

정비 데이터를 이용한 기만체계 신뢰도 분석

곽혜림*, 홍석진, 장민기
국방기술품질원

Reliability Analysis for Decoy using Maintenance Data

Hye-Rim Gwak*, Seok-Jin Hong, Min-Ki Jang

Defence Agency for Technology and Quality

요 약 방어용 무기체계 중 하나인 기만체계는 소모성 방식으로, One-shot system에 해당된다. 주기적 점검을 통해 신뢰도를 유지하며, 발사를 해보아야 정상 작동여부를 확인할 수 있어 고신뢰도가 요구된다. 본 논문에서 분석하고자 하는 기만체계는 개발 시 목표 신뢰도 설정 및 신뢰도 예측 없이 정비주기가 설정되었다. 그러나 현재 군에서 운용 중인 수량이 점점 증가하여 정비주기 최적화 필요성이 대두되었다. 이에 따라 수십 년간 지속적으로 운용된 기만체계의 정비 데이터를 통하여 신뢰도를 분석하고 최적 정비주기를 제시하였다. 2장에서 신뢰도 분석에 사용된 데이터 수집 및 분류방법을 제시하였으며, 분석 방법론에 대해 간략하게 소개하였다. 이를 토대로 3장에서 데이터에 대한 분포 분석 및 적합도 검증을 통해 본 기만체계 정비 데이터는 와이블 분포를 적용 하는 것이 가장 적합함을 확인하였으며, 와이블 분포의 형상 및 척도모수를 추정하였다. 4장에서는 도출된 분포를 통해 백분위수, 생존확률, MTBF 분석결과를 제시하였다. 또한 시간별 신뢰도 분석결과를 통해 적정 정비주기를 도출하였다. 5장 결론에서는 향후 본 연구결과에 대한 향후 활용방안을 제시하였다.

Abstract The decoy defensive weapon system is a one-shot system. Reliability is maintained through periodic inspection and high reliability is required to confirm whether or not the functioning is normal after launch. The maintenance cycle of a decoy was set up without target reliability and reliability prediction during the development period. However, the number of operations in the military has been increasing, necessitating the optimization of the maintenance cycle. Reliability is analyzed using the maintenance data of a decoy operated for several decades and the optimal maintenance cycle is suggested. In chapter 2, data collection and classification methods are presented and analysis methodology is briefly introduced. In chapter 3, the data distribution analysis and fitness verification confirmed that applying the Weibull distribution is the most suitable for the maintenance data of the decoy. In chapter 4, we present the analysis result of percentile, survival probability and MTBF and the optimal maintenance cycle was derived from the reliability analysis. Finally, we suggest the application methods for this paper in the future.

Keywords : Reliability, Decoy, Field data, One-shot system, MTBF

1. 서론

우리나라는 다양한 무기체계를 운용하고 있으며 그 중에서도 크게 공격형 무기체계, 방어용 무기체계로 나눌 수 있다. 공격형 무기체계는 대표적으로 미사일(missile) 등이 있으며, 방어형 무기체계는 제머(jammer)나 플레어(flare) 등이 있다. 방어형 무기체계는 크게

soft-kill 방식과 hard-kill 방식으로 나뉜다. 미사일 등 공격 무기를 간접적으로 유인 및 기만시키는 방식이 soft-kill 이며, 직접적으로 요격하는 방식이 hard-kill 이다[1].

Soft-kill 방식은 전자기파, 음파 등의 다양한 교란 신호를 생성, 방사함으로써 아군 생존성을 보장한다.

본 논문에서 분석하고자 하는 기만체계는 soft-kill 방

*Corresponding Author : Hye-Rim Gwak(Defence Agency for Technology and Quality)

Tel: +82-53-757-3016 email: hrgwak@dtaq.re.kr

Received July 9, 2018

Revised July 25, 2018

Accepted October 5, 2018

Published October 31, 2018

식 중 소모성 방식에 해당되는 무기체계로, 한번 발사 후 회수하지 않고 소모해버리는 one-shot system에 해당된다. One-shot system의 특징은 저장 또는 대기 상태로 수명의 대부분을 보내며, 주기적 점검을 통해 신뢰도를 확보 및 유지한다. 또한, 발사 후 정상작동여부를 확인할 수 있어 하나의 부품 고장으로 인해 한발 전체가 버려지므로 높은 신뢰도가 요구된다. 또한 지상에서 저장되는 기간보다 플랫폼 탑재 기간이 긴 장비로, 지속적으로 플랫폼에서 발생하는 진동 및 온도 스트레스를 받는다. 이러한 운용환경은 일반적으로 저장기간이 긴 one-shot system과는 차이점이 있다.

