

# 통계적 기법을 통한 군용 항공기의 지속적 개선효과 분석: 필드데이터 중심으로

김정민  
국방기술품질원

## Continuous Improvement Analysis of Military Aircraft Based on Field Data through Statistical Method

Jung Min Kim  
Defense Agency for Quality and Technology

**요약** 본 연구에서는 야전에서 운용되고 있는 K 항공기의 지속적 개선효과를 확인하기 위한 필드데이터의 통계적 분석 방법을 제시하며, 분석 결과 와이블 분포 그래프 및 모수에 개선 결과가 반영되는 것을 확인하였다. 필드데이터는 K 항공기의 N년부터 N+8년 까지의 약 2,500개 데이터를 대상으로 하였으며, 통계적인 기법은 Anderson-Darling 검정, 유형별 분류, 3-모수 와이블 분포 등을 사용하였다. 군용 항공기는 다음과 같은 특징을 가지고 있다. 운용대수가 적고, 다품종 소량생산을 수행하며 수명이 길어 품질개선, 단종 대체, 정비성 향상 등에 따라 지속적 개선을 수행한다. 이에 본 연구에서는 전체 필드데이터를 납품일자에 따라 전반기와 후반기로 나누어 분석했다. AD 검정을 통해 3-모수 와이블 분포의 검정값이 가장 낮은 것을 확인하였고, 전반기-후반기 필드데이터를 와이블 분포를 통해 분석하였다. 분석 결과 형상모수와 척도모수가 유의미한 차이가 있음을 확인하였다. 전반기 필드데이터는 형상모수 값이 1에 가까운 우발적인 고장 유형으로 보이며, 후반기 필드데이터는 형상모수가 값이 증가하여 우발적인 고장이 줄고 정상적인 마모고장이 발생한 것으로 판단된다. 뿐만 아니라 항공기 세부계통으로 필드데이터를 분류하여 각각의 형상모수와 척도모수를 전체 경향과 비교분석 했다. 이를 통해 13개 계통 중 9개 계통에서 형상개선, 품질안정화 등의 요인에 따라 유의미한 차이를 확인했다.

**Abstract** This study presents a statistical analysis method for field data to confirm the continuous improvement effect of aircraft operating in the field. The analysis shows that the improvement results are reflected in the Weibull distribution graph and parameters. About 2,500 data were obtained from N year to N+8 year of military aircraft, and the statistical techniques used were a Anderson-Darling test, classification by system, and 3-parameter Weibull distribution. Military aircraft have the following characteristics: a small number of operations, small production of various varieties, and long life. Continuous improvement is carried out according to quality improvement, discontinuation replacement, and maintenance improvement. The field data were analyzed by dividing them into two halves according to the delivery date. As a result of the analysis, it was confirmed that there was a significant difference between the shape parameter and the scale parameter. The shape parameter value has increased, thereby reducing accidental failure and causing normal wear failure. In addition, a system-devide analysis was also conducted. The results were similar to the overall trend in 9 out of 13 systems.

**Keywords** : Aircraft, Field Data, Weibull Distribution, Anderson-Darling, Continuous Improvement

본 논문은 국방기술품질원 연구과제로 수행되었음.

\*Corresponding Author : Jung Min Kim(Defense Agency for Quality and Technology)

email: doesi1029@naver.com

Received September 6, 2022

Accepted October 7, 2022

Revised October 4, 2022

Published October 31, 2022

## 1. 서론

군용 무기체계의 큰 특징은 지속적인 개선을 한다는 점이다. 개발단계를 거쳐 최초 양산 및 후속 양산단계에서 단종 대체, 기능 개선, 품질 개선, 정비성 향상 등의 이유로 크고 작은 품질개선이 이루어진다.

이러한 품질개선의 효과는 운용 중에 쌓인 필드데이터 분석을 통해 분석 할 수 있다. 필드데이터에 대한 분석은 지속적으로 진행되어 왔는데, 예를 들면 축적된 고장데이터를 기반으로 미래 유도탄의 고장률을 예측하는 연구, 수리가능 시스템의 고장데이터를 기반으로 신뢰도 분석절차 개발 등의 연구가 수행되었다[1,2]. 특히 10년간 운용한 무기체계의 필드데이터에 관한 연구는 평균 고장시간 분석을 통해 지속적 개선의 효과를 수치적으로 확인하였다[3].

