단계: 신뢰도 척도를 Storage Reliability로 선정한다.
 - 3-2-2단계: $\lambda_{storage}$ 의 고장률을 산출한다.
 - 3-2-3단계: $\lambda_{operating}$ 의 고장률을 산출한다.
 - 3-2-4단계: λ_{system} 의 고장률을 산출한다.
 - 3-2-5단계: MTBF를 산출한다.
- 3-3단계: 운용개념이 혼용탄(운용+저장)인 경우
 - 3-3-1단계: 신뢰도 척도를 Nonoperating Reliability로 선정한다.
 - 3-3-2단계: $\lambda_{nonoperating}$ 의 고장률을 산출한다.
 - 3-3-3단계: $\lambda_{operating}$ 의 고장률을 산출한다.
 - 3-3-4단계: λ_{system} 의 고장률을 산출한다.
 - 3-3-5단계: MTBF를 산출한다.

2.4 운용 형태별 원샷 시스템의 신뢰도 예측 모델 제안

유도탄의 운용개념은 유도탄의 운용형태 기준으로 운용탄, 저장탄 및 혼용탄 3가지 형태로 구분하여 신뢰도 예측 모델을 제시한다. 유도탄의 운용개념을 살펴보면, operating time과 관련된 고장률 $\lambda_{operating}$ 은 유도탄에 전원이 인가된 상태에서 발사되어 목표물을 격추할 때까지의 임무시간에 관련된 고장률이다. 이는 굉장히 짧은 시간으로 임무 프로파일에 할당되어 있다. nonoperating time과 관련된 고장률 $\lambda_{nonoperating}$ 은 유도탄에 전원이 미 인가된 상태에서 발사 준비하는 동안의 고장률이다. 이는 유도탄의 수명주기 간 대부분의 시간이 할당되어 임무를 수행하고 있다. $\lambda_{nonoperating}$ 은 $\lambda_{dormant}$ 및 $\lambda_{storage}$ 으로 구분하여 nonoperating time 동안의 고장률이 반영될 수 있는 모델이 되어 한다. 따라서, λ_{system} 입장에서 duty cycle 기준으로 dormant time ratio을 모델에 반영하여 운용, 저장, 혼용의 운용개념을 포함한 신뢰도 예측 모델을 제안한다.

2.4.1 운용탄

운용탄은 유도탄이 야전에 배치되어 운용되기 전에 점검을 통해 유도탄의 이상 유무를 체크를 반드시 수행하는 탄을 의미한다. 이는 사전 점검을 수행한 후 운용하기 때문에 운용탄 개념을 적용한다. 운용개념이 운용탄인 경우에는 Dormant Reliability로 설정한다.

Dormant Reliability는 유도탄이 정상 작동 형상으로 연결되어 있지만, 작동하지 않는 상태로 정의한다. 유도탄의 운용개념은 품목이 기능을 구현할 수 있지만, 기능이 필요하지 않은 상태라고 정의하며, 대부분 전원이 인가되지 않은 상태로 캐니스터 안에서 저장된 상태로 발사 준비되고 있는 상태이다. 즉, 간헐적으로 전원이 인가되어 운용되는 형태이다. 따라서, RADC 85 91 규격에 π_{cyc} 이라는 장비 전원 on-off 주기 항목을 적용한다. Dormant Reliability는 RADC 85 91 규격을 준용하여 $\lambda_{dormant}$ 의 고장률을 산출한다. 이후, MIL HDBK 217F 등 규격의 고장률 모델을 적용하여 $\lambda_{operating}$ 의 고장률을 산출한다. Eq. (7)과 같이 $\lambda_{dormant}$ 및 $\lambda_{operating}$ 의 비율을 적용하여 최종 λ_{system} 의 고장률을 산출한다. λ_{system} 의 역수를 통해 MTBF를 산출한다.

