

한국형 고장률 데이터 북 개발에 대한 연구

백순흠¹ · 임재학^{2*}

¹국방기술품질원 국방신뢰성팀 ²한밭대학교 경영회계학과

A Study on Development of Korean Failure Rate Databook

Soonheum Paik¹ · Jae-hak Lim^{2*}

¹Department of Defense Reliability, Defense Agency for Technology and Quality

²Department of Business & Accounting, Hanbat National University

Purpose: The purpose of this research is to propose procedure and methodology for developing failure rate databook which is suitable for Korean operation environment.

Methods: To this end, we investigate failure databooks used in foreign countries and study the procedure and methodology for collecting failure data, organizing the data, estimating failure rate and summarizing results.

Results: We develop the procedure of development of failure databook, the items for data collection, database schema of part details and part summary and contents of failure databook by considering the application environment in Korea.

Conclusion: The results of our research could be utilized for the development of Korean failure rate databook and research of reliability prediction model and could ultimately contribute to improve the accuracy of reliability prediction.

Keywords: Failure Rate, Databook, EPRD, NPRD, Part Details, Part Summary, Merged Failure Rate, Quality Level, Application Environment

1. 서론

국방 분야에서 신뢰도란“무기체계 및 장비가 일정 시간동안 주어진 운용 조건하에서 요구된 기능을 만족스럽게 수행할 수 있는 확률”로 정의된다. 이러한 신뢰도는 무기체계의 설계도와 구성품들을 바탕으로 신뢰도를 예측하는 분석적 방법과 고장자료의 분석을 통하여 신뢰도를 추정하는 경험적 방법으로 나눌 수 있다. 일반적으로 무기체계의 수명주기 단계 중에

서 설계 및 개발단계에서는 분석적 방법이 많이 사용되고 있으며 운용단계에서는 운용과정에서 수집된 고장자료를 바탕으로 하는 경험적 방법이 많이 사용되고 있으며 분석적 방법의 예측결과를 경험적 방법의 추정결과와 비교하기도 한다

분석적 방법을 적용하는 절차는 고장 정의 기능블록도 작성, 정의된 고장 별 신뢰성블록도 작성 부품 고장률 계산, 마코브분석 기반 신뢰도 예측의 다섯 단계로 구성된다. 기능블록도 작성과 신뢰도블록도 작

* 교신저자 jlim@hanbat.ac.kr

2017년 8월 16일 접수, 2017년 9월 11일 수정본 접수, 2017년 9월 26일 게재 확정.

성은 무기체계 계층구조에서 같은 수준에서 이루어져야 한다. 이 중에서 가장 많은 시간과 자원이 소요되는 부분이 부품의 고장률 계산 부분이다.

고장률이란 어느 시점까지 정상적으로 동작하던 장비가 그 시점 이후 짧은 순간에 고장이 발생할 조건부 확률로서 다음과 같이 정의된다[1].

$$r(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} P(t < T < t + \Delta t | T > t) \\ = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{1 - F(t)} = \frac{f(t)}{1 - F(t)}$$

여기서 T 는 장비의 수명을 나타내는 확률변수이며 $F(t)$ 는 누적분포함수이고 $f(t)$ 는 확률밀도함수를 나타낸다. 고장자료를 바탕으로 한 고장률의 추정 문제는 지난 수십 년 동안 많은 연구자들에 의하여 연구되어 왔다. 최근 Guérineau and Gouno[5]는 시간에 따라 스트레스가 변화하는 고장자료를 이용한 고장률 추정문제를 연구하였으며 Brissaud[3]는 필드 고장자료를 바탕으로 고장률을 추정할 때 요구되는 사항에 대하여 설명하였다.

무기체계 및 장비에 대한 신뢰도 분석업무에서 부품의 고장률 계산은 고장률 예측 모형을 이용하는 방법, 고장률 데이터북을 이용하는 방법 및 유사장비의 고장률 값을 활용하여 고장률을 산출하는 방법 등을 사용하고 있다. 이 중에서 가장 많이 사용되는 것은 고장률 예측 모형을 이용하는 방법으로 그중에서도 MIL-HDBK-217은 가장 많이 이용되고 있다. MIL-HDBK-217은 1965년 MIL-HDBK-217A가 개발되어 발표된 이후 30여 년간 전기/전자 시스템의 신뢰도 예측의 표준으로 군과 민간에서 폭 넓게 활용되고 있으나 1995년 MIL-HDBK-217F가 개발된 이후에는 새로운 버전이 나타나지 않고 있다. 그 이외에도 Tecordia에서 SR-332, British Telecom의 HRD5, Siemens의 SN29500 등 여러 기관에서 다양한 모형들이 제안되었으며 최근 들어 2006년 RIAC에서 MIL-HDBK-217을 대체할 예측 방법론으로 217-Plus를 개발하였다. 그러나 이러한 예측 모형에 의한 방법은 다음과 같은 문제점들을 내포하고 있다[8, 9].

