

야전운용제원에 기반한 공군 OO유도탄 고장률 예측에 관한 연구

박천규, 마정목*
국방대학교 국방과학학과

A Study on the Prediction of Failure Rate of Airforce OO Guided Missile Based on Field Failure Data

Cheonkyu Park, Jungmok Ma*
Department of Defense Science, Korea National Defense University

요약 일회성 무기체계는 대기 상태로 있다가 단 한 번의 임무를 수행한 이후 폐기되는 특성에 따라 높은 신뢰도를 요구받는다. 유도탄은 일회성 무기체계로써 특성상 저장 상태로 수명의 대부분을 보내고, 임무수행을 위한 운용시간은 짧기때문에 임무성공률이 아닌 저장 신뢰도로 분석해야 한다. 유도탄의 신뢰도를 분석할 때 어떠한 방법을 사용하는지에 따라 그 결과는 달라질 수 있으며, 고장자료와 함께 포함되는 우측 관측중단자료의 비율에 따라서도 차이가 발생할 수 있다. 본 연구는 공군의 OO유도탄을 대상으로 미래의 고장률을 보다 정확하게 예측하기 위한 방법을 제시하고자 작성하였다. 제시하는 방법은 먼저 평균 고장시간(MTTF: Mean Time To Failure, 이하 MTTF)을 적용한 모델과 고장간 평균시간(MTBF: Mean Time Between Failure, 이하 MTBF)을 적용한 모델로 고장률을 예측하고, 두 모델 중 실제 고장률과 차이가 작은 모델을 선택한다. 선택한 모델로 고장자료와 함께 포함되는 우측 관측중단자료의 비율을 달리하여 고장률을 예측하고, 실제 고장률과의 차이가 최소화되는 비율을 찾는다. 실제 자료를 바탕으로 제안한 비율과 현재 검사 비율의 비교를 통해 제안한 비율이 미래 고장률을 예측하기에 더 적합함을 보였다.

Abstract The one-shot weapon system is destroyed after only one mission. So, the system requires high reliability. Guided missiles are one-shot weapon systems that have to be analyzed by storage reliability since they spend most of their life in storage. The analysis results depend on the model and the ratio of correct censored data. This study was conducted to propose a method to more accurately predict the future failure rate of Air force guided missiles. In the proposed method, the failure rate is predicted by both MTTF (Mean Time To Failure) and MTBF (Mean Time Between Failure) models and the model with a smaller error from the real failure rate is selected. Next, with the selected model, the ratio of correct censored data is selected to minimize the error between the predicted failure rate and the real failure rate. Based on real field data, the comparative result is determined and the result shows that the proposed sampling rate can predict the future failure rate more accurately.

Keywords : One-shot Weapon System, Field Failure Data, Failure Rate, Sampling, Storage Reliability

1. 서론

일회성 무기체계는 임무를 수행하기 전까지 대기 상태로 있다가 주어진 임무를 수행한 이후 폐기되는 특성을

갖는다. 군에서 운용중인 유도탄이 일회성 무기체계에 해당한다. 특히 유도탄은 단 한 번의 사용으로 임무의 성공과 실패를 판단할 만큼 높은 신뢰도를 요구받는다. 유도탄의 신뢰도는 “Probability of mission

*Corresponding Author : Jungmok Ma(Korea National Defense Univ.)