일반적으로 무기체계는 개발 시 신뢰도 예측결과를 통해 점검 및 정비주기를 결정하나, 본 기만체계의 경우 개발 시 목표 신뢰도 설정 및 신뢰도 예측이 수행되지 않았다. 전력화 이후 운용수량이 꾸준히 증가하여 정비 소요시간이 폭발적으로 증가하였으며, 이에 따라 정정비 주기의 최적화 필요성이 대두되었다. 따라서 실제 운용 및 정비 데이터를 이용한 정확한 신뢰도 분석을 통해 최적의 정비주기를 도출하고자 한다.

국내에서는 One-shot system의 적정 정비주기 설정을 위해 다양한 연구가 진행되어 왔다. 김병수 외 3명(2009)은 생산업체, 운용부대, 정비장 3가지 관점에서 유도탄 운용 시나리오를 구성하여 시뮬레이션 모델을 구현하였으며, 이를 통해 정비주기 및 검사 수량을 제시하였다[2]. 이종문 외 2명(2011)은 MIL-HDBK-217F 등 3가지 고장률 예측 모델을 이용하여 고장률을 산출하고 정비주기 별 신뢰도 분석결과를 제시하였다[3]. 김동규 외 2명(2013)은 시스템 고장 시간이 지수분포를 따를 경우의 저장신뢰도 모형을 제시하여 Martinez 검사모형과 비교하였고, 고장시간이 와이블 분포나 감마분포를 따를 경우 저장 신뢰도를 만족할 수 있는 최적 검사주기를 제시하였다[4].

정비 데이터를 활용한 연구로 김현길 외 4명(2015) 개별 무기체계 정비 데이터 정제방안과 정비 자료의 활용방법 중 하나인 품질 개선 프로세스를 제시하였으며, 수소차량에 대해 적용한 결과를 소개하였다[5]. 홍석진 외 1명(2016)은 정비 데이터를 바탕으로 Probit 분석을 이용하여, 개발 시 예측된 신뢰도와 실측 신뢰도를 비교분석 하였다[6].

기존 연구들은 실 운용 간 발생한 정비 데이터가 아닌 예측 고장률 또는 M&S를 이용하여 정비주기를 제시하

였으며 대부분 저장기간이 긴 유도탄의 신뢰도 분석 결과를 제시하고 있어, One-shot system이지만 유도탄과는 다르게 지속적인 외부 스트레스를 받는 기만체계의 신뢰도 분석이 필요한 실정이다.

2. 데이터 및 방법론

2.1 데이터 수집 및 고장 판단기준

본 기만체계는 수십 년간 꾸준히 생산되어 전력화되었으며, 수 천발이 운용되고 있다. 데이터는 실제 운용중인 군으로 부터 주기적 점검 및 사격 결과를 수집하였다. 수집대상은 전력화 이후부터 14년 납품수량까지로 한정하였다. 세부적인 정비이력 및 고장 데이터는 군사 보안과 연관이 있으므로 분석에만 활용하였고 비공개로 처리하였다.

수집한 정비이력은 약 400회이나 구성품의 실제 수명과는 무관한 데이터도 있어, 추가 고장여부 분류작업을 수행하였다. 그 결과, 수 백발을 고장으로 분류하였다. 고장으로 분류되지 않은 나머지 데이터는 우측 관측중단 처리를 하였다. 관측 중단 시점은 17년 12월이고 정시 중단하였다.

