

김연수[†] · 정영배

인천대학교 산업경영공학과

A Study on Reliability Prediction of Product with Dormant Phase

Yon Soo Kim[†] · Young-Bae Chung

Department of Industrial and Management Engineering, University of Incheon

The purpose of this paper is to examine the effects on reliability of equipment or product which spends a great deal of its time in the dormant condition. Many systems experienced periods of dormancy throughout their life cycle, such as periods of operational storage where the system waits, ready for use. The design of such systems must account for how these period of dormant effects system performance.

The methodology for predict and analysis was developed to support the evaluation of dormant modes of operation of systems and subsystems. For proper handling of the dormant environment, issues relating to dormant failures need to be taken into consideration from design stage of the lifecycle. Furthermore, the relevant environmental concerns that need to be taken into consideration depend on the environmental factors associated with each different target environment.

This paper will look at dormant reliability, the possible dormant reliability models and the methodology on life cycle reliability which has different dormant phase.

Keywords : Reliability Prediction, Dormant Reliability, Dormancy, Dormant Condition

1. 서 론

오늘날 생산되는 자동차 전장 제품 또는 계절적 인 시스템, 안전 장비(safety critical system), 비상 발전기 등과 같은 장비, 제품 또는 시스템 등은 <Table 1>에서와 같이 연간 시간의 대부분을 장·단기간 휴면 상태(dormant state)로 유지된 후 필요한 시기에 임무를(본연의 기능을) 실행하게 되는 사용단계(active use phase), 휴면 단계(dormant phase), 또 다시 사용단계(active use phase)의 라이프 사이클의 대부분이 휴면 단계(Dormant phase)를 거치게 되고 이 휴면기 단계에서 고장률은 변화하며 미세

하게 증가하는 추세이다. 이는 제품 또는 시스템의 신뢰도에 영향을 미치는 중요한 요인이다. 그러나 현재 신뢰도 평가 체계는 운영 상태(operating state)에서의 효과를 중점적으로 반영하고 이러한 요인은 거의 무시되거나 적용할 신뢰도 모델 방법론과 예측 방법론이 거의 없다고 볼 수 있다[1, 2, 4].

미사일과 같은 첨단 무기체계, 안전장비(safety devices)나 비상 발전기 등은 장기간 휴면 상태(dormant state)로 유지된 후 필요한 시기에 임무를 완벽하게 수행하여야 하므로 높은 수준의 신뢰도를 유지하도록 하여야 하며 초기 시스템 설계 단계에 이러한 휴면기 상태의 고장 행태를

논문접수일 : 2012년 08월 15일 게재확정일 : 2012년 08월 30일

[†] 교신저자 yonskim@incheon.ac.kr

※ 본 연구는 2010년도 인천대학교 자체연구비 지원에 의해 수행되었음.

반영하여 이를 방지 할 수 있는 시스템을 구현하도록 휴면기 상태가 고장률, 고장시간에 대한 확률 분포에 미치는 영향력을 평가하고 산정할 수 있는 방법론에 대한 니즈(needs)가 제기되어 산업계에서는 간헐적인 연구가 진행되었으며, 주로 국방 과학분야에서 무기체계 시스템에 대하여 꾸준한 연구가 진행되어 오고 있었으며 평가 척도로서의 휴면기 신뢰도(Dormant Reliability)라는 성능 척도(Performance Measure)가 사용되어지고 있다. 휴면기에서 고장률은 1) 전기 전자 환경 조건의 고장 행태 2) 기계적인 환경 조건의 고장 행태 3) 부식(Corrosion) 환경 조건의 고장 행태 4) 방사능(Radiation) 환경에서의 고장행태를 반영하도록 정규 운영 환경에 대비하여 예측 가능하도록 다양한 방법론이나 비교 척도가 이러한 기존의 시스템의 운영 상태에서의 사용되는 산정결과와 비교할 수 있는 휴면 상태(dormant phase)의 라이프 사이클을 반복하는 제품이나 시스템 또는 아이템의 신뢰도 예측은 그러한 시스템의 초기 개념 형성단계부터 개발, 제조에 이르기까지 그 시스템 설계를 평가하는 데 필수 불가결하다.