$$\lambda_{system} = \lambda_{operating} \cdot d + \lambda_{dormant} \cdot (1 - d) \quad (7)$$

where,

$\lambda_{operating}$ = failure rate during operation

$\lambda_{dormant}$ = failure rate during dormant

d = duty cycle

2.4.2 저장탄

저장탄은 유도탄이 야전에 배치되어 사용자의 점검이 필요 없는 보증탄 개념을 적용하는 탄이다. 즉, 배치된 후에는 점검 없이 운용되기 때문에 저장탄 개념을 적용한다. 저장탄이라 함은 배치된 후 사용자의 점검이 필요하지 않은 상태로 일정기간 동안을 보증할 수 있는 신뢰도를 갖고 있는 탄이며, 캐니스터 안에서 저장된 상태로 운용되고 있다. 운용개념이 저장탄인 경우에는 Storage Reliability로 설정한다.

Storage Reliability는 유도탄이 완전히 비활성화되어 저장영역에 상주하는 상태로 정의한다. 따라서, LC 82 1/2 규격에 Storage에 한정된 고장률 모델에 적용한다. Storage Reliability는 LC 82 1/2 규격을 준용하여 $\lambda_{storage}$ 의 고장률을 산출한다. 이후, MIL HDBK 217F 등 규격의 고장률 모델을 적용하여 $\lambda_{operating}$ 의 고장률을

산출한다. Eq. (8)과 같이 $\lambda_{storage}$ 및 $\lambda_{operating}$ 의 비율을 적용하여 최종 λ_{system} 의 고장률을 산출한다. λ_{system} 의 역수를 통해 MTBF를 산출한다.

$$\lambda_{system} = \lambda_{operating} \cdot d + \lambda_{storage} \cdot (1-d) \quad (8)$$

where,

$\lambda_{operating}$ = failure rate during operation

$\lambda_{storage}$ = failure rate during storage

d = duty cycle

2.4.3 혼용탄

혼용탄은 운용 및 저장의 운용개념을 갖는 유도탄을 의미한다. 유도탄이 야전에 배치되어 운용되다가 운용 후에 점검을 수행하여 유도탄이 이상이 없을 시 저장고에 입고된다. 저장고에 입고된 후 저장고에 일정기간 동안 저장되어 있다가 다시 순차적으로 운용되는 탄이다. 이러한 경우는 어느 일정기간 동안 저장이 계속되다가 순번이 되어 운용이 되는 경우를 동반하기 때문에 운용 및 저장을 둘 다 고려한 혼용탄 개념을 적용한다. 운용개념이 운용하다가 저장되는 주기를 혼용할 경우에는 $\lambda_{dormant}$ 및 $\lambda_{storage}$ 비율을 조합하여 적용한 Nonoperating Reliability로 설정한다.

Nonoperating Reliability는 $\lambda_{dormant}$, $\lambda_{storage}$ 및 $\lambda_{operating}$ 의 임무 프로파일에 따라 비율을 적용하여 고장률을 산출한다. 우선, $\lambda_{dormant}$ 및 $\lambda_{storage}$ 비율을 고려하여 $\lambda_{nonoperating}$ 을 산출한다. 이후, MIL HDBK 217F 등 규격의 고장률 모델을 적용하여 $\lambda_{operating}$ 의 고장률을 산출한다. Eq. (9)와 같이 $\lambda_{nonoperating}$ 및 $\lambda_{operating}$ 의 임무 비율을 적용하여 최종 λ_{system} 의 고장률을 산출한다. λ_{system} 의 역수를 통해 MTBF를 산출한다.

