

무기체계 신뢰도 예측시 임무주기 적용 방안에 대한 연구

윤희성 · 정다운 · 이은학 · 강태원 · 이승현 · 허만옥

육군 종합정비창 정비기술연구소

Methodologies of Duty Cycle Application in Weapon System Reliability Prediction

Huisung Yun · DaUn Jeong · Eunhak Lee · Taewon Kang · Seunghun Lee · Manog Hur

Maintenance Technology Research Center, Consolidated Maintenance Depot, ROK Army

Abstract

Duty cycle is determined as the ratio of operating time to total time. Duty cycle in reliability prediction is one of the significant factors to be considered. In duty cycle application, non-operating time failure rate has been easily ignored even though the failure rate in non-operating period has not been proved to be small enough. Ignorance of non-operating time failure rate can result in over-estimated system reliability calculation. Furthermore, utilization of duty cycle in reliability prediction has not been evaluated in its effectiveness. In order to address these problems, two reliability models, such as MIL-HDBK-217F and RIAC-HDBK-217Plus, were used to analyze non-operating time failure rate. This research has proved that applying duty cycle in 217F model is not reasonable by the quantitative comparison and analysis.

Keywords : Reliability Prediction, Duty Cycle, Operating / Non-operating Time Failure Rate

1. 서론

2005년 미 국방부는 개발된 무기체계가 실제 운용단계에서 RAM 목표를 충족하지 못한다는 결과를 통계적 분석 결과로 도출하였다 Department of Defense(2005). 특히, 체계 개발시 잘못된 신뢰도 평가 방법의 적용은 RAM 목표를 충족하지 못하는 원인이 된다고 보고하였다. 이러한 신뢰도 평가에 적용되는 분석조건 중 중요한 요소의 하나는 임무주기(Duty Cycle)이며 임무주기는 체계의 운용제원에서 결과를 산출하고 비운용 시간의 고장률이 활용된다는 측면에서 적용 모델에 따라 예측 결과에 상이한 영향을 미칠 수 있다.

임무주기는 총시간 대비 운용시간의 비율로 정의되며 Department of Defense(1981) 총시간은 분석대상(무기체계)이 운용 시간과 비운용 시간 모두를 포함한다. 일반적으로 사용되는 전기·전자부품의 신뢰도 예측 모델인 MIL-HDBK-217F(이하 217F)는 기본적으로 비운용 시간에 대한 고장률 산출 방법을 포함하지 않는다. Reliability Information Analysis Center(2005), Parametric Technology Corporation(2010).

217F는 운용 시간에 대한 고장률 산출만을 목적으로 개발되었기 때문에 비운용 시간 고장률의 산출 방법이 불명확했다 Department of Defense(1991). 이를 보완하기 위한 수단으로 RADC-TR-85-91 기술보고서가 발간되었으며, 이 보고서는 MIL-HDBK-217 모델을 기반으로 비운용 시간 고장률을 산출하는 추가적인 모델을 제공했다 Rome Air Development Center(1985).

한편, 미 신뢰성 분석 센터는 217F를 보완, 신뢰도 예측 방법을 개선하여 1998년 PRISM 모델을 발간하였다. 이 모델은 운용과 비운용 시간의 고장률 데이터를 소자별로 구분하고 있어 217F와는 달리 임무주기의 직접 적용이 가능하다 System Reliability Center(1998). PRISM 모델은 계속 최신화 되었으며, 2006년 PRISM 모델을 후속한 RIAC-HDBK-217Plus(이하 217Plus)가 발간되었다 Reliability Information Analysis Center(2006).

RADC-TR-85-91 같은 기존의 비운용 시간 고장률 산출 모델은 비운용 시간 고장률을 운용 시간 고장률에 비해 작은 값으로 판단하였으나 PRISM과 217Plus는 그 경향을 상이하게 해석했다. 예를 들어 캐패시터의 경우, 217Plus는 운용 시간의 기본 고장률을 평균 0.001702, 비운용 시간 고장률을 0.002868로 정의하여 비운용시의 고장률이 운용시에 비해 1.68배가 된다. 217Plus는 운용과 비운용 시간 고장률 이외의 여러 변수가 부품의 고장률에 영향을 미치므로 두 기본 고장률의 단순 비교에 무리가 있다. 그러나 이 사실은 기존의 217F 기반의 신뢰도 예측에서 비운용 시간의 고장률을 산출한 방법론과 나아가 217F에 의한 신뢰도 예측시 임무주기가 적용 가능한지에 대한 의문을 제기한다.

본 연구는 217F 모델과 217Plus 모델을 활용하여 217F 모델의 임무주기 적용의 타당성을 평가했다. 이를 위해 먼저, 모델별 임무주기에 의한 고장률 변화 추세를 판단하고, 운용과 비운용 시간의 고장률을 소자별로 산출하였다. 상이한 모델간의 비교를 위해 산출된 고장률 데이터를 운용값 대비 비운용값의 비율로 분석하였다. 산출된 비운용 시간 고장률 비율을 모델별로 비교하여 217F와 217Plus의 임무주기 적용 결과를 분석하였다.

2. 임무주기

임무주기의 기본적인 개념을 설명한다. 이를 위해 운용과 비운용의 정의를 소개하고 임무주기의 개념과 적용범위를 제시한다. 또한, 미군 항공화력통제시스템과 차기경전술차량의 임무시나리오를 분석하여 임무주기 산출한 사례를 소개한다.