<Table 1> Typical Value for Percentage of Calendar Time For Equipment in the Dormant Condition[3]

DOMESTIC APPLIANCES - Television Sets - Kitchen Electrical Appliances	75% 97%
CARS - Personal Use - Taxis	93% 38%
PROFESSIONAL EQUIPMENT - Personal Calculators - Small Copying Machine - Electronic Test Equipment	98% > 75% > 90%
INDUSTRIAL EQUIPMENT - Safety Equipment - Standby Power - Valves (most) - Air Conditioning	98% > 90% > 75% 50~80%

휴면기 신뢰도 예측은 기존 신뢰도 예측 자료의 정확도를 높여 개념의 선택, 부품 품질 수준의 변경, 감쇠 요소의 올바른 적용, 최신의 방법 사용 또는 입증된 방법의 사용등 미션 크리티컬(mission critical)한 시스템이나 제품의 설계를 결정하기 위한 합리적이고 올바른 자료를 제공하게 된다.

휴면기의 신뢰성 모델링은 다음 4가지의 이유로 중요하다.

1. 디자인 단계에서 Trade-offs(상호비교)를 가능하게 디자인 단계에서의 신뢰성 예측
2. 디자인 신뢰성을 검증하기 위한 테스트 전략과 절

차를 개발

3. 제품이나 시스템의 라이프사이클 신뢰성의 초기 예측에 대한 운영 테스트 및 평가 데이터의 분석
4. 장래의 예측 및 시스템 디자인의 향상을 위한 운영 신뢰성 데이터의 분석.

본 연구에서는 이러한 이유를 설명 할 수 있는 연구방법론의 개발과 모델링이 가능하도록 기존 연구 문헌 수집과 비교 모델링을 통하여 확장된 새로운 연구 프레임워크를 개발토록 한다.

제품이나 시스템의 라이프 사이클 프로파일이 제조-운반/설치-휴면상태-실제 사용의 단계를 반복하는 시스템에 대하여 시간 축에 대하여 증가하는 고장률의 변화에 의하여 특징짓는 휴면기를 거치는 제품이나 시스템의 휴면기 신뢰도 모델링을 실시하게 된다.

분석 방법으로 Parts Count and Stress 분석 방법과 고장률 수정 방법(failure Rate Modification Factors) 및 실제 실험 방법을 검토하고 이 중에서 가용한 수학적 모델을 활용하거나 시뮬레이션 모델을 활용하여 실무에서는 가장 타당성이 있는 휴면기 신뢰성 예측 모델 방법론을 개발 하여 제시하는데 그 목적이 있다.

이러한 제품 또는 시스템의 평가 단계에서 적용할 휴면기 신뢰성 예측 평가 패러다임을 정립하고, 설계 개발되는 시스템, 서브 시스템, 핵심 부품 요소의 제품 평가 과정에서 적용할 수 있는 신뢰성 예측 모델은 대단히 제한적이며 신뢰성을 정량적으로 예측 할 수 있는 모델이 필요하다.

본 연구에서는 제품이나 시스템의 성능 평가 중에서 제품이나 시스템의 휴면단계의 성능 평가를 손쉽게 할 수 있는 범용 신뢰성 예측을 위한 비례 위험 모형(Proportional Hazards Reliability Model) 형태의 모델을 통하여 설계되는 부품, 서브 시스템, 조립품, 제품 레벨의 고장률이 전체이나 시스템에 어떠한 영향을 미치는 가를 상대적으로 산출할 수 있는 신뢰성 척도를 산정하는 방법론 과 신뢰성 예측 모델의 개발을 연구하고자 한다. 연구 문제에 대한 가정으로 제품이나 시스템은 수리가 불가능한 두 개의 모수를 갖는 와이블 분포를 가정한다.

2. 문헌 연구

2.1 기존 용어의 정의

휴면 상태(Dormant Condition/Phase)에서의 신뢰도 산정을 하기 위한 방법론과 모델을 세우기 위하여 정확한 용어의 정의와 구별이 필요하다. 통상적으로 사용되는

용어 정의가 <Table 2>에 나타나 있다. 적용되는 환경에 따라 포함하는 부분이 다르게 적용되어 용어의 정의를 다르게 사용하는 저자들도 있다[2].