- (i) 상수고장률 가정이 적합하지 않음
- (ii) 고장의 근본원인, 고장모드, 고장메커니즘에 대한 고려하지 않음
- (iii) 시스템 수준 고려에 대한 부적합

- (iv) 적합한 환경과 부하조건을 고려하지 않음
- (v) 새로운 기술과 부품에 대한 예측모형이 없음
- (vi) 필드 데이터에서 얻은 값과 차이가 많이 남
- (vii) 계산 방법마다 예측값의 차이가 발생함

위에서 지적한 예측모형을 이용한 방법의 문제점을 해결하는 방법으로 고장률 데이터 북을 이용한 방법이 최근 많이 사용되고 있는데 이는 부품 유형별 속성 값을 알면 데이터 북에서 고장률 값을 쉽게 찾아서 사용할 있기 때문이다. 특히 이 방법은 새로운 기술이나 부품들의 고장률 예측을 위하여 유용하게 사용될 수 있으며 필드에서 얻은 고장률이라는 점에서 매우 실용적인 방법이라 할 수 있다.

고장률 데이터 북에서 얻은 고장률 값은 앞에서 언급한 바와 같이 무기체계의 설계가 끝난 상태에서 개발될 무기체계가 요구되는 신뢰도 목표값(기준값)을 만족시킬 수 있는지 여부를 사전에 판단하기 위하여 활용된다. 즉, 구성품 설계에 사용된 부품의 고장률 값을 데이터북에 있는 값을 활용하여 상위의 구성품의 신뢰도 예측값을 산출하고, 이 값이 목표값에 미달하는 경우 신뢰도 있는 부품으로 변경하거나 구성품의 설계를 변경하는 등 목표값을 만족시킬 수 있는 방법이나 수단을 찾는 데 중요하게 활용될 수 있다.

현재 우리 군에서 사용하는 고장률 데이터 북은 미국에서 개발된 고장률 데이터 북인 EPRD(Electronic Parts Reliability Data)와 NPRD(Non-electronic Parts Reliability Data)를 그대로 사용하여 부품의 고장률을 예측하고 있다. 그러나 이러한 고장률 데이터 북은 외국의 운용환경 및 부품을 대상으로 산출한 값인 반면 국내에서 개발하는 무기체계는 운용환경이 외국과 다를 뿐만 아니라 무기체계에 사용되는 부품의 제조사들도 다르기 때문에 국내에서 개발 중인 무기체계의 신뢰도 예측에 미국의 데이터 북에 있는 고장률 값을 그대로 활용하는 것은 정확한 신뢰도 예측값을 산출하는데 한계가 있다.

본 연구에서는 국내에서 개발된 부품에 대해서 국내 운용환경을 고려한 고장률 데이터 북을 개발하고 구축하기 위한 방안을 제시하였다. 이를 위하여 외국에서 신뢰도 예측에 활용되는 고장률 데이터 북에 대한 조사와 그 내용을 간략하게 살펴보았으며 그중에서 EPRD와 NPRD의 문서구조와 고장률 데이터 북을 구축하는 방법에 대하여 살펴보고 이를 바탕으로 국내

운용환경에 적합한 자료의 수집방법 및 수집항목을 정의하고 수집된 자료를 정리하고 고장률을 산출하는 방법 그리고 계층적인 구조를 갖는 부품의 분류 체계에서 세부적으로 분류된 부품의 고장률들을 상위 수준에서 통합하는 방법 등에 대하여 연구하였다 또한 제안된 고장률 데이터 북의 문서 구조와 데이터 북 구축을 위한 절차를 제안하였다.

2. 고장률 데이터북

2.1 국내·외 고장률 데이터북 현황

고장률 데이터북은 미국을 비롯한 여러 나라에서 제시되어 왔다. 그 중에서 미군이 사용하고 있는 RIAC (Reliability Information Analysis Center)에서 개발한 EPRD와 NPRD가 가장 많이 사용되고 있으며 Barringer & Associates사에서 개발하여 보급한 와이블 데이터베이스도 많이 활용되고 있다 또한 유럽의 노르웨이에서 출간된 OREDA도 유럽을 중심으로 활용되고 있다.

2.1.1 EPRD와 NPRD

EPRD와 NPRD는 신뢰도 예측모형을 적용할 수 있는 부품 외에 다양한 전자/기계 부품의 고장률 데이터를 제공하는 핸드북으로 EPRD는 2014년에 개정판이 발간되었으며 상용화 부품 및 군용 부품에 대한 고장률 값을 제공하고 있다. EPRD는 IC, 다이오드, 트랜지스터, 광전자부품, 저항, 커패시터 및 인덕터 등 전자 부품에 대한 필드 고장자료를 바탕으로 고장률 값을 산출하였으며 그 분량이 2716쪽에 이르고 있다. EPRD가 제공하는 정보는 부품설명, 품질수준, 운용환경, 고장률의 점추정값, 자료 출처, 고장 개수, 총 운용시간/마일/주기 및 부품의 특성 등이다. NPRD는 1980년에 처음으로 발간되었으며 2016년에 개정판이 발간되어 다양한 전자적 조립품, 전자기계 및 기계류 부품과 조립품에 대한 고장률 값을 제공하고 있다. NPRD에서는 액추에이터, 베어링, 브레이크, 클러치, 커넥터, 기어, 능동부품, 광전자 디바이스, 펌프, 릴레이, 스프링, 밸브 등에 대한 필드 고장자료를 바탕으로 고장률 값을 추정하여 제공하고 있다.

