신뢰도 예측 규격의 민감도 분석: MIL-HDBK-217F, RiAC-HDBK-217Plus, FIDES를 중심으로*

오재유・박상철・장중순

아주대학교 산업공학과

Sensitivity Analysis for Reliability Prediction Standard: Focusing on MIL-HDBK-217F, RiAC-HDBK-217Plus, FIDES*

JaeYun Oh · SangChul Park · JoongSoon Jang

Department of Industrial Engineering, Ajou University

Purpose: Reliability prediction standards consider environmental conditions, such as temperature, humidity and vibration in order to predict the reliability of the electronics components. There are many types of standards, and each standard has a different failure rate prediction model, and requires different environmental conditions. The purpose of this study is to make a sensitivity analysis by changing the temperature which is one of the environmental conditions. By observing the relation between the temperature and the failure rate, we perform the sensitivity analysis for standards including MIL-HDBK-217F, RiAC-HDBK-217Plus and FIDES.

Methods: we establish environmental conditions in accordance with maneuver weapon systems's OMS/MP and mission scenarios then predict the reliability using MIL-HDBK-217F, RiAC-HDBK-217Plus and FIDES through the case of DC-DC Converter.

Conclusion: Reliability prediction standards show different sensitivities of their failure rates with respect to the changing temperatures.

Keywords: Sensitive Analysis, Reliability Prediction, Failure Rate, MIL-HDBK-217F, RiAC-HDBK-217Plus, FIDES

^{*} 본 연구는 국방과학연구소(UD150042AD)의 지원으로 수행되었습니다.

[†] 교신저자 jsjang@ajou.ac.kr

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

신뢰성이란 부품이나 제품이 규정된 조건에서 의도하는 기간 동안 요구기능을 고장 없이 만족스럽게 수행할 수 있는 가능성이다. 군용 전자부품의 경우 수리 및 교체가 불가능하므로 신뢰성의 확보가 절대적이다. 따라서 개발 및 설계 단계에서부터 실제 환경에서의 운영 시 발생할 수 있는 제반 신뢰성 문제를 사전에 철저히 검증하고 예방하여야 한다. 이를 위해신 뢰도 예측 방법을 바탕으로 무기체계가 목표한 신뢰성을 만족하고 있는가를 확인하여야 한다.

기존의 신뢰성 예측 및 평가 기술로는 정량적인 방법론과 정성적인 방법론이 있으며, 정량적인 방법론은 제품의 신뢰성 구조 분석에 의한 방법과 신뢰도 예측 규격을 이용한 방법이 있고, 정성적인 방법에는 FMECA와 FTA 기법이 있다[1]. 현재 군은 무기체계 예측시 FMECA를 통하여 고장모드 및 메커니즘을 도출하고 신뢰도 예측 규격인 MIL-HDBK-217F, EPRD/NPRD(Electronic Parts Reliability Data/Nonelectronic Parts Reliability Data)를 통하여 신뢰도를 예측하고 있다. 신뢰도 예측 규격은 이 외에도 RiAC-HDBK-217Plus, FIDES, Telcordia SR-332, RDF 2000/China 299B, HRD5, CNET 등이 있으며 규격에 의한 신뢰도 예측

절차는 <Fig. 1>과 같다.

규격을 이용한 신뢰도 예측 기존 연구로 김기태 외[2]는 우주용 하이브리드 DC-DC 컨버터를 MIL-HDBK-217F로 예측을 하였고, 고장점유율이 높은 부품에 대한 원인 분석을 하였다. 이 경우 MIL-HDBK-217F의특징과 예측 결과는 알수 있었지만 다른 규격간의 비교를 수행하지 못했다.

또한 신뢰도 예측 규격 비교를 위해 Marcel Held *et al.*[3]은 항공제어장비를 RiAC-HDBK-217Plus, FIDES 를 이용해 예측을 하였고, 결과를 비교하였지만 결과 가 다른 이유에 대한 원인분석은 미흡하다.

즉, 각 규격은 다루는 부품의 수, 종류가 다르고, 부 품에 대한 고장률 예측 모델, 요구하는 환경조건 또한 다르기 때문에 산출되는 고장률의 비교와 원인분석 이 요구된다.

본 연구에서는 DC-DC 컨버터를 사례로 기동무기체계의 평시 OMS/MP와 환경조건을 수립하여 MIL-HDBK-217F, RiAC-HDBK-217Plus, FIDES를 이용하여 신뢰도를 예측한다. 이 때 환경조건 중 하나인 온도를 변화시키며 민감도 분석을 하여 각 규격의 고장률 변화를 확인한다. 따라서 각 규격이 온도에 얼마나민감하게 반응하여 고장률을 산출하는지 확인하며민감도가 다른 원인을 분석한다. 그 결과, 규격의 비교와 동시에 신뢰도 예측 시 주어진 환경에서 어떠한규격을 사용할 것인지에 대한 판단을 도울 수 있다.

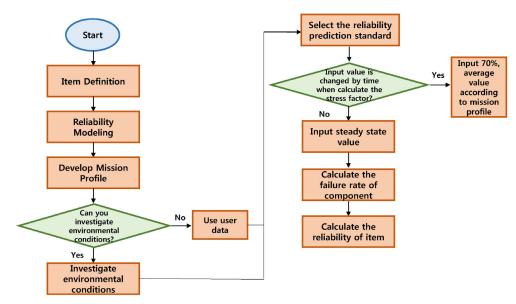


Fig. 1 Procedure of reliability prediction

1.2 연구의 내용 및 방법

현재 군은 OMS/MP를 바탕으로 RAM 목표 값인 MTBF를 산출한다. OMS/MP의 정확한 형식은 존재 하지 않지만 대부분 가동시간, 비 가동시간과 같은 시간을 이용하여 운용 가용도를 산출하고 이를 이용해 임무신뢰도를 산출한다. 하지만 기본 신뢰도를 산출하기 위해서는 온도, 습도, 진동과 같은 환경조건이요구되므로 OMS/MP의 임무 시나리오에 부합하는 환경조건 또한 조사 분석되어야 한다.