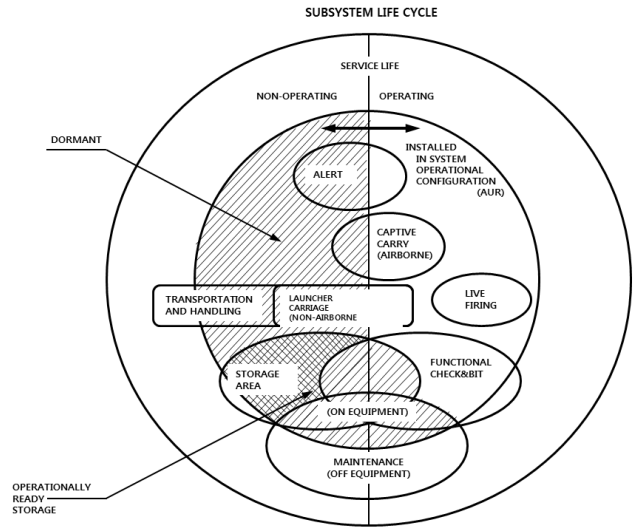
<Table 2> Dormancy Related Term and Its Definition[5, 12]

Term	Definition
Operating	The state of a subsystem, assembly, or component when it is activated (as designed) by electrical or mechanical means at any level of stress
Non-operating state	A subsystem, assembly, or component is considered to be non-operating when it is experiencing none of the electrical or mechanical stresses inherent in the designed activation of the subsystem, assembly, or component.
Life Cycle	The period of time from conceptual design through disposal of the system.
Life Cycle Profile	A diagram or other representation of the states or status of a product during its life cycle or any major segment of its life cycle
Storage	The state of a subsystem, assembly, or component is zero percent activated and is in its normal configuration in a storage area.
Dormancy	The state wherein an all up round is not operating or is maintenance in operationally ready storage including all on-equipment maintenance and functional checks/BIT necessary to maintain the desired status

시스템, 서브 시스템, 어셈블리나 부품은 통상 운영 모드(Operating)와 비 운영 모드(Non-Operating) 환경에서 운영되고 비 운영 단계(Phase/Period)는 휴면 상태(Dormant period)와 저장 상태(Storage period)를 포함하고 있고 각각의 기간에서의 신뢰도를 휴면기 신뢰도(Dormant Reliability)와 저장 신뢰도(Storage Reliability)로 구분하고 그 기간 동안에 고장이 발생할 수 있으며 이는 라이프 사이클의 각 단계에 독립적으로 또는 종속적으로 작용 할 수 있다. 일반적으로 모델링 방법론에서는 전기전자 측면에 대해서는 고장률이 일정한 지수분포를 가정하고 기계적인 측면에서 마모 등의 고장률을 반영하기 위해서는 와이블 분포나 정규분포 등을 가정해서 신뢰도 예측 모델링을 하여 왔다.

휴면기 상태(Dormancy)에 대한 정의는 <Figure 1>에서와 같은 벤 다이어그램으로 표현되며 관련된 구성요소와의 관계를 보여주고 있다. 이 정의는 광의의 정의에 해당한다.

휴면기 신뢰도 예측을 위하여서는 해당되는 시스템, 서브 시스템, 어셈블리 또는 부품의 라이프사이클(Life Cycle)이 세부단계로 표현되어 시간이나 사이클의 라이프 사이클 프로파일(Life Cycle Profile)이 결정되어야 한다.



