

원샷 무기체계 고장률 예측을 위한 최적 샘플링 방안 연구

안주한, 마정목*
국방대학교 국방과학학과

A Study on the Optimal Sampling for Predicting Failure Rate of One-Shot Weapon Systems

Joo Han Ahn, Jungmok Ma*
Department of Defense Science, Korea National Defense University

요약 육군에서 사용하는 로켓탄은 생산되고 나서 단 한 번의 임무수행으로 소모되는 원샷 무기체계로 높은 신뢰성을 요구한다. 원샷 무기체계인 로켓탄의 신뢰성 분석을 위해서는 이미 발생한 고장 자료를 활용하거나 아직 고장이 발생하지 않은 비고장 자료를 활용할 수 있다. 그러나 고장 자료만으로 실시할 경우 수명분포가 과소 추정될 수 있고, 비고장 자료를 모두 포함할 경우 과대 추정되어 실제 수명분포와 상당한 오차가 발생할 수 있으며, 이 수명에 대한 오차는 로켓탄의 조기폐기나 전수조사로 인한 비용을 증가시킬 수 있다. 육군은 이러한 문제 때문에 비고장 자료에서 샘플 수를 정하여 고장 자료와 함께 신뢰성 분석을 실시하고 있으나 실제 고장률을 예측하는데 한계가 있다. 본 연구는 이를 해결하기 위해 육군의 000다연장 로켓탄을 대상으로 비고장 자료를 비율별로 샘플링하여 수명분포의 오차가 최소화되는 비율을 찾는 샘플링 절차에 대해 새롭게 제안하고 이를 바탕으로 미래 고장률을 예측하였다. 제안한 비율별 샘플링 방법과 현재 사용하는 샘플링 방법의 비교를 통해 제안한 샘플링 방법이 미래 고장률을 더 정확하게 예측할 수 있음을 보였다.

Abstract The Army's rocket missile is a one-shot weapon system, which is produced and used for only one mission, and requires high reliability. While reliability analysis with failure data can result in underestimation of the life distribution, reliability analysis with all the non-failure data can result in overestimation of the life distribution. Under or overestimation of the life distribution can lead to cost increase by early disposal or complete observation of all rocket missiles. In order to overcome this problem, the Army suggests the guideline of the number of samples from non-failure data for reliability analysis with failure data. However, the currently used sampling method can generate errors for predicting the failure rate. To solve this problem, this study proposes a new sampling procedure for predicting a future failure rate using non-failure data. The comparison test between the currently used sampling method and the proposed sampling method is conducted and the result shows that the proposed sampling method can predict the future failure rate more accurately

Keywords : One-Shot Weapon System, Sampling, Reliability Analysis, Life Distribution, Failure Rate

1. 서론

1.1 연구배경

생산되고 나서 단 한 번의 임무수행으로 파괴되는 특

성을 가진 무기체계를 원샷 무기체계(one-shot weapon system)라고 한다. 육군에서 사용하는 유도탄 및 로켓탄이 원샷 무기체계에 해당된다. 유도탄 및 로켓탄은 높은 신뢰성을 요구하는데, 신뢰성 분석 시 어떤 자료를 포함

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

email: jxm1023@gmail.com

Received October 7, 2019

Accepted February 7, 2020

Revised November 5, 2019

Published February 29, 2020

하느냐에 따라 수명분포가 달라진다. 신뢰성 분석을 고장 발수만으로 할 경우 로켓탄의 수명분포가 과소 추정될 수 있으며, 우측 관측중단자료(비고장 자료)를 모두 포함할 경우 수명분포가 과대 추정되어 상당한 오차가 발생할 수 있다. 더불어 S. H. Jeong 외 1명은 개발 초기에 발생한 고장 자료를 가지고 가속수명시험이나 수학적 기법으로 분석한 자료는 실제 수명분포와 차이가 있음을 보였다. 그리고 유도탄은 저장 기간별로 샘플을 추출하여 신뢰도를 추정해야 된다고 하였다[1].