고장여부는 다음의 기준으로 구분하였다. 첫 번째, 실제 발사 시 정상 발사된 경우에는 고장으로 분류하지 않았다. 즉, 관측 중단 시점까지 정상이라고 가정하였다. 두 번째, 검사 수행 시 전기적 성능 값이 정상 범위를 벗어나거나 구성품 고장확인 시 고장으로 분류하였다. 그러나 구성품이 고장이더라도 체계가 정상적으로 임무수행이 가능하면 고장으로 분류하지 않았다. 세 번째, 비정상적인 운용(사용자 실수 등) 또는 설계적인 문제로 인한 고장은 고장으로 분류하지 않았다. 본 기만체계는 주기적 점검을 수행하므로, 고장을 발견한 시점을 기준으로 고장이 발생하였다고 가정하였다.

2.2 방법론

신뢰성 분석에 사용되는 데이터는 크게 계량형 데이터와 계수형 데이터로 나눌 수 있다. 계량형 데이터는 연속적으로 측정이 가능한 데이터를 의미하며, 계수형 데이터는 검사를 통해 얻어지는 성공 및 실패 횟수로 나타낼 수 있는 데이터를 의미한다[7].

신뢰성 추정 방법으로는 특정한 분포를 가정하지 않

는 비모수적(non-parametric) 방법과 수명 분포를 가정하는 모수적(parametric) 방법이 있다[5]. 정비 데이터를 이용하여 수명 분포를 추정할 수 있으므로 비모수적인 방법 보다는 모수적 방법을 사용하여 신뢰성 분석을 수행한다. 모수의 추정 방법은 일반적으로 최소자승법(least square estimation)과 최우추정법(maximum likelihood estimation)이 있다. 최소자승법은 관측 중단 자료가 아닌 완전한 자료에 주로 사용하는 방법이므로, 관측 중단 자료를 활용할 수 있는 최우추정법을 적용하였다[8].

모수적 방법을 통해 고장에 대한 확률밀도함수 $f(t)$ 를 도출하면, 우리는 수명 분포를 통해 다양한 신뢰성 지표들을 도출할 수 있다.

MTBF(Mean Time Between Failure)는 수리 가능한 아이템의 고장 날 때 까지 평균시간을 의미하며 다음의 식으로 표현 가능하다.

$$MTBF = E(t) = \int_0^{\infty} tf(t)dt \quad (1)$$

신뢰도 함수(Reliability function, Survival function)는 생존함수 라고도 하며, 주어진 t 시점에서 이전까지 고장이 나지 않을 확률을 의미한다.

$$R(t) = \Pr [T > t] = 1 - F(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt \quad (2)$$

여기서 $F(t)$ 는 확률밀도함수의 누적 분포함수로서 t 시점 이내에 고장이 날 확률을 의미한다.

위험함수는 고장률함수 라고도 하며, 기만체계를 t 시점까지 고장(파손) 없이 저장 또는 탑재 중인 시점 가운데 t 시점에서 고장 날 확률을 나타낸다[9].

$$\begin{aligned} \lambda(t) &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t < T \leq t + \Delta t | T > t)}{\Delta t} \\ &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{\Delta t \cdot R(t)} \\ &= \frac{1}{R(t)} \left(-\frac{d}{dt} R(t) \right) = \frac{f(t)}{R(t)}, 0 \leq t \leq \infty \end{aligned} \quad (3)$$

3. 분포 선정 및 모수 추정

3.1 분포분석 및 적합도 검정

해당 데이터가 특정 분포에 얼마나 적합한지 확인하기 위해 일반적으로 널리 쓰이는 분포들에 대해 적합도를 확인해보았다. 와이블(weibull), 로그 정규(log-normal), 지수(exponential), 로그 로지스틱(log-logistic), 최소 극단값(smallest extreme value), 정규(normal), 로지스틱(logistic) 분포에 대해 적합도를 확인하기 위해 Anderson-Darling 통계량이 사용되었고, 이 중 통계량이 가장 작은 분포가 데이터에 가장 적합하다고 판단할 수 있다[10]. 각 분포별 적합도 확인결과는 Table 1과 같다.

적합도 확인결과, 대부분 분포들의 Anderson-Darling 통계량이 크게 차이가 나지 않았으나 와이블, 로그 로지스틱 분포가 모두 통계량이 2212.631로, 가장 작은 통계량이 나왔으며, 로그 정규 분포가 2212.647로 두 번째로 작게 나왔다.