<Figure 1> Dormancy : Subsystem Level, Based on Subsystem Installed in AUR, Non-Operating Time, on-Equipment Maintenance, and Functional Checks/Bit in Storage(Includes Operationally Ready Storage as a Subset)[12]

2.2 기존 연구

운용(Operating)과 비운용(Non-operating) 주기의 구분은 저장과 휴면 상태의 두 개의 단계로 구분하여 미국 공군에서의 미사일 시스템에 대한 사용/운영 준비 단계에서의 신뢰성을 평가 할 수 있는 비 운용 주기에서의 신뢰성 모델이 MIL-STD 217 HDBK 스타일의 고장률 수정 팩터인 파이(Pi) 팩터 모델이 RAC에서 개발되어 이를 활용한 소프트웨어 들이 사용되고 있지만 이들 모델은 기존의 Worst Case 시나리오에 의한 기준점을 제공하는 수준에 머물고 있고 미국 공군과 방산 시스템을 생산하는 업체의 연구소를 중심으로 많은 연구가 이루어지고 있고 NASA [9]에서는 이들의 영향을 체크할 수 있는 디자인 가이드를 제공하여 평가 지침을 제공하고 있다. 국내에서는 이러한 무기체계 시스템에 대한 신뢰성 모델링은 활발하게 이루어지고 있으나 라이프사이클 단계별로 구분하여 특히 휴면기를 고려한 신뢰성 연구는 전무한 실정이다. Carchia [1]는 비 사용 주기 신뢰도의 일반적인 케이스를 잘 설명하고 있으며 이에 관한 개념 정리와 연구방법에 대한 제언을 제공하고 있다. 한국 항공 우주 연구원의 김영수[13]는 위성체의 Multi-spectral camera에 대한 신뢰성 분석 방법을 제공하고 있고 이를 활용한 휴면기 단계에서의 모델의 기초를 제공하고 있다. Rooney[9]는 장기간 저장이 필요한 시스템이 필요 시 사용할 때의 신뢰도 예측을 가능한 저장 신뢰도 모델을 연구하였으며 이는 MIL-STD 217

HDBK에서 환경인자의 보정을 통하여 저장 신뢰성 예측 모델을 통한 제품 또는 시스템의 성능 평가는 국내외에서 별로 시도된 적이 없는 특별한 경우이고 이를 본 연구에서도 범용 예측 모델로 다루려 하고 있다.

2.3 기존 분석 방법

신뢰도 예측에 사용되는 현존의 방법은 <Table 3>에 서와 같다. 이들 방법은 운영(Operating) 환경 모드에서의 신뢰도 예측 방법들로 MIL-HDBK-217 방법을 기반으로 한 개선 또는 개량된 방법들에 그 기반을 두고 있다.

<Table 3> Reliability Prediction Method during Operating Environment[1]

Method	Description
217PC	MIL-HDBK-217(E-N1, F, F-N1, F-N2) Parts Count
217PS	MIL-HDBK-217(E-N1, F, F-N1, F-N2) Parts Stress
217PLUS	217PLUS Reliability Prediction Method
Telcordia Issue 2	Reliability Prediction Procedure for Electronic Equipment, SR-332, Issue 2, September 2006
CNET	CNET RDF 93 Rev 2/95-French Telecom
UTEC	One of UTE C 80810-RDF 2000 or IEC 62380, RDF 2003
BRT	HRD 4 & 5-British Telecom
ALCT	Alcatel Based on 217F Notice 1
SN29500-1	Siemens Norm SN29500-1, HINWEIS 1 Edition 1997-07
FIDES	European Reliability Standard for Electronic Components 2004, 2009
GJB 299C	Chinese Reliability prediction Method-GJB299 PS, GJB299 PC
RADC-85-91	Non-operating Reliability Prediction(RADC-85-91)
Draft 217E, N1	Non-operating Reliability Prediction
RTLKIT-95	Non-operating Reliability Prediction by RAC Reliability Toolkit-95
NPRD-95	Non-electronic parts Reliability Data
NSWC 98 NSWC 06/LE1	Handbook of Reliability Prediction Procedures for Mechanical Equipment
SS Analysis	Stress-Strength Analysis Method

휴면기 상태에서의 고장률 예측은 다음의 방법을 통해 이루어지며 그 내용은 다음과 같다.

