

신뢰도 예측 모델 개선방안에 대한 연구

김소정*, 서양우, 이승상, 김정태
LIG 넥스원 PGM IPS 연구소

Study on the Improvement of Reliability Prediction Model

So Jung Kim*, Yang Woo Seo, Seung Sang Lee, Jung Tae Kim
PGM IPS R&D Lab, LIG Nex1

요약 본 연구에서는 신뢰도 예측의 정확성을 향상시키기 위해 개선된 신뢰도 예측 모델을 제안한다. 예측의 정확성을 높이기 위해, 예측하고자 하는 대상의 BOM과 기술자료를 확보한 후, 첫째, 필드 데이터와 유사 장비 데이터를 사용하여 고장률 값을 예측한다. 필드 데이터가 가장 우선시 되어야 하며 없는 경우 유사 장비 데이터를 사용한다. 둘째, 앞선 데이터가 존재하지 않는 경우, 예측 규격을 활용한다. 전자 부품은 복합스트레스의 경우, 고장률 혼합방법 사용을 가장 우선시하며 단일스트레스인 경우, MIL-HDBK-217F를 우선시하여 사용한다. 기계 부품은 NSWC를 우선시하여 사용한다. 신뢰도 예측 후 commercial일 경우 ANSI/VITA를 적용해 팩터값을 보정해준다. 셋째, 고장의 특성을 고려해 주기 위해 FMD, 환경조건보정(MIL-HDBK-338B), NOC(TO 00-20-2)를 이용하여 신뢰도 예측값을 보정하여 MTBF를 산출한다. 제시한 신뢰도 예측 모델과 A 시스템 분석보고서의 데이터를 활용하여 정확성을 검증하였다. A 시스템 분석보고서의 데이터에 대하여 검증한 결과, 기존 분석값보다 더 정확한 값을 확인하였다.

Abstract This paper proposes an improved reliability prediction model to improve the accuracy of a reliability prediction. The BOM and technical data of the target to predict were obtained to improve the accuracy of the prediction. Field data and similar equipment data were used to predict the failure rate values. Field data should be a top priority, and if not, similar equipment data should be used. Second, the prediction specification was utilized if the preceding data did not exist. For electronic components, failure rate mixing models were prioritized in the presence of complex stress, and MIL-HDBK-217F was prioritized in the presence of single stress. Mechanical components used the NSWC. After performing a reliability prediction, ANSI/VITA was used to correct the factor value if the part was commercial. Third, to consider the failure properties, the reliability prediction value was corrected using the FMD, environment condition correction, and NOC. The proposed reliability prediction model and the data from the A-system analysis report were used to verify its accuracy. The data in the A-system analysis report confirmed a more accurate value than the current analysis value.

Keywords : Reliability, Prediction Model, Prediction Method, MTBF, Failure Rate

1. 서론

신뢰도(Reliability)란 명시된 조건에서 규정된 시간 동안 의도한 기능을 수행할 수 있는 가능성을 의미한다

[1]. 신뢰도 예측은 설계안의 신뢰도 목표 달성 여부의 판단이나 대안 제시, 정비방식이나 예비부품의 결정 등 다양한 분야에서 활용되고 있기 때문에 이러한 후속 활동들이 잘 진행되기 위해서는 예측의 정확성을 제고하는

*Corresponding Author : So Jung Kim(LIG Nex1)

email: sojung.kim2@lignex1.com

Received July 7, 2021

Accepted October 1, 2021

Revised August 3, 2021

Published October 31, 2021

것은 매우 중요한 일이다. 특히, 무기체계 같은 경우, 고난도의 첨단복합기능을 갖추면서도 장기간의 수명이 요구되고, 첨단 부품이나 소재를 사용하는 새로운 설계인 경우가 많다. 그리고 사용 환경조건이 민수장비보다 군수장비가 극한적인 경우가 많기 때문에 고장발생 가능성이 높다. 하지만, 민수용 제품보다 고장으로 인한 결과가 치명적이고 전투력 상실로 이어지기 때문에 무기체계에서는 신뢰성의 중요성을 더욱 크게 요구하고 있다.

신뢰도 예측 규격은 1956년 미국의 RADC(Rome Air Development Center)에서 출간한 RADC TR-1100으로 시작으로, 전자 부품 고장률 예측에 널리 활용되는 MIL-HDBK-217F(이하, 217F)로 발전하였다. 또한, Telcordia, British Telecom, RIAC(Reliability Information Analysis Center), French Telecom, 일본 전자기계공업회 등 여러 단체 및 회사가 신뢰도 예측의 정확도를 향상시키기 위해 규격을 제정하고 발전시키고 있다. IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers)에서는 1998년 IEEE Reliability Prediction Standard 1413을 제안하였고, 프랑스의 여러 군수/항공업체에서는 FIDES 2009를 제안하였다. 한편, RIAC에서는 2006년 217PLUS를 제안하였다. 기계 부품의 경우 NPRD(Non-electronic Parts Reliability Data) 2011과 미국해상무기센터(NSWC: Naval Surface Warfare Center, 이하 NSWC)에서 제안한 NSWC-2011/LE 등이 활용되고 있다.