EPRD와 NPRD의 구축절차는 자료의 수집 자료의 요약의 두 단계로 구성된다. 자료의 수집단계에는 수

집된 자료의 정제과정이 포함되어 있으며 세부적인 내용은 다음과 같다[4, 6].

RIAC에서는 EPRD와 NPRD를 구축하기 위해서 신뢰할 만한 다양한 출처를 통하여 고품질의 고장자료를 수집하였다. 그 출처들은 다음과 같다.

- 발표된 논문이나 보고서
- 정부지원 연구를 수행하면서 수집된 자료
- 군사 정비 자료 수집 시스템으로부터 수집된 자료
- 민수용 보증 수리 시스템으로부터 수집된 자료
- 민수/산업용 유지 보수 데이터베이스로부터 수집된 자료
- 고장 데이터베이스를 유지하는 군 또는 민간기관으로부터 RIAC로 직접 제출된 자료

수집된 자료들은 자료의 적절성을 평가하여 일정 기준을 만족시키지 못하면 고장을 산출에 이용하지 않고 있다. 자료의 적절성을 평가하는 기준은 완전성, 일관성, 장비의 추적가능성, 부품 고장분류 가용성, 동작기록 묘사 및 평가 가능성 등이다.

자료의 요약단계는 시스템 명세, 부품 리스트 작성, 고장 데이터 획득, 동작 데이터 획득, 자료를 RIAC 공통 데이터베이스 템플릿으로 변환의 과정을 거친다. 세부적인 내용은 <Table 1>과 같다.

부품의 고장률은 고장 데이터를 바탕으로 산출되며 부품유형, 환경, 품질, 자료 출처별로 다음과 같이 계산되며 고장률의 단위는 100만 시간당 고장횟수이다[3, 4].

$$\text{고장률} = \begin{cases} N(T)/T, & N(T) > 0 \\ < 1/T, & N(T) = 0 \end{cases}$$

여기서 T 는 총 운용시간이며 $N(T)$ 는 총 운용시간 동안 발생한 고장 수를 나타낸다. 만일 총 운용시간 동안 고장이 없는 경우에는 고장률의 상한값을 $1/T$ 로 제시하였다.

부품유형, 환경, 품질, 자료 출처별 고장률 계산이 끝나면 병합(Roll-up)과정이 진행되는데 이 과정은 상향식으로 진행된다. 즉, 부품유형, 환경, 품질, 자료 출처별로 세분화 된 것을 자료의 출처에 대해 통합하고 이 과정이 끝나면 품질에 대해 통합한 후 환경에 대해 통합하여 최종적으로 부품유형에 대한 고장률 값을 계산하여 제시하고 있다. 최적의 병합을 위하여 EPRD와 NPRD에서는 다음과 같은 방법을 고려하였으며 그 중에서 다섯 번째 방법을 이용하여 통합과정을 수행하였다.

Table 1 Data summary procedure

Procedure	Activities
Identify system based on	<ul style="list-style-type: none"> • Environments/Quality • Age • Component Types • Availability of Quality Data
Build parts list	<ul style="list-style-type: none"> • Obtain Illustrated Parts Breakdown(IPB)/Bill of Materials(BOM) • Ensure Correct Version of System Consistent with Maintenance Data • Identify Characteristics of Components(Part Numbers, Federal Stock Number, Microfiche, Vendor Catalogs, etc.) • Enter Part Characteristics into Database
Obtain failure data	<ul style="list-style-type: none"> • Reliability Improvement Warranty, DO56, Warranty Records • Match Failures to IPB/BOM • Ensure Part Replacements Were Component Failure • Add Failure Data to Database
Obtain operating data	<ul style="list-style-type: none"> • Verify Equipment Inventory • Equipment Hours, Part Hours • Application Environment

- 1) 모든 고장을 더하고 이것을 모든 시간의 합으로 나눔
- 2) 시간과 고장을 합하기 전에 이상치를 확인하고 제거하는 통계적 기법을 사용함
- 3) 고장이 기록된 데이터에서 얻어진 모든 고장률 데이터를 이용하여 산술평균을 구하고 고장이 0인 데이터의 운영시간의 비율에 따라 이 값을 조정함
- 4) 고장이 0인 데이터에 대해서 60% 신뢰수준 하한치로 얻은 평균 고장률을 고장 데이터에서 얻어진 고장률과 결합함
- 5) 고장을 가진 데이터와 관련하여 모든 고장률의 기하평균을 구하고 이 고장률에 총 고장 시간을 총 시간으로 나눈 비율을 곱함

2.1.2 Weibull Database

와이블 데이터베이스는 Barringer & Associates 사에

서 개발한 것으로 기계류 부품에 대한 고장률 정보를 제공하고 있다[2]. 특히 와이블 데이터베이스에서는 부품들의 수명분포가 와이블분포를 따른다고 가정하여 각 부품에 대하여 형상모수와 척도모수에 대하여 하한값과 상한값 그리고 대푯값을 제공하고 있다. 다만 제공한 고장률 정보가 절대적인 것은 아니며 사용자들이 분석하고 있는 부품에 가장 적합한 값을 선택하여 사용할 것을 권유하고 있다.