본 연구에서는 8대 무기체계 중 기동무기체계의 평시 임무 시나리오를 '합동훈련, 사단급 부대훈련, 여단급 훈련(BCT), 대대종합훈련 · 전투사격, 중대급전술훈련, 소대급 전술훈련, 단차 · 조종훈련, 동계훈련, 병 공통과제 · 진지공사등비전술훈련'과 같이 9개로 가정하여 OMS/MP를 수립하였다. 또한 각 임무의 운용지역을 '서울, 동두천, 철원, 인제, 인천, 서산, 목포, 남해, 완도'로 가정하여 지역에 맞는 환경조건 미션프로파일을 기상청을 통해 조사 분석하여 작성하였다. 그 후 환경조건 중 온도의 미션프로파일을 '최대, 70%, 50%, 30%, 최소'값으로 변화시키며 민감도 분석을 하여 각 규격의 고장률 변화를 확인하였다. 그 결과 동일한 임무 시나리오에서 온도의 변화에 따라 각 규격이 얼마나 민감하게 반응하는지 알 수 있고, 그원인 또한 분석할 수 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 제2장에서는 8대 무기체계 중 지상무기체계인 OMS/MP와 이에 맞는 환경

조건을 조사하고 제시하고 있으며, 제3장에서는 OMS/MP를 바탕으로MIL-HDBK-217F, RiAC-HDBK-217Plus, FIDES의 절차에 따라 신뢰도 예측을 진행하며 결과를 제시하였다. 제4장에서는 환경조건 값을 변화시키며 민감도 분석을 하여 결과와 원인 분석을 제시하였다. 제5장에서는 결론 및 향후 연구방향을 제시하였다.

2. 기동무기체계의 OMS/MP 및 환경조건 수립

2.1 기동무기체계의 OMS/MP 수립

현재 군은 무기체계를 '지휘통제·통신무기체계, 감시·정찰무기체계, 기동무기체계, 함정무기체계, 항공무기체계, 화력무기체계, 방호무기체계, 그 밖의 무기체계'와 같이 8대 무기체계로 분류하고 있다. 본 연구에서는 이 중 기동무기체계인 전차를 대상으로 OMS/MP 및 환경조건을 수립하며 DC-DC 컨버터가 전차를 구성하는 부품이라고 가정한다.

OMS/MP란 장비가 배치되었을 때 전시나 평시에 어떻게 사용할 것인가를 설명하는 것으로서 각 단위 임무별 운용시간 OT(Operating Time), 경계시간 AT(Alert Time), 대기시간 ST(Standby Time), 총 비가 동시간 TDT(Total Down Time), 총 정비시간 TMT (Total Maintenance Time), 총 행정 및 군수지연시간 TALDT(Total Administrative and Logistics Down Time), 총 시간 TT(Total Time) 등으로 구성된다[4].

		Tot	al Up Ti	me(TUT)		Total Down Time(TDT)			
Mission	Total OT	ОТ	AT	ST	Mission Frequency	Total	TMT	TALDT	CT
Joint Training	000	00	00	00	1(every other year)	0	0	0	000
Division Training	000	00	00	00	1(a year)	0	0	0	000
Brigade Training	00	00	00	00	1(every other year)	0	0	0	00
Battalion Training · Combat Firing	000	00	00	00	2(a year)	0	0	0	000
Company Training	000	00	00	00	2(a year)	0	0	0	000
Platoon Training	000	00	00	00	2(a year)	0	0	0	000
Military Vehicles Training	000	000	00	00		00	00	0	000
Winter Training	00	0	0	00	1(a year)	0	0	0	00
Non Tactical Training	0,000			0,000		000	000	000	0,000
Total	0,000	000	000	0,000		000	000	000	0,000

Mission	Average Moving Distance(km)	Maximum Moving Distance(km)	Shooting Frequency (a year)	Communication Operation(hour)	Survive (hour)
Joint Training	00	00		00	00
Division Training	00	00		00	00
Brigade Training	00	00		00	00
Battalion Training · Combat Firing	00	00	00	00	00
Company Training	00	00		00	00
Platoon Training	00	00		00	00
Military Vehicles Training	000	000		000	00
Winter Training	0	0		00	0
Non Tactical Training					
Total	000	000		000	000

Table 2 MP for maneuver weapon system

전차의 평시 임무 시나리오는 '합동훈련, 사단급 부대훈련, 여단급 훈련(BCT), 대대종합훈련 · 전투사격, 중대급 전술훈련, 소대급 전술훈련, 단차 · 조종훈련, 동계훈련, 병 공통과제 · 진지공사등비전술훈련'과 같이 9개로 가정하여 OMS/MP를 수립하였으며 <Table 1>, <Table 2>와 같다.

2.2 기동무기체계의 환경조건 수립

현재 군은 OMS/MP를 이용하여 RAM 목표 값인 MTBF를 산출하며 이때의 MTBF는 가동시간, 비 가동시간 즉 시간만을 이용한 임무신뢰도이다. 하지만 규격을 이용한 신뢰도 예측은 이 외에도 온도, 습도, 진동과 같은 환경조건이 필요하므로 임무의 운용지역을 가정하였다. 임무지역은 <Table 3>과 같다.

규격을 이용한 신뢰도 예측을 위해 가정한 임무지역의 환경조건을 기상청을 통해 조사 분석하였다. 강수량, 강설량, 강풍량 등 많은 환경조건을 조사 분석할수 있었지만 신뢰도 예측을 위해 MIL-HDBK-217F, RiAC-HDBK-217Plus, FIDES에서 요구하는 온도, 습도, 진동만을 조사하였다.