$$\lambda_{system} = \lambda_{operating} \cdot d + [\lambda_{dormant} \cdot n + \lambda_{storage} \cdot (1-n)] \cdot (1-d) \quad (9)$$

where,

$\lambda_{operating}$ = failure rate during operation

$\lambda_{dormant}$ = failure rate during dormant

$\lambda_{storage}$ = failure rate during storage

d = duty cycle

n = dormant time ratio

2.5 사례 분석

2.5.1 운용환경 분석

운용환경 분석은 운용형태 및 임무 프로파일을 분석하는 과정이다. 이 때, 시스템의 유형, 지원개념, 운용개념에 근간하여 선정한다. 시스템의 운용 및 정비개념에 근간하여 Table 3과 같이 OOO 유도탄의 신뢰도 예측 시 필요한 운용환경 분석을 수행하였다. 유도탄의 운용환경이 함상에서 갑판 아래에 OOO 유도탄이 보호되어 운용되는 조건이라서 N_s 를 설정하였다. 이 때 운용 온도는 25℃를 적용하였다.

Table 3. Reliability Analysis Baseline for OOO Missile

Project	Environment	Temperature
OOO Missile	NS Naval Sheltered	25℃

Fig. 4는 Windchill Quality Solutions S/W에서 환경조건 N_s 및 운용 온도 25℃를 적용한 화면이다.

Fig. 4. Calculation Data for OOO Missile

2.5.2 신뢰도 척도 분류

신뢰도 척도 분류는 임무신뢰도 및 군수신뢰도로 구분한다. 임무신뢰도의 신뢰도 척도는 MTBCF, 군수신뢰도는 MTBF를 산출한다. 유도탄은 완제품 입장에서 수리 가능한 품목이며, 하부 구성품을 교환하는 정비개념을 갖고 있다. 요구사항에서 임무와 관련된 특정 신뢰도 척도를 요구하지 않았기에 신뢰도 척도를 MTBF로 선정하였다.

2.5.3 운용개념별 신뢰도 예측 모델 선정

OOO 유도탄의 운용개념에 따라 운용탄, 정비탄 및 혼용탄으로 구분하여 신뢰도 예측 모델을 선택할 수 있다. 각각의 모델에 대하여 신뢰도 예측을 수행하였다.

2.5.3.1 운용탄인 경우

운용탄의 신뢰도 예측 모델은 $\lambda_{operating}$ 및 $\lambda_{dormant}$ 의 비율을 고려하여 산출하면 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \lambda_{system} &= \lambda_{operating} \cdot d + \lambda_{dormant} \cdot (1 - d) \\ &= \lambda_{operating} \cdot 0.0001 + \lambda_{dormant} \cdot (1 - 0.0001) \\ &= 92.8582 \cdot 0.0001 + 23.766 \cdot 0.9999 \\ &= 23.77291 \end{aligned}$$

신뢰도 예측 결과는 Fig. 5와 같이 고장률(λ) 23.772910으로 산출되었다. 고장률을 MTBF로 환산 시 42,065시간이 된다.

Level	Name	Failure Rate, Predicted	MTBF, Predicted
1	encanned guided missile	23.772910	42065
2	guided missile	23.769610	42071
3	forward body	21.990660	45474
4	torpedo	0.013007	8e+007
4	middle body	21.977650	45501
3	rear body	1.778954	562128
2	wiringharness set, electrical	0.003300	3e+008

Fig. 5. Results of Reliability Prediction for Operational Missile

2.5.3.2 저장탄인 경우

저장탄의 신뢰도 예측 모델은 $\lambda_{operating}$ 및 $\lambda_{storage}$ 의 비율을 고려하여 산출하면 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \lambda_{system} &= \lambda_{operating} \cdot d + \lambda_{storage} \cdot (1 - d) \\ &= \lambda_{operating} \cdot 0.0001 + \lambda_{storage} \cdot (1 - 0.0001) \\ &= 92.8582 \cdot 0.0001 + 4.4932 \cdot 0.9999 \\ &= 4.502037 \end{aligned}$$

신뢰도 예측 결과는 Fig. 6과 같이 고장률(λ) 4.502037로 산출되었다. 고장률을 MTBF로 환산 시 222,122시간이 된다.