2.1.3 OREDA

OREDA는 Offshore Reliability Data의 약자이며 1981년 노르웨이 석유협회에서 설립한 기관의 이름이며 동시에 데이터북의 이름이다[7]. OREDA는 2002년에 개정판을 발간하였으며 해상 설비 유니트 11,150개의 고장자료가 수록되어 있다. 여기에는 구성품

Table 2 A sample of Weibull database

Component	Shape parameter			Scale parameter		
	Low	Typical	High	Low	Typical	High
Ball bearing	0.7	1.3	3.5	14,000	40,000	250,000
Roller bearings	0.7	1.3	3.5	9,000	50,000	125,000
Sleeve bearing	0.7	1	3	10,000	50,000	143,000
Belts, drive	0.5	1.2	2.8	9,000	30,000	91,000
Bellows, hydraulic	0.5	1.3	3	14,000	50,000	100,000

(Component), 장비(Equipment) 등의 해상 설비 구조별로 정량적인 고장률 값 및 수리시간이 데이터 북 형식으로 제시되어 있다.

고장유형별 고장률 값은 고장횟수를 운용시간단위 : 100만 시간)으로 나누어서 산출하였다. 이때 시간은 달력시간(Calendar Time)과 실 운용시간(Operational Time)으로 산출하여 제시되어 있다. OREDA에서도 고장률 값에 대한 평균, 하한 및 상한 값을 제시하고 있다. 그리고 실제 수리시간(Active Repair Time)이 제시되어 있는데, 이 시간의 산출은 고장난 아이템이 다시 정상으로 돌아와 ready to start 상태가 되기까지 걸리는 평균 시간을 계산하여 제시하였다.

2.1.4 국내 고장률 데이터 북 구축사례

국내의 기업이나 정부기관에서 데이터 북을 구축하여 활용하고 있는 현황을 조사한 결과 민간기업에서 고객들의 클레임을 줄이기 위한 노력으로 고장 빈도가 높은 부품이나 주 고장모드를 밝히기 위하여 고객센터에 접수된 클레임 데이터를 분석하는 업무를 수행하고 있으나 신뢰도 예측 등과 같이 신뢰도 업무에 직접적으로 활용하기 위하여 고장률데이터 북을 구축한 사례는 없는 것으로 조사되었다.

전자회사인 A사는 보증기간 동안 A사의 직영 또는 협약체결 정비소에 접수된 고객의 클레임데이터를 분석하여 고장빈도가 높은 부품을 찾아내어 신뢰도 시험 등을 실시하는데 활용하고 있었고, 자동차 회사인 B사의 경우는 주 고장모드와 그의 영향을 밝히기

위한 FMEA를 실시하는 과정에서 필요한 자료를 확보하기 위하여 필드데이터를 분석하여 그 값을 활용하고 있는 것으로 파악되었다.

3. 한국형 고장률 데이터북 구현 방안

본 장에서는 한국형 고장률 데이터 북의 구현방법에 대해 제안한다. 본 장에서 제안하는 방법은 EPRD와 NPRD에서 사용하고 있는 방법을 근간으로 하고 있으나 세부적인 내용은 우리나라 실정에 맞게 수정하였다.

고장률 데이터 북의 구축 절차는 <Fig 1>에서 보는 바와 같이 품목 자료 수집, 품목 상세정보 산출, 품목 요약정보 산출, 고장률 데이터 북 DB 구축 순으로 이루어진다. 여기서 부품이라는 용어대신 품목이라는 용어를 사용하는 이유는 현재 야전에서 수집된 고장자료가 부품에 대한 자료만 있는 것이 아니라 조립체까지 포함하고 있기 때문에 품목이라는 용어를 사용하였으며 품목은 부품과 조립체를 포함하는 용어이다. 품목 상세정보 산출에서는 수집된 품목자료를 품목의 종류 및 유형별로 체계화하여 정리하고 고장률도 산출한다. 품목 요약정보 산출 단계에서는 품목 상세정보 산출 단계에서 정리된 정보를 품목의 종류 및 유형, 품질등급, 운용환경 및 자료의 출처별로 요약하며 데이터 북 DB 구축단계에서는 품목 상세정보와 요약정보를 바탕으로 데이터베이스를 구축한다[10].