하지만 MIL-HDBK-217F, RiAC-HDBK-217Plus, FIDES가 공통적으로 고려하는 환경조건은 온도뿐이므로 각 규격의 고장률 변화 비교를 위해 민감도 분석시 변화를 줘야하는 환경조건은 온도뿐이어야 한다.이때, 수립한 OMS/MP는 8,760시간, 즉 1년을 기준으로 구립하였으므로 환경조건 또한 1년을 기준으로 조사 분석하다. 따라서 온도의 미션프로파일을 1년 단

위로 작성하였으며 제4장에서 온도 미션프로파일의 '최대, 70%, 50%, 30%, 최소'값으로 민감도 분석을 실 시한다. 온도의 미션프로파일은 <Fig. 2>와 같다.

 Table 3 Operation region of maneuver weapon

 system

Mission	Mission Area		
Joint Training	Seoul		
Division Training	Dong ducheon		
Brigade Training	Cheor won		
Battalion Training · Combat Firing	Inje		
Company Training	Incheon		
Platoon Training	Seosan		
Military Vehicles Training	Mokpo		
Winter Training	Namhae		
Non Tactical Training	Wando		

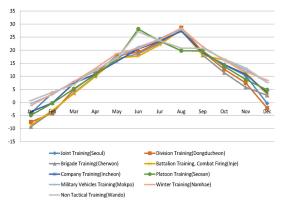


Fig. 2 Mission profile of temperature

3. 규격을 이용한 신뢰도 예측

3.1 MIL-HDBK-217F를 이용한 신뢰도 예측

MIL-HDBK-217F는 최근에 개발된 전자부품을 포함하고 있지는 않지만 대부분 전기, 전자부품의 고장률 예측 모델과 데이터를 포함하고 있으며 신뢰도 예측 방법으로 부품수량분석(Part Count Analysis), 부품부하분석(Part Stress Analysis)을 제시하고 있다.

부품수량분석(Part Count Analysis)은 부품의 종류 및 타입 그리고 품질요소 등과 같은 입력정보가 주어 지면 쉽고 빠르게 예측할 수 있는 장점이 있고 주로 초 기 설계 단계에서 전자 회로의 신뢰도를 예측하기 위 해 사용되거나 상세 설계를 진행하면서 전반적인 설계 복잡도가 변할 가능성이 높은 경우에 주로 활용된다.

부품부하분석(Part Stress Analysis)은 시스템 설계가 거의 완성되어 BOM(Bill of Materials)이 확정된 상세설계 단계에서 적용하며, 부품(또는 시스템)이 사용되는 환경과 부품 고유의 품질이 고장률에 크게 영향을 준다고 가정한다. 따라서 고장률에 영향을 미치는 환경, 품질요소, 그밖에 온도, 학습요소, 구성 소자의 수, 핀 수 등 상세설계에 따른 부품 특성들을 고려하여 신뢰도를 예측하였다.

MIL-HDBK-217F의 일반화된 고장률 예측 모델은

식(1)과 같으며

$$\lambda_p = \lambda_b \bullet \pi_S \bullet \pi_T \bullet \pi_A \bullet \pi_E \bullet \pi_Q \tag{1}$$

 λ_P 는 부품의 예측 고장률, λ_b 는 부품의 기본고장률, π_S 는 전압스트레스, π_T 는 온도, π_A 는 조정요인, π_E 는 환경요인, π_Q 는 품질요인을 나타낸다[5]. 이 때환경조건을 나타내는 인자는 π_T (온도)뿐이므로 환경이 변할 때 유일하게 변하는 값이며 제4장에서 민감도 분석 시 독립변수로 설정된다. 나머지 인자는 부품의 타입에 따라 결정된다.

<Fig. 3>은 '단차·조종훈련' 임무에서의 DC-DC 컨버터 구성부품 중 하나인 인덕터 고장률 산출시트이다. 이 때 환경조건인 온도 값은 MIL-HDBK-217F 특성상 미션프로 파일의 최대값을 입력한다. <Fig. 3>과 같이 모든 부품, 모든 임무에 따른 데이터를 입력하여 DC-DC 컨버터의 고장률을 산출한다. 그리고 각 임무별 요구수명 10년의 신뢰도 산출결과는 <Table 4>와 같다.

이준우 외[6]는 전체 신뢰도를 산출하기 위해 운용 비율을 각 임무의 신뢰도에 곱하여 모델을 표현하였 다. 따라서 본 연구에서도 각 (각 임무의 총 OT/ 전체 임무 총 OT)를 통하여 각 임무의 운용비율을 산출하 였다. 그리고 식 (2)를 통해 DC-DC 컨버터의 전체 신 뢰도를 산출하였다.

							Base Failure Rate	Temperature Factor	Quality Factor	Environment Factor							
Subsystem	Quantity	Design Number	Part Number	Manufacturer	Category	Subcategory	Туре	ΔT=Averge Temp. Rise Above Ambient	Quality	Environment	Value of πE	Value of π Q	Value of πT	Value of λ b	THS=Hot Spot Temp.(°C)	TA=Inductive Device Ambient Operating Temp.(°C)	Failure rate
Input Filter	1	L1	DR74-2R2-R	Coiltronics	Inductive Device	Coil	Fixed Inductor or Choke		MIL-SPEC	GM	12	1	3.9323	0.00003	165	9.9	0.001415626
Output Rectifier & Filter	1	L2	ETQP6F2R0LFA	Panasonic	Inductive Device	Coil	Fixed Inductor or Choke		MIL-SPEC	GM	12	1	3.9323	0.00003	165	9.9	0.001415626