2.1. 운용과 비운용

운용(Operating)이란 부체계, 조립체, 구성품 등이 활성화되어 전기적 혹은 기계적인 스트레스에 노출되어 있는 상태이다. 반면, 비운용(Non-operating)은 이러한 스트레스로부터 자유로운 상태를 의미한다. 단, 비운용 상태도 환경, 운송, 취급에 의해 유발된 스트레스에는 노출되어 있다. 비운용은 휴면(Dormancy)과 저장(Storage)으로 구분되며 각각 운용 가능 환경과 저장을 위한 환경에 노출된다는 점이 상이하다 Rome Air Development Center(1985). 본 연구는 운용 가능 상태를 중심으로 분석하므로 비운용 상태 중 저장상태는 취급하지 않는다.

2.2. 임무주기와 적용범위

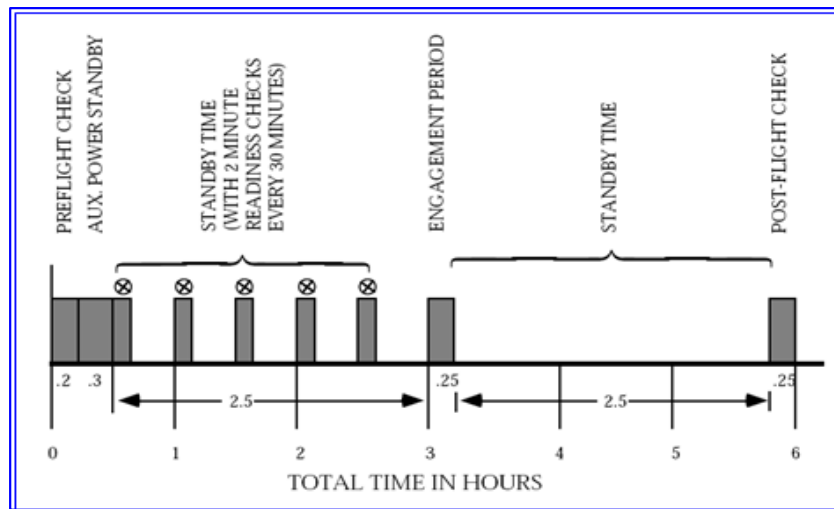
임무주기는 총시간 대비 운용시간의 비율로 정의된다. 신뢰도 예측에서 임무주기가 필요한 이유는 체계의 임무주기에 따라 신뢰도, 군수지원의 판단 및 요구도가 달라지기 때문이다 Department of Defense(2005), Department of Defense(1991). 임무주기의 적용 대상은 체계 전체 혹은 그 하위 수준에서 가능하다. 한편, 무기체계의 신뢰도 예측에서 부체계를 구성하는 일부 구성품의 운용이 부체계 전체 운용으로 간주된다는 점을 고려하면 Rome Air Development Center(1985) 임무주기 적용의 최소 수준은 부체계로 정의될 수 있다.

2.3. 임무시나리오를 활용한 임무주기 산출

OMS/MP(Operational Mode Summary/Mission Profile)는 무기체계의 개발단계에서 요구되는 운용상의 특성을 제시하기 위해 임무, 사건, 지속시간, 환경 등을 정량적으로 서술한다 Department of Defense(2009). OMS/MP의 임무시나리오를 활용하면 임무주기의 산출이 가능하다.

<그림 1>은 항공화력통제시스템의 6시간 작전을 묘사한 임무시나리오이다 Department of Defense(1998). 총 6시간 중 운용되는 시간은 1시간 10분이며 임무주기는 아래와 같이 계산된다. 여기서 DC 는 임무주기(Duty Cycle)를 의미한다.

$$DC = \frac{70}{360} = 0.1944$$



<그림 1> 항공화력통제시스템의 임무 시나리오(예)

<표 1> 차기경전술차량의 정규전 임무시나리오

Marine Corps and Army Joint Major Combat Operation (MCO) Scenario with Mission Tasks *								
Operational Mode Summary (OMS)	Mission Profiles (MP)							Total
	Offense			Defense		Stability		
Full Spectrum Element MCO War Game Phases	Littoral/Air Assault	Movement to contact	Attack	Pursuit	Area Defense	Mobile Defense	Civil Security	
Duration (hours)	5.7	11.4	18.1	5.7	10.9	9.1	11.1	72.0
Distance (miles)	4.6	128.9	18.5	32.5	19.2	17.5	14.7	236
Engine Operations (hours)								
Dynamic Operation or Movement Time	0.9	6.4	4.2	1.4	1.8	2.0	2.5	19.1
Static Operation or Idle Time	4.7	4.8	13.5	4.0	8.7	6.7	8.2	50.6
Total Operating Time (Dynamic + Static)	5.5	11.1	17.7	5.4	10.5	8.7	10.7	69.8
Systems & Engine Off Time	0.2	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	2.2
Auxiliary Power or Battery Power (hours)								
Silent Watch Operating Time	2.8	3.9	8.8	2.7	5.6	4.3	5.3	33.5
Exportable Power	2.8	7.2	8.9	2.7	4.9	4.4	5.4	36.2
Cycles (Numbers)								
Engine on/off Cycles	1	2	3	0	2	1	1	10