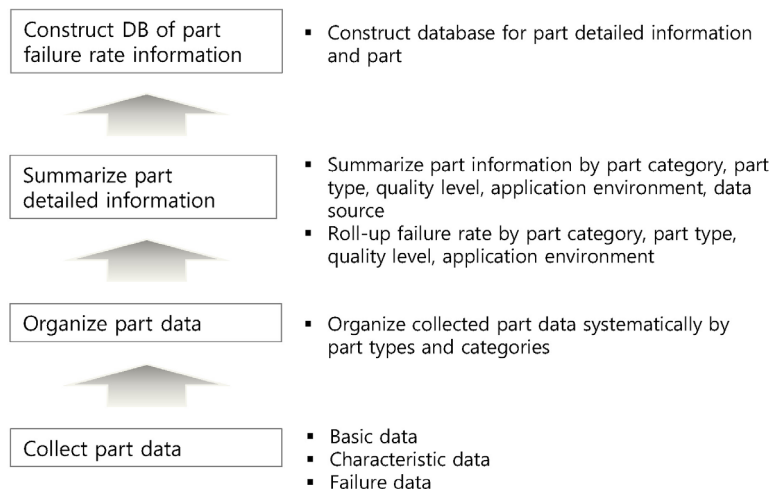


Fig. 1 Procedure for developing failure rate data book

3.1 품목 자료수집 단계

고장률 데이터 북을 만들기 위한 자료의 수집은 외국의 경우와 달리 고장 자료의 원천이 다양하지 않기 때문에 군에서 무기체계를 운용하는 과정에서 축적된 자료를 이용하였다. 현재 우리나라 군에서 무기체계의 고장 자료를 다루고 있는 것은 장비정보체계(이하, DELIIS)와 야전운용제원분석체계(이하, LAMBDA)이다. 부품 종류 및 유형별 고장률의 산출은 LAMBDA를 활용하였으며 자료 수집항목과 내용은 <Table 3>과 같다.

3.2 품목별 상세정보 산출

자료수집 단계로부터 얻어진 모든 자료를 품목 종류 및 유형별로 체계적으로 분류하는 단계이다 품목별 상세정보가 산출되면 산출결과는 <Table 4>와 같은 필드로 구성되는 데이터베이스에 기록된다

품목명은 고장률 데이터 북을 구축하는데 가장 중요한 부분이며 여기에서는 방위사업청의 국방표준종합시스템에서 제공하는 지정품명집(KH6), 국내 군사 표준 용어집과 국내의 기계전자 부품분류체계를 바탕으로 개발한 표준 데이터 북 품명집의 품목명을 입력하도록 하였다[11]. 또한 품목유형도 표준 데이터 북 품명집의 유형과 동일한 유형이름을 사용하도록 하였다. 만일 표준 데이터 북 품명집에 없는 품목에 대

해서는 품목명 및 유형을 표준 데이터 북 품명집에 등록 한 후 입력하여야 한다. 품목의 품질 수준은 군용, 상용, 알 수 없음의 세 분류에서 택하여 입력한다 품목의 운용환경은 미 국방성에서 분류한 체계를 이용하는데 이는 MIL-STD-217F나 EPRD에서 사용하는 27개 운용환경과 동일하다 자료의 출처는 LAMBDA 또는 DELLIS 중 하나의 값을 입력한다. 재고번호는 품목의 재고번호를 입력하여야 한다. 시스템(적용장비)은 해당 품목이 속한 무기체계를 의미하며 군에서 쓰고 있는 장비별 코드체계를 기록한다.

고장 수와 운용시간은 품목이 적용되는 무기체계의 운용환경조건을 고려하여 LAMBDA와 DELLIS에 저장되어 있는 고장 수를 활용하였으며 이때 운용시간은 무기체계에 대해 품목유형, 품목품질, 운용환경 및 자료출처 별로 누적된 값이며 단위는 백만 시간이다. 이 과정에서 각 품목에 대하여 품목, 품목유형, 품질등급, 운용환경, 자료출처 별로 고장률 값을 계산하여 기록하는데 수명분포를 지수분포로 가정하여 고장률은 총 고장 수를 총 운용시간으로 나눈 것으로 100만 시간당 고장횟수를 나타낸다.

<Table 5>는 품목 상세정보의 예를 보여주고 있다. 대상 품목은 고정식 전해 커패시터이며 재질별로 품질수준과 운용환경 그리고 자료의 출처에 대한 정보를 정리하였다. 표에서 보는바와 같이 항목 중에서 품목사진이나 적용장비 등은 외국의 데이터 북에는 없는 항목으로

Table 3 Range and description of part failure data

Item	Explanation
Part name	Name of part in Korean
Part type	Part specific type
Quality level	The Quality Level of the part as indicated by: <ul style="list-style-type: none"> • Commercial - Commercial quality parts • Military - Parts procured in accordance with MIL specifications • Unknown - Data resulting from a device of unknown quality level
Application environment	The Application Environment describes the conditions of field operation
Data source	Source of data comprising this failure rate data book.
Structural information	Hierarchy of component, assembly and system
Manufacturer	Manufacturer of part
Number of parts	Number of same parts in a system
Total number of failures	The total number of failures observed in the merged data records
Total operating period	The total number of operating life unit (in millions) observed in merged data records. Absence of a suffix indicates hours is the life unit, "M" indicates that miles is the life unit, and "C" indicates that cycles is the life unit.

Table 4 Database field for part detailed information

Field	Description
Part name	Name of part in Korean
Part type	Part type
Part specification	Part specification
Quality level	The Quality Level of the part as indicated by: • Commercial, Military, Unknown
Application environment	The Application Environment describes the conditions of field operation
Data source	Source of data comprising this failure rate data book.
Stock number	Stock identification number
Applied system	Code of system in which the part is included
Picture	Picture of the part if it exists
Number of failure	Number of failures
Operating time(106hr)	Operating time
Failure rate	Failure rate of a part