email: jxm1023@gmail.com

Received March 31, 2020

Accepted July 3, 2020

Revised April 22, 2020

Published July 31, 2020

success(임무성공률)”로 표현된다[1]. 즉 유도탄이 일회 사용될 때 발사에 성공할 확률을 나타내는 척도이다. 하지만 유도탄은 임무 수행을 위한 운용시간이 짧고 수명의 대부분을 저장 상태로 보내게 된다. 그렇기 때문에 유도탄의 신뢰도를 분석할 때 임무성공률이 아닌 저장 신뢰도를 분석하는 방안이 주로 연구되고 있으며, 주요 특징은 Table 1과 같다. 저장 신뢰도에 관한 연구는 E. C. Martinez가 주기검사를 수행하는 시스템의 신뢰도를 추정하는 방법을 제시하면서 시작됐다. E. C. Martinez는 시스템이 공장에서 생산되어 수송, 저장, 주기검사 단계로 구분하여 고장률을 산출하였으며, 지수분포를 가정하였다[2]. I. S. Choi 외 3명은 시스템 전체의 고장률을 추정하기 위해 구성품 단위별로 고장률을 산출하여 저장 신뢰도를 분석했다[3]. 그러나 E. C. Martinez와 I. S. Choi의 연구는 분석에 활용한 자료가 실제의 고장자료가 아니기 때문에 예측된 신뢰도는 실제 신뢰도와 차이가 발생할 수 있다[2,3]. S. H. Jeong 외 1명과 Y. W. Seo 외 3명은 실제의 고장자료를 활용하여 유도탄의 저장 신뢰도 분석방법을 제시하였다[4,5]. 두 연구중 S. H. Jeong 외 1명은 정비가 불가능한 MTTF 개념을 적용하였다[4]. 그리고 Y. W. Seo 외 3명은 정비가 가능한 MTBF 개념을 적용한 방법으로 신뢰도를 분석하고, MTTF를 적용한 방법과 비교하여 MTBF를 적용한 방법의 타당성을 제시했다[5]. 실제의 고장률을 예측하기 위해서는 MTTF를 적용한 방법과 MTBF를 적용한 방법을 모두 고려해볼 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 실제의 고장자료를 토대로 MTTF와 MTBF를 적용한 방법을 모두 포함하여 고장률을 예측하는 연구를 수행하고자 한다. 용어의 정리를 위해 정비가 불가능한 MTTF를 적용한 방법은 “기존모델”로, 정비가 가능한 MTBF를 적용한 방법은 “정비모델”로 정의하여 사용하겠다.

신뢰도는 분석하는 방법에 따라서 결과가 달라지며, 어떤 자료를 포함하느냐에 따라서도 결과가 달라진다. I. H. Lee 외 4명은 고장자료만으로 신뢰도를 예측할 때는 수명분포가 과소추정 될 수 있고, 비교장자료인 우측 관측중단자료를 모두 포함했을 때는 과대추정 될 수 있음을 보였다. 또한, 개폐용 단말장치의 고장자료로 신뢰도를 분석할 때 실제 수명에 가깝게 예측되는 샘플링 비율을 도출했다[6]. J. H. Ahn 외 1명은 연구대상을 일회성 무기체계로 하여 미래 고장률을 예측하기 위한 최적의 샘플링 비율을 제시했다[7]. 우측 관측중단자료 중 표본의 비율에 따라 예측되는 신뢰도는 달라지기 때문에 적절한 표본의 비율을 찾는 것은 매우 중요하다.

공군은 OO유도탄의 신뢰도를 보장하기 위해 공본지침서 5-45-1 “방공유도무기 정비관리”에 따라 창정비에 입고되는 표본의 비율을 명시하였다. 표본은 우측 관측중단자료 중에서 저장 기간별로 선정되며, 임무성공률을 척도로 신뢰도를 분석하고 있다[8]. 그러나 현재 수행 중인 방법으로 신뢰도를 정확하게 예측하기에는 한계가 있다. 먼저 OO유도탄은 저장 기간이 30년 이상이기 때문에 임무성공률이 아닌 저장신뢰도로 분석하는 것이 합리적일 것이다. 또한, 현재 명시된 표본의 비율로 고장률을 예측할 때 어느 정도의 정확성을 보이는지 검증해볼 필요가 있다. 정확하게 고장률을 예측하기 위해서는 전수조사가 가장 좋은 방법일 것이다. 하지만 전수조사는 비용과 시간이 과다하게 소모되므로 적절한 표본을 선정하여 신뢰도를 분석하는 것이 효과적이라 할 수 있다. 따라서 본 연구는 실제 고장률을 예측하기 위해 기존모델과 정비모델 중 어떠한 모델이 적합한지 확인한다. 그리고 표본의 비율별로 고장률을 예측하고, 그 중 최적의 비율을 제시하고자 하며, 선행연구와의 차이점은 다음과 같다.