1. K 요인 방법(K Factor Approach)
 - A. 1 : 10 비율 적용방법
 - B. 1 : 30 비율 적용방법
 - C. 1 : 60 비율 적용방법
 - D. 1 : 80 비율 적용방법

기존 운용 환경에서의 고장률 예측치에 일괄적으로 정률 1/10, 1/30, 1/60로 산정하여 예측하는 방법이다. 1/10 방법은 최악의 경우에 대한 보정치이며, 기계 부품류 등과 같은 제품류는 경우에 따라 1/30 방법 또는 1/60 방법을 적용하며 전기 전자 부품류 등은 일반적으로 1/80 방법을 사용한다.

2. RADC-TR-85-91 방법
3. MIL-HDBK-217 무 전기적 스트레스 방법(Zero Electrical Stress)

$$\lambda_p = \lambda_b(\pi_E \times \pi_c \times \pi_{cyc} \times \pi_F) \tag{1}$$

위의 2번과 3번의 방법은 식 (1)과 같은 파이 팩터(Pi factor) 고장률 식을 이용하여 계산한다. <Table 4>는 릴레이와 PCB Connector에 대한 휴면기 상태에서의 고장률 계산식을 보여준다. 3번의 방법은 전기적 스트레스 팩터를 0으로 간주하여 계산하기 때문에 가장 최악의 계산치를 제공 할 수 있으며 가장 부정확 하다.

<Table 4> Operating and Dormant Reliability Models[3, 5]

Failure Rate	Operating Reliability Model	Dormant Reliability Model
Relay	$\lambda_{op} = \lambda_b(\pi_E \times \pi_c \times \pi_{cyc} \times \pi_F)$	$\lambda_{dp} = \lambda_{bd}(\pi_E \times \pi_c \times \pi_F)$
PCB Connector	$\lambda_p = \lambda_b(\pi_E \times \pi_P) + N\pi_{cyc}$	$\lambda_{pd} = \lambda_b(\pi_E \times \pi_P)$
where :	λ_{op} = operating failure rate λ_{dp} = dormant failure rate λ_b = base failure rate depending on temp, load type, stress ratio, ambient temp. and insert material π_E = environmental stress factor π_c = contact factor π_{cyc} = cycling(operations) factor or frequency of connect/disconnect π_F = design factor λ_{bd} = base dormant failure rate π_P = factor depending on number of pins and MIL spec quality N = number of pins	

3. 휴면기 신뢰도 예측 방법론

3.1 휴면기 신뢰도 예측 모델링

휴면기 신뢰도(Dormant Reliability)는 휴면기에 있는 시스템, 서브 시스템, 어셈블리 또는 부품을 포함한 제품이나 장치가 특정한 시간 t까지 고장 나지 않을 확률로 정의된다. 휴면기 상태의 제품이나 장치의 신뢰도라 간단히 말할 수 있다.

휴면기 신뢰도 모델링(Dormant Reliability Modeling)을 위한 프레임워크(Framework)을 위한 가정은 다음과 같다.

1. 제품이나 장치는 전 라이프사이클을 걸쳐 N개의 각기 서로 다른 운용기(Operating Period), 휴면기(Dormant Period)를 반복하여 겪게 되고 전체 라이프 사이클 시간은

$$t_{ip} = \sum_{i=1}^N t_i \quad t_i = t_a \text{ or } t_d \quad (2)$$

t_i = 단계 i에서의 사용기간 또는 휴면기간

t_a = 시스템의 사용기간

t_d = 시스템의 휴면기간

각 단계 i에서의 신뢰도 $R(t_i) = R_d(t_i)$ or $R_a(t_i)$

$R_d(t_i)$ = 단계 i에서의 휴면기 신뢰도

$R_a(t_i)$ = 단계 i에서의 운용 신뢰도

2. 각 단계에서의 사용기간 혹은 휴면기간은 전 단계나 후 단계와 서로 독립적으로 작동된다.
3. 각 단계에서의 고장시간 분포는 δ 위치 모수(location parameter)가 0이고 척도 모수(scale parameter) α 와 형상 모수(shape parameter)인 두 개의 파라미터를 가지는 다음의 와이블 고장 시간 분포 식 (3)를 따른다.

$$f(t) = \frac{\delta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\delta-1} e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\delta} \quad (3)$$

4. 시간 이외에 다른 설명 변수와 환경변수를 고려할 때 와이블 비례 위험모델 (Weibull Proportional Hazards Model)을 사용한다.
5. 수리 불가 시스템(Non-repairable System)을 가정하고 고장 난 시스템은 완전한 부품으로 오류 없이 교체된다.