Level	Name	Failure Rate, Predicted	MTBF, Predicted
1	encanned guided missile	4.502037	222122
2	guided missile	4.502034	222122
3	forward body	4.419910	226249
4	torpedo	0.288980	3e+006
4	middle body	4.130930	242076
3	rear body	0.082124	1e+007
2	wiringharness set, electrical	0.000003	3e+011

Fig. 6. Results of Reliability Prediction for Storage Missile

2.5.3.3 혼용탄인 경우

혼용탄의 신뢰도 예측 모델은 $\lambda_{operating}$, $\lambda_{dormant}$ 및 $\lambda_{storage}$ 의 비율을 고려하여 산출하면 아래와 같다.

신뢰도 예측 결과는 Fig. 7과 같이 고장률(λ) 17.413516으로 산출되었다. 고장률을 MTBF로 환산 시 57,427시간이 된다.

Level	Name	Failure Rate, Predicted	MTBF, Predicted
1	encanned guided missile	17.413516	57427
2	guided missile	17.347080	57647
3	forward body	16.069510	62230
4	torpedo	0.169233	6e+006
4	middle body	15.900270	62892
3	rear body	1.277579	782730
2	wiringharness set, electrical	0.066456	2e+007

Fig. 7. Results of Reliability Prediction for Non-operating Missile

$$\begin{aligned} \lambda_{system} &= \lambda_{operating} \cdot d \\ &+ [\lambda_{dormant} \cdot n + \lambda_{storage} \cdot (1 - n)] \cdot (1 - d) \\ &= \lambda_{operating} \cdot 0.0001 \\ &+ [\lambda_{dormant} \cdot (\frac{2}{3}) + \lambda_{storage} \cdot (\frac{1}{3})] \cdot (1 - 0.0001) \\ &= 92.8582 \cdot 0.0001 \\ &+ [23.766 \cdot (\frac{2}{3}) + 4.4932 \cdot (\frac{1}{3})] \cdot 0.9999 \\ &= 17.413516 \end{aligned}$$

2.6 신뢰도 모델 간 예측 결과 비교

Table 4는 각각의 Operational Model, Mixing Model 및 Storage Model에 적용한 신뢰도 값을 비교한 표이다. Operational Model, Mixing Model, Storage Model 순으로 고장률이 높았다. Storage Model 대비 Mixing Model은 3.86배 정도 고장률이 컸으며, Operational Model은 5.28배 정도 고장률이 큼을 알 수 있었다. 이는 Operational Model, Mixing Model, Storage Model 순으로 운용환경 조건이 더 열악한 것을 확인 할 수 있었다.

운영 형태별 신뢰도 예측 모델의 신뢰도 예측 결과를 산출하면 Table 5와 같다. 시간은 1구간을 4개월로 설정하였다. 3구간 일 때는 12개월로 1년에 해당한다. 이때 시간에 따른 고장률은 단위시간당 고장빈도가 일정한 상태의 우발고장기간에 해당하기 때문에 지수분포로 설정하였다.

Table 4. Comparison of Reliability Prediction Models according to Operational Mode

Classification	Operational Model of Missile	Storage Model of Missile	Mixing Model of Missile
Proposed Model	$\lambda_{system} = \lambda_{operating} \cdot d + \lambda_{dormant} \cdot (1-d)$	$\lambda_{system} = \lambda_{operating} \cdot d + \lambda_{storage} \cdot (1-d)$	$\lambda_{system} = \lambda_{operating} \cdot d + [\lambda_{dormant} \cdot n + \lambda_{storage} \cdot (1-n)] \cdot (1-d)$
Prediction Failure Rate	$\lambda = 23.77291$ (Failures/ 10^6 Hours)	$\lambda = 4.502037$ (Failures/ 10^6 Hours)	$\lambda = 17.41352$ (Failures/ 10^6 Hours)
Reliability Function	$R = e^{-23.772910/10^6 \cdot t}$	$R = e^{-4.502037/10^6 \cdot t}$	$R = e^{-17.41352/10^6 \cdot t}$

Fig. 8은 Table 5에 따른 각 구간별 고장률 기반의 Operational Model, Mixing Model 및 Storage Model에 적용한 신뢰도 값을 보여준다.