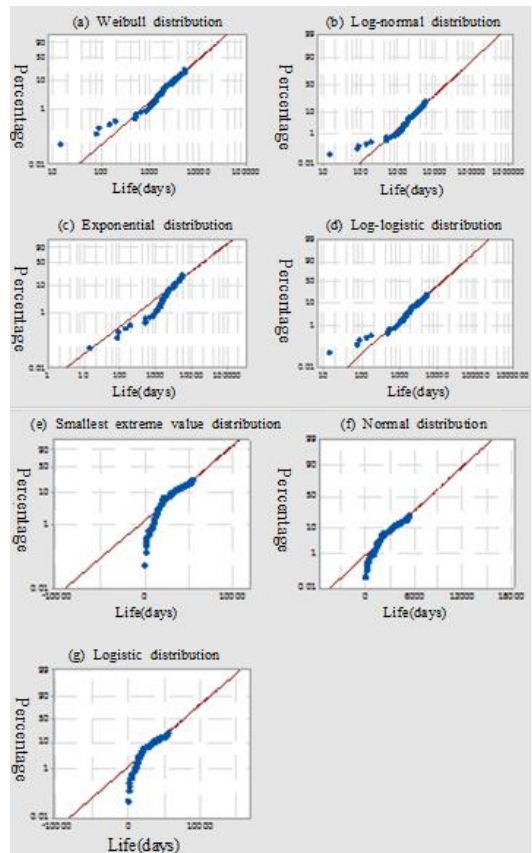


Fig. 1. Goodness-of-fit-statistic for each distribution (a) Weibull (b) Log-normal (c) Exponential (d) Log-logistic (e) Smallest extreme value (f) Normal (g) Logistic

Table 1. Anderson-Darling Test Result

Distribution	Anderson-Darling statistic
Weibull*	2212.631*
Log-normal*	2212.647*
Exponential	2212.740
Log-logistic*	2212.631*
Smallest extreme value	2212.722
Normal	2212.702
Logistic	2212.715

Anderson-Darling 통계량을 통하여 와이블 분포, 로그 로지스틱 분포 및 로그 정규 분포가 기만체계의 고장 데이터에 적합하다는 것을 파악하였다. 그 중 가장 적합한 분포를 선택하기 위해 3가지 분포의 MTBF 평균과 표준오차를 비교해보았으며, 그 결과 평균값과 표준오차가 가장 작은 와이블 분포를 본 기만체계에 가장 적합한 분포로 선정하였다.

Table 2. Table of MTBF for each distribution

Distribution	Mean(Days)	Standard error
Weibull**	13518.7**	1621.1**
Log-normal	60563.5	16905.1
Log-logistic	29237.0	6845.4

3.2 분포를 통한 모수 추정

앞서 분포 적합도 분석을 통해 기만체계에 가장 적합한 분포로 와이블 분포를 선정하였다. 따라서 선정된 와이블 분포의 형상모수 및 척도모수를 추정하여 확률밀도 함수, 신뢰도 및 위험함수를 파악할 수 있다. 와이블 분포의 형상모수 및 척도모수는 Table 3과 같다.

Table 3. Result for parameter estimation in Weibull distribution

Parameters	Estimation value
Shape parameter	1.5183
Scale parameter	14996.6
Log-likelihood value	-1507.056

4. 신뢰도 분석 결과

4.1 백분위수를 통한 신뢰도 분석

Table 4를 보면 기만체계의 생존확률이 50% 이하로 떨어지는 시간은 11780.3일(days) 인 약 32년으로 예측

되었다. 전체의 5%가 고장이 나는데 까지 걸리는 시간은 약 5.8년 이며, 10%는 약 9.3년으로 추정된다. 즉, 기만체계는 저장 및 탑재한지 약 5.8년이 지나게 되면 전체의 5%가, 9.3년이 지나게 되면 10% 정도가 고장이 난다는 것을 의미한다.