이러한 특성을 고려하여 육군규정 465 “탄약규정”에는 탄약검사와 관련하여 기존 고장 자료 외에 로트별로 모집단에서 몇 발의 샘플을 검사해야 하는지 명시하고 있다. 규정에 맞추어 육군에서는 비고장 자료에서 샘플을 추출하여 고장 자료와 함께 신뢰성 분석을 실시하고 있다. 그러나 육군에서 실시하고 있는 샘플링 방법도 실제 고장률을 정확히 예측하는데 한계가 있으며, 이는 로켓탄의 조기폐기나 전수조사로 인한 비용을 증가시킬 수 있다. 본 연구는 실제 고장률을 예측하기 위해 고장 자료와 비고장 자료 분석 시 비고장 자료를 어느 정도의 비율로 샘플링 하는 것이 효과적인지 알아보려고 한다. 용어의 혼선을 줄이기 위해 고장난 자료는 고장 자료(고장 발수)로, 우측 관측중단된 자료는 비고장 자료(비고장 발수)로 사용하였다.

1.2 관련 연구

수명분포와 관련된 기존연구를 살펴보면 Hoang Pham은 비고장 자료를 고려하지 않으면 수명분포가 실제와 다르게 추정된다고 하였다[2]. Y. S. Choi 외 1명은 해군 원샷 무기체계인 백상어 어뢰의 고장시점을 정확한 고장시점과 구간 고장시점으로 비교·분석하여 수명분포의 차이가 생길 수 있음을 보였다. 또한 검사주기 특성상 일반적으로 고장시점을 알고 있는 우측 관측중단자료를 활용하여 신뢰성 분석이 되고 있음을 보였다[3]. I. H. Lee 외 4명은 수명분포의 과소 및 과대추정 문제점을 해결하기 위해 배전자동화 설비 중 개폐기용 단말장치의 비고장 자료를 비율별로 샘플링하고 고장 자료와 함께 분석하여 실제 수명분포와 유사하게 추정할 수 있음을 보였다[4]. 이 연구는 운용중인 비고장 제품에서 비율별로 샘플링한 자료를 분석했다는 점에서 본 연구와 유사한 점이 있으나 원샷 무기체계에서는 알기 어려운 실제 수명분포를 가정하였다는 점에서 제한사항이 있다. 본 연구는 홀드아웃(holdout) 검증법을 적용하여 미래 고장률을 예측하는데 최적의 샘플링이 가능하도록 한 점에서

차이점이 있다. 즉, 전체 가능한 자료 중 일부를 사용하여 모델링을 하고 나머지 자료로 성능을 검증하도록 하였다. 관련 연구들과 본 연구를 정리하면 Table 1과 같이 나타낼 수 있다.

Table 1. Related research

Author	Content	Subject
Hoang Pham	Comparison of life distribution between failure data and right censored data	Telecommunication system
S. H. Jeong	Inspection period on storage reliability	Guide missile
Y. S. Choi	Comparison of life distribution between right and interval censored data	Guide missile
I. H. Lee	Right censored data sampling, compare life distribution by MSE method	Car terminating device
J. H. Ahn (This paper)	Right censored data sampling, predict future failure rate by Holdout method	Rocket missile

본 연구에서는 사례연구의 대상으로 원샷 무기체계인 000다연장 로켓탄을 선정하여 육군에서 사용하고 있는 탄약정보체계(DAIS : Defense Ammunition Information System)로 고장 발수와 검사이력을 수집하였다. 000다연장 로켓탄은 제작 후 총 21년간의 고장률을 알 수 있으며, 홀드아웃 방법을 사용하여 이중 15년간의 로켓탄 고장 및 비고장 발수를 모델링을 위한 자료로 사용하고, 나머지 6년의 고장 발수를 미래 고장률 예측의 성능판단에 사용하였다. 즉, 본 논문이 제시하는 샘플링 방법은 미래 고장률 예측의 성능을 바탕으로 샘플링 비율을 정하는 것으로, 육군에서 기존에 사용하고 있는 고정된 샘플링 비율을 적용하는 샘플링 방법과 비교하였다.