다음으로, 미 차기경전술차량의 OMS/MP를 활용하여 엔진의 임무주기를 계산하였다 TACOM Life Cycle Magnagement Command(2011). <표 1>은 차기경전술차량의 정규전 임무시나리오(MP)이며 엔진은 72시간 임무수행 중 69.8시간 동안 운용되므로 임무주기의 계산 결과는 다음과 같다.

$$DC = \frac{69.8}{72} = 0.9694$$

3. 217F 기반 임무주기 적용 분석

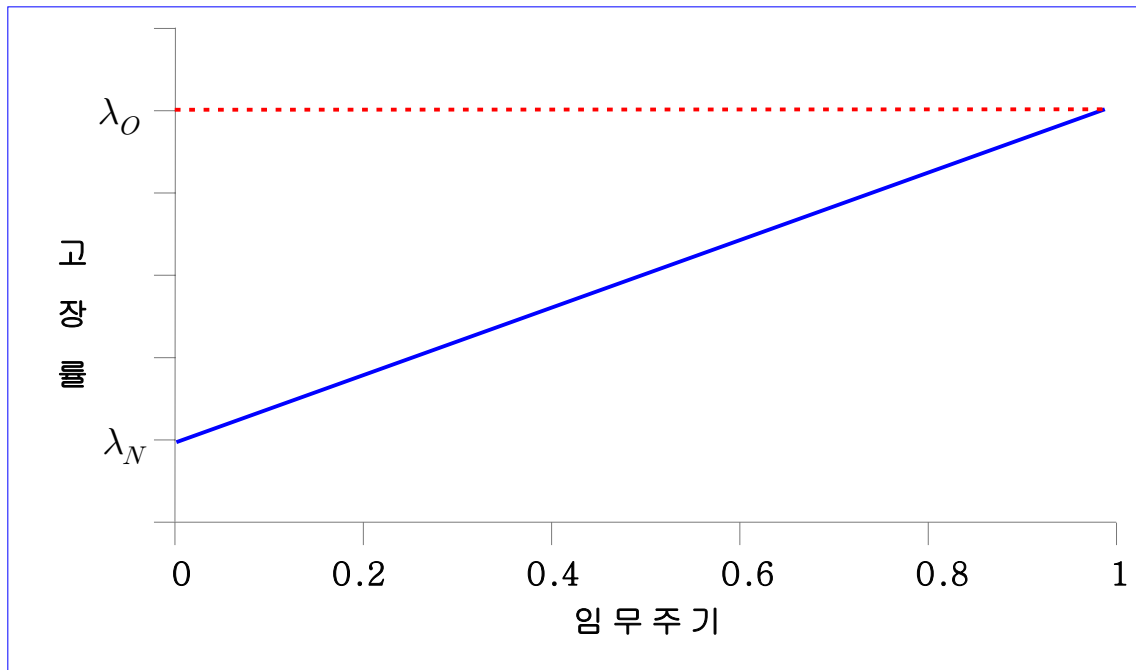
217F 모델은 MIL-STD-756B에 제시된 단순한 방식의 임무주기를 적용한다. 또한, 비운용 시간의 고장률은 217F 모델 이외의 방법에 의해 산출되며 그 방법은 RADC-TR-85-91 기술보고서에 제시되어 있다.

3.1. MIL-STD-756B의 임무주기 적용 방법과 고장률 추세 분석

MIL-STD-756B는 임무주기를 신뢰도 예측에 적용하기 위해 다음과 같은 고장률 산출식을 제시한다 Department of Defense(1981).

$$\lambda = DC \lambda_O + (1 - DC) \lambda_N \tag{1}$$

식 (1)에서 λ_O 와 λ_N 은 각각 운용과 비운용 시간에 대한 고장률이다. λ_O 와 λ_N 을 산출하고 임무주기에 의한 고장률 변화 추세를 분석하면 고장률은 <그림 2>와 같이 선형적인 추세를 갖는다.



<그림 2> 임무주기에 의한 고장률 추세(MIL-STD-756B 적용)

3.2. 비운용 시간 고장률 산출 방법

217F 기반 신뢰도 예측시 비운용 시간 고장률을 산출하는 방법으로 RADC-TR-85-91 기술 보고서에서는 두가지로 구분하여 제시한다. 첫째, MIL-HDBK-217이 운용조건을 기반으로 개발되었다는 특성을 무시하고 비운용 시간의 조건을 적용하는 방법과 둘째, 운용 시간 고장률에 일정한 변환계수를 곱하는 방법이다.

3.2.1. 비운용 조건 적용 방법

비운용 시간의 고장률 산출에 MIL-HDBK-217 예측 모델을 직접 활용하는 방법은 운용과 비운용간의 온도 차이를 적용하고 전기 스트레스(혹은 비율)에 0을 대입함으로써 산출된다. 하지만, 이러한 방법은 활용의 적합성에 문제가 있다. 그 이유는 근본적으로 MIL-HDBK-217이 운용 조건에 대한 고장률을 기반으로 개발된 점에 있다. 또한, MIL-HDBK-217의 고장률 예측은 지수분포를 기반으로 하고 있으며 지수함수의 독립변수를 0으로 근접시킨 외삽(Extrapolation)은 그 결과를 심하게 왜곡시킬 수 있다. 이러한 이유로 MIL-HDBK-217 모델의 직접 적용은 활용의 우선순위에서 가장 낮게 평가된다 Rome Air Development Center(1985).