휴면기 신뢰도 $R_d(t)$ 와 휴면기 고장률 $h_d(t)$ 는 식 (4), 식 (6)과 식 (5), 식 (7)을 이용하여 계산된다.

$$R_d(t) = P\{T > t | t \text{ is in dormant}\}, t > 0 \quad (4)$$

$$\begin{aligned} h_d(t) &= P\{t < T < t + \Delta | T > t, t \text{ is in dormant}\} \\ &= f_d(t)/(1-F_d(t)) \\ &= f_d(t)/R_d(t) \end{aligned} \quad (5)$$

$$R_d(t) = e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\delta} \quad (6)$$

$$h_d(t) = \left(\frac{\delta}{\alpha}\right) \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\delta-1} \quad (7)$$

제품이나 장치의 라이프사이클이 N개의 시간 축에서의 연대기 순의 단계 i들로 구성되어 있다고 하면 이들 시간의 합으로 라이프사이클 프로파일은 결정된다[6, 7, 8].

라이프사이클 프로파일 t_{ip} 에서의 신뢰도는

$$R_{ip} = \prod_{k=1}^N R_i(t_i) \quad \text{where } R_i(t_i) = \quad (8)$$

$$R_d(t) = e^{-\left(\frac{t_d}{\alpha_d}\right)^\delta} \quad (9)$$

or

$$R_a(t) = e^{-\left(\frac{t_a}{\alpha_a}\right)^\delta} \quad (10)$$

이다.

라이프사이클 프로파일에 있는 각 단계에서 신뢰도에 영향을 미치는 설명변수 또는 환경변수 벡터와 회귀계수 벡터를 각각 \underline{X} 와 \underline{B} 라 하면

$$\underline{X} = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_p) \quad (11)$$

$$\underline{B} = (b_1, b_2, b_3, \dots, b_p) \quad (12)$$

$$h(t, \underline{X}) = h_0(t) g(\underline{X}, \underline{B}) \quad (13)$$

$$g(\underline{X}, \underline{B}) = e^{\sum_{i=1}^p b_i x_i} \quad (14)$$

$$h(t, \underline{X}) = h_0(t) e^{\sum_{i=1}^p b_i x_i} \quad (15)$$

$$h_0(t) = \frac{\delta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\delta-1} \quad (16)$$

$$h(t, \underline{X}) = \frac{\delta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\delta-1} e^{\sum_{i=1}^p b_i x_i} \quad (17)$$

$i = 0$ 에서 설명 변수를 추가하고 $x_0 = 1$ 이라고 하면

$$h(t, \underline{X}) = \delta \cdot t^{\delta-1} e^{\sum_{i=0}^p b_i x_i} \quad (18)$$

$$R(t, \underline{X}) = e^{-t^\delta e^{\sum_{i=0}^p b_i x_i}} \quad (19)$$

휴면기 신뢰도를 예측 하는데 사용되는 신뢰도 모델은 식 (19)를 사용하여 계산하는데 설명변수와 환경변수가 P개 일 때 미지수는 미지의 계수는 $(\delta, \alpha, \beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_p)$ 이다. 이 P+2개의 계수는 최대 우도 함수법(Maximum Likelihood Estimation)과 Newton-Rapson 법을 사용하여 추정한다. 이들 계수들은 MATLAB이나 통계 패키지 SAS JMP, SPSS 등을 통하여 손쉽게 구할 수 있다. 각 단계 별로 운영 신뢰도와 휴면기 신뢰도 모델을 적용하여 최종적으로 식 (8)에 있는 전체 라이프사이클

신뢰도를 구하여 이를 평가척도로 사용하게 된다.