Table 4. Percentile table of Decoy

Percentage (%)	Operating period		Standard error	Lower limit	Upper limit
	days	year			
1	727.71	1.99	95.43	559.9	938.1
3	1504.25	4.12	131.84	1266.8	1786.2
5	2120.30	5.81	150.19	1845.5	2436.1
10	3406.41	9.33	195.90	3043.3	3812.9
20	5584.05	15.30	351.37	4936.1	6317.0
30	7605.10	20.84	570.58	6565.1	8809.8
50	11780.30	32.27	1157.57	9716.6	14282.3
90	25975.30	71.17	3841.50	19439.0	34709.2
99	41004.20	112.34	7314.50	28905.9	58166.0

4.2 생존함수 및 위험함수를 통한 신뢰도 분석

Table 4를 도출된 모수들을 적용하여 확률밀도함수와 생존함수 및 위험함수를 도출하여 분석한 결과는 Fig. 2와 같다. 확률밀도함수를 보면 납품 후 고장발생확률이 점점 높아지며, 약 20년(약 74000일)이 경과되는 시점에 고장 발생확률이 가장 높으며, 이후에 서서히 감소한다.

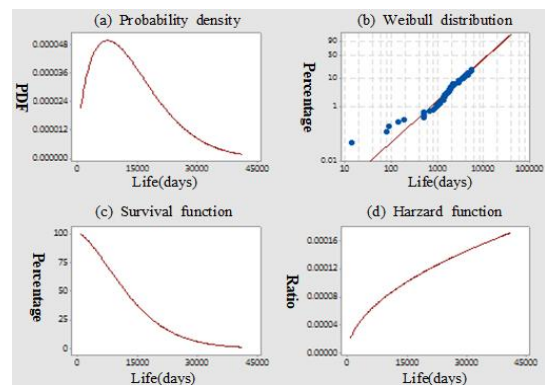


Fig. 2. Graph for probability of life(days)

- (a) Probability density
- (b) goodness-of-fit-statistic for weibull distribution
- (c) Survival fuction (d) Hazard function

Fig. 2에서 와이블 분포 확률도와 정비 데이터의 일치

성을 그린 결과를 보면 수명 초기에 일부 추정치에 벗어나는 값들이 있다. 이는 일부 수량이 초기에 비정상적으로 고장이 발생하였음을 의미한다. 일반적으로 유도탄과 같은 One-shot system은 잠재적 고장을 사전 축진 및 제거하기 위해 ESS (Environment Stress Screening, 환경부하 스크리닝)와 같은 프로세스를 제조 공정 중 적용한다[11]. 그러나 본 기만체계는 현재 이러한 초기 고장을 사전 제거할 수 있는 프로세스를 적용하고 있지 않다. 따라서 기만체계에 적절한 ESS 프로파일을 설정하여 공정 프로세스에 적용한다면 이러한 초기 고장은 사전에 제거될 수 있을 것으로 판단된다.

95% 신뢰수준으로 각 연도별 기만체계의 신뢰도를 분석한 결과는 Table 5와 같다, 군으로 납품된 후 2년이 지나도 생존확률은 0.99로, 상당히 높은 수준을 유지하는 것을 알 수 있다. 5년일 때는 생존확률이 0.96 이며, 10년일 때는 0.89, 15년일 때는 0.805, 20년일 때는 0.715로 추정된다.

Table 5. Time based reliability of decoy

Time		Reliability	Lower limit	Upper limit
Year	Days			
1	365	0.996	0.994	0.998
2	730	0.990	0.985	0.993
3	1095	0.981	0.975	0.986
4	1460	0.971	0.963	0.978
5	1825	0.960	0.950	0.968
6	2190	0.948	0.936	0.957
7	2555	0.934	0.921	0.945
8	2920	0.920	0.905	0.933
9	3285	0.905	0.888	0.920
10	3650	0.890	0.871	0.906
12	4380	0.857	0.833	0.878
13	4745	0.840	0.812	0.864
14	5110	0.823	0.792	0.850
15	5475	0.805	0.771	0.835
20	7300	0.715	0.659	0.764
30	10950	0.538	0.440	0.626
50	18250	0.260	0.142	0.395

4.3 신뢰도 분석을 통한 정비주기 분석

Table 2에 제시된 대로 MTBF는 95% 신뢰수준에서 13518.7일인 약 37년으로 예측되었다. 민수에서는 제품의 신뢰성 척도로 MTBF를 흔히 사용하나, 군수제품은 일반적으로 개발 시 목표 신뢰도를 설정하고 이를 운용 기간 동안 유지하기 위해 적정 정비주기를 도출하게 된다. 일반적으로 군수에서는 유도탄과 같은 One-shot

system의 목표 신뢰도를 80~90%로 설정한다. 이러한 목표 신뢰도는 정비주기와 제품 수명 설정 시 중요한 인자가 된다.