217F 모델을 이용하여 소자별 운용과 비운용 시간의 고장률을 산출하였으며 그 적용 조건은 <표 2>와 같다. 이 조건은 217Plus의 지상고정(Ground Fixed; GF) 환경의 기본값으로 적용하였다. 217Plus의 경우 진동요소는 시스템 단위에서 고려되므로 부품 단위에서 모델간 동일 조건하 비교를 위해 운용 환경을 고정 환경으로 선정하였다. 온도상승은 운용 시간의 고장률 산출시 적용하였으며 소자 및 유형별 217Plus의 기본값으로 선정되었다. 후속되는 217Plus도 <표 2>의 조건으로 적용하였다.

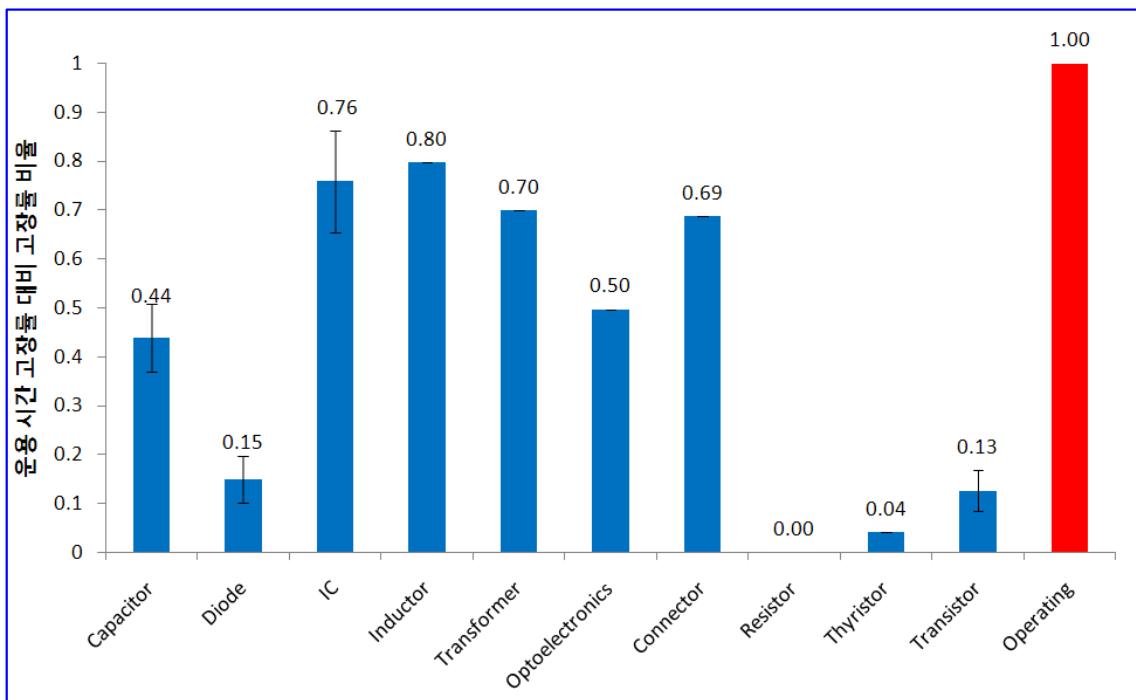
<표 2> 운용과 비운용 시간 고장률 산출시 적용 조건

운 용 온 도	비 운 용 온 도	전 기 스트레스(비)		습 도	운 용 환 경	사이클링 (횟수/year)	온도상승	
		운 용	비운용				운 용	비운용
35℃	19℃	0.5	0	0.4	GF	263	217Plus의 소자별 기본값	0

소자와 그 하위 유형별로 운용과 비운용 시간 고장률을 산출하였다. 산출된 고장률은 각각 운용값 대비 비운용값의 비율로 변환하여 소자별, 모델별 비교가 가능하도록 하였으며 그 결과는 <그림 3>에 제시되어 있다.

소자별 신뢰도 예측 모델 중 전기 스트레스가 고려되지 않은 경우가 있으며 집적회로, 변압기 등이 이에 해당된다. 이러한 소자의 고장률 계산 모델은 온도의 차이에 의해서만 운용과

비운용 시간의 고장률을 구분하였다. 때문에 비운용 시간 고장률 비율이 다른 소자에 비해 상대적으로 높게 평가 되었다. 반면, 저항의 고장률 계산 모델은 운용전력 값에 직접적인 영향을 받으므로(배수관계; π_p) 비운용 시간 고장률이 0으로 산출되었다. 이 결과는 217F를 적용한 비운용 시간의 고장률이 비운용 시간의 물리적 특성을 고려했다기 보다는 계산 모델의 특성과 한계에 의한 결과로 판단된다. 앞서 설명된 217F를 적용한 비운용 시간 고장률 산출의 한계점과 <그림 4>의 분석 결과를 고려하면 비운용 시간에 대한 고장률을 217F 단독으로 적용하여 산출하는 방법은 임무주기에 적용되기 어렵다.