기존 선행 연구를 살펴보면, 조인탁 외[2]는 MIL-HDBK-217에 명시된 프로세스와 방법을 활용하여 항공기 전자 장비의 신뢰도를 예측하였고, 정영현 외[3]는 임베디드 시스템 중 하나인 Arduino의 신뢰도 예측을 MIL-HDBK-217F를 사용하여 수행하였다. 이관훈 외[4]는 자동차용 전자제품의 217Plus 고장률 예측에 대한 신뢰성을 향상시키기 위해 신뢰성시험 결과를 반영한 고장률 예측 모형을 제안하였고, 오재윤 외[5]는 FIDES를 이용한 임무 프로파일을 통해 항공기 DC-DC Converter 신뢰도 예측을 수행하였다. 김종성 외[6]는 무기체계의 신뢰도 예측의 정확성 향상을 위한 필드 데이터를 활용한 데이터 분석 방안을 제시하였고, 서양우 외[7]는 함정용 유도탄의 필드 고장 데이터를 기반으로 신뢰도 예측을 수행하였다.

기존 선행 연구 분석들은 217F 규격 또는 단일 규격만으로 신뢰도 예측을 수행하였고, 필드데이터분석 결과를 환류한 신뢰도 예측을 적용하지 못하고 있다.

선행연구 분석 결과를 활용하여 문제 정의를 다음과

같이 정리하였다.

첫째, 217F 규격 적용은 신뢰도 예측의 정확성에 한계가 있다. 217F는 1995년 이후 최신화가 되지 않아 새로운 부품의 추가 또는 고장률 모델에 대한 유지 및 보완이 미비하다는 한계점이 있다. 또한, 신기술 반영이 어렵고, 전자장치 기술은 정확한 통계적 고장 데이터 생성이나 신뢰성 모수들이 핸드북의 개정보다 빨리 변하고 있다. 따라서, 217F에 따른 신뢰도 예측은 정확성이 떨어지고 신기술이 적용되지 못한 결과가 산출될 수 있다.

둘째, 신뢰도 예측에 고장 특성의 미반영이다. 현재 신뢰도 예측에 진동, 환경, 습도 등과 같은 고장특성이 반영되지 않아 실제 나타나는 필드값과 예측값의 차이가 크게 나타난다. 이는 신뢰도 예측의 정확성을 저하시키고 있으며, 부품의 교체 등과 같은 후속활동에도 영향을 미친다. 또한, 체결류에 대한 고장률을 직렬구조로 가정하여 하나씩 고장률을 더하는 것도 신뢰도 예측을 저하시키는 요인 중 하나다.

따라서, 신뢰도 예측값의 정확성을 높이기 위해서는 217F 규격만을 적용하지 않고, 다른 신뢰도 예측 규격을 적절하게 적용해야 한다. 또한, 온도, 습도, 진동 등과 같은 고장 특성을 고려한 유사성기법 및 복합스트레스를 적용하여 신뢰도 예측을 수행해야 한다. 본 논문에서는 이러한 사항들을 고려한 개선된 신뢰도 예측 모델을 제시한다. 서론에서는 신뢰도 예측 관련 선행연구분석을 수행하였다. 본론에서는 현재 신뢰도 예측의 문제점을 식별하고 다양한 신뢰도 예측 방법에 대해 검토하여 다양한 예측 규격, 유사성기법, ANSI/VITA 등을 적용한 신뢰도 예측 모델을 제안하였다. 마지막으로 제안한 모델에 대한 검증을 수행하였다.

2. 본론

2.1 신뢰도 예측

신뢰도 예측은 체계, 구성품, 조립체, 부분품의 신뢰도를 정략적으로 도출하는 것이며[8], 고장빈도(평균 고장 간 시간(MTBF: Mean Time Between Failure, 이하 MTBF), 평균 고장 간 발수(MRBF: Mean Rounds Between Failure, 평균 고장 간 거리(MKBF: Mean Kilometers Between Failure) 등)를 나타내는 신뢰도 척도를 예측하는 것을 말한다.

신뢰도를 예측하는 방법에는 대표적으로 Table 1에서 표현된 부품수량분석(PCA: Part Count Analysis),

부품부하분석(PSA: Part Stress Analysis)이 있다.

Table 1. Reliability prediction method

Part Count Analysis	Part Stress Analysis
$\lambda_p = \lambda_b \pi_Q$	$\lambda_p = \lambda_b \pi_S \pi_T \pi_A \pi_E \pi_Q$
λ_b : base failure rate	λ_b : base failure rate
π_Q : Quality factor	π_S : Stress factor
	π_T : Temperature factor
	π_A : Adjustment factor
	π_E : Environment factor
	π_Q : Quality factor

2.1.1 부품수량분석

부품의 종류, 형태 및 품질요소 등과 같은 입력정보가 주어지면 쉽고 빠르게 예측할 수 있는 장점이 있다. 주로 초기 설계 단계에서 전자 회로의 신뢰도를 예측하기 위해 사용되거나 상세 설계를 진행하면서 설계복잡도가 변할 가능성이 높은 경우에 주로 활용된다.

2.1.2 부품부하분석

시스템 설계가 거의 완성되어 BOM(Bill of Materials)이 확정되는 상세설계 단계에서 적용하며, 부품(또는 시스템)이 사용되는 환경과 부품 고유 품질이 고장률에 크게 영향을 준다고 가정한다. 따라서, 고장률에 영향을 미치는 환경, 품질 요소, 그 밖에 온도, 학습요소, 구성 소자의 수, 핀 수 등 상세설계에 따른 부품 특성들을 고려하여 신뢰도를 예측한다.