Fig. 3 Failure rate calculation sheet (MIL-HDBK-217F) - Inductor

Table 4 Lifetime 10 years's reliability of DC-DC Converter - MIL-HDBK-217F

Mission	Duty cycle	Lifetime 10 years's reliability(%)
Joint Training	0.014912	13.06%
Division Training	0.014912	13.01%
Brigade Training	0.007203	13.44%
Battalion Training · Combat Firing	0.024643	13.44%
Company Training	0.018703	13.31%
Platoon Training	0.012764	13.06%
Military Vehicles Training	0.032984	12.85%
Winter Training	0.006192	25.21%
Non Tactical Training	0.867686	13.23%

$$\begin{split} R_{Converter} &= 0.014912 \times R_{\dot{\text{합통훈련}}} + 0.014912 \\ \times R_{\dot{\text{사단급부대훈련}}} + 0.007203 \times R_{BCT} + \\ 0.024643 \times R_{\dot{\text{GHH}}} + 0.018703 \\ \times R_{\dot{\text{SHH}}} + 0.012764 \times R_{\dot{\text{CHL}}} + 0.018703 \\ \times R_{\dot{\text{SHH}}} + 0.012764 \times R_{\dot{\text{CHL}}} + 0.032984 \times R_{\dot{\text{CHL}}} + 0.006192 \\ \times R_{\dot{\text{SHR}}} + 0.867686 \times R_{\dot{\text{BH}}} \times \mathcal{\text{SFHM}} - 0.7845 + 0.028284 \end{split}$$

계산결과 DC-DC 컨버터의 요구수명 10년의 신뢰 도는 13.29%이다.

3.2 RiAC-HDBK-217Plus를 이용한 신뢰도 예측

RiAC-HDBK-217Plus는 MIL-HDBK-217F의 문제점을 보완하고자 새로운 신뢰성 평가 기법에 대한 필요성을 지적하여 개발되었다. 부품 및 시스템의 고장은 고장물리에 의해 결정되며, 또한 비 부품 요인에의해 야기된다고 제시하며 비 부품요인은 부품을 포함하여 유도, 마모, 시스템 관리, 설계, 제조 등과 같은

요인을 의미한다.

RiAC-HDBK-217Plus가 다루는 12개 부품 중 커페 시터의 고장률 예측 모델을 예로 들면 식 (3)과 같으며

$$\lambda_{p} = \pi_{G} \pi_{C} \left(\lambda_{OB} \pi_{DCO} \pi_{TO} \pi_{S} + \lambda_{EB} \pi_{DCN} \pi_{TE} \right) + \lambda_{TCB} \pi_{CR} \pi_{DT}$$

$$+ \lambda_{SIB} \pi_{SIDT} + \lambda_{IND}$$
(3)

 π_C 는 신뢰도 성장, π_C 는 용량, λ_{OB} 는 동작 기본 고 장률, π_{DCO} 는 동작 중 Duty Cycle, π_{TO} 는 동작 온도, π_S 는 전압스트레스, λ_{EB} 는 비 동작 기본 고장률, π_{DCN} 는 비동작 중 Duty Cycle, π_{TE} 는 비 동작 온도, λ_{TCB} 는 온도 사이클 기본 고장률, π_{CR} 는 사이클 률, π_{DT} 는 온도 변화, λ_{SB} 는 납땜과 관련된 기본 고장률, π_{SDT} 는 납땜 접촉부 온도 변화, λ_{IND} 는 유도 스트레스를 나타낸다[7].

		SUBSYSTEM		Input Filter	Output Rectifier & Filter
		Quantity		1	1
		L1	L2		
		DR74-2R2-R	ETQP6F2R0LFA		
		Coiltronics	Panasonic		
		Inductive Device	Inductive Device		
		Sub-Category		Coil	Coil
		Inductor Type		Choke	Choke
		8.85042E-05	8.85042E-05		
	Duty Cycle(π_{DCO})	$\frac{DC}{DC_{1op}}$	DC	0.9	0.9
		AVP	DC _{1op} (Constant)	0.4	0.4
			Ea _{OP} (Active Energy)	0.47	0.47
Operating			T _{AO} (Ambient Temperature)	9.9	9.9
	Temperature(π_{TO})	$\exp\left(\frac{-Ea_{OP}}{8.617 \times 10^{-5}} \left(\frac{1}{T_{AO} + T_R + 273} - \frac{1}{298}\right)\right)$	T _R		
			1. Temperature rise default value	0	0
			2. Actual Temperature rise(Known)	122.727	122.727
		0.00012517	0.00012517		
	Duty Cycle(π _{DCN})	$\frac{1-DC}{DC_{1nonop}}$	DC	0.9	0.9
Non Operating		Inonop	DC _{1nonop} (Constant)	0.6	0.6
	Temperature(π_{TF})	$\exp\left(\frac{-Ea_{nonop}}{8.617 \times 10^{-5}} \left(\frac{1}{T_{AE} + 273} - \frac{1}{298}\right)\right)$	Ea _{nonop} (Active Energy)	0.08	0.08
	remperature(It _{TE})	(8.61/×10 ⁻³ (I _{AE} + 2/3 298))	T _{AE} (Ambient Temperature)	9	9
		2.89963E-05	2.89963E-05		
	Cycling rate(π_{CR})	CR	CR (Percentage of Cycle)	365	365
	Cycling rate(itcg)	$\overline{\mathit{CR}}_1$	CR ₁ (Constant)	413	413
Temperature Cycle			T _{AO} (Ambient Temperature)	9.9	9.9
Сусіе	Delta temperature(π _{DT})	$\left(\frac{T_{AO} + T_R - T_{AE}}{DT_1}\right)^2$	T _R	122.727	122.727
	Delta temperature(R _{DT})	DT_1	T _{AE} (Ambient Temperature)	9	9
			DT ₁ (Constant)	13.23	13.23
Induced		base failure rate(λ _{IND})		2.21762E-05	2.21762E-05
Poli	ability Growth(π_G)	$\exp(-\beta(Y-1993))$	β (Growth Constant)	0	0
Kella	ability Growth(R _G)	exp(-p(t - 1993))	Y (Manufactured Year)	2005	2005
		Failure rate		0.027879698	0.027879698