<그림 3> 비운용 시간 고장률 분석(217F 적용)

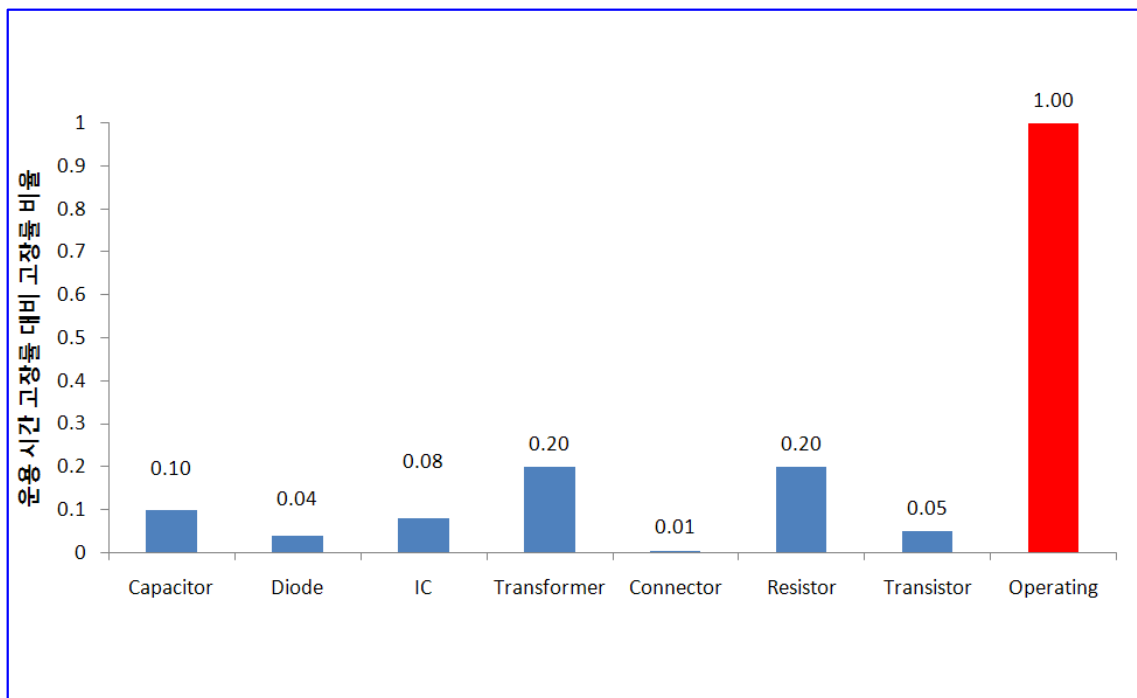
3.2.2. 변환계수를 활용하는 방법

System Reliability Toolkit이 제공한 변환계수는 <표 3>에 제시되어 있다. RADC-TR- 85-91 기술보고서가 217F의 환경을 모두 포함하였고 소자의 유형별로 세분화한 모델을 제시한 것과는 달리, 이 표는 환경을 지상, 항공, 해상, 우주 4가지로 단순화하였으며 소자도 유형별로 세분화하지 않았다.

<표 3> System Reliability Toolkit 제공 비운용 시간 고장률 변환 계수

Part Types	Ground Active To Ground Passive	Airborne Active To Airborne Passive	Airborne Active To Ground Passive	Naval Active To Naval Passive	Naval Active To Ground Passive	Space Active To Space Passive	Space Active To Ground Passive
IC	0.08	0.06	0.04	0.06	0.05	0.10	0.30
Diodes	0.04	0.05	0.01	0.04	0.03	0.20	0.80
Transistors	0.05	0.06	0.02	0.05	0.03	0.20	1.00
Capacitors	0.10	0.10	0.03	0.10	0.04	0.20	0.40
Resistors	0.20	0.06	0.03	0.10	0.06	0.50	1.00
Connectors	0.005	0.005	0.003	0.008	0.003	0.02	0.03
Circuit Boards	0.04	0.02	0.01	0.03	0.01	0.08	0.20
Transformers	0.20	0.20	0.20	0.30	0.30	0.50	1.00

<표 2>의 조건과 같이 지상 환경을 적용하여 운용 대비 비운용 시간의 고장률을 그래프로 표현하면 <그림 4>와 같다.



<그림 4> 비운용 시간 고장률 분석(System Reliability Toolkit)

4. 217Plus 기반 임무주기 적용 분석

217Plus 모델은 소자별 신뢰도 예측 모델에 운용과 비운용 시간의 고장률을 기본 고장률로 포함하고 있어 임무주기에 의한 분석이 가능하다. 임무주기에 의한 고장률 변화 추세를 분석하고 비운용과 운용 시간의 고장률을 비교한다.

4.1. RIAC-HDBK-217Plus

2006년 기존 PRISM모델을 개선하기 위해 RIAC은 217Plus를 발간하였다. 기존의 217F에서 운용 시간의 고장률만이 적용되고 테스트 결과만이 모델에 반영된 것과는 달리, 217Plus는 야전 고장률 데이터와 시험 데이터가 활용되어 고장률의 정확성을 향상시켰다. 217F가 부품 단위의 고장률만을 고려한 것과는 달리 217Plus는 부품 단위와 시스템 단위 고장률 계산을 가능하게 하였다. 또한, 캘린더 시간(Calendar Time)을 기준으로 한 신뢰도 분석을 위해 운용, 비운용, 사이클링이 고려되었다. 217Plus의 이전 모델인 PRISM에 비해 데이터가 최신화 되었으며, 취급하는 부품의 양도 개선되어 PRISM에 비해 두배로 증가되었다 Reliability Information Analysis Center(2006).