Table 5 Example of part details

Part name	Part type	Part spec	Qual Level	Appl Env	Data Source	Stock No	Appl System	Picture	No. of failures	Op. time (106hr)	Failure rate
Capacitor	Fixed, Electrolytic		Mil	AIA	LAMBDA	S910-01-066-6799	1393F	N	0	5.7865	<0.1728
			Mil	AIC	LAMBDA	S910-01-066-6799	1395F	N	0	3.1584	<0.3166
			Mil	GF	DELLIS	S910-01-066-6799	230F	N	17	28.8183	0.5988
Capacitor	Fixed, Electrolytic	Al	Comm	GBC	LAMBDA	S910-01-066-6800	1393F	N	236	23852.2128	0.0099
			Mil	GF	LAMBDA	S910-01-066-6800	1395F	N	10	48.0305	0.2082
			Mil	GF	DELLIS	S910-01-066-6800	230F	N	1	21.8542	0.0458
Capacitor	Fixed, Electrolytic	Ta	Comm	GBC	LAMBDA	S910-01-066-6801	1393F	N	224	45341.4884	0.0049
			Mil	GF	LAMBDA	S910-01-066-6801	230F	N	3	166.5056	0.0189
Capacitor	Fixed, Electrolytic	Ta Solid	Mil	AIA	LAMBDA	S910-01-066-6802	1393F	N	0	0.2067	<4.8388
			Mil	AIC	LAMBDA	S910-01-066-6802	1395F	N	1	2.256	0.4433
			Mil	GF	DELLIS	S910-01-066-6802	230F	N	0	12.8081	<0.0781

써 품목의 식별을 용이하게 해주고 예측 시 정확도를 높 이는데 활용 될 수 있을 것으로 판단된다.

재질에 대한 정보가 없는 경우를 살펴보면 품질수준 이 모두 균용수준이며 자료의 출처는 LAMBDA와 DELLIS임을 알 수 있으며 적용무기체계는 각각 다른 것 으로 나타났다. 세 개의 자료 중에서 처음 두 개는 고장을 포함하고 있지 않은 것이며 마지막 자료는 17개의 고장 이 관찰된 것으로 나타났다. 즉, 처음 두 개의 자료는 5,786,500시간과 3,158,400시간 동안 고장이 하나도 발 생하지 않았으며 마지막 자료는 28,818,300시간 동안 17 건의 고장이 발생했다는 것을 의미한다 따라서 처음 두

자료를 바탕으로 고장률을 계산할 때는 고장이 한 건 발생 했다고 가정하여 $0.1728 (= 1/5.7865)$ 와 $0.3166 (= 1/3.1584)$ 와 같은 값을 얻고 고장률은 이 값보다 작다고 표기하였 다. 마지막 자료를 바탕으로 고장률을 계산할 때는 $17/28.8183 = 0.5988$ 과 같이 계산하였다. 다른 경우에도 고장률의 계산은 이와 동일한 방법으로 이루어졌다

3.3 품목 요약정보 산출

품목 상세정보 산출과정에서 동일한 품목과 유형 에 대하여 재질이 다른 경우 정보를 별도로 정리하도

록 되어 있으며 각각의 경우 품질수준과 운용환경에 따라 고장률 정보를 산출하기 때문에 이를 종합하여 정리할 필요가 있다. 이 과정을 품목 요약정보 산출이라 한다. 품목 요약정보 산출이란 품목의 상세정보를 사용자들이 이용하기 편리하게 요약 정리하는 단계로서 동일한 품목과 유형 및 규격(특히 재질)에 대하여 품질수준-운용환경-자료출처별로 계산된 고장률을 단계적으로 통합하고 최종적으로 동일한 품목과 유형별 고장률을 산출하는 과정을 거치게 된다. 이 과정을 고장률의 상향식 통합이라 한다.

고장률의 상향식 통합과정에서 동일한 조건을 가진 것들에 대하여 고장률을 통합하여야 하며 통합 고장률을 계산하는 방법은 식 (1)에 주어진 바와 같다. 통합고장률은 고장이 발생한 경우의 고장률 값들에 대한 기하평균을 구하고 여기에 고장을 포함한 운용 시간들의 합을 총 운용시간으로 나눈 비율을 곱한 것이다. 이 방법은 고장률의 상향식 통합과정에서 필요할 때마다 적용된다[4].

$$\lambda_{merged} = \left(\prod_{i=1}^{n'} \lambda_i \right)^{\frac{1}{n'}} \cdot \left(\frac{\sum_{i=1}^{n'} h_i'}{\sum_{i=1}^n h_i} \right) \quad (1)$$

여기서, n 는 자료의 총 개수, n' 는 고장을 가진 자료의 총 개수, h_i 는 i 번째 경우의 운용시간, h_i' 는 고장이 있는 i 번째 경우의 운용시간이며 λ_i 는 고장이 있는 i 번째 경우의 고장률을 나타낸다.

고장률의 상향식 통합 과정은 세부적으로 다음과 같은 다섯 단계를 거친다.

- Step 1: 동일한 품목, 유형, 규격, 품질수준 및 운용 환경에 대하여 통합 고장률을 계산
- Step 2: 동일한 품목, 유형, 규격 및 품질수준에 대하여 통합 고장률을 계산
- Step 3: 동일한 품목, 유형 및 규격에 대하여 통합 고장률을 계산
- Step 4: 동일한 품목과 유형에 대하여 통합 고장률을 계산

Step 1은 동일한 품목, 유형, 규격, 품질수준 및 운용 환경에 대하여 자료출처가 여러 군데인 경우 품목 상세정보에서는 자료출처별로 고장률이 계산되어 있기 때문에 이를 통합하는 작업이며 자료의 출처가 한 군

데인 경우 통합 계산을 할 필요가 없다 Step 2도 Step 1과 마찬가지로 동일한 품목, 유형, 규격 및 품질수준에 대하여 운용환경이 여러 종류인 경우 통합 고장률을 계산한다. 나머지 단계들도 앞의 두 단계와 유사하게 진행된다.