2.2 신뢰도 예측 절차

현재 우리나라 무기체계 신뢰도 예측은 RAM 업무편람(방위사업청, '18.09.06.)에는 제품의 실데이터(MTBF 값)가 있는 경우 이를 적용한다. 실데이터가 없을 경우, BOM으로부터 구성품의 기초정보를 조사한 다음 부품별 세부정보를 입수한다. 부품별 온도, 전기, 환경 등의 스트레스 조건을 확인하여 신뢰도 예측을 실시한다. 신뢰도 예측을 할 때 전자부품의 경우 217F, EPRD를 사용하라고 명시되어 있으며, 기계부품의 경우에는 NSWC와 NPRD를 적용하라고 제시되어있다. Fig. 1은 RAM 업무편람의 신뢰도 예측 기준을 도식화한 것이다[9].

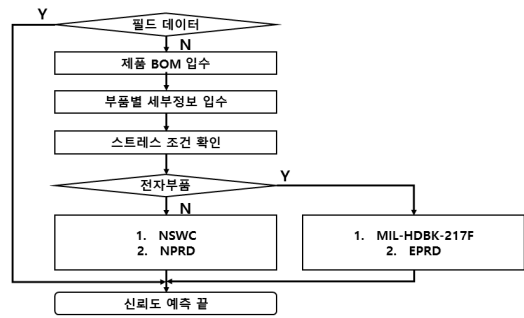


Fig. 1. Original model of reliability prediction[9]

2.3 개선된 신뢰도 예측 모델 제안

서론에서 언급한 문제점들을 고려하여 유사성기법, 복합스트레스, ANSI/VITA, FMD, 환경조건 보정 및 NOC 적용하여 Fig. 2와 같이 신뢰도 예측 모델을 제안한다. 기존 신뢰도 예측 모델 대비 보완한 사항은 좌측 상단 "*"로 표기하였다.

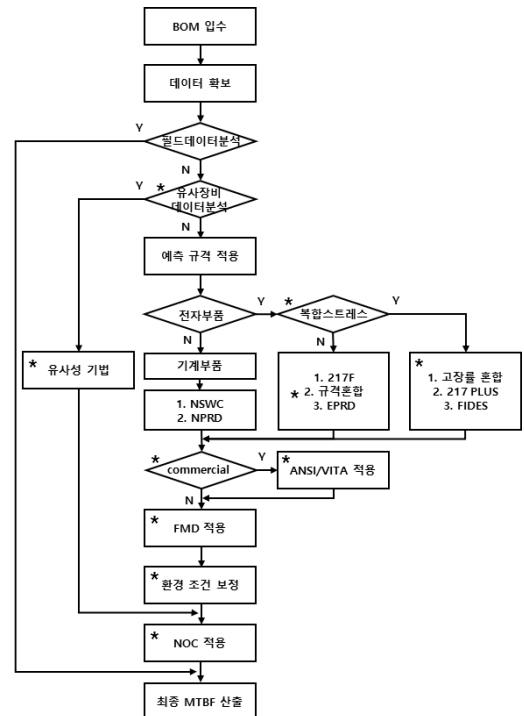


Fig. 2. Proposed model of reliability prediction

첫째, 필드 데이터, 유사부품 데이터를 사용하여 고장률 값을 예측한다. 필드 데이터가 있는 경우 데이터 사용에 있어 가장 우선시한다. 필드 데이터가 없는 경우에는

유사부품 데이터를 사용한다.

둘째, 필드 데이터와 유사부품 데이터가 존재하지 않는 경우에는 예측 규격을 사용한다. 전자부품의 경우 복합스트레스를 가지고 있을 때 고장률 혼합모델, RiAC-HDBK-217Plus, FIDES 등과 같은 규격을 사용하며, 복합스트레스를 고려하지 않는 경우 217F, 규격혼합, EPRD를 사용한다. 기계부품의 경우 NSWC, NPRD를 사용한다. 이후 commercial일 경우 ANSI/VITA를 사용해 팩터값을 보정한다.

셋째, 고장모드분포(FMD: Failure Mode Distribution, 이하 FMD)를 고려하여 엔지니어의 판단을 반영하고 환경조건보정, NOC(Not Otherwise Code) 등을 사용하여 고장의 특성을 고려한다. 환경이나 시간, 품질 등에 맞게 보정한다.

각 활동에 대한 상세 내용은 2.3.1 ~ 2.3.10항까지 기술하였다.

2.3.1 BOM 입수

신뢰도 예측을 진행할 대상의 BOM을 확보한다.

2.3.2 데이터 확보

선정된 신뢰도 예측 대상 품목에 대해서 기술자료(카탈로그, 도면 등)를 확보한다.

2.3.3 필드 데이터 분석

신뢰도 예측 대상 품목에 대해 필드 데이터가 있을 경우, 이를 사용하여 신뢰도 예측을 수행한다. 미니탭, R, SAS 등 통계 프로그램을 사용하여 필드 데이터를 전처리 후 모델링하여 신뢰도를 예측한다. 이를 위해서는 필드 데이터의 정확한 데이터 기입과 자료 수집, 데이터 기입 방법 표준화 등이 필요하다.

2.3.4 유사 장비 데이터 분석

예측하고자 하는 장비와 유사한 장비가 존재하고, 유사 장비에 관한 데이터를 보유하고 있을 경우, 이를 활용하여 신뢰도를 예측하는 방법이다. 아래 세 가지 방법을 이용하여 예측을 수행한다.