첫째, 공군 군수사령부의 창정비 자료를 토대로 OO유

Table 1. Relevant prior research

	Subject	Characteristic	Validation(yes/no)	Data period(real/virtual)
E. C. Martinez[2]	Electronic equipment	Optimal inspection cycle with MTBF	no	virtual
I. S. Choi[3]	Ammunition	Reliability study with MTTF+MTBF	no	virtual
S. H. Jeong[4]	Guide missile(Army)	Optimal inspection cycle with MTTF	no	2 years(real)
Y. W. Seo[5]	Guide missile(Navy)	Reliability study with MTTF+MTBF	no	7 years(real)
J. H. Ahn[7]	Rocket missile(Army)	Optimal sampling with MTTF	yes	21 years(real)
S. K. Kim[9]	Guide missile(Navy)	Optimal inspection cycle with MTBF	no	6 years(real)
Y. S. Choi[10]	Torpedo(Navy)	Reliability study with MTTF	no	10 years(real)
This paper	Guide missile(Airforce)	Optimal sampling with MTTF+MTBF	yes	19 years(real)

도탄 저장 신뢰도를 분석한 점이다. 공군의 OO유도탄은 지대공유도탄 중 방공임무의 핵심역할을 맡아왔으며, 고장자료 또한 가장 많이 축적되어있다. 그러나 Table 1과 같이 공군 유도탄의 고장률에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았으므로 본 연구를 통해 공군 OO유도탄의 고장률을 분석하고, 미래의 고장률을 예측하고자 하였다. 또한 본 연구에서 수집한 고장자료는 선행연구 중 J. H. Ahn[7]의 고장자료와 더불어 가장 긴 기간의 자료이며, 실사격 중 발생한 고장 건수를 포함했다는 차이점이 있다.

둘째, 저장 신뢰도를 분석하기 위해 기존모델과 정비 모델을 절차로 포함하여 고장률을 예측하는 방법을 제시했다. 선행연구에서 Y. W. Seo 외 3명은 두 가지의 모델로 신뢰도를 분석했지만, 예측된 수명분포는 우측 중도절단자료를 모두 포함한 결과로 실제의 수명분포와의 차이가 발생할 수 있다[5].

셋째, Table 1에서 J. H. Ahn[7]의 연구 외에는 예측한 신뢰도에 대해 검증을 실시하지 않았으나 본 연구에서는 고장률을 예측하고 검증까지 수행했다는 차이가 있다. 검증방법은 수집한 자료 중 일부를 모델링 자료로 분류하고 일부를 검증 자료로 분류하여 고장률 예측의 정확성을 판단하였다.

2. 본론

2.1 연구수행 방법

공군 OO유도탄의 고장률을 예측하기 위해서 Fig. 1의 순서로 연구수행 방법을 제시한다.

OO유도탄의 고장자료는 군수사령부에서 종합하고 있는 창정비 결과를 토대로 수집하였다. 수집한 자료는 2000년부터 2018년까지의 고장건수이며, 총 593발 중 고장 건수는 재고장을 포함하여 437건이다. 고장 건수를 고장 시점에 따라 1년에서 27년까지의 경과 연수별로 정리했으며, 보안의 이유로 자료를 일부 변형하여 사용하였다.

Fig. 1의 Step 1은 기존모델과 정비모델 중 고장률을 예측하기에 적합한 모델을 선정하는 단계이다. 고장자료를 모델별로 Anderson-Darling (A-D) 적합도 검정을 통해 적합분포를 확인하고, 최우추정법(MLE : Maximum Likelihood Estimation)으로 모수를 추정한다. 모수 추정 후 고장자료의 일부를 모델링에, 나머지 자료를 예측의 정확도 평가에 사용한다. 고장 건수는 도입연도부터 고장 관측이 중단되는 i 년도 까지의 고장 발수와 우측 중도절단자료를 토대로 $i \sim i+1$ 년도의 고장 건수를 예측한