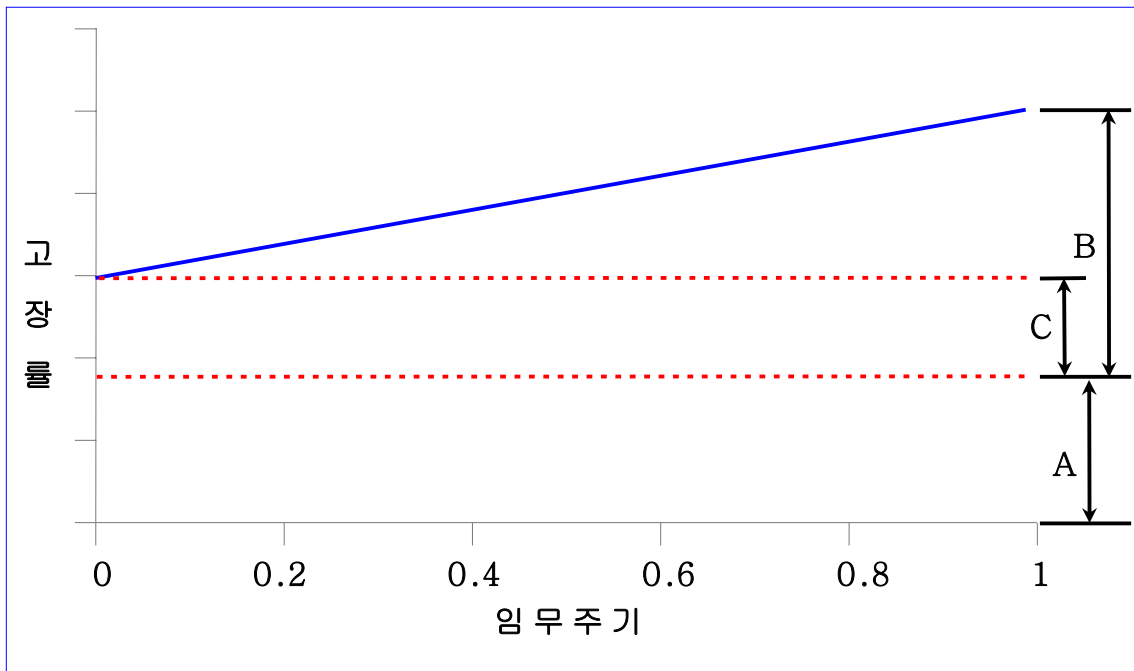
4.2. 임무주기에 의한 고장률 추세 분석

식 (2)는 저항의 고장률 모델이다. 이 모델에서 λ_{OB} 와 λ_{EB} 는 각각 운용 시간과 환경(비운용 시간)에 의한 고장률이다. π_{DCO} 와 π_{DCN} 은 임무주기와 관계된 인자이며 그 관계는 식 (3)에 제시되어 있다 Reliability Information Analysis Center(2006).

$$\lambda_P = \pi_G (\lambda_{OB} \pi_{DCO} \pi_{TO} \pi_P + \lambda_{EB} \pi_{DCN} \pi_{TE} + \lambda_{TCB} \pi_{CR} \pi_{DT}) + \lambda_{SJB} \pi_{SJD} + \lambda_{IND} \quad (2)$$

$$\pi_{DCO} = \frac{DC}{DC_{1,OP}}, \quad \pi_{DCN} = \frac{1-DC}{DC_{1,NONOP}} \quad (3)$$

식(3)에서 DC 는 임무주기, $DC_{1,OP}$ 는 운용간 기준 임무주기, $DC_{1,NONOP}$ 는 비운용간 기준 임무주기($1-DC_{1,OP}$)로 $DC_{1,OP}$ 와 $DC_{1,NONOP}$ 는 주어진 상수값이다. 식 (2)와 (3)을 변형하여 임무주기에 의한 고장률 변화를 <그림 2>와 같이 도식하면 그 결과는 <그림 5>와 같다. 그림에 표시된 A, B, C를 수식으로 표현하면 식 (4)에서 (6)과 같이 정리된다.



<그림 5> 임무주기에 의한 고장률 추세(저항, 217Plus 적용)

$$A = \pi_G \lambda_{TCB} \pi_{CR} \pi_{DT} + \lambda_{SJB} \pi_{SJD} + \lambda_{IND} \quad (4)$$