2.3.4.1 Lockheed 예측 방법

신규 장비 신뢰도 예측을 유사 장비 데이터, 복잡성 인자, 환경인자 및 기타인자를 활용하여 Eq. (1)을 통해 신뢰도 예측을 수행한다.

$$\text{신규장비 } MTBF = \text{유사장비 } MFTBF \times (1) \\ \text{복잡성인자} \times \text{환경인자} \times \text{기타인자}$$

- 신규 장비 MTBF: 신규 장비의 Mean Time Between Failure
- 유사 장비 MFTBF: 유사 장비 Mean Time Between Failure

Flight hours / Inherent Failure

- 복잡성 인자:

신규 장비 MTBF / 유사 장비 MTBF

(MTBF 대신 하위 구성품 수, 크기, 면적, 직경 등으로 대체 가능)

- 환경 인자: 진동, 온도, 습도 등
- 기타 인자: 장비 사용 빈도

2.3.4.2 보잉 예측 방법

신규 장비 신뢰도 예측을 K factor를 활용하여 Eq. (2)를 통해 신규 장비 신뢰도 예측을 수행한다.

$$\text{신규장비 } MFTBF \text{ 예측} = \frac{\text{신규장비 } MTBF}{K \text{ factor}} \quad (2)$$

- 신규 장비 MFTBF 예측: 신규 장비의 Mean Time Flight Time Between Failure
- 신규 장비 MTBF: 신규 장비 Mean Time Between Failure
- K factor: 구성품 업체 MTBF 운영 자료 / 운영 MTBF

2.3.4.3 에어로스 예측 방법

운영조건별 고장률과 시간을 통해 Eq. (3)과 같이 신뢰도 예측을 수행한다.

$$MTBF = \frac{t_{arw}}{(t_{arw} \times \lambda_{arw} + t_{gf} \times \lambda_{gf} + t_{no} \times \lambda_{no})} \quad (3)$$

- λ_{arw} : Failure rate in airborne rotary wing
- λ_{gf} : Failure rate in ground fixed environment
- λ_{no} : Failure rate in storage (Not operating)
- t_{arw} : Number of flight hour per year
- t_{gf} : Number of operating hours on ground per year
- t_{no} : Number of non operating hours per year

2.3.5 예측 규격 적용

2.3.5.1 전자부품

전자부품의 경우 가변환경 여부를 우선 판단한다. 가

변환경에서 발생 가능한 고장 메커니즘이 다수일 경우 (복합스트레스) 고장률 혼합방법을 적용한다. 고장률 혼합방법 적용이 불가능할 경우 217 PLUS, FIDES 순으로 우선순위를 두어 고장률 예측을 수행한다. 만일, 고장 메커니즘이 하나인 경우에는(단일스트레스) 가변환경을 대표하는 명목 환경 수준을 산출하여 고장률을 구한다. 이 경우 규격혼합방식을 우선시하여 적용한다. 여기서 명목 환경 수준은 진동 등 기계적 스트레스는 Miner rule, 온도 스트레스는 아레니우스식, 전압/전류는 역 제곱 법칙 등을 활용하여 산출한다. 규격혼합방식을 불가능할 경우 217F, EPRD 순으로 우선순위를 두어 고장률을 산출한다.

2.3.5.2 기계부품 적용

기계부품의 경우 NSWC를 우선순위로 두어 고장률을 예측한다. NSWC에 부품이 존재하지 않을 경우에는 NPRD를 사용하여 신뢰도를 예측한다.

2.3.6 ANSI/VITA 적용

ANSI/VITA는 미국에서 상업용 제품을 생산하는 기업체들이 217F의 단점을 극복하기 위하여 실제 경험을 바탕으로 규격의 혼합, 217F 고장률 모델의 계수조정 등의 새로운 대안을 제시한 예측 모델이다. 이에 따라, 제품이 commercial일 경우 ANSI/VITA를 적용한다.

2.3.7 FMD 적용

FMD는 문헌 조사, 유지 보수 데이터, 고장분석 보고서 등을 바탕으로 수년에 걸쳐 전기, 전자, 기계 및 전기 기계적 부품과 조립품들의 고장모드와 데이터를 모아놓은 것이다[10]. 이를 바탕으로 부품의 고장 모드 매커니즘의 분포를 고려하여 고장률 예측값을 보정한다. 즉, FMD를 통하여 기술의 발전이나 엔지니어의 판단을 고려한 신뢰도 예측을 수행한다.

2.3.8 환경조건보정 적용

장비는 완전히 다른 환경에서 사용되거나 규정과 다른 신뢰성 변수를 정의하거나 사용할 수 있기 때문에 다양한 신뢰성 변수를 다른 환경조건으로 변환하는 것이 필요하다. 이 경우 MIL-HDBK-338B에 있는 Conversion factor를 사용해 고장률 값을 보정한다.

2.3.8.1 환경 보정 팩터

환경을 변환할 때, Table 2의 보정계수를 활용하여 적용한다.