본 연구에서는 지속적 개선의 효과 분석에 중점을 두고, 통계적 기법을 활용하여 이를 확인하고자 하였다. 일반적으로 고장데이터 분석에는 고장 유발인자 분석, 유형별 분석, 육조곡선 추정, 베이지안 네트워크 분석 등이 활용되고 있다[4-6]. 적절한 통계적 기법을 확인하기 위해 Anderson-Darling 검정을 수행하였고, 와이블 분포 분석을 수행하여 주요 모수를 비교하였다. 항공기의 주요 계통 별 와이블 분포에 따른 주요 모수의 변화에 따른 개선효과를 확인하였다.

## 2. 본론

### 2.1 군용 항공기 필드데이터 개요

군용 항공기 필드데이터는 아래 Table 1과 같이 발생 계통, 구성품, 발생일자, 발생대수, 수리종료일, 납품일자 등의 정보를 포함하고 있다.

Table 1. Field Data Example

System	Part	Day of Occurrence	End of Date	Delivery Day
Fuel	Fuel Pump	xx-07-06	xx-07-12	xx-05-30
Fuel	Fuel Tank	xx-07-12	xx-07-26	xx-05-30
Rotor	Main Rotor	xx-07-13	xx-08-26	xx-12-26
...	...	...	...	...

축적된 필드데이터는 N년부터 N+8년까지 양산된 K 항공기를 대상으로 하였으며, 약 2500개의 필드데이터

를 확보하였다. 전체 데이터를 계통별로 구분하면 아래 Fig. 1과 같다.

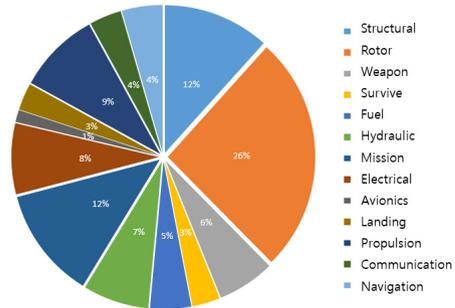


Fig. 1. Classification of Field Data by System

점유율이 높은 순서대로 로터, 임무/시현, 구조 등으로 분류되었다.

전체 필드데이터를 항공기 납품년도 기준으로 나누면 Fig. 2, Table 2와 같다.

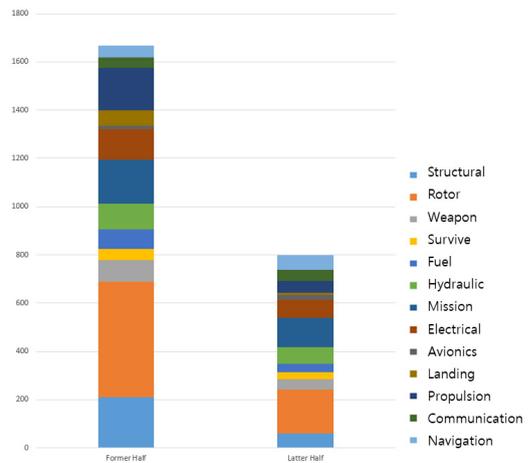


Fig. 2. Divided Field Data by Delivery year

Table 2. Divided Data

Classification	Delivery year	Amount of Data
Former Half	N ~ N+4	1668
Latter Half	N+4 ~ N+8	800
Total	N ~ N+8	2468

항공기 납품년도에 따라 N ~ N+4년까지를 전반기(Former Half), N+4 ~ N+8년까지를 후반기(Latter Half)로 구분하였다. 발생횟수는 전반기가 1668회, 후반기가 800회로 감소한 것을 볼 수 있다.