기만체계는 개발 시 목표 신뢰도가 설정되지 않았으며, 예측 신뢰도 또한 분석되지 않았다. 따라서 유사 무기체계의 신뢰도를 참고하여 정비주기를 설정하는 것이 타당할 것으로 예상된다. Table 5를 보면 납품 이후 약 5년 후에 신뢰도가 95%, 9년 후에 신뢰도가 90% 이하, 15년 후에 신뢰도가 80% 이하로 떨어질 수 있다고 추정된다. 하한 기준으로는 약 5년 이후 95%, 8년 이후 90%, 13년 이후 80% 이하로 떨어질 수 있다고 추정된다.

예를 들어 목표 신뢰도를 하한 기준 95%로 설정한다면, 신뢰도 하한이 95% 이하로 떨어지는 시점인 납품 후 5년 시점에 점검 및 정비를 수행하여 장비의 신뢰도를 높일 필요가 있다. 따라서 목표 신뢰도가 95%, 90%, 80%로 설정되면 정비주기를 5년, 8년, 13년으로 연장할 수 있다. 현재 분석된 기만체계의 정비주기는 2.5년이므로, 기존 대비하여 2배, 3.2배, 5.2배 연장할 수 있다.

정비주기 연장 시 검사 수행 횟수가 줄어 정비 인사가 절감될 뿐만 아니라, 검사 수행마다 필수적으로 소모되는 수리부속과 자재 등의 소요비용 까지 절감될 수 있어 국방예산 절감에 크게 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

5. 결론

본 연구를 통해 개발 후 수십 년간 운용된 기만체계의 정비 데이터를 이용하여 신뢰도를 분석하였다. 먼저 신뢰도 분석에 사용된 데이터 수집 및 분류방법을 제시하였으며, 분석 방법론에 대해 간략하게 소개하였다. 이를 토대로 데이터에 대한 분포 분석 및 적합도 검증을 통해 기만체계 정비 데이터는 와이블 분포를 적용 하는 것이 가장 적합함을 확인하였으며, 와이블 분포의 형상 및 척도모수를 추정하였다.

백분위수 분석을 통해 10% 백분위수 수명은 약 9.3년, 50% 백분위수 수명은 약 32년으로 추정되었다. 또한 와이블 분포 확률도와 정비 데이터의 일치성 그래프를 통해 수명 초기에 다수의 고장이 발생함을 확인하여, ESS 추가 적용과 같은 공정 프로세스 개선사항을 식별하였다.

생존확률 분석을 통해 납품 후 5년 후 생존확률이

0.96, 10년 후에는 0.89, 15년 후에는 0.805, 20년 후에는 0.715로 추정됨을 확인하였다.

신뢰도 분석결과, MTBF는 약 37년으로 추정되어 기만체계의 신뢰도가 상당히 높게 유지되고 있음을 확인하였다. 이는 지속적으로 운용되는 장비와는 달리 저장 및 탑재되는 기간이 상대적으로 길기 때문에 신뢰도가 높게 나온 것으로 예상된다. 그러나 군수품 중 One-shot system의 특수성을 감안하여 MTBF 보다는 95%, 90%, 80% 신뢰도를 적용하여 적정 정비주기를 산출하였으며, 그 결과 기존 대비 2배, 3.2배, 5.2배 연장 가능함을 확인하였다. 본 연구결과를 토대로 현재 본 기만체계를 운용 중인 군에서 점검 주기 연장 수행하게 된다면, 적정 신뢰도를 유지하면서도 국방예산을 절감할 수 있을 것으로 예상된다.

최근 개발되는 무기체계의 경우, 종합 군수지원 계획서(ILS-P : Integrated Logistics Support Plan)를 작성하며, 여기에 예측 신뢰도 및 정비주기, 방법 등이 포함된다. 개발 기간 및 비용의 한계로 인해 대부분은 MIL-HDBK-217F를 이용하여 신뢰도를 예측하며, 유사 무기체계의 실제 운용 및 정비 데이터를 이용하여 신뢰도 분석 및 활용하는 경우는 드물다.