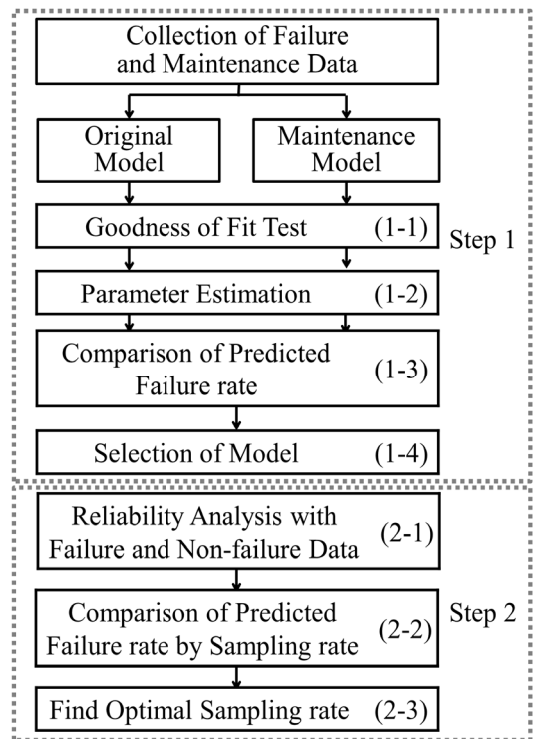


Fig. 1. Proposed Study Process

다. 고장 건수 예측은 불신뢰도함수의 조건부확률을 통해 수행하며, 고장률을 예측하기에 적합한 모델을 선정하기 위해 우측 중도절단자료 전체를 대상으로 하여 고장 건수와 고장률을 산출한다. 예측의 정확도를 평가하기 위해서는 평균제곱오차(MSE : Mean Squared Error)를 척도로 사용하였는데 그 이유는 차이가 클수록 MSE도 커지므로 정확성을 눈에 띄게 나타낼 수 있기 때문이다.

Fig. 1의 Step 2는 우측 중도절단자료에서 표본을 추출하여 Step 1과 같은 절차로 적합분포를 확인하고 모수를 추정하는 단계이다. 모델링 자료를 기반으로 유도탄의 고장 건수와 고장률을 예측하며, 고장률 예측을 위한 최적 비율을 산출하기 위해 우측 중도절단자료의 비율을 달리하여 예측을 수행한다. 이 후, 실제 고장률과의 차이를 MSE로 확인하며, 비율별로 이 과정을 반복하여 MSE가 가장 작은 비율을 확인하는 절차가 되겠다.

2.2 검증

2.2.1 가정사항

제시한 연구수행 방법으로 예측한 고장률을 검증하기 위해 설정한 몇 가지 가정사항은 다음과 같다. 첫째, 창정

비에 입고된 유도탄 증 보관 컨테이너 이상과 같이 성능에 영향을 주지 않는 표본은 제외하였다. 둘째, 창정비가 완료되는 기간은 통상 1개월 이내이기 때문에 정비모델에서의 고장 유도탄은 정비 완료 후 해당 연도에 재배치한 것으로 처리한다. 셋째, 고장 유도탄은 창정비를 통해 재제작업이 완료되어 최초 도입된 유도탄과 동일한 품질을 가진 것으로 처리한다.

2.2.2 적합 모델 선정

기존모델(MTTF)에서는 한 번 고장이 발생한 유도탄은 고장발생 시점 이후 지속적으로 고장자료로 분류되어 신뢰도를 분석한다. 그리고, 정비모델(MTBF)에서는 고장 후 정비가 완료된 유도탄은 고장자료가 아닌 우측 중도절단자료로 포함시키는 특징이 있다. 실제의 고장률을 예측하기 위해서는 기존모델과 정비모델을 모두 고려하여 그 중 적합한 모델을 선정하기로 한다. Fig. 1에 따라 Step 1을 적용하면 다음과 같다. Table 2는 기존모델에서 재고장을 포함하지 않은 299건의 고장자료를 1년에서 27년까지의 경과 연수별로 나타낸 것이다. 정비모델과의 차이점은 고장난 유도탄을 전체 유도탄 발수에서 제외시킨다는 것이다. 그렇기 때문에 잔여 발수는 점차 감소하는 형태를 보인다.

Table 2. Number of failures per year(Original Model)

Deployed	Elapsed year												
	1	2	3	4	5	6	...	16	17	18	19		
593							...	13	23	17	28		

Table 3. Number of failures per year(Maintenance Model)

New Deployed		Elapsed year												
Deployed	Maintenance & Redeployed	1	2	3	4	5	6	...	16	17	18	19		
		593								...	13	23	17	28
	38			3	6	1	2	...						
	41			4	8	2	3	...		1				
	34			3	2			...	2					
	41			8	2			...	1					
	30			1	2	1	4	...						
	38			3			1	...						
	35			3	6			...						
	20			1	2	1		...						
	30			2	1			...						
	25			1			2	...						
	45			1	1		3	...						

Table 3은 정비모델에서 재고장을 포함한 437건의 고장자료를 나타낸 것이다. 정비모델에서는 도입 후 운용 중이다가 고장난 유도탄을 정비하여 해당연도에 재배치한 것으로 처리한다. 재배치 후에 또 다시 고장난 유도탄도 같은 방식으로 처리하여 잔여 발수는 도입 수량과 같은 수량이 되도록 한다.