## Anderson-Darling Test

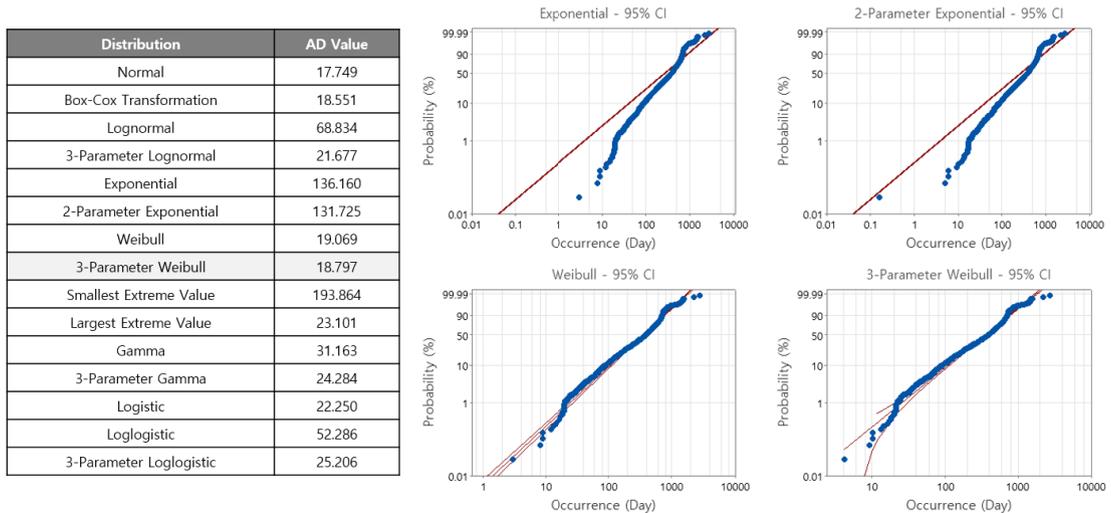


Fig. 3. Anderson-Darling Test Result

전반기와 후반기 계통 점유율을 단순 비교해보면, 로터 계통의 점유율이 전반기에 비해 낮아졌고, 항법 계통의 점유율은 높아진 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 로터 계통의 불안정했던 초반 품질이 개선된 결과로 유추해 볼 수 있다. 항법계통의 경우 후반기에 주요 구성품의 단종 또는 품질 불안정으로 점유율 및 발생횟수가 늘어난 것으로 보인다.

### 2.2 Anderson-Darling 검정

Anderson-Darling 검정(앞으로, AD 검정)은 통계적인 분석을 할 때 어떠한 정규분포를 적용할지 정규분포, 지수분포, 와이블 분포 등 여러 분포에 대해 검정값을 계산해 주는 검정법이다[7,8].

AD 검정의 결과는 특정 분포의 검정값이 낮으면 낮을수록 해당 데이터가 그 분포를 따른다는 것을 의미한다.

필드데이터 전체에 대한 AD 검정 결과는 위의 Table 3과 같다. 전체 데이터의 AD 검정결과를 볼 때 데이터를 변환하는 Box-Cox Transformation을 제외하면 3-모수 와이블 분포가 가장 적합한 것으로 판단되었다.

동일한 AD 검정을 전반기, 후반기 필드데이터에 대해서도 수행했다.

AD 검정결과 전반기 데이터는 와이블 분포, 후반기 데이터는 3-모수 와이블 분포가 가장 적합한 것으로 판정되었다. 비교분석을 위해 3-모수 와이블 분포를 동일하게 적용하여 데이터를 분석하기로 하였다.

Table 3. Anderson-Darling Test of Former, Latter Data

Distribution	AD Value (Former)	AD Value (Latter)
Normal	14.571	6.668
Box-Cox Transformation	13.019	5.430
Lognormal	45.357	24.257
3-Parameter Lognormal	15.945	6.646
Exponential	94.082	42.700
2-Parameter Exponential	84.082	41.436
Weibull	13.230	7.495
3-Parameter Weibull	14.224	6.256
Smallest Extreme Value	148.211	12.673
Largest Extreme Value	16.092	7.910
Gamma	20.947	11.129
3-Parameter Gamma	17.772	7.493
Logistic	15.777	7.659
Loglogistic	35.194	17.703
3-Parameter Loglogistic	18.004	7.897

와이블 분포는 신뢰성 분석에서 자주 쓰이는 분포중 하나로 모수를 적절하게 선택하여 다양한 고장률 형태를 모사할 수 있다. 형상모수(Shape Parameter)와 척도모수(Scale Parameter)를 갖는 와이블 분포는 고장률 함수가 멱수 법칙의 형식을 취한다고 가정한다.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (1)$$

Eq. (1)에서  $\beta$ 는 형상모수,  $\eta$ 는 척도모수를 뜻하며  $\lambda(t)$ ,  $f(t)$ ,  $R(t)$  는 각각 고장률 함수, 고장률, 신뢰도함수를 뜻한다.