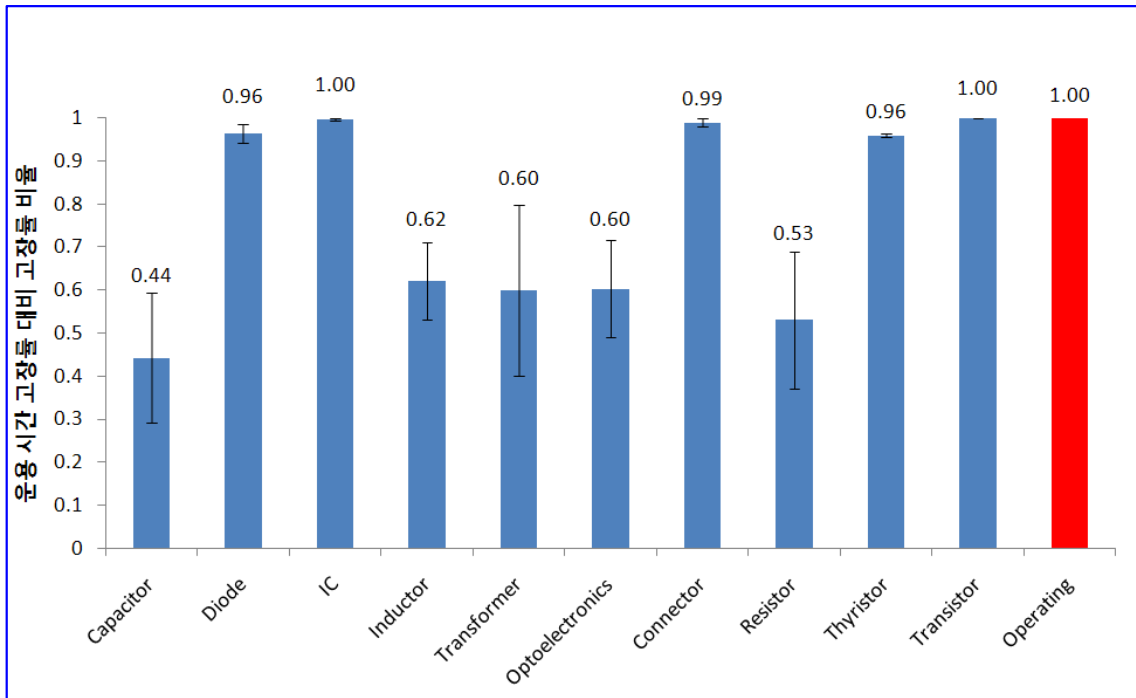
$$B = \frac{\pi_G \lambda_{OB} \pi_{TO} \pi_P}{DC_{1,Op}} \quad (5)$$

$$C = \frac{\pi_G \lambda_{EB} \pi_{TE}}{DC_{1,NonOp}} \quad (6)$$

비록 217F에서 217Plus 모델로 변화되었으나, 임무주기와 고장률의 관계는 1차 선형이라는 측면에서 동일하다. 그러므로 앞의 217F의 임무주기 분석 방법과 같이 임무주기의 특정값과 무관하게 비운용 시간과 운용 시간의 고장률만을 비교하면 임무주기에 의한 고장률 영향을 확인할 수 있다.

4.3. 운용 및 비운용 시간 고장률 관계 분석

<표 2>의 조건을 적용하여 소자별, 유형별로 운용 및 비운용 시간 고장률을 산출하였다. 운용과 비운용 시간의 고장률은 임무주기에 각각 1과 0을 대입하여 계산하였다. 소자별 비교를 가능하게 하기 위하여 217F의 분석 방법과 동일하게 소자별, 유형별 운용값 대비 비운용값의 비율로 변환하였으며 그 결과는 <그림 6>과 같다.



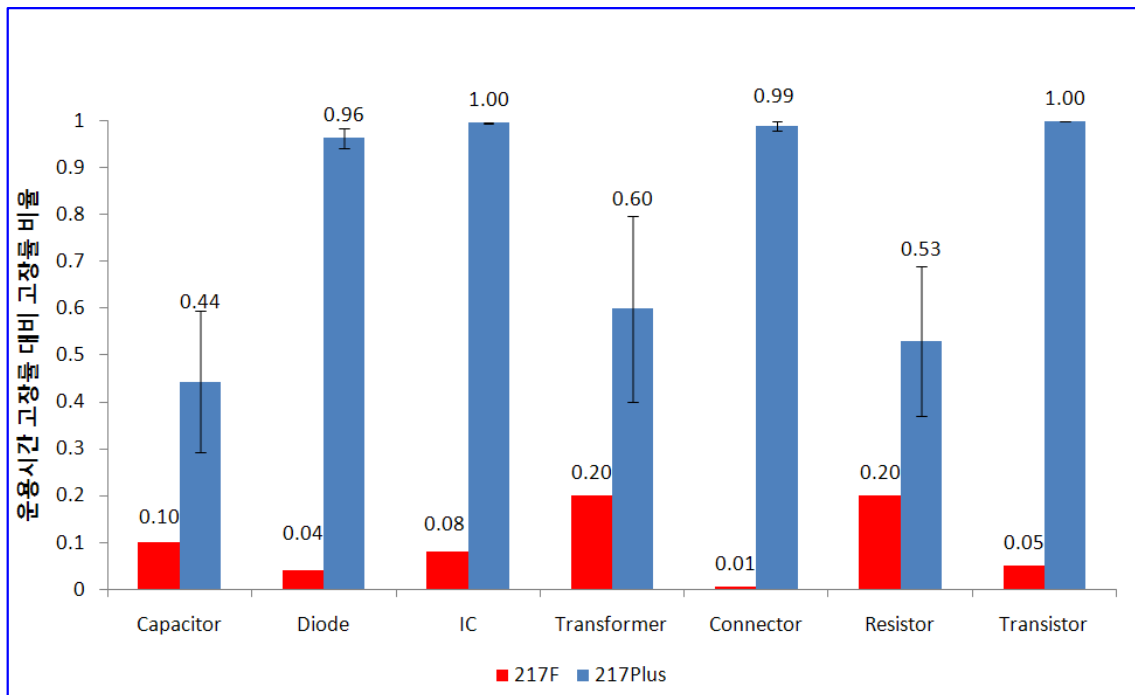
<그림 6> 비운용 시간 고장률 분석(217Plus)

특이한 점으로, 비운용값이 운용값에 근접한 소자가 있다. 특히, 이러한 특성을 가지고 있는 소자의 공통점은 커넥터를 제외하면 모두 전자(능동)소자이다. 즉, 217Plus 기준에서 전자소자는 운용과 비운용 시간과 무관하게 일정한 고장률을 보이므로 임무주기에 의해 크게 변동되지 않는다.