Table 4. Data input form in Minitab(Original Model)

Start Time	End Time	Frequency
0	9	38
9	10	41
10	11	34
11	12	38
12	13	20
13	14	26
14	15	21
15	16	13
16	17	23
17	18	17
18	19	28
19	~	294

Table 5. Data input form in Minitab(Maintenance Model)

Start Time	End Time	Frequency
0	1	0
1	2	3
2	3	28
3	4	29
4	5	7
5	6	13
6	7	7
7	8	3
8	9	46
9	10	44
10	11	41
11	12	43
12	13	23
13	14	32
14	15	24
15	16	16
16	17	24
17	18	17
18	19	28
1	~	27
2	~	15
3	~	13
4	~	14
5	~	13
6	~	10
7	~	15
8	~	20
9	~	38
10	~	24
11	~	24
12	~	15
13	~	21
14	~	28
15	~	20
16	~	20
17	~	19
18	~	19
19	~	238

기존모델과 정비모델의 적합분포를 확인하기 위해 통계분석 프로그램인 Minitab 19를 사용했다. Table 2, 3으로 정리한 고장 건수를 Minitab 입력형태로 변환하여 기존모델은 Table 4, 정비모델은 Table 5와 같이 나타났다. Start Time과 End Time은 고장이 관측된 구간이며, 해당 기간의 고장 건수는 Frequency로 입력한다. 또한, End Time이 ~로 표시된 것은 측정 시점에 작동 중이고, 미래에 고장 발생이 예상되는 우측 관측중단자료를 나타낸다. 기존모델인 Table 4를 예를 들면 도입 후 경과 연수가 10년에서 11년 사이에 관측된 고장 건수가 34건임을 의미한다. 또한, 19년이 경과한 시점에 작동 중이면서 미래에 고장 발생이 예상되는 유도탄은 294발을 뜻한다. 정비모델에서는 고장 유도탄을 정비 후 재배치하여 잔여 발수가 유지되도록 해야 한다. 이것을 위해 재배치되는 발수와 고장 발수의 차이만큼을 우측 관측중단자료로 입력한다. 정비모델인 Table 5를 예를 들면 재배치되어 10년이 경과한 25발의 유도탄 중 1발이 고장나 24발의 우측 관측중단자료를 입력한 형태이다.

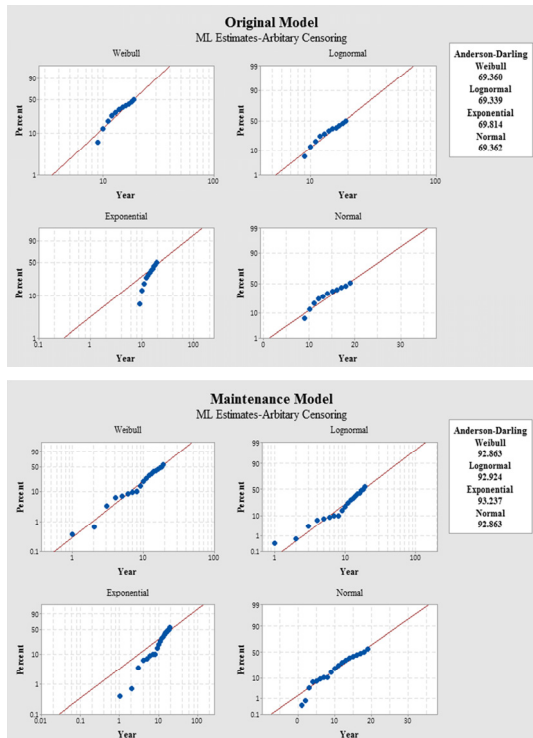


Fig. 2. Results of goodness of fit test

Fig. 2는 A-D 적합도 검정 결과를 도식화한 것이다. 더 낮은 A-D 값을 가지는 분포가 적합한 수명분포임을 나타내므로, 기본모델에서는 69.339의 로그정규분포가, 정비모델에서는 92.863의 와이블분포와 정규분포가 가장 적합한 수명분포임을 보였다. 그러나 검정값의 차이가 크지 않으므로 여러 고장형태를 분석하는데 용이한 와이블분포로 통일하여 분석을 진행하였다. 모수 추정결과는 Table 6과 같으며 각 모델의 형상모수가 1보다 크므로 시스템의 노화에 따라 고장률이 증가하는 마모고장기간에 해당한다고 볼 수 있다[11].