Fig. 4 Failure rate calculation sheet(RiAC-HDBK-217Plus)-Inductor

Mission	Duty cycle	Lifetime 10 years's reliability(%)
Joint Training	0.014912	93.29%
Division Training	0.014912	93.27%
Brigade Training	0.007203	93.62%
Battalion Training · Combat Firing	0.024643	93.3%
Company Training	0.018703	93.29%
Platoon Training	0.012764	93.18%
Military Vehicles Training	0.032984	93.32%
Winter Training	0.006192	96.95%
Non Tactical Training	0.867686	93.48%

Table 5 Lifetime 10 years's reliability of DC-DC Converter-RiAC-HDBK-217Plus

이 때 환경조건을 나타내는 인자는 π_{TO} (작동온도), π_{TE} (비 작동온도)뿐이므로 환경이 변할 때 유일하게 변하는 값이며 제4장에서 민감도 분석 시 독립변수로 설정된다. 나머지 인자는 부품의 타입이나 운용시간에 따라 결정된다.

<Fig. 4>는 '단차・조종훈련'임무에서의 DC-DC 컨버터 구성부품 중 하나인 인덕터 고장률 산출시트 이다. 이 때 환경조건인 온도 값은 RiAC-HDBK-217Plus 특성상 작동 온도, 비 작동 온도 미션프로파일의 최대 값을 입력한다. 또한 OMS를 바탕으로 Duty Cycle은 각 임무의 (총 OT/CT)로 계산되며 CR은 임무수를 입 력한다.

<Fig. 4>과 같은 형식으로 모든 부품, 모든 임무에 따른 데이터를 입력하여 DC-DC 컨버터의 고장률을 산출한다. 각 임무 별 요구수명 10년의 신뢰도 산출결 과는 <Table 5>과 같다.

DC-DC 컨버터의 요구수명 10년의 신뢰도는 MIL-HDBK-217F에서처럼 운용비율과의 곱으로 계산되어 93.47%가 산출된다.

3.3 FIDES를 이용한 신뢰도 예측

FIDES는 전기/전자 부품 및 서브어셈블리 단위에서의 고장률 예측 모델을 제공하며, 특히 신뢰도에 영향을 미치는 모든 물리적 기술적 요인들을 고려한다. RiAC-HDBK-217Plus와 마찬가지로 고장물리에 기반하여 고장률 예측 모델을 개발하였으며 기후적, 전기적, 기계적, 화학적, 유도적 영향에 대한 스트레스를 평가할 수 있다. 또한 개발, 생산, 운영 및 유지보수와

같은 개발 전체에 대한 라이프 사이클의 영향도도 평가할 수 있다.

그리고 FIDES는 부품 수량분석(Part Count Analysis), 부품부하분석(Part Stress Analysis) 이외에도 제품군수 량분석, 완전상세분석 기법을 제공하고 있다. 제품군 수량분석은 가장 단순한 예측방법으로 부품수량분석(Part Count Analysis)보다 최소한의 정보만을 가지고 수행하여 최초설계 초기 단계에서 사용되며 제품군수 량분석을 위한 부품유형 또는 스펙에 관한 기술적인 분류가 자세히 제시되어 있다. 또한 열, 습도, 온도 사이 클, 진동, 충격과 같은 환경정보에 관한 초기 값이 제공되어 있어 쉽게 예측 할 수 있다. 즉 아이템에 관한 최소 한의 부품 정보와 초기 값으로 제공된 환경 정보 값을 적용하여 빠르게 고장률을 예측 할 수 있다.

완전상세방법은 설계 진행 정도에 따라 수집 가능한 입력정보를 상세한 수준으로 조사하여 고장률을 예측하는 방법이다. 즉 부품부하분석(Part Stress Analysis)이라고 생각할 수 있으며 수명 프로파일을 바탕으로 환경적인 영향과 유도 환경을 더 세분화하여 분석하는 방법론이다. 해당방법을 적용하기 위해서는 입력요소로 사용되는 수명 프로파일이 필수적으로 요구된다. 예를 들어, 1년 동안 발생되는 운영사건과 시간의 합이 필요하며 그 운영 사건마다 노출되는 환경과 사용조건의 정보(작동 온도, 진동 및 온도사이클 주파수, 진동의 진폭, 상대 습도, 주변 오염 수준, 우발적인 과부하 등)을 정량적으로 측정하여 입력요소로 사용하다.

FIDES가 다루는 10여 종의 부품 중 커페시터의 고 장률 예측 모델을 예로 들면 식 (4)와 같으며

$$\lambda = \lambda_{0capacitor} \times \sum_{i}^{Phases} (\frac{t_{annual}}{8760})$$

$$(\Pi_{Thermo-electrical} + \Pi_{TCy} + \Pi_{Mechanical})$$

$$\times (\Pi_{Induced}) \times \Pi_{PM} \times \Pi_{Process}$$
(4)

 λ 는 예측 고장률, $\lambda_{0 capacitor}$ 는 기본 고장률, $\pi_{Thermo-electrical}$ 는 전기적 온도, π_{TCy} 는 온도 사이클, $\pi_{Mechanical}$ 는 진동, $\pi_{Induced}$ 는 유도환경, π_{PM} 는 품질, $\pi_{Process}$ 는 공정 패터를 나타낸다[8]. 이 때 환경조건을 나타내는 인자는 $\pi_{Thermo-electrical}$ (전기적, 온도), π_{TCy} (온도 사이클), $\pi_{Mechanical}$ (진동)로 환경이 변할 때 값이 변하지만 MIL-HDBK-217F, RiAC-HDBK-217Plus 와 공통적인 환경조건은 온도뿐이므로 온도만이 제4 장에서 민감도 분석 시 파라미터로 설정된다. 나머지

인자나 파라미터는 부품의 타입이나 운용시간에 따라 결정된다.