<Table 6>은 <Table 5>의 품목 상세정보를 바탕으로 품목 요약정보를 산출하는 과정을 보여주고 있다. 대상품목 및 유형은 고정식 전해 커패시터로 재질에 따라 아래의 표와 같이 네 종류로 나누어진다 이 중에서 ③을 살펴보면 재질이 AI(알루미늄)인 것으로 품질수준은 상용수준과 군용수준이 있으며 각각의 품질수준에 대하여 운용환경이GBC와 GF임을 알 수 있다. 특히 군용수준의 GF환경에서 자료의 출처가 LAMBDA와 DELLIS이므로 고장률의 상향식 통합 과정의 Step 1을 수행하여 통합 고장률을 구하였다. 통합 고장률을 계산하기 위한 계산식은 식 (1)을 이용하였으며 다음과 같다.

$$\lambda_{merged} = (0.2082 \times 0.0458)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{48.0305 + 21.8545}{48.0305 + 21.8545} \right) = 0.0977$$

②를 살펴보면 재질이 구체적으로 명시되지 않은 경우로서 품질수준은 군용수준이며 운용환경은 AIA, AIC, GF별로 고장률이 산출되었다. 특히 AIA와 AIC인 경우 고장이 발생하지 않은 경우로서 앞 절에서 설명한 바와 같이 고장이 한번 발생한 것으로 가정하여 고장률 값을 계산하고 기록된 고장률 값은 계산된 값 미만이라고 표기하였음을 알 수 있다. 고정식 전해 커패시터의 군용수준에 대한 통합 고장률은 식 (1)을 이용하였으며 다음과 같다. 아래의 계산식에서 고장을 포함한 운용시간 자료는 하나만 존재하고 나머지 두 개의 자료는 고장을 포함하고 있지 않으므로 하나의 고장률 값에 총 운용시간에 대한 고장을 포함하는 운용시간의 비율 곱했음을 알 수 있다.

$$\lambda_{merged} = (0.5988) \cdot \left(\frac{28.8183}{28.8183 + 3.1584 + 5.7865} \right) = 0.4570$$

⑤의 경우도 ②의 경우와 동일하며 ④의 경우는 재질이 Ta인 고정식 전해 커패시터에 대한 통합 고장률

을 계산하였음을 알 수 있다. ③의 경우도 이와 유사하게 통합 고장률이 계산되었다. 마지막으로 ①은 고정식 전해 커패시터에 대해 품질수준과 운용환경별

로 통합한 결과와 품질수준별로 통합한 결과 그리고 품목과 유형에 대해 통합한 결과를 보여주고 있다. 품목 요약정보 산출이 끝나면 품목 요약정보 데이터

Table 6 Example of part summary

A	Part name	Part type	Part spec	Qual Level	App Env	Data Source	No. of failures	Op. time (106hr)	Failure rate				
①	Capacitor	Fixed, Electrolytic		Comm Mil	GBC				0.0584				
									0.0070				
									0.1264				
									<0.1669				
									0.1847				
0.1582													
②	Capacitor	Fixed, Electrolytic		Mil					0.4570				
									0.4570				
									<0.1728				
									<0.3166				
					AIA	LAMBDA	0	5.7865					
					AIC	LAMBDA	0	3.1584					
					GF	DELLIS	17	28.8183	0.5988				
③	Capacitor	Fixed, Electrolytic	Al	Comm Mil	GBC				0.0455				
									0.0099				
									0.0977				
									0.2082				
									0.0458				
									LAMBDA	10	48.0305		
									DELLIS	1	21.8542		
④	Capacitor	Fixed, Electrolytic	Ta	Comm Mil	GBC				0.0096				
									0.0049				
									0.0189				
									0.0189				
									LAMBDA	3	166.5056		
									LAMBDA				
⑤	Capacitor	Fixed, Electrolytic	Ta Solid	Mil					0.0655				
									0.0655				
									<4.8388				
									0.4433				
									<0.0781				
									AIA	LAMBDA	0	0.2067	
									AIC	LAMBDA	1	2.256	
					GF	DELLIS	0	12.8081					

Table 7 Database field for part summary information

Field	Description
Part name	Name of part in Korean
Part type	Part type
Part specification	Part specification
Quality level	The Quality Level of the part as indicated by: • Commercial, Military, Unknown
Application environment	The Application Environment describes the conditions of field operation
Data source	Source of data comprising this failure rate data book
Number of failure	Number of failures
Operating time(106hr)	Operating time
Failure rate	Failure rate of a part based on updated data
Previous failure rate	Failure rate of a part in previous version of databook