Table 5. Comparison of Reliability Prediction Results

Time Interval (4 months)	R(t) ; Operational Model	R(t) ; Mixing Model	R(t) ; Storage Model
1	94.93	96.26	99.02
2	87.20	90.46	97.44
3	81.43	86.03	96.18
4	76.04	81.82	94.95
5	71.01	77.82	93.72
6	66.31	74.01	92.52
7	61.92	70.39	91.32
8	57.83	66.95	90.15
9	53.60	63.68	88.99
10	50.43	60.56	87.84
11	47.09	57.60	86.71
12	43.97	54.78	85.59
13	41.06	52.10	84.49
14	38.35	49.55	83.40
15	35.81	47.13	82.33
16	33.44	44.82	81.27
17	31.23	42.63	80.22
18	29.16	40.55	79.18

이러한 신뢰도 예측 결과를 근거로 하여 점검시점을 설정할 수 있는 효과를 기대할 수 있다.

신뢰도 목표 값 80% 이상에 대하여 각각의 운용 형태별 원샷 시스템의 점검 시점을 확인하면, 운용탄(R(t); Operational Model)에서는 1년, 혼용탄(R(t); Mixing Model)에서는 1.3년, 저장탄(R(t); Storage Model)에서는 5.6년 시점에서 점검을 수행해야 하는 결과를 도출할 수 있다.

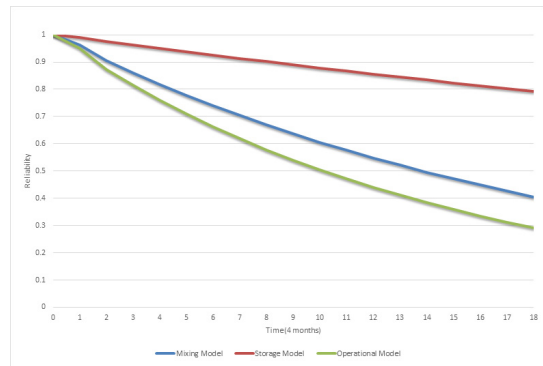


Fig. 8. Results for Reliability Prediction Models

3. 결론

본 논문에서는 운용 형태별 원샷 시스템의 신뢰도 예측 모델을 제시하였다. 제안한 신뢰도 모델에 대한 사례 분석을 통하여 모델간의 차이점을 기술하였다. Operational Model, Mixing Model, Storage Model 순으로 운용환경 조건이 가혹하기 때문에 고장률이 더 높음을 확인할 수 있었다. 따라서, nonoperating time 이 대부분인 원샷 시스템의 고장률은 상당히 적게 산출되기 때문에 운용개념에 따라 세분화하여 신뢰도를 산출해야 한다. 이에 따라 제안한 신뢰도 예측 모델을 기반으로 신뢰도 80% 이상 목표 값을 가정하여, 각각의 신뢰도 예측 모델별로 점검 시점을 확인하였다. 운용탄에서는 1년, 혼용탄에서는 1.3년, 저장탄에서는 5.6년 시점에서 점검을 수행해야 하는 결과를 도출할 수 있었다.