Table 2. Environmental conversion factors[11]

From\To	G _B	G _F	G _M	N _S	N _U	A _{IC}	A _{IF}	A _{UC}	A _{UF}	A _{RW}	S _F
G _B	×	0.5	0.2	0.3	0.1	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	1.2
G _F	1.9	×	0.4	0.6	0.3	0.6	0.4	0.2	0.1	0.2	2.2
G _M	4.6	2.5	×	1.4	0.7	1.4	0.9	0.6	0.3	0.5	5.4
N _S	3.3	1.8	0.7	×	0.5	1.0	0.7	0.4	0.2	0.3	3.8
N _U	7.2	3.9	1.6	2.2	×	2.2	1.4	0.9	0.5	0.7	8.3
A _{IC}	3.3	1.8	0.7	1.0	0.5	×	0.7	0.4	0.2	0.3	3.9
A _{IF}	5.0	2.7	1.1	1.5	0.7	1.5	×	0.6	0.4	0.5	5.8
A _{UC}	8.2	4.4	1.8	2.5	1.2	2.5	1.6	×	0.6	0.8	9.5
A _{UF}	14.1	7.6	3.1	4.4	2.0	4.2	2.8	1.7	×	1.4	16.4
A _{RW}	10.2	5.5	2.2	3.2	1.4	3.1	2.1	1.3	0.7	×	11.9
S _F	0.9	0.5	0.2	0.3	0.1	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	×

2.3.8.2 온도 보정 팩터

온도를 변환하였을 때, Table 3의 보정계수를 활용하여 적용한다.

Table 3. Temperature conversion factors[11]

From\To	10	20	30	40	50	60	70
10	×	0.9	0.8	0.8	0.7	0.5	0.4
20	1.1	×	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5
30	1.2	1.1	×	0.9	0.8	0.6	0.5
40	1.3	1.2	1.1	×	0.9	0.7	0.6
50	1.5	1.4	1.2	1.1	×	0.8	0.7
60	1.9	1.7	1.6	1.5	1.2	×	0.8
70	2.4	2.2	1.9	1.8	1.5	1.2	×

2.3.8.3 부품 품질 팩터

부품의 품질을 변환하였을 경우, Table 4의 보정계수를 활용하여 적용한다.

Table 4. Quality conversion factors[11]

From\To	Space	Military	Ruggedize	Commercial
Space	×	0.8	0.5	0.2
Military	1.3	×	0.6	0.3
Ruggedize	2.0	1.7	×	0.4
Commercial	5.0	3.3	2.5	×

2.3.9 NOC 적용

TO 00-20-2에 명시되어 있는 NOC 개념을 활용[12]

하여 신뢰도 예측을 실시한다. NOC는 WUC의 다섯 번째 위치에 9가 표시되거나 네 번째 또는 다섯 번째 위치에 9가 표시되는 항목으로 작업이 필요한 서버 시스템의 구성요소 또는 항목이 작업단위로 코팅되지 않는 경우에만 사용된다. 브라켓, 너트, 볼트, 튜브 등과 같은 마이너 부품을 NOC로 분류하여 신뢰도를 예측한다. NOC 항목은 하위 시스템과 관련 있으며, 작업이 필요한 하위 시스템의 구성요소 또는 항목이 작업단위로 이루어지지 않을 때만 사용한다. 이때 NOC는 $NOC\ MTBF \times (NOC\ 부품\ 수) / (전체\ 부품\ 수)$ 로 계산한다.

2.3.10 최종 MTBF 산출

위와 같이 기술한 개선된 신뢰도 예측 모델을 통해 최종 MTBF 값을 산출한다.

2.4 A 시스템 데이터 현황 분석

A 시스템은 항공기에 장착되는 장비로 보안 규정상 A 시스템으로 명명한다. 본 논문에서 제안한 신뢰도 모델을 A 시스템 체계를 비롯한 계통과 부품, 단품에 이르기 까지 총 795건의 신뢰도 예측 결과를 수록한 신뢰도 분석보고서와 495건의 야전 운용자료를 수록한 2015년 A 시스템 야전 운용분석 보고서이다. 이들 자료의 LCN(Logistic Control Number)을 비교하여 동일한 부품이나 모듈들을 확인한 결과 현재까지 총 167개가 매칭됨을 확인하였다.

A 시스템의 전자부품에 대한 예측 정확도를 분석하였다. 전자부품에 대하여는 RELEX를 활용하여 217F 기반의 예측과 EPRD 기반의 예측, 그리고 기관별 자료에 의한 예측이었다.

Fig. 3은 전자계통의 품목들의 operating 시간에 대한 실측치/예측치의 비율을 그래프로 나타낸 것이다. 전자부품의 경우 실측치/예측치의 비율은 평균 2.619, 표준편차 3.620을 가지며 변동계수는 132%임을 알 수 있다.

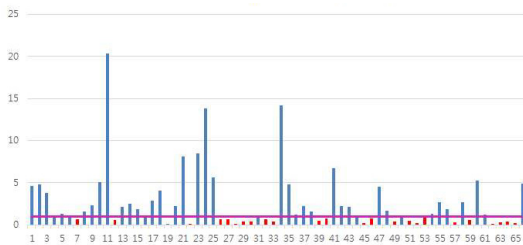


Fig. 3. Accuracy of electronic parts prediction

다음은, A 시스템의 기계부품에 대한 예측 정확도를 분석하였다. 기계부품들의 신뢰도 분석 결과를 살펴보면 대부분 NPRD를 이용한 예측이다. 아래 Fig. 4를 살펴보면 실측치/예측치가 1에 근접하기보다는 상당한 산포를 가지고 있음을 알 수 있다.