FIDES는 수명 프로파일을 바탕으로 신뢰도를 예측하기 때문에 각 임무에 따른 운용비율과 신뢰도를 구하여 전체 신뢰도를 산출할 필요가 없다. 따라서 <Fig. 5>와 같이 DC-DC 컨버터의 구성부품 중 하나인 인덕터 고장률 산출시트를 작성할 수 있다. 이 때환경조건인 온도 값은 FIDES 특성상 온도 미션프로파일의 최대값의 70%를 입력한다. 그리고 OMS를 바탕으로 t_{annual} 은 각 미션의 총 OT, $N_{annual-cg}$ 는 임무수, θ_{cg} 는 (총 OT/연간사이클 수)를 입력한다.

<Fig. 5>과 같은 형식으로 모든 부품, 모든 임무에 따른 데이터를 입력하여 DC-DC 컨버터의 고장률을 산출한다. 각 임무 별 요구수명 10년의 신뢰도 산출결 과는 <Table 6>과 같다.

Subsystem						Itolation '	fransformer			
Phase		Non Operating	Joint Training	Division Training	Brigade Training	Battalion Training, Combat Firing	Company Training	Platoon Training	Military Vehicles Training	
Function							ľ			
Quantity							1			
Design Number							T1			
Part Name Manufacturer							1033 rotech			
Category							rotecn ve Device			
Sub-Category							former			
Category Style							r, High Power			
basic failure rate(A0 Magnetic)			0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
		Yrm-ru	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
(1)		E _a	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
$\gamma_{TH-EL} \times e^{11604 \times Eax \left[\frac{1}{293} \frac{1}{(T_{board-ambient} + \Delta \Gamma + 273}\right]}$	T ₂	oard-ambiest	4	9.8	9.8	9.5	9.5	9.6	9.8	9.9
TTH-EL ^ 0		ΔΤ	10	23	21.2	21.7	22.8	21.3	22.4	23.1
	n _{ri}	termo-electrical	0.132481269	0.192345667	0.185971183	0.186672573	0.19056097	0.185621132	0.190205326	0.19306257
1		Y _{TCy}	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69
$(12 \times N_{annual-cv}) / \min(\theta_{cv}, 2) \sqrt{3}$		Nentual-ev	365 847	0.5 118	1 118	0.5 57	2 195	2 148	2 101	365 261
γ _{TCy} × (Trace		118	118	57	97.5	74	148 50.5	0.71	49
(AT 19 1414) 1 1			10	23	21.2	21.7	22.8	21.3	22.4	23.1
$\begin{split} & \gamma_{\text{TCy}} \times \left(\frac{12 \times N_{\text{annual}-\text{Cy}}}{t_{\text{annual}}}\right) \times \left(\frac{\min\left(\theta_{\text{cy}}, 2\right)}{2}\right)^{\frac{1}{3}} \\ & \times \left(\frac{\Delta T_{\text{Cycling}}}{20}\right)^{1.9} \times e^{\frac{1414 \times \left \frac{1}{213} - \frac{1}{(T_{\text{max}-\text{cycling}} + 2^{123})}\right } \end{split}$			14.1	33.5	32.2	31.2	31.1	33.1	32.9	34,9
(20)			0.212015982	0.013858474	0.023279115	0.024806449	0.031812933	0.037967838	0.021668203	4.709444849
/c \15		YMech	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
$\gamma_{Mech} \times \left(\frac{G_{RMS}}{0.5}\right)^{1.5}$		G _{RMS}	0	10	12	11	13	14	10	11
(0.5)		II _{Mechanical}	0	14.31083506	18.81208122	16.51026347	21.21192118	23.70593175	14.31083506	16.51026347
	П _{placement}	function	Digital interface function	Digital interface function	Digital interface function	Digital interface function	Digital interface function	Digital interface function	Digital interface function	Digital interface function
		П _{placement}	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
		user type	Unfavourable	Unfavourable	Unfavourable	Unfavourable	Unfavourable	Unfavourable	Unfavourable	Unfavourable
		pmarks*pos	200	200	200	200	200	200	200	200
		user qualification pmarks*pos	Favourable 10	Favourable 10	Favourable 10	Favourable 10	Favourable 10	Favourable 10	Favourable 10	Favourable 10
		pmarks*pos mobility	Non-aggressive	Non-aggressive	Non-aggressive	Non-aggressive	Non-aggressive	Non-aggressive	Non-aggressive	Non-aggressive
		pmarks*pos	4	4	4	4	4	4	4	4
		manipulation	Non-aggressive	Non-aggressive	Non-aggressive	Non-aggressive	Non-aggressive	Non-aggressive	Non-aggressive	Non-aggressive
		pmarks*pos	15	15	15	15	15	15	15	15
	Π _{application}	electrical network	Non-aggressive	Non-aggressive	Non-aggressive	Non-aggressive	Non-aggressive	Non-aggressive	Non-aggressive	Non-aggressive
		pmarks*pos	4	4	4	4	4	4	4	4
		human activity	Non-aggressive	Non-aggressive	Non-aggressive	Non-aggressive	Non-aggressive	Non-aggressive	Non-aggressive	Non-aggressive
		pmarks*pos	8	8	8	8	8	8	8	8
		machine disturbances	Non-aggressive	Non-aggressive	Non-aggressive	Non-aggressive	Non-aggressive	Non-aggressive	Non-aggressive	Non-aggressive
		pmarks*pos	3	3	3	3	3	3	3	3
		weather	Non-aggressive 2	Non-aggressive 2	Non-aggressive 2	Non-aggressive 2	Non-aggressive 2	Non-aggressive 2	Non-aggressive 2	Non-aggressive 2
		pmarks*pos Il crelication	3,727272727	3,727272727	3.727272727	3.727272727	3,727272727	3,727272727	3,727272727	3,727272727
		copiesane	3.727272727	3.121212121	3.12.12.12.12.1	3.121212121	3.727272727	3.121212121	3.121212121	3.121212121