2. 본론

2.1 이론적 배경

2.1.1 000다연장 로켓탄의 수명분포 특성

현재 000다연장 로켓탄은 특별한 결함이 발견되지 않는 한 수명설정 기준에 따라 제조 후 18년까지는 정상사용(상태부여 A)하며, 19~21년 사이에는 1년 단위로 비파괴검사(상태부여 J) 후 이상이 없을 시에만 사용하고, 22년 이상은 사격임무 시 근탄이 발생할 우려가 있어 폐기(상태부여 H)할 대상으로 분류하고 있다. 여기서 탄약

상태기호는 탄약 상태별로 분류한 것으로 A는 사용가능(제한없이 즉시 사용 및 불출), J는 사용불가(임시 불출중 지 탄약), H는 사용불가(처리대상 탄약)를 나타낸다.

2.1.2 수명자료의 유형

수명자료는 크게 고장시간을 정확하게 파악할 수 있는 완전자료(complete data)와 자료의 측정값이나 관찰치가 부분적으로 알려진 관측중단자료(censored data)로 구분된다. 관측중단자료는 다음과 같이 구분된다. 측정시점에 여전히 작동 중이어서 앞으로 고장의 발생이 예상되는 우측 관측중단자료(right censored data), 특정 구간 내에서 관측하여 고장의 발생여부를 파악하는 구간 관측중단자료(interval censored data) 그리고 우측 관측중단자료와 구간 관측중단자료가 혼합된 임의 관측중단자료(arbitrary censored data)로 구분할 수 있으며, 유형별로 Fig. 1과 같이 나타낼 수 있다.

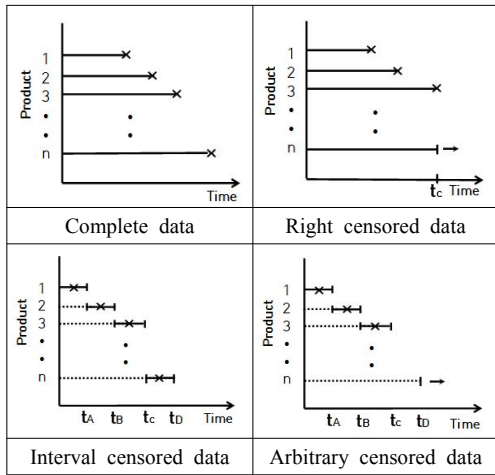


Fig. 1. Types of failure data

2.2 고장률 예측을 위한 제시 과정

고장 자료를 토대로 신뢰성 분석을 하는 방법으로는 모수적 추정방법과 비모수적 추정방법이 있다. 먼저 고장 자료를 바탕으로 자료 형태가 완전자료인지 관측중단된 자료인지 파악하고, 모수적 추정방법을 선택할 것인지 비모수적 추정방법을 선택할 것인지 판단한다. 모수적 추정방법은 Anderson-Darling 적합도 검정을 통해 먼저 적합한 분포를 확인하고, 적합한 분포를 선정한 뒤에 최우 추정법(MLE : Maximum Likelihood Estimation) 혹은 최소제곱추정법(LSE : Least Square Estimation)을

선택하여 모수를 추정한다. 비모수적 추정방법은 Kaplan-Meier 방법, 생명표법, Turnbull 방법으로 신뢰성 분석을 한다[5].

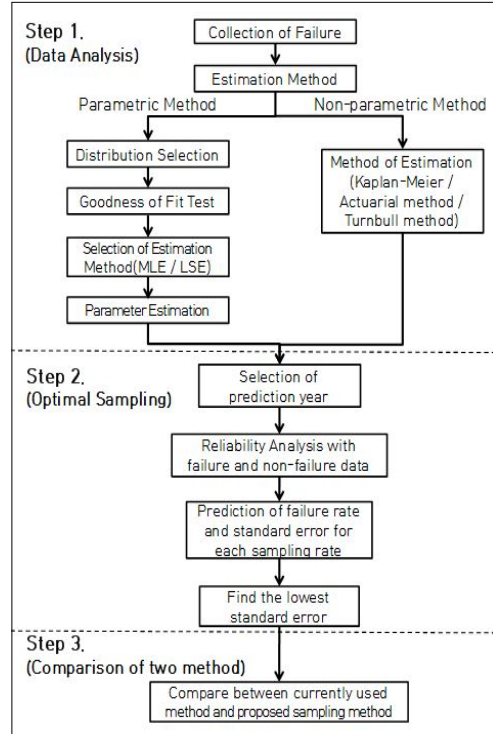


Fig. 2. Reliability measure and sampling method process

이 절차를 간단히 도식화하면 Fig. 2의 Step 1과 같으며, 본 연구에서는 모수적 추정방법 중 최우추정법을 적용하였다. 그 이유는 최우추정법과 최소제곱추정법을 비교해본 결과 표본 수에 관계없이 비고장 자료가 포함된 경우에는 최우추정법이 더 좋은 추정결과를 보여주기 때문이다[6].