휴면기 상태의 제품이나 장치는 시간이 경과함에 따라 고장률이 변화하며 그 변화 추세가 증가하는 특징을 갖고 있다. 휴면기 신뢰도 예측 모델링에 있어서 휴면기 신뢰도 모델링에 있어 문제는 휴면기 상태에서의 고장률의 변화 추이가 시간에 따라 너무 느리게 진행된다는 점이다. 이러한 고장률은 수년간의 휴면기 대비 분 단위의 증가 비율로 진행되고 그러한 데이터의 분산이 휴면기 신뢰도를 특징짓기에는 너무 크다는 문제점이 있다[10, 11].

3.2 휴면기 신뢰도 예측 방법론

휴면기 신뢰도 모델링은 제품이나 장치의 디자인 단계에서 라이프사이클 모델링과 연계되어 행해진다. <Figure 2>는 휴면기 신뢰도를 예측하기 위한 방법론에 대한 전체적인 개관을 나타내고 있다. 각 단계에서의 활동 내용 블록은 선 후수의 작업과 전체 라이프 사이클을 커버하기 위한 예측 단계별 마일스톤이나 피드백 루프 사이클을 보여주고 있다[12].

휴면기를 거치는 제품이나 장치의 신뢰도 모델링에서 가장 중요한 이슈는 합리적인 수학적 모델을 개발하는 것과 이 들 수학적 모델의 모수(parameter)를 소수의 데이터를 가지고 추정하는 일 것이다.

휴면기 신뢰도를 평가하고 측정하는 프로세스는

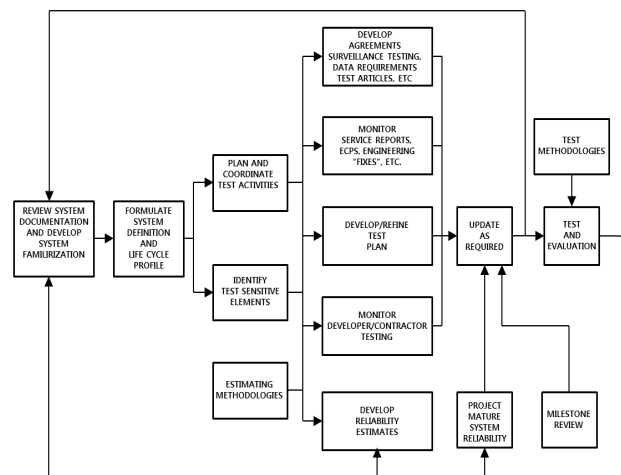
- 1) 계획 단계(Panning)
 - 고급계획 단계(Advanced Planning)
 - 상세 테스트계획 단계(Detailed Test Planning)
- 2) 최초 운용 테스트 및 평가 단계(Initial Operational Test and Evaluation)
- 3) 후속 운용 테스트 및 평가단계(Follow-on Operational Test and Evaluation)를 거치며 각 단계별로 테스트와 평가 측정이 이루어지는 방법을 채택하고 있다.

계획 단계에서는 각종 서류와 휴면기 신뢰도 연관된 미션 크리티컬 한 질문들과 위험요소가 나열되고 문서화되며 라이프사이클 프로파일 모델들을 세우게 된다. 이를 토대로 부품 레벨에서의 휴면기 신뢰도 예측이 이루어지게 된다. 고장분석과 휴면기 신뢰도 예측으로 시스템 디자인에 대한 리뷰가 이루어지게 된다. 상세 테스트 계획 단계에서는 현재 디자인과 현재 운영 조건 및 정비 계획에 대한 검토가 이루어지고 이 들 검토사항에 대한 변경이 이루어지면 신뢰도 예측에 반영하고 최초 운용 테스트 및 평가를 위한 FMECA(Failure Modes, Effects, Criticality Analysis)를 리뷰 한다. 서브 시스템이나 컴포

넌트의 가속 수명 준비를 시작하고 이를 감시할 시스템을 운영한다.

최초 운용 테스트 및 평가단계에서 그 동안 변경된 내용을 모두 반영하고 샘플 테스트를 실시하여 데이터를 수집하고 가속 및 감시 시스템을 작동 시키며 고장률을 계산하고 신뢰도 예측을 실시하여 문서 검토 사항과 엔지니어링 문제와의 차이가 나는 부분을 수정한다.