Fig. 5 Failure rate calculation sheet (FIDES) - Inductor

Table 6 Lifetime 10 years's reliability of DC-DC Converter - FIDES

System	Sub System	Lifetime 10 years's reliability(%)		
	Isolation Transformer	99.88%		
	Output Rectifier & Filter	99.77%		
	Feedback Circuit	91.57%		
DC-DC Converter for Tank	Protection Circuit	82.79%		
	PWM controller	94.27%		
	Input Filter	99.74%		
		71.03%		

4. 신뢰도 예측 규격의 민감도 분석

민감도 분석이란 한 모형에서 파라미터가 불확실할 때, 이 파라미터가 취할 수 있는 가능한 값들을 모두 대입해 파라미터의 변화에 따라 결과가 어떻게 되는가를 분석하는 것을 말한다. 본 장에서는 MIL-HDBK-217F, RiAC-HDBK-217Plus, FIDES의 민감도 분석을 진행하며 파라미터를 온도로 선정한다. 그 이유는 <Table 7>과 같이 진동, 습도는 MIL-HDBK-217F, RiAC-HDBK-217Plus에서 고려하지 않는 환경조건이므로 민감도 분석의 파라미터가 될 수 없기 때문이다.

따라서 임무 별 온도 미션 프로파일의 '최대, 70%, 50%, 30%, 최소' 값으로 변화시키며 각 규격의 변화하는 고장률을 확인한다. 이 때 온도를 제외한 환경조건

은 기상청의 데이터를 활용하여 <Table 8>과 같이 가정하며 민감도 분석의 파라미터인 임무별 온도는 <Table 9>와 같다.

민감도 분석 결과 MIL-HDBK-217F, RiAC-HDBK-217Plus, FIDES의 고장률은 <Table 10>과 같으며 고장률 변화 그래프는 <Fig. 6>과 같다.

<Fig. 6> 그래프의 추세선과 기울기를 확인해본 결과 MIL-HDBK-217F의 기울기는 -0.000001976, RiAC-HDBK-217Plus의 기울기는 -0.000000104, FIDES의 기울기는 -0.000000016이다. 이처럼 MIL-HDBK-217F의 기울기가 가장 크며 RiAC-HDBK-217Plus, FIDES 순으로 기울기가 작아진다. 따라서 MIL-HDBK-217F의 고장률은 온도가 바뀜에 따라 민감하게 변하지만 RiAC-HDBK-217Plus와 FIDES는 민감하게 변하지 않는다.

Table 7 Environmental condition	n of reliability	prediction	standard
--	------------------	------------	----------

Environme	ntal condition	MIL-HDBK-217F	RiAC-HDBK-217Plus	FIDES
	Operating		$\lambda_{_{o}}$	
Dania	Environment		λ_e	
Basic failure rate	Electrical	λ_b	λ_c	λ_{0ITEM}
ranure rate	Temperature		λ_i	
	Solder Joint		λ_{sj}	
Envir	onment	π_E	-	-
Ele	ctrical	π_S	π_S	$\pi_{Electrical}$
Temp	perature	π_T	$\pi_{TO}, \ \pi_{TE}$	$\pi_{Thermal}$
C	ycle	-	π_o	π_{TCy}
Mechanical s	tress(Vibration)	-	-	$\pi_{Mechanical}$
Che	emical	-	-	$\pi_{Chemical}$
Hur	nidity	-	-	π_{RH}

 Table 8 Environmental Condition (except for temperature)

Mission	Mission Area	Environmental condition(except for temperature)					
	Mission Area	Humidity(%) ΔT (°C		Cycle duration(hours)	Vibration(Grms)		
Joint Training	Seoul	64.4	20.72	12.5	8.88		
Division Training	Dongducheon	66.5	20.79	11.2	8.91		
Brigade Training	Cheorwon	70.4	20.09	10.2	8.61		
Battalion Training ·	T	69.6	20.09	10.1	8.61		
Combat Firing	Inje				8.01		
Company Training	Incheon	68.6	20.3	12.1	8.7		
Platoon Training	Seosan	74.1	20.72	11.9	8.88		
Military Vehicles Training	Mokpo	72.4	21.07	13.9	9.03		
Winter Training	Namhae	72.5	-0.5	-1	-1.5		
Non Tactical Training	Wando	66.4	20.44	14.1	8.76		

Mission	Mission	Non C	Operating Temperature(°C)			Operating Temperature(°C)					
	Area	Maximum	70%	50%	30%	Minimum	Maximum	70%	50%	30%	Minimum
Joint Training	Seoul	29.6	20.72	12.5	8.88	-5.9	32.6	22.82	15.5	9.78	-2.9
Division Training	Dong ducheon	29.7	20.79	11.2	8.91	-9.2	32.7	22.89	14.2	9.81	-6.2
Brigade Training	Cheor won	28.7	20.09	10.2	8.61	-11.4	31.7	22.19	13.2	9.51	-8.4
Battalion Training · Combat Firing	Inje	28.7	20.09	10.1	8.61	-11	31.7	22.19	13.1	9.51	-8
Company Training	Incheon	29	20.3	12.1	8.7	-5.4	32	22.4	15.1	9.6	-2.4
Platoon Training	Seosan	29.6	20.72	11.9	8.88	-6.3	32.6	22.82	14.9	9.78	-3.3
Military Vehicles Training	Mokpo	30.1	21.07	13.9	9.03	-1.5	33.1	23.17	16.9	9.93	1.5
Winter Training	Namhae	0	-0.5	-1	-1.5	-2.4	3	2.5	2	1	0.6
Non Tactical Training	Wando	29.2	20.44	14.1	8.76	-0.4	32.2	22.54	17.1	9.66	2.6