그러나 MIL-HDBK-217F에 따른 본 기만체계의 MTBF 분석결과, 약 565일(약 1.5년)으로 결과가 나와 예측 신뢰도와 실제 신뢰도는 크게 차이가 난다는 것을 알 수 있다. 따라서 향후 유사무기체계 개발 시 모델링을 통한 예측 신뢰도 분석결과 보다 본 연구결과가 정비주기 산출 등에 유용하게 사용될 것이라고 확신한다.

또한 개발 시 정해진 점검주기로 계속 점검하는 것 보다 운용 중인 장비의 정비 데이터 수집 및 신뢰도 분석을 통해 적정 점검주기를 도출하고 이를 다시 적용하는 것이 필요할 것이다. 이러한 선순환 프로세스가 체계적으로 적용되면 앞서 언급하였듯이 적정 신뢰도를 유지하면서 정비 비용을 절감하여 향후 국방력 개선에 크게 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

References

[1] Y. H. Lim, "A Study on Core Technology Analysis of the Decoy System", *Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences*, pp.543-544, 2012.

[2] B. S. Kim, K. S. Lee, D. S. Kim and K. S. Moon,

"Certified Missile Rounds Concepts Using Modeling and Simulation", *Journal of the Korea Society for Simulation*, Vol.18, No.4, pp.95-105, 2009.

[3] J. M. Lee, K. S. Kwon and H. P. Lee, "The Study on Estimating Preventive Maintenance period and Life cycle of Missile system", *Proceedings of Korean Institute of Industrial Engineer*, pp.1172-1176, 2011.

[4] D. K. Kim, W. S. Kang, S. J. Kang, "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, 2013.
DOI: <https://dx.doi.org/10.7737/JKORMS.2013.38.1.001>

[5] H. G. Kim, S. M. Kwon, K. H. Cho, S. I. Sung, "Development of Quality Improvement Process based on the Maintenance Data of Weapon Systems", *Journal of the Korean Society for Quality Management*, Vol.43, No.4, pp.499-510, 2015.
DOI: <https://dx.doi.org/10.7469/JKSQM.2015.43.4.499>

[6] S. J. Hong, S. H. Jung, "A Study of Reliability of Guided Missile(OO) using Probit Analysis", *Journal of the Korean Society for Quality Management*, Vol.44, No.3, pp.553-564, 2016.
DOI: <https://dx.doi.org/10.7469/JKSQM.2016.44.3.553>

[7] Nelson, Wayne, *Applied Life Data Analysis*, Wiley, 1982.

[8] Nelson, Wayne, "Accelerated Testing: Statistical Models, Test Plans, and Data Analysis", John Wiley & Sons, 2009.

[9] D. S. Bea, Y. L. Jeon, *Reliability Analysis*, Arche, 1999.

[10] S. K. Seo, *Minitab Reliability Analysis*, Eretec, 2015.

[11] M. K. Jang, J. S. Choi, J. E. Kim, "A Study on ESS Optimization Management for Improving Reliability and Quality of Electronic Equipments", *Journal of Advanced Engineering and Technology*, Vol.10, No.3, pp.291-295, 2017.

곽혜림(Hye-Rim Gwak)

[정회원]



- 2013년 2월 : 한국과학기술원 전자공학과 석사졸업 (공학석사)
- 2013년 2월 ~ 현재 : 국방기술품질원 유도전자센터 재직 중

<관심분야>

신호처리, 수중감시

홍 석 진(Seok-Jin Hong)

[정회원]



- 2015년 2월 : 연세대학교 정보 산업공학과 석사졸업
- 2010년 3월 ~ 2013년 3월 : LG 디스플레이
- 2014년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 유도전자센터 재직 중

<관심분야>

유도탄, One-shot system, 신뢰성공학, 데이터마이닝

장 민 기(Min-Ki Jang)

[정회원]



- 2014년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 유도전자센터 재직 중

<관심분야>

유도탄, One-shot system, 수증감시