형상모수는 와이블 분포의 형태를 결정하는데 Fig. 4

와 같이 형상모수가 1일때는 무기체계 운용 초반의 우발적인 고장의 점유율이 많은 것을 의미한다. 형상모수가 커지면 커질수록 우발고장의 점유율 보다 마모고장의 점유율이 커지는 형태를 보인다.

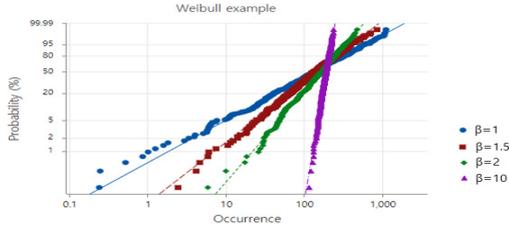


Fig. 4. Weibull Distribution

척도모수는 전체 모수 중 63.2%가 고장이 일어나는 시점을 의미한다.

### 2.3 웨이블 분포 분석

적합도 검정을 통해 선정된 3-모수 웨이블 분포를 통해 전반기 필드데이터와 후반기 필드데이터를 분석했다. 분석결과는 아래 Fig. 5와 같다.

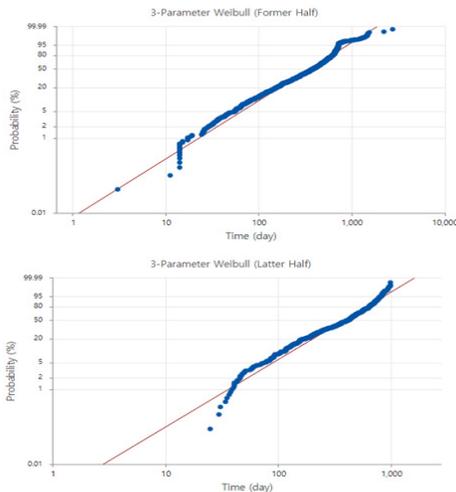


Fig. 5. 3-Parameter Weibull (Former, Latter)

Table 4. 3-Parameter Weibull result of Former, Latter Data

Data	Shape Parameter ( $\beta$ )	Scale Parameter ( $\eta$ )	AD Value
Former Half	1.550	441.1	14.224
Latter Half	1.802	461.7	6.256

Table 4를 보면 전반기와 후반기 데이터의 형상모수는 1.550과 1.802로 후반기 데이터가 형상모수가 전반기에 비해 증가했음을 볼 수 있다. 전반기의 경우 우발고장의 경향을 가지는 1에 가까운 형상모수가 나온 반면, 후반기의 경우 우발고장의 경우가 줄고, 마모고장의 형태가 많이 나타난다고 볼 수 있다. 척도모수 또한 전반기에 비해 후반기가 상승하였다. AD 검정값도 전반기에 비해 후반기가 줄어든 것을 볼 수 있는데, 이는 정규분포화하기 힘든 고장데이터가 줄어들어 발생한 결과로 유추해 볼 수 있다.

세부적인 분석을 위해 전반기-후반기 데이터를 13개 계통으로 분류하여 웨이블 분포 모수를 계산하였다. 후반기 고장데이터가 30건 이하로 적어서 통계적인 기법을 활용하기가 어렵다고 판단되는 계통은 생략하였다.

#### 2.3.1 계통별 분석 (구조)

전체 필드데이터 중 전반기 구조계통의 고장건수는 209건, 후반기 건수는 59건이다. 와이블 분포 분석 결과는 Fig. 6과 같다.