Fig. 2의 Step 2는 본 연구가 제시하는 비고장 발수를 비율별로 샘플링하여 미래 고장률을 예측하는 대략적인 과정을 나타낸 것이다. 이에 대한 세부 절차는 다음과 같다.

- (1) 관측한 고장 발수를 기간별로 정리한다. 여기서 i 는 고장 발수 관측이 중단된 연도, n_i 은 예측한 고장 발수, N_i 은 비고장 발수, E_i 는 예측한 고장률과 실제 고장률과의 표준오차를 나타낸 것이다.
- (2) N_i 에서 샘플링한 발수와 제작연도부터 i 년도까지의 고장 발수를 토대로 $i \sim i+1$ 년도의 고장 발수인 n_{i+1} 을 예측하고 표준오차인 E_{i+1} 를 측정한다.

Table 2를 통해 고장률 예측 과정을 예를 들면 다음과 같다. 15년도부터 비고장 발수가 544발이고 이를 10% 비율로 샘플링 한다고 가정하면 $i=15$, $N_{15}=544$ 가 된다. 15년부터의 비고장 발수 544발의 10% 비율인 54발을 샘플링하여 15년도까지의 고장 발수와 함께 16년도 고장 발수(n_{16})를 예측한다. 만약 n_{16} 이 12발로 예측된다면 16년부터 비고장 발수는 $N_{16} = (N_{15} - n_{16}) = (544 - 12)$ 인 532발이 된다.

Table 2. Example of Step 2. process

Prediction year	Prediction failure	Right censored data	Standard Error	
15	16	n_{16}	N_{15}	E_{16}
16	17	n_{17}	$N_{16} = (N_{15} - n_{16})$	E_{17}
17	18	n_{18}	$N_{17} = (N_{16} - n_{17})$	E_{18}
18	19	n_{19}	$N_{18} = (N_{17} - n_{18})$	E_{19}
...
i	$i+1$	n_{i+1}	$N_i = (N_{i-1} - n_i)$	E_{i+1}

(3) (2)에서 예측한 고장 발수를 포함하여 다음 연도도 동일한 방법으로 추정한다. $N_{16} = (N_{15} - n_{16})$ 을 샘플링한 발수와 16년도까지의 고장 발수로 16~17년도의 고장 발수인 n_{17} 을 예측하고 표준오차인 E_{17} 을 측정한다.

(4) 추정하고자 하는 연도까지 (2)~(3)의 과정으로 미래 고장 발수와 표준오차를 구하고, 고장 발수를 기반으로 고장률을 구한다. 샘플링 비율별로 위 과정을 반복하여 미래 고장률과 표준오차를 구하고 표준오차가 가장 작은 비율을 추정한다.

마지막 단계인 Fig. 2의 Step 3 과정은 Step 2 과정에서 선정한 표준오차가 가장 작은 비율과 기존 육군의 샘플링 방법을 비교하여 어느 방법이 더 효과적인지 확인하는 절차가 되겠다.

2.3 000다연장 로켓탄의 실증분석

Fig. 2에 따라 먼저 Step 1의 과정을 적용해보면 다음과 같다. 000다연장 로켓탄의 고장 발수는 탄약지원사령부에서 제시한 탄약검사 결과와 탄약정보체계상에 입력되어 있는 다연장 부대 및 탄약창의 검사이력을 바탕으로

로 수집하였다. 수집한 고장 발수는 1991년부터 2004년까지의 자료이며, 이후 자료는 특별검사로 전수조사되어 본 연구에서 제외하였다. 또한 1998년도부터 2000년도 사이의 로켓탄은 근탄 우려로 조기폐기 되었거나 로트번호가 제시되어 있지 않아 제외하였다. 고장 발수는 1991년부터 2004년까지 제작된 로켓탄 중 각 연도별로 5가지 로트를 선정하였다. 육군규정에서 로트별 로켓탄의 샘플은 12~20발이나 본 연구에서는 탄약정보체계(DAIS)에 연도별로 검사이력이 많고, 정리가 잘 되어 있는 샘플 12발을 대상으로 연구를 하였다.