Table 9 Parameter of sensitivity analysis (temperature)

 Table 10 The result of sensitivity analysis (Failure rate)

Standard	Maximum	70%	50%	30%	Minimum
MIL-HDBK-217F	0.000024261	0.000020859	0.000019248	0.000017548	0.000016039
RiAC-HDBK-217Plus	0.000000805	0.000000616	0.000000534	0.000000442	0.000000376
FIDES	0.000003933	0.000000392	0.000000390	0.000000388	0.000000387

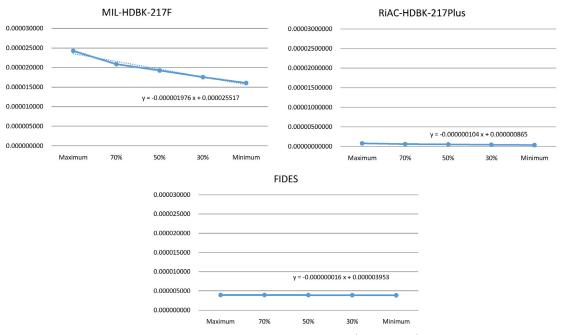


Fig. 6 The result of sensitivity analysis (Failure rate)

온도 인자는 각 규격이 동일하게 아레니우스 모델을 따르지만 온도만을 환경조건으로 고려하는 MIL-HDBK-217F와는 다르게 RiAC-HDBK-217Plus는 임무 주기도 고려하며, FIDES는 진동, 습도, 작동시간도 고려한다. 따라서 온도 이외에 고려하는 환경조건이 많은 규격일수록 온도 변화에 의한 고장률 변화가 둔감하다는 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 신뢰도 예측 규격 중 MIL-HDBK-217F, RiAC-HDBK-217Plus, FIDES로 신뢰도 예측 시 온도를 변화시키며 고장률 변화를 확인하는 민감도 분석을 제시하였다.

8대 무기체계 중 기동무기체계인 전차의 평시 OMS/MP를 수립하였고, 전차의 구성 부품이라고 가 정한 DC-DC 컨버터의 신뢰도 예측을 하였다. 또한 신뢰도 예측을 위해 전차의 임무 지역을 가정하여 임 무 지역의 온도, 습도, 진동 등 환경조건을 조사 분석 하였다. 조사 분석한 환경조건 중 MIL-HDBK-217F, RiAC-HDBK-217Plus, FIDES가 공통적으로 고려하는 환경조건은 온도뿐이므로 온도를 민감도 분석의 파 라미터로 선정하였다. 온도 미션 프로파일의 '최대, 70%, 50%, 30%, 최소'값으로 변화시키며 각 규격의 고장률 변화를 확인하였다. 고장률 변화의 그래프를 확인해 본 결과 MIL-HDBK-217F의 기울기가 가장 크 고, RiAC-HDBK-217Plus, FIDES 순으로 기울기가 작 아졌다. 그 이유는 신뢰도 예측 시 온도 이외에 다른 환경조건이 입력될수록 온도가 고장률에게 주는 영 향이 작기 때문이다. 따라서 무기체계의 신뢰도 예측 시 온도에 의한 영향을 파악하기 위해서는 MIL-HDBK-217F를 이용한 신뢰도 예측이 설명력이 높다고 할 수 있으며 더 많은 환경조건을 고려하기 위해서는 FIDES 를 이용하는 것이 좋다고 할 수 있다.

추후의 연구에서는 규격의 좀 더 정확한 비교와 동시에 다양한 환경에서의 규격선정판단을 위해 온 도 이외에 다른 환경조건의 민감도 분석을 진행해 야 한다.

References

- [1] Department of Defense. (2007). "MIL-HDBK-338B: Electronic Reliability Design Handbook". Military Handbook Washington(DC): Department of Defense (US), pp. 216-243.
- [2] Kim, K. T. et al. (2010). "Reliability Prediction of Hybrid DC-DC Converter for Spacecrafts". Journal of Applied Reliability, Vol. 10, No. 3, pp. 171-182.
- [3] Held, M. and Fritz, K. (2009). "Comparison and evaluation of newest failure rate prediction models: FIDES and RIAC 217Plus". Microelectronic Reliability, Vol. 29, No. 2, pp. 967-971.
- [4] Kim, G. Y. et al. (2009). "A Calculation Method of Reliability Goal for the Vehicle by OMS/MP". Korea Association of Defense Industry Studies, Vol. 16, No.1, pp. 168-185.
- [5] Department of Defense. (1995). "MIL-HDBK-217F Notice 2: Reliability Prediction of Electronic Equipment". Military Handbook Washington (DC): Department of Defense (US), pp. 10-150.
- [6] Lee, J. W., Ju, H. J. and Lee, M. K. (2006). "A Study on the Aircraft Mission Reliability Prediction". Journal of Applied Reliability, Vol. 6, No. 2, pp. 115-134.
- [7] Denson, W. (2006). "Handbook of 217Plus Reliability Prediction Models". RIAC, pp. 10-190.
- [8] FIDES Group. (2009). "FIDES: Reliability Methodology for Electronic Systems". FIDES Group, pp. 10-464.
- [9] You, K. H. (2016). "Reliability Prediction of Satellite". Ajou University, pp. 104-112.
- [10] Yun, H. S., Jeong, D. Y., Yoon, J. S. and Lee, S. H. (2011). "Failure Rate Characteristics Analysis under Ground Mobile and Ground Fixed Environments". Journal of Applied Reliability, Vol. 11, No. 3, pp. 293-303.
- [11] Yun, H. S. et al. (2011). "Methodologies of Duty Cycle Application in Weapon System Reliability Prediction". Journal of Applied Reliability, Vol. 11, No. 4, pp. 433-445.
- [12] Cha, D. W. (2016). "Selection Method of failure rate Data for Reliability Prediction of Weapon System". Ajou University, pp. 1-44.