Table 6. Estimation of parameters

Original Model		Maintenance Model	
Shape parameter	Scale parameter	Shape parameter	Scale parameter
2.515	21.648	1.894	21.123

다음은 Fig. 1의 Step 1-3을 따라 고장률을 산출하는 단계이다. 먼저 모델별로 1년부터 19년까지의 자료를 모델링하여 20년에서 27년까지의 고장 발수를 예측한다. 예측한 고장 발수를 토대로 고장률을 산출하는데 이것을 검증하기 위해 홀드아웃 검증을 적용했다. 홀드아웃 검증은 전체 자료 중 일부를 모델링자료로, 일부를 검증자료로 활용하는 방법이다. 기존 연구 중 J. H. Ahn 외 1명이 로켓탄의 고장률을 예측하기 위해 고장자료를 7:3비율로 구분하여 모델링과 검증에 활용한 바 있다[7]. 본 연구에서도 공군 OO유도탄 고장자료를 일반적으로 사용하는 7:3비율로 구분하여 1년에서 19년은 모델링자료로, 20년에서 27년까지의 자료를 검증자료로 설정하였다. 이 방법을 간략히 도식화하면 Fig. 3과 같다.



Fig. 3. Holdout Method

모델별로 예측한 20년에서 27년까지의 고장률과 실제 고장률의 MSE는 Table 7과 같다. MSE는 작을수록 정확성을 보이는 척도이므로 MSE의 평균값을 통해 기존 모델이 정비모델에 비교하여 고장률을 예측하기에 적합하다고 해석할 수 있다.

Table 7. MSE by the two models

Elapsed year	Original Model	Maintenance Model
20	1.823	6.401
21	6.401	17.808
22	11.424	29.160
23	7.453	23.912
24	5.570	25.604
25	3.423	23.912
26	1.796	22.278
27	2.822	29.190
Average	5.089	22.279

2.2.3 고장률 산출

Fig. 1의 Step 2 절차로, 고장률 예측을 위한 최적의 표본 비율을 찾는 단계이다. 앞선 Step 1-3에서 20년에서 27년까지의 고장 발수를 예측한 방법과 같은 절차로 수행한다. 현재 검사정책인 7.2%를 포함하여 5%부터 20%까지의 표본 비율로 고장률을 예측했다. 각 표본 비율별 예측된 고장률과 실제 고장률의 MSE는 Table 8과 같이 정리되며, 5%를 제외하고 MSE가 1보다 작아 실제 고장률과 유사하다고 할 수 있다. 하지만 그 중에서 16%가 가장 실제 고장률에 가까운 예측치를 보였고, 현재 정책인 7.2%보다 더 작은 MSE를 보였다. 따라서 미래 고장률을 예측하기 위해서 기존모델을 활용한 16%의 표본이 가장 적절하다는 결론을 얻었다.

Table 8. MSE according to Sampling rate

Sampling rate(%)	MSE(Average)
5	1.031
6	0.822
7.2	0.715
8	0.636
9	0.550
10	0.432
11	0.401
12	0.419
13	0.351
14	0.367
15	0.352
16	0.338
17	0.412
18	0.380
19	0.452
20	0.476

3. 결론

공군의 OO유도탄은 일회성 무기체계로 높은 신뢰도를 요구받는다. 따라서 정확하게 신뢰도를 분석하고, 고장률을 예측하는 것이 매우 중요하다. 유도탄의 신뢰도를 분석할 때는 저장 상태가 수명의 대부분을 차지하기 때문에 임무성공률이 아닌 저장 신뢰도를 기반으로 분석해야 한다. 본 연구에서는 저장 신뢰도를 분석하는 많은 연구 중 기존모델과 정비모델을 선택하여 미래 고장률을 예측하기 적합한 모델을 제시했다. 검증방법은 홀드아웃 검증으로 전체자료 중 7:3의 비율로 나누어 각각 모델링 자료와 검증 자료로 활용했다. 이를 통해 기존모델이 정비모델보다 더 작은 MSE를 보였고, 기존모델에서의 표본 비율별 고장률 예측은 16%가 최적의 표본 비율임을 확인했다. 또한, 그 결과는 현재의 정책인 7.2%보다 더 작은 MSE를 보였다.