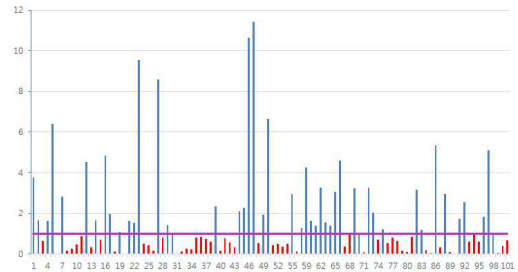


Fig. 4. Accuracy of mechanical parts prediction

실제 이들 비율의 평균을 구해보면 1.733, 표준편차 2.250으로 변동계수는 139% 정도임을 알 수 있다. MTBF 예측치보다 실측치가 대략 1.733배 높게 나와 보수적인 예측이 되어 표준편차가 상당히 커서 품목별로 상당한 차이를 보이고 있다.

전자부품의 경우가 기계부품보다 덜 정확하게 예측이 되었다고 할 수 있다.

2.5 제안한 신뢰도 예측 모델 검증

제안한 신뢰도 예측 모델을 검증하기 위해 A 시스템 분석 데이터를 활용하였다. 예측 모델 검증 시, 유사장비 데이터 활용 및 예측 기법을 활용한 검증을 수행하였다.

2.5.1 유사장비데이터를 활용한 검증

제안한 모델 중 유사 장비 데이터를 활용한 예측의 정확성을 검증하였다. 제안한 모델에 따라 유사 장비 데이터가 있는 경우, 유사성 기법을 활용하고, NOC를 통해 계열류들의 MTBF값을 보정하였다. 아래 Fig. 5와 같이 예측을 수행하였다.

A 시스템 분석보고서 중 Table 5에 기재되어 있는 서로 용도가 다른 패널 a와 b를 이용하여 고장률을 예측하였다. Table 5의 a를 b의 유사시스템이라 간주하여 Lockheed 기법을 사용하여 예측을 수행하였다.

A 시스템은 특히, 유사 장비 데이터 및 복잡성 인자를 고려해야 하기 때문에 Lockheed 기법을 사용하여 a의 필드 값 12839.9에 복잡성인자(품목 수 비율: 14/36)을 곱하여 4993.294를 산출하였다.

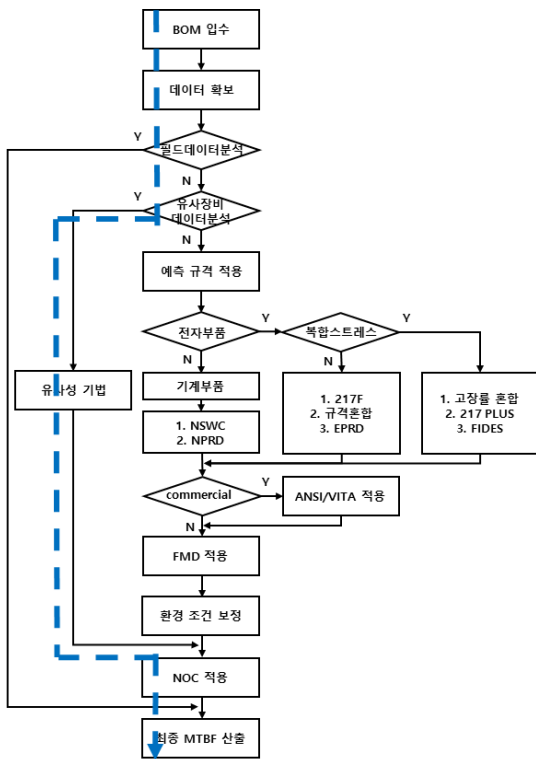


Fig. 5. Proposed of reliability prediction model using similar equipment data

Table 5. Compare 'a' with 'b' system data

	a	b
System	electrical system	gas system
Object	panel, electric and electronic equipment	panel, noise, aircraft
Number of parts	36	14
Equipment	baseline	new
Field value	12839.9	6419.9
Predicted value	127849.5	16233

유사성 기법 사용 후 다음 프로세스인 '환경조건보정'은 같은 환경조건에서 이루어지는 시스템이기 때문에 사용하지 않는다. b의 경우 14개의 부품 중 6개의 NOC로 이루어져 있으므로 6/14을 곱하여 NOC만의 값이 2139.983 임을 도출하였다. 도출한 NOC 값과 NOC를 제외한 값과의 신뢰도 예측을 진행한 결과 b의 최종 MTBF 값 6106.037이 산출되었다.

이는 Fig. 6과 같이 제안한 신뢰도 예측 모델이 현 신뢰도 예측보다 정확하다는 것을 보여준다.

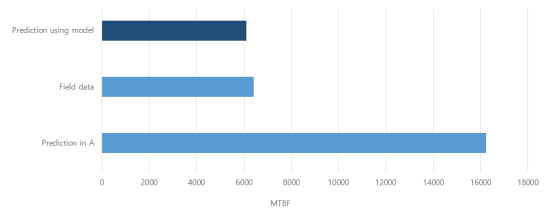


Fig. 6. Comparison to 'b' values using similar equipment data

수치적으로 신뢰도($R(t) = e^{-\lambda t}$, $t=1,000$ 으로 가정)를 산출한 결과 필드값 대비 기존 신뢰도의 정확도는 90.12%인 반면에 제안한 신뢰도의 정확도는 99.20%임을 확인하였다.