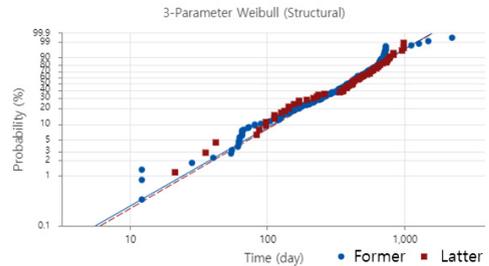


Fig. 6. 3-Parameter Weibull (Structural)

Table 5. 3-Parameter Weibull result of Structural System

Data	Shape Parameter ( $\beta$ )	Scale Parameter ( $\eta$ )	AD Value
Former Half	1.567	457.5	2.248
Latter Half	1.588	468.6	0.733

Table 5를 보면 구조 계통의 경우 전체 데이터 추세와 비슷하게 형상모수가 증가하여 전반기 데이터에 비해 후반기 데이터가 우발고장의 경향이 줄었다고 볼 수 있다. 63.2%의 고장의 척도가 되는 척도모수도 증가하였고, AD 검정값도 감소하여 3-모수 와이블 분포로 더 적합하게 분석할 수 있음을 확인하였다.

### 2.3.2 계통별 분석 (로터)

전체 필드데이터 중 전반기 로터계통의 고장건수는 480건, 후반기 건수는 183건이다. 와이블 분포 분석 결과는 Fig. 7과 같다.

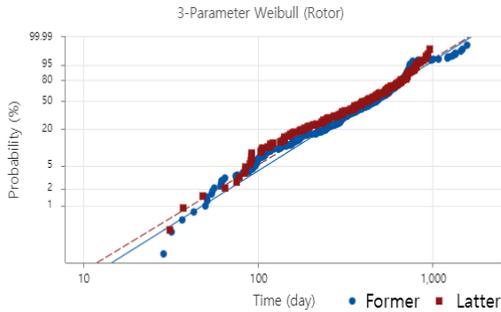


Fig. 7. 3-Parameter Weibull (Rotor)

Table 6. 3-Parameter Weibull result of Rotor System

Data	Shape Parameter ( $\beta$ )	Scale Parameter ( $\eta$ )	AD Value
Former Half	1.929	519.0	4.903
Latter Half	1.864	483.5	1.702

Table 6에 따르면 로터 계통의 경우 전체 데이터 추세와 다르게 형상모수가 소량 감소하였고, 척도모수도 감소하였다. 이는 로터계통의 주요 구성품의 후반기 다빈도 결함 발생에 의한 우발고장 경향 증가로 판단된다.

### 2.3.3 계통별 분석 (무장)

전체 필드데이터 중 전반기 무장계통의 고장건수는 88건, 후반기 건수는 44건이다. 와이블 분포 분석 결과는 Fig. 8과 같다.

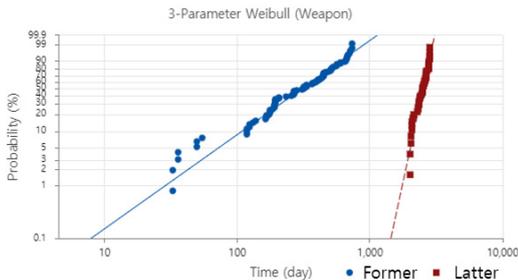


Fig. 8. 3-Parameter Weibull (Weapon)

Table 7. 3-Parameter Weibull result of Weapon System

Data	Shape Parameter ( $\beta$ )	Scale Parameter ( $\eta$ )	AD Value
Former Half	1.783	381.6	0.684
Latter Half	11.65	2600	0.685

Table 7을 보면 무장 계통의 경우 형상모수가 대폭 증가하였고, 척도모수 또한 증가하였다. 무장계통의 후반기 고장이 매우 적어 통계적으로 확률을 구하기에 제한이 되지만, 분석 결과를 보면 초기의 우발적인 고장이 개선되어 후반기의 고장이 대부분 1000일 이후에 발생하는 마모고장으로 구성되었음을 알 수 있다.

### 2.3.4 계통별 분석 (임무)

전체 필드데이터 중 전반기 임무계통의 고장건수는 181건, 후반기 건수는 121건이다. 와이블 분포 분석 결과는 Fig. 9와 같다.