본 연구결과는 고장률 예측의 정확성에 중점을 두고 수행한 것으로 현재 정책이 곧바로 적용하는데 제한점이 있다. 본 연구에서 제시한 표본 비율로 검사할 경우 검사비용이 증가하기 때문이다. 따라서 7.2%로 예측할 때 발생 가능한 손해비용과 제안한 최적 비율인 16%로 예측할 때 증가되는 검사비용을 비교하여 분석해볼 필요가 있다. 향후 본 연구의 제시 방안을 토대로 비용적인 측면까지 고려된다면 효율적인 검사정책을 수립하는데 기여할 수 있을 것이다.

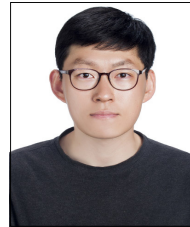
References

- [1] U. S. Department of Defense, DoD Guide for Achieving Reliability, Availability, and Maintainability, p.266. U. S. Department of Defense, 2005, pp.1-9.
- [2] E. C. Martinez, "Storage Reliability with Periodic Test", *In Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, IEEE, CA, USA, pp.181-185, January 1984. DOI: <https://doi.org/10.1109/rams.1984.764288>
- [3] I. S. Choi, L. M. Cheon, S. J. Baik, Y. K. Son, "Comparison Study of Operating System and One-shot System for reliability Analysis Methodology", *Korean Institute of Industrial Engineers Spring Conference*, KIIE, Busan, Korea, pp.981-985, May 2009.
- [4] S. H. Jeong, S. B. 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, April 2017. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.4.592>

- [5] 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, September 2018.
DOI: <https://doi.org/10.33162/JAR.2018.09.18.3.250>
- [6] I. H. Lee, S. H. Oh, C. L. Li, D. I. Yang, K. S. Lee, "Optimal Sampling Method of Censored Data for Optimizing Preventive Maintenance", *Journal of the Korean Society Railway*, Vol.16, No.3, pp.196-201, June 2013.
DOI: <https://dx.doi.org/10.7782/JKSR.2013.16.3.196>
- [7] J. H. Ahn, J. M. Ma, "A Study on the Optimal Sampling for Predicting Failure Rate of One-Shot Weapon Systems", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.21, No.2, pp.366-372, February 2020.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.2.366>
- [8] Airforce Headquarters, Air Defense Guided Weapons Maintenance Guide, p.245, Airforce Headquarters, 2019, pp.59-75
- [9] S. K. Kim, Y. J. Wang, Y. J. Kim, S. O. Kim, I. H. Lee, K. S. Lee, "A Study on the Reliability Analysis of Anti-ship missile using Field Data", *Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, Vol.6, No.6, pp.881-887, December 2011.
DOI: <https://dx.doi.org/10.13067/JKIECS.2011.6.6.881>
- [10] Y. S. Choi, J. M. Ma, "Failure Data Error according to Characteristics of One-shot Weapon System and its solution", *Journal of Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol.21, No.5, pp.599-606, October 2018.
DOI: <https://dx.doi.org/10.9766/KIMST.2018.21.5.599>
- [11] S. K. Seo, H. K. Kim, H. M. Kwon, M. S. Cha, W. Y. Yun, *Reliability Engineering*, p.524, Kyobo Library, 2015, pp.35-50
- [12] J. S. Ha, S. H. Park, Y. S. Park, "Feasibility Study on Reliability Estimation Method of One-shot System Using Test Result", *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol.44, No.4, pp.283-290, August 2018.
DOI: <https://doi.org/10.7232/JKIIE.2018.44.4.283>

박 천 규(Cheonkyu Park)

[준회원]



- 2011년 2월 : 서울과학기술대학교 안경광학과 (안경광학 학사)
- 2019년 1월 ~ 현재 : 국방대학교 국방과학학과 석사과정

<관심분야>

신뢰성 분석, 일회성 무기체계

마 정 목(Jungmok Ma)

[정회원]



- 2002년 2월 : 육군사관학교 운영 분석학과 (운영분석 학사)
- 2008년 8월 : 미국 펜실베이니아 주립대(PSU) (산업공학 석사)
- 2015년 5월 : 미국 일리노이대(UIUC) (산업공학 박사)
- 2015년 9월 ~ 현재 : 국방대학교 국방과학학과 부교수

<관심분야>

국방 모델링 및 데이터 분석학, 무기체계 획득관리