2.5.2 예측 규격을 활용한 검증

제안한 프로세스 내에서 필드 데이터, 유사 장비 데이터가 모두 없는 경우, 예측 규격을 활용한 검증을 실시해야 한다. 두 번째 검증은 필드, 유사데이터가 없는 경우를 고려하여 c를 아래 Fig. 7과 같이 예측 규격을 활용하여 고장률 값을 산출을 수행하였다. 규격을 활용한 예측

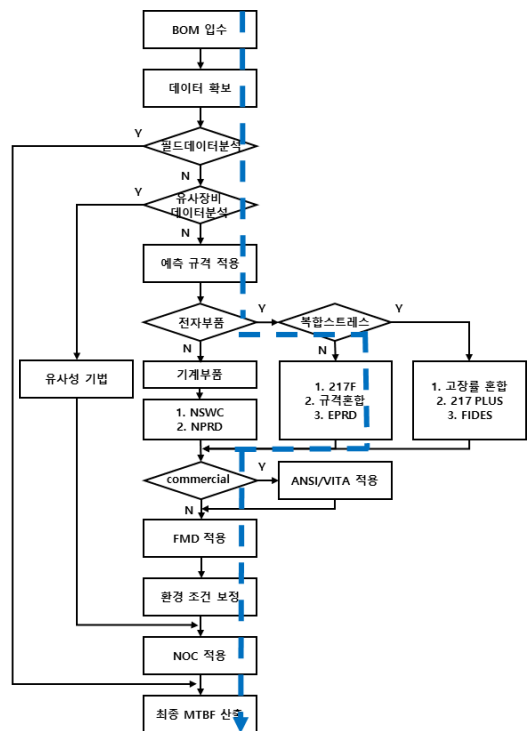


Fig. 7. Proposed of reliability prediction model using standard

후 FMD, 환경조건, NOC 등을 활용하여 최종 MTBF를 산출하였다.

c의 경우, 필드 값은 12839.9, 분석보고서 예측값은 23571이다. c의 경우 전자부품으로만 이루어져 있기 때문에 전자부품 규격서 중 복합스트레스를 고려할 수 있는 217PLUS로 예측하였다. 마지막으로 NOC를 사용해 예측값을 보정하였다. c의 경우 57개의 부품 중 마이너 부품이 12개를 차지하고 있으므로 이에 맞게 계산하면 MTBF 값이 14921로 산출되었다.

이는 Fig. 8과 같이 제안한 프로세스를 따라 예측한 결과가 217F 또는 EPRD를 사용한 예측보다 정확하다는 것을 확인하였다.

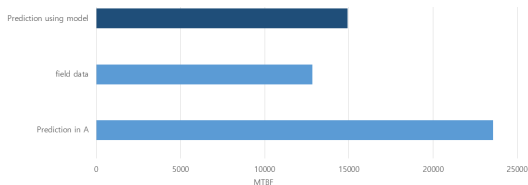


Fig. 8. Comparison to 'c' values using standard

수치적으로 신뢰도($R(t) = e^{-\lambda t}$, $t=1,000$ 으로 가정)를 산출한 결과 필드 값 대비 기존 신뢰도의 정확도는 96.39%인 반면에 제안한 신뢰도의 정확도는 98.90%임을 확인하였다.

c와 동일한 방법으로 d, e를 개선된 모델을 활용하여 예측한 결과는 Fig. 9, Fig. 10과 같다.

d의 필드값은 4280이며, 217F를 활용한 예측값은 8033이다. 제안한 예측 모델을 사용한 결과 5886이 산출되었다.

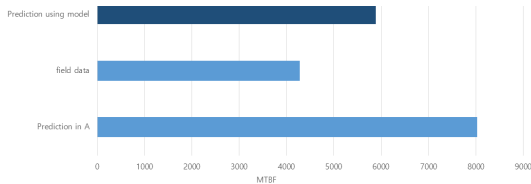


Fig. 9. Comparison to 'd' values using standard

신뢰도($R(t) = e^{-\lambda t}$, $t=1,000$ 으로 가정)를 산출한 결과 필드값 대비 기존 신뢰도의 정확도는 88.47%인 반면에 제안한 신뢰도의 정확도는 93.42%임을 확인하였다.

e의 필드값은 12839.9이며, 217F를 활용한 예측값은 47076이다. 제안한 예측 모델을 사용한 결과 23003이 산출되었다.

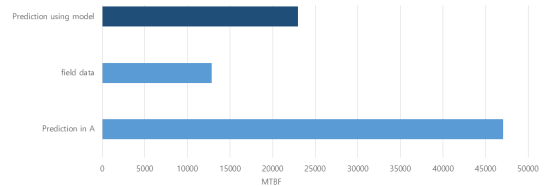


Fig. 10. Comparison to 'e' values using standard

신뢰도($R(t) = e^{-\lambda t}$, $t=1,000$ 으로 가정)를 산출한 결과 필드값 대비 기존 신뢰도의 정확도는 94.17%인 반면, 제안한 신뢰도의 정확도는 96.50%임을 확인하였다.

이를 통해 제안한 프로세스를 이용한 예측값이 분석보고서 내의 예측값(217F)보다 필드 값과 더 유사하다는 것을 확인하였다.

3. 결론

현재 신뢰도 예측은 MIL-HDBK-217F가 폐지되었음에도 불구하고 실질적인 표준으로 사용되고 있다. 하지만, MIL-HDBK-217F는 상수형 고장률이나 고장유발 스트레스로 온도만을 고려하였다는 점 등 여러 가지 원인에 의하여 예측의 정확성이 떨어진다.