후속 운용 테스트 및 평가 단계에서 필요에 따른 라이프 사이클 프로파일을 정제시키며 필요하다면 새로운 평가 척도를 선정하고 개발하도록 한다. 측정된 운용상의 고장률과 예측된 고장률을 비교하며 통계분석을 통하여 그 유의성을 검토한다.



<Figure 2> Dormant Reliability Assessment Approach[12]

4. 결 론

휴면기는 많은 상업용 제품이나 장치, 특히 무기 체계 시스템에서 라이프사이클의 중요한 단계이며 이 단계에서 고장이 발생하여 시스템 운용에 영향을 미치고 있다.

본 연구 문제는 제품의 라이프사이클 주기 단계에서 비 운용 주기인 휴면기 신뢰성 예측 모델을 통하여 휴면 상태에서의 고장률 산정을 손쉽게 할 수 있는 모델을 조사하고 제시하였다.

군사 시스템이나 안전 관련 제품이나 시스템은 장기간의 휴면기를 거치고 필요한 때에 요구되는 성능을 발휘하여야 하는데 이러한 시스템의 신뢰도 평가에 휴면기 인자의 영향을 조사하여 모델링하여 이를 예측 할 수 있는 연구 방법론과 프레임워크를 개발하여 정량적으로 평가 할 수 있는 신뢰성 예측 모델을 개발하여 이를 디자인 및 평가 단계에서 대안을 손쉽게 비교 검토하고 요구되는 신뢰성을 제품에 구현시킬 수 있는 범용 신뢰성 예측

모델을 사용함으로써 손쉽게 제품이나 시스템의 성능 척도를 산정해 줄 수 있게 해주며, 이 척도는 전 개발 사이클을 통하여 비교 분석 도구로 사용 될 수 있다.

이러한 범용 신뢰성 모델은 다양한 종류의 제품의 평가 단계에 제공 될 수 있으며 설계자들이 손쉽게 사용할 수 있는 장점이 있다. 또한 제품이나 시스템의 휴면기가 시스템 신뢰도에 미치는 상대적인 효과를 평가하는데 유용하게 사용되고 이러한 평가는 어떤 부품과 그에 관련된 고장 요인이 제품 설계에 대한 추가적인 주의를 요하는지 결정하는 근거가 되게 된다.

참고문헌

[1] ALD Software, <http://www.aldservice.com>, 2012.

[2] Carchia, M.; "Non-operating Reliability," 1999, http://www.ece.cmu.edu/~koopman/des_s99/non_operating.

[3] Harris, A. P.; "Reliability in the dormant condition," *Microelectronics and Reliability*, 20 : 33-44, 1980.

[4] John, T. Walsh; "System Reliability Analysis for Dormant and Semi-Dormant Operation of Complex Systems," *SIG Technology Review*, 65-78, Winter, 1996.

[5] Kasouf, G.; "R/M Design for Long Term Dormant Storage," *Proceedings of Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 168-175, 1984.

[6] Kolarik, W., Fant, E., and McCoun, K.; "Early Design Phase Life Cycle Reliability Modeling," *Proc. Ann. Reliability and Maintainability Symp*, 335-340, 1988.

[7] Kolarik, W. and Landers T. L.; "Proportional Hazards and MIL-HDBK-217," *Microelectronics Reliability*, 26(4) : 763-771, 1986.

[8] Martinez, E. C.; "Storage Reliability With Periodic Test," *Proceedings of Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 181-185, 1984.

[9] NASA; Designing for Dormant Reliability, Johnson Space Center, Guideline No. GD-ED-2207.

[10] Quanterion; Reliability Toolkit : Commercial Practices Edition, Reliability Analysis Center, 1997.

[11] Rooney, J. P.; "Storage Reliability," *Proceedings of Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 178-182, 1989.

[12] Trapp, R. D., Farmer, W. D., and Graber, R. R.; "An Approach for Assessing Missile System Dormant Reliability," Technical Report BDM/A-81-016-TR, BDM Corporation, 1981.

[13] Young-Soo Kim, Do-Kyoung Lee, Chang-Ho Lee, and Sun-Hee Woo, "Reliability Analysis of the MSC System," *Journal of Astron, Space Sci.*, 20(3) : 217-226, 2003.