Table 3은 연도별로 선정한 로트의 로켓탄 660발 중 고장난 116발을 나타낸 것이다. 제작연도부터 5년 경과 후에 검사가 실시된 이유는 제조 후 1~4년 사이에 검사한 로켓탄 실적이 없고, 일반적으로 로켓탄의 최초검사가 제조 후 5년 뒤부터 실시되었기 때문이다. 또한 보안상 명확한 수치 제공이 제한되어 고장 발수는 일부 변형한 값을 사용하였다.

Table 3. Number of failures per year

Production year	Elapsed year														
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15				
91		2	1		2	2		1		2					
92		1		1	1		2	1		3	1				
93	1		1	3		3		2		2	1				
94		2		1	1	3		1		1	1				
95		1		1	1		2		1		2				
96	1		2	2	1	2		3		1	1				
97		2			2		2		1		1				
01		1		1	1		1		1						
02	1		2	1		2		1	3	2					
03	1	3		2	1		1	4	2		2				
04	1		1	2		1	4		2						
Total	5	12	7	14	10	13	12	13	10	11	9				

Fig. 3은 고장난 로켓탄 116발에 대한 고장(결함) 원인을 나타낸 것으로, 기공(bubble)은 추진제 충전 중 기포에 의해 발생한 것이다. 크랙(crack)은 탄의 균열로 인한 고장이며, 미접착(non-adhesion)은 추진제와 라이너와의 미접착된 사항으로 시간 경과에 따른 추진제 물성저하 및 온도하중의 증가로 발생한 것이다. 이물질(foreign substance)은 탄내부에 불필요한 물질이 포함된 것을 말한다.

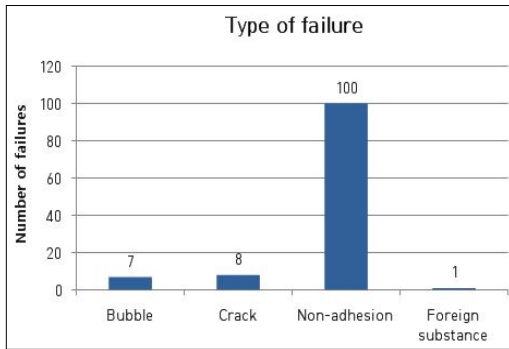


Fig. 3. Statistics by failure type

분석 프로그램은 Minitab 18이며, Table 3의 고장 발수를 워크시트에 입력하여 Table 4와 같이 나타내었다. 먼저 Start는 시작연도, End는 종료연도이며, 그 기간 사이에 고장 발수가 Number of failures에 해당된다. 마지막 15년 이후 기간의 Number of failures는 비고장 발수를 의미한다.

Table 4. Censored data input form in Minitab

Time of failure		Number of failures
Start	End	
0	5	5
5	6	12
6	7	7
7	8	14
8	9	10
9	10	13
10	11	12
11	12	13
12	13	10
13	14	11
14	15	9
15	~	544

본 연구는 000다연장 로켓탄의 제조 후 21년간의 고장률을 기반으로 5~15년 경과한 자료는 모델링 자료로, 16~21년 경과한 자료는 검증 자료로 구분하였다. 먼저, 제조 후 5~15년이 경과한 로켓탄을 모델링 자료로 사용하여 향후 6년(16~21년)간 발생할 수 있는 고장률을 예측하였다. 그 후 16~21년이 경과한 검증 자료와 비교하여 미래 고장률과의 오차를 확인하였다.