5. 217F의 임무주기 적용 타당성 검토

지금까지 모델별 임무주기와 고장률의 관계를 분석하고 모델별, 소자별로 비운용 시간의 고장률과 운용 시간의 고장률의 관계를 분석하였다. 다음으로, 217F와 217Plus간 분석된 결과를 활용하여 217F의 임무주기 적용이 타당한지를 검토했다. 217F의 비운용 시간 고장률은 앞에 제시된 두가지 방법 중 System Reliability Toolkit의 변환계수로 적용되었다.

<그림 7>은 소자별 두 모델의 비운용 시간 고장률 비율을 비교한 도표이다. 비교된 모든 소자에 대하여 비운용 시간 고장률 비율은 평균 8.12배 증가하였다. 217Plus에서 1에 근접한 값을 보였던 커넥터와 전자소자를 포함한 모든 소자에 대하여, 217F에 비해 비운용 시간 고장률 비율이 증가되는 경향을 보였다. 이는 217Plus 모델에서 비운용 시간 고장률이 기존 신뢰도 예측 모델(217F)과 비교, 운용 시간 고장률과의 차이가 감소되었음을 의미한다.



<그림 7> 217F와 217Plus의 소자별 비운용 시간 고장률 비교

217Plus가 217F 등의 기존 모델을 개선했다는 점을 감안하면 217Plus를 기준으로 이전 모델의 평가가 가능하다. 217Plus의 관점에서, 기존 217F의 임무주기 적용은 예측 신뢰도를 고평가하는 결과를 초래한다. 고평가된 예측 신뢰도는 무기체계의 실제 야전에서 측정된 신뢰도를 감소시키게 된다. 그러므로 현재 217F를 보완하기 위한 비운용 고장률 산출 방법을 고려한다면 217F 기준의 신뢰도 예측에서 임무주기는 적용될 수 없다.

6. 결론

본 연구는 신뢰도 예측을 위한 임무주기 산출 방법을 확인하고 217F 기반 신뢰도 예측시 임무주기 적용이 타당한가를 판단하였다. 이를 위해, 217F와 217Plus의 임무주기 적용 방법을 확인하고 비운용 시간 고장률을 부품별로 산출하였다. 산출된 결과를 토대로 부품별 운용 시간 고장률에 대한 비운용 시간 고장률의 비율을 계산, 각 모델의 비운용 시간 고장률의 경향을 분석하였다. 분석된 결과는 217F의 비운용 시간 고장률이 상대적으로 저평가되므로 궁극적으로 신뢰도를 고평가하게 됨을 확인하였다.

임무주기는 무기체계의 운용 조건을 나타내는 척도로 신뢰도 예측시 필요한 요소이다. 그러므로 실제 운용 제원을 통해 정확하게 분석된 임무주기는 신뢰도 예측의 정확성을 향상시킬 수 있다. 하지만, 비운용 시간 고장률이 산출될 수 없거나 정확성을 신뢰할 수 없는 경우 임무주기의 적용은 부작용을 야기할 수 있다. 특히, 217F의 임무주기 적용은 신뢰도를 고평가하게

되며 고평가된 신뢰도 예측은 무기체계의 실제 운용시 신뢰도 측면의 설계목표를 달성할 수 없으므로 사용자의 불편과 운용유지비의 증가를 초래할 수 있다. 한편, 현재의 신뢰도 실측 결과가 예측 결과를 충족하지 못해왔다는 경향성을 고려하면 고평가된 신뢰도 예측 결과는 이러한 경향을 가중할 수 있다. 그러므로 임무주기를 적용한 정확한 신뢰도 예측이 필요하다면 임무주기의 개념이 근본적으로 반영된 217Plus 모델을 사용하는 방안이 보다 적절한 방안으로 판단된다.

참고문헌

- [1] Department of Defense (2005), *DoD Guide For Achieving Reliability, Availability, And Maintainability "System Engineering for Mission Success"*
- [2] Department of Defense (1981), MIL-STD-756B, *Reliability Modeling and Prediction*
- [3] Reliability Information Analysis Center (2005), *System Reliability Toolkit*
- [4] Parametric Technology Corporation (2010), *Relx 2011 Enterprise Edition*
- [5] Department of Defense (1991), MIL-HDBK-217F, *Prediction of Electronic Equipment*
- [6] Rome Air Development Center (1985), *Impact of Nonoperating Periods on Equipment Reliability*
- [7] System Reliability Center (1998), *PRISM System Reliability Assessment Software Tool*
- [8] Reliability Information Analysis Center (2006), *RIAC-HDBK-217Plus, Reliability Prediction Models*
- [9] Department of Defense (2009), *Reliability, Availability, Maintainability, and Cost Rationale Report Manual*
- [10] Department of Defense (1998), *Electronic Reliability Design Handbook*
- [11] TACOM Life Cycle Management Command (2011), *Operational Mode Summary/Mission Profile(OMS/MP) Annex to Purchase Description for Joint Light Tactical Vehicle Family of Vehicles Version 2.7*