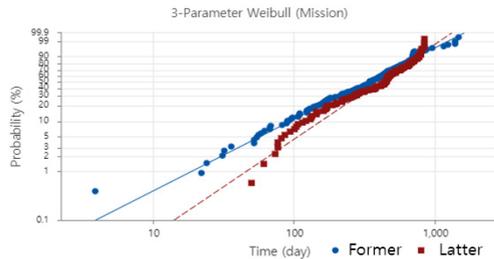


Fig. 9. 3-Parameter Weibull (Mission)

Table 8. 3-Parameter Weibull result of Mission System

Data	Shape Parameter ( $\beta$ )	Scale Parameter ( $\eta$ )	AD Value
Former Half	1.468	427.5	0.616
Latter Half	1.949	482.6	1.563

Table 8을 보면 임무 계통의 경우도 전체 데이터의 경향과 유사하게 형상모수가 증가하였고, 척도모수 또한 증가하였다. 전반기 고장데이터가 우발적인 초기결함의 형태를 띠는것에 비해 후반기 데이터는 이러한 경향이 줄어들었음을 확인할 수 있다.

### 2.3.5 계통별 분석 (통신)

전체 필드데이터 중 전반기 통신계통의 고장건수는 44건, 후반기 건수는 46건이다. 와이블 분포 분석 결과는 Fig. 10과 같다.

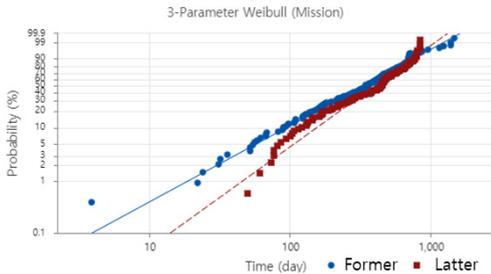


Fig. 10. 3-Parameter Weibull (Communication)

Table 9. 3-Parameter Weibull result of Communication System

Data	Shape Parameter ( $\beta$ )	Scale Parameter ( $\eta$ )	AD Value
Former Half	1.779	444.8	0.704
Latter Half	2.589	599.2	0.661

통신 계통의 경우 Table 9와 같이 후반기 고장 건수가 전반기 보다 증가하였음에도 불구하고 와이블 분포 분석 결과 형상모수가 증가하였음을 확인할 수 있다.

이러한 경향을 볼 때 전체 데이터의 경향과 유사하게 전반기 고장데이터에 비해 후반기 데이터는 우발적인 고장 유형이 줄어들었음을 확인 할 수 있다.

### 2.3.6 계통별 분석 정리

전체 계통에 대한 와이블 분포 분석 결과는 Table 10과 같다. 전체 필드데이터 중 2.3.1 ~ 2.3.5에서 분석한 세부계통을 제외하면 후반기 필드데이터의 모수가 적어 신뢰성이 크지 않다고 볼 수 있지만, 하위 계통으로 내려가더라도 전체 필드데이터의 경향과 비슷한 분석이 이루어졌음을 확인 할 수 있다.

Table 10. 3-Parameter Weibull result of Systems

System	Shape Parameter ( $\beta$ )		Scale Parameter ( $\eta$ )	
	Former	Latter	Former	Latter
Structural	1.567	1.588	457.5	468.6
Rotor	1.929	1.864	519.0	483.5

Weapon	1.783	11.65	381.6	2600
Survive	1.387	2.008	406.1	378.6
Fuel	1.360	1.764	406.2	403.3
Hydraulic	3.099	1.633	659.9	428.0
Mission	1.468	1.949	427.5	482.6
Electrical	1.110	1.274	275.6	311.4
Avionics	1.615	1.336	366.9	388.4
Landing	1.841	2.980	456.1	487.3
Propulsion	1.265	2.586	414.5	556.2
Communication	1.779	2.589	444.8	599.2
Navigation	1.378	1.881	443.6	425.4

## 3. 결론

본 연구에서는 군용 항공기의 지속적인 개선 효과를 확인하기 위해 필드데이터를 통계적 기법을 통해 분석하였다. 분석에 사용된 필드데이터는 N년에서 N+8년간 쌓인 약 2500개의 데이터이며, 납품일자에 따라 전반기 데이터 약 1600건, 후반기 데이터 약 900건으로 구분하여 Anderson-Darling 검정, 3-모수 와이블 분포를 통해 분석하였다.