연구에 사용된 로켓탄은 총 660발로 고장 발수 116발, 비고장 발수 544발이며, A-D 적합도 검정을 통해 적합한 분포를 추정하였다. A-D 적합도 검정은 가장 적합한 분포를 분석하는 방법으로 경험적 누적분포함수와 이

론적 분포함수와의 차이를 측정한 값으로 분포의 꼬리 부분에 큰 가중치를 가지도록 하여 적합된 직선과 도시된 점과의 가중된 제곱거리의 합을 구한 값이다. 즉, 여러 후보 분포 중에서 더 작은 A-D 통계량 값을 가지는 분포에 적합하다는 것을 의미한다. Fig. 4는 A-D 적합도 검정의 결과를 도식화 한 것이다. 와이블 분포(weibull distribution), 지수분포(exponential distribution), 정규분포(normal distribution), 로지스틱 분포(logistic distribution)를 대상으로 실험한 결과 Fig. 4와 같이 와이블 분포가 196.574로 가장 적합한 분포라는 것을 보여준다.

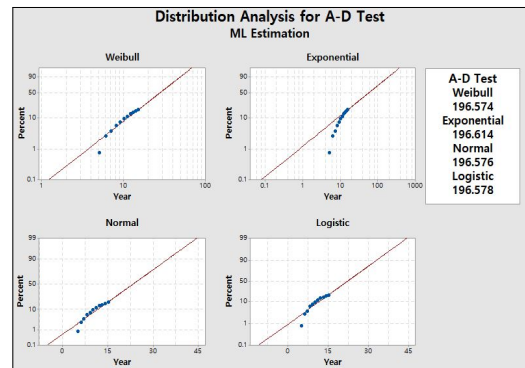


Fig. 4. MLE Distribution analysis for A-D test

와이블 분포에서 모수는 척도모수(η)와 형상모수(m)로 구분된다. 척도모수는 특성수명이라 하며, 신뢰도 함수 $R(t) = \exp[-(t/\eta)^m]$ 에 시간 t 대신 특성수명(η)을 대입하면, $R(\eta) = \exp(-1)$ 이 되며, 불신뢰도 함수는 $F(\eta) = 1 - \exp(-1) = 0.632$ 이 된다. 즉, 와이블 분포를 따르는 장비들이 약 63.2%가 고장나는 시간을 의미한다. 와이블 분포에서 형상모수는 아래 Fig. 5와 같이 세 가지 형태의 고장률을 표현할 수 있어 신뢰성 분석에서 널리 쓰이며, 육조와 같은 모양을 따르기에 육조곡선이라 불린다. 형상모수가 1보다 작으면 고장률이 감소(DFR : Decrease Failure Rate)하는 초기고장기간이라 하고, 1이면 중간부분의 고장률이 비교적 낮고 일정한(CFR : Constant Failure Rate) 우발고장기간이라 하며, 1보다 크면 시스템의 마모 및 노화 등으로 고장률이 증가(IFR : Increase Failure Rate)하는 마모고장기간이라고 한다[5].

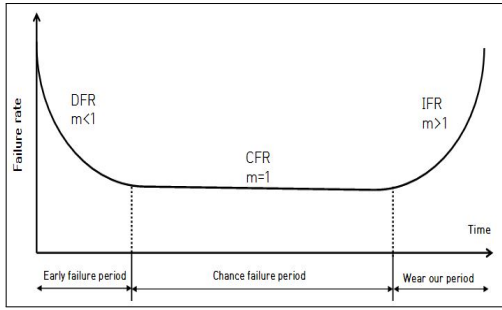


Fig. 5. Bath-tub curve

적합분포로 선정된 와이블 분포로부터 최우추정법으로 000다연장 로켓탄의 신뢰성 분석을 실시한 결과 척도모수(η)는 32.597, 형상모수(m)는 2.107로 산출되었다. 척도모수로부터 32.6년에 63.2%가 고장나는 것을 알 수 있으며, 형상모수 값이 1보다 크므로 시간이 지남에 따라 고장률이 증가하는 마모고장기간에 해당한다고 볼 수 있다.

Fig. 2의 Step 1 과정이 끝나면 Step 2 과정인 샘플링 비율에 따른 미래 고장률을 예측하고 표준오차를 측정해야 한다. 예측하고자 하는 미래 고장률 연도가 16~21년이므로 제조 후 5~15년이 경과한 로켓탄 고장 발수와 비교장 발수를 확인한다. 이를 토대로 기존 샘플링 방법(12R)과 본 연구에서 제시한 비율별 샘플링 방법을 비교·분석하면 Table 5와 같이 16~21년 6년간의 미래 고장률과 표준오차를 정리할 수 있다.