본 논문에서 제시한 운용 형태별 원샷 시스템의 신뢰도 예측 모델을 기반으로 정확한 신뢰도 예측이 가능하다고 판단된다. 따라서, 본 연구는 어떠한 원샷 시스템이든 신뢰도 예측 시 모델 기반으로 활용 가능하다. 또한, 체계개발단계에서의 신뢰도 예측 값을 기반으로 운용유지단계에서의 준수지원요소를 최적화하는데 유용할 것으

로 사료된다. 현 시점에서의 모델들을 한국군 데이터 기반의 모델이 아니라는 제한사항이 있기에 향후에는 한국형 고장데이터를 포함한 보완된 모델을 제시할 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 Systems and Equipment Development and Production, Department of Defense, Section 3; Reliability Modeling, p. 1, 1980.
- [3] RADC Reliability Engineer's Toolkit, An Application Oriented Guide for the Practicing Reliability Engineer, Rome Air Development Center, Appendix 2; Example R&M Requirement Paragraphs, p. 11, 1988.
- [4] BDM/A-81-016-TR, "An Assessing Missile System Dormant Reliability Design Handbook", The BDM Corporation, p. 19, 1981.
- [5] P. Judy, P. Michael, "Long Term Non-Operating Reliability of Electronic Products, CRC Press, p. 3, 2018.
- [6] H. W. Kim, W. Y. Yun, "Reliability Analysis for One-Shot Systems with Periodic Inspection", *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol. 42, No. 1, pp. 20-29, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.7232/JKIE.2016.42.1.020>
- [7] Y. W. Chu, "A Study on the Effect of Design Reliability and Periodic Inspection Cycle on Storage Reliability: Focusing on One shot Logistic Equipment System", *Journal of the Korean Convergence Society*, Vol. 9, No. 7, pp. 223-230, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.15207/JKCS.2018.9.7.223>
- [8] S. H. Jeong, S. B. Lee, H. P. Lee, "Analysis of $\Delta\Delta$ Guided Missile Inspection Period Based on Storage Reliability", *Journal of the Korea Academia Industrial cooperation Society*, Vol. 18, No. 4, pp. 592-598, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.4.592>
- [9] Y. W. Seo, K. S. Lee, Y. H. Lee, J. Y. Kim, "Reliability Prediction Based on Field Failure Data of Guided Missile", *Journal of Applied Reliability*, Vol. 18, No. 3, pp. 250-259, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.33162/JAR.2018.09.18.3.250>
- [10] MIL STD 756B, "Reliability Modeling and Prediction", Department of Defense, Task 102; Mission Reliability Model, p. 5, 1981.
- [11] DoD Guide for achieving Reliability, Availability & Maintainability, Department of Defense, Chapter 3

Understand and Document User Needs and Constraints, p. 3, 2005.

- [12] RADC TR 85 91, "Impact of Nonoperating Periods on Equipment Reliability", Rome Air Development Center Air Force Systems Command, Section 5; Nonoperating Failure Rate Model Development, pp. 81-83, 1981.
- [13] LC 82 2, "Storage Reliability Analysis Summary Report", U. S. Army Missile Research and Development Command, Section 3; Discrete Semiconductors, pp. 10-12, 1982.
- [14] MIL HDBK 217F, "Reliability Prediction Electronic Equipment", Section 3; Introduction, pp. 4-6, 1991.

서 양 우(Yang-Woo Seo)

[정회원]



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

<관심분야>

RAMS, 시스템 엔지니어링, 데이터 분석

엄 천 섭(Chun-Sup Um)

[정회원]



- 2010년 2월 : 한양대학교 산업공
학과 (공학학사)
- 2011년 1월 ~ 현재 : LIG넥스원
선임연구원

<관심분야>

신뢰성, 품질, 데이터 분석

남 현 우(Hyun-Woo Nam)

[정회원]



- 2011년 2월 : 숭실대학교 정보통신공학과 (공학학사)
- 2013년 2월 : 숭실대학교 정보통신공학과 (공학석사)
- 2013년 1월 ~ 현재 : LIG넥스원 선임연구원

〈관심분야〉

신뢰성, SW, 모델링&시뮬레이션

전 동 주(Dong-Ju Jeon)

[정회원]



- 2014년 2월 : 연세대학교 산업공학과 (공학석사)
- 2015년 1월 ~ 현재 : LIG넥스원 선임연구원

〈관심분야〉

신뢰성, 최적화, 데이터 분석