Table 8 Proposed structure of failure rate databook

Contents	Description
Introduction	<ul style="list-style-type: none"> • Background, data collection, data interpretation • Guideline for users
Part summary	<ul style="list-style-type: none"> • Failure rate information for part, part type, quality level and data source • Merged failure rate information for part and part type and merged failure rate in previous version of databook • Stepwise merged failure rate
Part details	<ul style="list-style-type: none"> • Failure rate information for each combination of part, part type, quality level and data source • Stock number, Applied system, Picture
Stock number index	<ul style="list-style-type: none"> • Stock identification number
Applied system number index	<ul style="list-style-type: none"> • Code of system in which the part is included
Part index	<ul style="list-style-type: none"> • Page number of part summary and part details of a part

베이스가 구축되며 이 데이터베이스의 구조는<Table 7>과 같은 필드로 구성된다. <Table 7>의 필드는 품목 상세정보에 있는 필드에서 주요 필드만으로 구성하였으며 이전 고장률 정보를 제공함으로써 고장률이 변화되는 것을 알 수 있도록 하였다.

3.4 고장률 데이터 북의 문서 구조

고장률 데이터 북의 문서구조는 국·내외적으로 많이 사용되고 있는 EPRD/NPRD의 구조를 바탕으로 구성하였으며 품목 상세정보와 품목 요약정보를 활용하고 품목색인을 포함하여 <Table 8>과 같이 구성하였다.

4. 결론

고장률 데이터 북을 활용한 무기체계의 신뢰도 예측은 품목의 고장률 값을 산출하기 위한 적합한 예측 모형이 없거나 계산에 필요한 모형의 인자 값들을 확보할 수 없는 경우에 품목의 고장률을 얻기 위한 방법이다. 현재 국내에서는 미국의 RIAC에서 개발한 EPRD나 NPRD를 가장 많이 활용하고 있으나 무기체계의 운용환경의 차이, 품목 식별의 제한, 고장 품목의 한글 검색의 문제점 등을 고려할 때 유용성에 대하여 많은 문제가 제기되고 있다.

본 논문에서는 앞에서 언급한 문제점들을 해소할 수 있을 한국형 고장률 데이터 북의 개발 방안에 대하여 자료의 수집방법, 품목 상세정보 산출 방법 및 품

목 요약정보 산출방법 및 과정과 고장률 데이터 북의 문서 구조를 중심으로 제안하였다.

고장률 데이터 북을 구축할 때 가장 중요한 사항은 질 좋은 자료를 수집하는 것과 품목 분류체계를 표준화하는 것이다. 현재 국내에서 활용 가능한 자료는 군에서 구축하여 활용하고 있는 LAMBDA와 DELLIS에 있는 자료이며 이 자료를 고장률 데이터 북에 활용하기 위해서는 필터링을 통해 정제작업이 선행되어야 할 것이다. 그렇지 않은 경우 고장률 데이터 북에서 제공하는 정보의 품질이 저하될 수 있다 또한 품목의 분류체계의 표준화는 고장률 데이터 북 구축의 초기단계에 반드시 이루어져야 한다. 만일 분류체계의 표준화가 이루어지지 않으면 초기에 구축한 데이터 북과 향후 구축한 데이터 북이 서로 일관성이 없어 활용도 측면에서 매우 심각한 문제를 일으킬 수 있다.

본 논문에서 제시한 연구결과는 향후 한국형 고장률 데이터 북을 만드는데 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대하며 질 좋은 자료의 수집에 대한 꾸준한 노력과 주기적인 개정 작업을 통하여 국내 실정에 적합한 유용한 고장률 데이터 북이 만들어지기를 기대한다.

References

- [1] Barlow, R. E. and Proschan, F. (1981). "Statistical Theory of Reliability and Life Testing: Probability Models". To Begin With.
- [2] Bloch, H. P. and Geitner, F. K. (1994). "Practical

- Machinery Management for Process Plants, Volume 2: Machinery Failure Analysis and Troubleshooting”. Gulf Publishing Company.
- [3] Brissaud, F. (2017). “Using Field Feedback to Estimate Failure Rates of Safety-Related Systems”. Reliability Engineering & System Safety, Vol. 159, No. 3, pp. 206-213.
- [4] EPRD-2014 (2014). “Electronic Parts Reliability Data”. RIAC.
- [5] Guérineau, L. and Gouno, E. (2014). “Failure Rate Estimation from Field Data under Time-Varying Stress”. Quality and Reliability Engineering International, Vol. 30, No. 1, pp. 111 - 119.
- [6] NPRD-2016 (2016). “Nonelectronic Parts Reliability Data”. RIAC.
- [7] OREDA participants (2015). “Offshore and Onshore Reliability Data”. SINTEF.
- [8] Pecht, M. (1996). “Why the Traditional Reliability Prediction Models Do Not Work - Is There an Alternative?”. Electronics Cooling, Vol. 2, pp. 10-12.
- [9] Pecht, M., Das, D., and Ramakrishnan, A. (2002). “The IEEE Standards on Reliability Program and Reliability Prediction Methods for Electronic Equipment”. Microelectronics Reliability, Vol. 42, No. 9, pp. 1259-1266.
- [10] Lim, J. H. (2015). “Report : A Study on Database for Standard Data Book and Its Demonstration”. Hanbat National University.
- [11] Defense Procurement Agency (1997). “Collection of Names of Specified Items and Descriptions(KH6)”. Ministry of National Defense.