Table 5에서 미래 고장률과 표준오차를 확인한 결과 기존 샘플링 방법(12R)으로 미래 고장률을 예측한 오차 대비 비교장 발수에서 5, 10, 15, 20%씩 샘플링한 오차가 작았다. 특히 샘플링 비율이 10%일 때 가장 오차가 작아 미래 고장률 예측이 가장 적절하다는 결론을 얻었다.

마지막 Step 3 과정으로 기존 샘플링 방법(12R)과 제안한 샘플링 방법에서 비교장 발수 10%(54R)를 샘플링한 발수로 제작연도부터 21년까지 경과한 누적고장률을 비교한 결과 Fig. 6과 같이 나타났다. Fig. 6에서 볼 수 있듯이 약 17년도까지 와이블 분포 마모고장기간의 그래프와 유사하게 고장률이 모두 증가하였고 비교장 발수에서 10%를 샘플링 한 것보다 기존 샘플링 방법(12R)에서 고장률이 더 빠르게 증가하는 것을 확인할 수 있다. 즉, 고장률이 빠르게 증가한다는 것은 잘못된 예측으로 인하여 해당 로트를 조기폐기하거나 전수조사를 해야 하는 소요가 더 많이 생길 수 있다는 것을 의미한다.

Table 5. Failure rate(Standard error) according to sampling rate

Sampling rate(%)	Elapsed year						Average
	16	17	18	19	20	21	
12R	3.98 (0.52)	4.31 (0.49)	4.25 (0.42)	4.06 (0.46)	3.81 (0.44)	3.49 (0.44)	3.98 (0.46)
5% (27R)	5.30 (0.55)	5.30 (0.47)	5.09 (0.43)	4.80 (0.41)	4.37 (0.40)	2.71 (0.39)	4.59 (0.44)
10% (54R)	5.97 (0.58)	6.07 (0.47)	5.65 (0.42)	5.96 (0.39)	5.15 (0.37)	3.87 (0.36)	5.45 (0.43)
15% (82R)	5.77 (0.60)	6.34 (0.49)	6.11 (0.42)	5.76 (0.39)	5.54 (0.37)	5.09 (0.36)	5.77 (0.44)
20% (109R)	5.69 (0.61)	6.12 (0.50)	6.11 (0.43)	5.75 (0.40)	5.68 (0.38)	5.25 (0.37)	5.77 (0.45)
30% (163R)	5.03 (0.64)	5.50 (0.54)	5.90 (0.47)	6.14 (0.40)	6.01 (0.40)	5.60 (0.39)	5.70 (0.48)
40% (218R)	4.47 (0.65)	4.96 (0.58)	5.33 (0.57)	5.38 (0.48)	5.45 (0.45)	5.31 (0.42)	5.15 (0.52)
50% (272R)	3.89 (0.67)	4.40 (0.60)	4.73 (0.55)	5.43 (0.51)	5.04 (0.48)	5.20 (0.46)	4.78 (0.54)
60% (326R)	3.52 (0.67)	4.11 (0.63)	4.16 (0.58)	4.40 (0.56)	4.56 (0.46)	4.13 (0.55)	4.15 (0.57)
70% (381R)	3.10 (0.69)	3.24 (0.66)	3.65 (0.63)	3.76 (0.61)	3.72 (0.59)	3.99 (0.52)	3.58 (0.62)
80% (435R)	2.81 (0.70)	3.16 (0.67)	3.25 (0.65)	3.38 (0.64)	3.53 (0.62)	3.58 (0.62)	3.29 (0.65)
90% (490R)	2.58 (0.70)	2.89 (0.69)	2.99 (0.68)	3.02 (0.66)	3.03 (0.67)	3.13 (0.67)	2.94 (0.68)
100% (544R)	2.60 (0.68)	2.51 (0.66)	2.66 (0.70)	2.69 (0.70)	2.73 (0.69)	2.79 (0.71)	2.66 (0.69)