전반기, 후반기 필드데이터 분석 결과 형상모수, 척도 모수 등 주요 모수가 유의미한 차이를 보이는 것을 확인했다. 이러한 차이는 전반기의 필드데이터가 우발적인 고장 유형에 가깝고, 후반기 필드데이터의 고장유형이 마모 고장 유형을 띄는 것에 기인하는 것으로 판단된다. 특히 필드데이터를 13개 계통으로 나누어 분석을 수행하여 비교분석을 수행결과, 전체 데이터의 경향과 비슷하게 13개 계통 중 9개 계통은 형상모수의 차이가 있음을 볼 수 있었다.

결론적으로 군용 항공기의 지속적인 개선활동에 따라 항공기의 고장 유형이 우발적인 고장이 줄어들었음을 확인하였고, 이는 곧 우발적인 결함이 감소한 결과로 보인다. 항공기 고장 유형이 마모고장에 가까울수록 통계적으로 예상하기가 수월해지며, 군수지원요소 및 소모비용 산정 등에 도움이 된다.

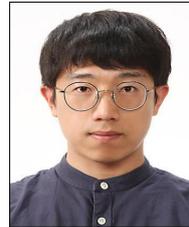
군용 항공기는 많은 세부 계통 및 구성품으로 이루어지고, 운용 대수가 많지 않아 분석에 제한사항이 많았지만 본 연구를 통해 통계적 기법을 적용하여 분석이 가능한 것을 확인하였다. 본 연구를 다른 군용 무기체계에 적용한다면 주요 모수들의 값을 단계별로 분석 할 수 있을 것으로 기대된다.

## References

- [1] C. K. Park, J. M. Ma, "A Study on the Prediction of Failure Rate of Airforce OO Guided Missile Based on Field Failure Data", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.21, No.7, pp.428-434, July 2020.  
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.7.428>
- [2] C. H. Cho, B. J. Yum, "Development of Reliability Analysis Procedures for Repairable Systems with Interval Failure Time Data and a Related Case Study", *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol.14, No.5, pp.859-870, Oct. 2011.  
DOI: <https://doi.org/10.9766/kimst.2011.14.5.859>
- [3] I .H. Chung, H. Y. Lee, Y. I. Park, "Reliability Evaluation of Weapon System using Field Data: Focusing on Case Study of K-series Weapon System", *Journal of Korean Society for Quality Management*, Vol.40, No.3, pp.278-285, Sep. 2012.  
DOI: <https://doi.org/10.7469/JKSQM.2012.40.3.278>
- [4] B. M. Jang, J. W. Lee, "Study on the Replacement Period Decision for Clearance Detectors in Railway Turnouts Using Bathtub Curve", *Journal of the Korean Society for Railway*, Vol.21, No.11, pp.1094-1103, Dec. 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.7782/JKSR.2018.21.11.1094>
- [5] J. H. Jeong, J. S. Lee, "Probabilistic Failure Analysis of Door System Using Bayesian Network", *Korean Journal of Computational Design and Engineering*, Vol.26, No.1, pp.40-49, March 2021.  
DOI: <https://doi.org/10.7315/CDE.2021.040>
- [6] S. Yoo, I. Kim, "A Study on the Implementation of Aircraft System Safety Assessment using Probabilistic Analysis of Failure Data", *Journal of Aerospace System Engineering*, Vol.14, pp.31-38, March 2020.  
DOI: <https://doi.org/10.20910/JASE.2020.14.S.31>
- [7] Y. J. Oh, *Failure and life time analysis of truck crane using failure data within product warranty period*, Master's thesis, Chungnam National University of Industrial, Daejeon, Korea, 2013.
- [8] J. H. Kim, W. Jung, "Field Data Collection and Failure Analysis for Durability Improvement", *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, Vol.16, No.5, pp.107-114, Dec. 2011.  
DOI: <https://doi.org/10.9723/ksis.2011.16.5.107>

김 정 민(Jung Min Kim)

[정회원]



- 2017년 2월 : 한양대학교 전자공학부 (공학사)
- 2022년 2월 : 경상국립대학교 전자공학과 (전자공학 석사)
- 2017년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

국방품질경영, 전자통신, 컴퓨터공학