신뢰도 예측은 설계안의 신뢰도 목표 달성 여부의 판단이나 대안의 제시, 정비방식이나 예비부품의 결정 등 다양한 분야에 활용된다. 따라서, 이러한 후속 활동들이 잘 진행되기 위해서는 예측의 정확성을 제고하는 것은 매우 중요한 일이다.

따라서, 본 논문은 신뢰도 예측의 정확성을 높이기 위한 모델을 제안하였으며 제안한 모델이 현 신뢰도 예측보다 더 정확한가에 대해 검증을 수행하였다.

필드 데이터를 가장 우선시하여 사용하며, 없는 경우에 유사부품데이터를 사용해야 한다. 규격서의 경우에는 전자부품과 기계부품으로 나누어 복합스트레스 유무에 따라 규격서를 사용한다. 보정방법에서는 시스템 또는 부품의 환경과 온도, 시간 등에 알맞은 보정방법과 고장 모드분포(FMD), NOC 등을 사용해야 한다.

이를 A 시스템 분석보고서 기반과 다른 데이터를 통하여 검증하였으며, 현재 신뢰도 예측을 위해 사용 중인 MIL-HDBK-217F보다 정확한 값이 산출되었음을 확인하였다.

제안한 개선된 신뢰도 예측 모델을 적용하면 기존에 활용되고 있는 217F만을 활용한 신뢰도 예측값보다 더 정확한 예측값 산출이 가능하다. 또한, 다양한 스트레스

및 환경조건을 고려할 수 있기 때문에 기존 신뢰도 예측보다 정확한 산출이 가능하다. 따라서, 제안한 예측 모델을 사용함으로써 정확한 신뢰도 산출 효과를 기대할 수 있다.

References

- [1] Department of Defense, "MIL-HDBK-338B: Electronic Reliability Design HandBook", pp. 3-16, 1998.
- [2] I. T. Jo, S. C. Lee, Y. H. Kim, "A study on Reliability Prediction Comparison of Aero Space Electronic Equipments", *The Korea Reliability Society*, Vol. 25, No. 4, pp. 472-479, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7232/IEIF.2012.25.4.472>
- [3] Y. H. Jung, K. H. Kang, J. S. Jang, S. C. Park, "Reliability Prediction of Arduino using MIL-HDBK-217F", *The Korea Reliability Society*, Korea, pp. 152-155, 2016.
- [4] K. H. Lee, C. H. Kim, T. H. Jeong, "A Study on the 217-PLUS Reliability Prediction Model of Electronic Equipment", *Spring conference of the Korea Reliability Society*, The Korea Reliability Society, pp. 561-568, 2014.
- [5] J. Y. Oh, "Reliability Prediction of Weapon System Based on Mixing Method of Failure Rate Data", Master's thesis, Ajou university, pp. 39-41, 2016.
- [6] J. S. Kim, K. T. Lee, K. H. Kim, "Application of PLS(Post-Logistic Support) Data to improving reliability prediction process of weapon system", *Spring conference of the Korea Reliability Society*, The Korea Reliability Society, Korea, p. 41, 2018.
- [7] Y. W. Seo, K. S. Lee, Y. H. Lee, J. Y. Kim, "Reliability Prediction Based on Field Failure Data of Guided Missile", *Journal of Reliability and application*, .Vol. 18, No. 3, pp. 250-259, 2018.
DOI: <http://dx.doi.org/10.33162/JAR.2018.09.18.3.250>
- [8] Defence Acquisition Program Administration, "Guidelines for the Development of Integrated logistics Support", p. 81, 2015.
- [9] Defence Acquisition Program Administration, "Weapons system RAM LAW & Guide Book", p. 54, 2018.
- [10] Reliability Information Analysis Center, Failure Mode Distribution, 2016.
- [11] Department of Defense, "MIL-HDBK-338B: Electronic Reliability Design HandBook", pp. 10-22, 23, 24, 1998.
- [12] Authority of the Secretary of the air force, TO 00-20-2 maintenance data documentation, pp. 4-9, 2016.

김 소 정(So Jung Kim)

[정회원]



- 2018년 2월 : 아주대학교 산업공학과 (공학학사)
- 2020년 2월 : 아주대학교 산업공학과 (공학석사)
- 2020년 1월 ~ 현재 : (주)LIG넥스원 연구원

〈관심분야〉

품질, 신뢰성

서 양 우(Yang Woo Seo)

[정회원]



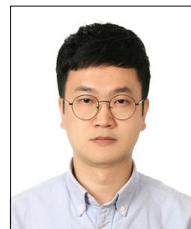
- 1998년 2월 : 홍익대학교 전기공학과 (공학학사)
- 2014년 8월 : 아주대학교 IT융합공학과 (공학석사)
- 2019년 2월 : 아주대학교 시스템공학과 (공학박사)
- 1998년 7월 ~ 현재 : (주)LIG넥스원 수석연구원

〈관심분야〉

신뢰성, 시스템 엔지니어링, 데이터 분석

이 승 상(Seung Sang Lee)

[정회원]



- 2008년 8월 : 한양대학교 정보경영공학과 (공학학사)
- 2009년 1월 ~ 현재 : (주)LIG넥스원 선임연구원

〈관심분야〉

기계학습, 신뢰도

김 정 태(Jung Tae Kim)

[정회원]



- 2020년 2월 : 한국항공대학교 항공기시스템공학과 (공학학사)
- 2020년 1월 ~ 현재 : (주)LIG넥스원 연구원

〈관심분야〉

건전성 관리, 기계학습