* 12R represents a current sampling method

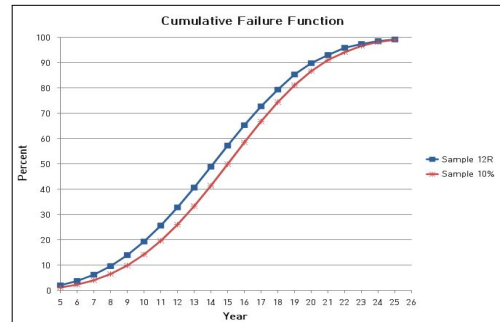


Fig. 6. Cumulative failure function

3. 결론

육군에서 사용하는 유도탄 및 로켓탄과 같은 원샷 무기체계는 단 한 번의 임무수행으로 파괴되기에 신뢰성 분석을 통한 고장률 예측이 중요하다. 하지만 신뢰성 분

석 시 어떤 자료를 포함하느냐에 따라 수명분포의 차이가 있었다. 신뢰성 분석을 고장 발수만으로 할 경우 로켓탄의 수명분포가 과소 추정될 수 있으며, 비고장 발수를 모두 포함하여 할 경우 수명분포가 과대 추정되어 상당한 오차가 발생할 수 있다. 이에 육군에서는 비고장 발수에서 샘플 수를 정하여 고장 자료와 함께 신뢰성 분석을 실시하고 있었으나 실제 고장률을 예측하는데 한계가 있었다. 이에 따라 본 논문에서는 비고장 발수의 최적 샘플링 방법을 통해 예측한 고장률과 실제 고장률의 오차가 최소화되는 비율을 제시하였다.

제시과정으로는 수집한 000다연장 로켓탄의 고장 자료로 A-D 적합도 검정을 실시하였다. 이를 통해 와이블 분포가 가장 적합한 분포임을 확인하고 최우추정법으로 신뢰성 분석을 한 결과 고장률이 증가하는 마모고장기간에 해당하는 것을 확인하였다. 또한 홀드아웃 방법에 따라 제조 후 5~15년이 경과된 로켓탄을 모델링 자료로, 16~21년을 경과된 로켓탄을 검증 자료로 구분하였다. 이를 통해 10%의 비율로 샘플링을 했을 때 표준오차가 최소화되어 10%가 최적의 비율임을 확인하였고, 기존 샘플링 방법(12R)과 비교하여 더 작은 표준오차 값을 가지는 것도 확인하였다.

결과적으로 본 연구에서 제시한 비고장 발수의 최적 샘플링 방법으로 고장률을 예측한다면 조기폐기 되는 로켓탄을 줄이고 전수조사 해야 할 소요를 줄여 검사 비용의 절감 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

References

[1] S. H. Jeong, S. B. Lee, "Analysis of Guided Missile Inspection Period Based on Storage Reliability", Korea Academy Industrial Cooperation Society, Vol.18, No.4, pp.592-598, April 2017.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.4.592>

[2] Hoang Pham, Handbook of Reliability Engineering, p.653, Springer-Verlag London Limited, 2013, pp.480-483
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/b97414>

[3] Y. S. Choi, J. M. Ma, "Failure Data Error according to Characteristics of One-shot Weapon System and its solution", Journal of the KIMST, Vol.21, No.5, pp. 599-606, October 2018.
DOI: <http://dx.doi.org/10.9766/KIMST.2018.21.5.599>

[4] 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: <http://dx.doi.org/10.7782/JKSR.2013.16.3.196>

[5] S. K. Seo, Minitab reliability analysis, p.594, Eretec, 2017, pp.23-48

[6] S. I. Kim, M. Y. Park, J. W. Park, "A Comparison of Estimation Methods for Weibull Distribution and Type 1 Censoring", Journal of the Korean Society for Quality Management, Vol.38, No.4, pp.480-490, December 2010.

안 주 한(Joo Han Ahn)

[준회원]



- 2013년 2월 : 명지대학교 화학공학과 (화학공학 학사)
- 2018년 1월 ~ 현재 : 국방대학교 국방과학학과 석사

<관심분야>

포병 사격지휘, 신뢰성 분석

마 정 목(Jungmok Ma)

[정회원]



- 2002년 2월 : 육군사관학교 운영분석학과 (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