

## 지상 기동 및 고정 환경하 고장률 특성 분석

윤희성\* · 정다운 · 윤종성 · 이승현

육군 종합정비창 정비기술연구소

### Failure Rate Characteristics Analysis under Ground Mobile and Ground Fixed Environments

Huisung Yun\* · DaUn Jeong · Jongsung Yoon · Seunghun Lee

Maintenance Technology Research Center, Consolidated Maintenance Depot, ROK Army

#### Abstract

Reliability Prediction using MIL-HDBK-217F has some restrictions due to its one modeling basis. One of the restrictions is caused by selecting one operating environment of a system, which is chosen regardless of its detailed conditions, e.g., external impact and vibration. Especially, an equipment, which is installed on a mobile vehicle though its movement is quasi-static, is controversial to designate its environment as ground mobile( $G_M$ ), rather than ground fixed( $G_F$ ). In this paper, failure rates were compared, which are computed using several moving time rates to total operating time. RiAC-HDBK-217Plus was used as the basic calculation model. In addition,  $G_F$  conditioned failure rate was evaluated by comparing with that under  $G_M$  environment but fixed state.

Key Words : MIL-HDBK-217F, RiAC-HDBK-217Plus, Moving Time Rate, Ground Mobile Environment, Ground Fixed Environment

---

\* 교신저자 kmasniper@gmail.com

논문접수일 : 2011년 08월 11일    논문수정일 : 2011년 09월 08일    게재확정일 : 2011년 09월 17일

## 1. 서 론

일반적으로 무기 시스템 신뢰도 예측간 가장 중요하게 고려되는 조건은 장비가 운용되는 환경이다. MIL-HDBK-217F(이하 217F)를 기준으로 무기 시스템의 신뢰도를 예측할 경우, 선택 가능한 운용 환경은 Ground Mobile( $G_M$ ) 등 총 14개이다.[1] 현존 무기 시스템의 모든 운용 환경은 이 14개의 범주에 포함된다. 그러므로 NPRD와 EPRD에서도 217F에서 정의한 운용 환경으로 고장률 데이터를 분류하고 있다.[2,3]

217F에서 제시하고 있는 운용 환경은 우선 지상, 해상, 공중 등 기본적으로 무기 시스템이 운용되는 공간을 기준으로 분류한다. 그리고 장비 외부 환경으로부터의 보호 정도를 기준으로 세분류하고 있다. 공간과 보호 정도를 분류의 기준으로 삼고 있으므로 제시된 환경 외에서 운용되는 무기 시스템은 일반적으로는 존재하기 어렵다.

그러므로 217F 기반으로 신뢰도 예측시에는 무기 시스템의 주요 운용 개념과 시스템 구조를 고려하여 운용 환경을 선택한다. 운용 개념이 단순하지 않아서 단일한 운용 환경을 적용하기 곤란한 일부 무기 시스템의 경우에는 217F에서 제시하고 있는 바와 같이 해당 시스템이 경험하는 환경별로 구분하여 신뢰도를 예측한다. 우주선의 경우, 발사후 궤도 진입까지의 단계, 궤도상에서 자유 비행하는 단계, 궤도로부터 귀환하는 단계로 단계별로 운용 환경을 구분할 수 있다. 이와 같은 경우에는 각 단계별로 적합한 운용 환경을 구분 적용하여 신뢰도를 예측할 수 있다.

그러나 217F를 기반으로 신뢰도 예측시 단 14개만의 환경 범주로 모든 무기 시스템의 운용 환경을 결정하게 되므로 일부 무기 시스템의 경우, 결정된 운용 환경이 시스템에 작용하는 환경 스트레스를 적절하게 반영하지 못하는 경우가 발생할 수 있다.  $G_M$  환경으로 결정된 일부 무기 시스템중 기동하며 운용하는 비율보다 지상에 고정식으로 운용하는 비율이 상대적으로 큰 시스템들이 이러한 경우에 해당된다. 이러한 문제는 비단  $G_M$  환경에만 한정된 문제는 아니다. 항공기와 함정의 경우에도 각 시스템별 운용 속도가 상이하고 이러한 속도에서 발생하는 환경 스트레스 또한 매우 상이하지만 217F에서는 이러한 차이를 전혀 반영하지 못하고 있다. 그러나 항공기 또는 함정과 달리 지상 환경에는 Ground Fixed( $G_F$ ) 환경이라는 고정 운용 환경이 독자적으로 존재한다. 따라서  $G_M$  환경으로 결정된 무기 시스템이라도 고정 운용의 비율이 상대적으로 큰 시스템의 경우  $G_M$ 과  $G_F$  환경간의 결정 논쟁이 발생할 수 있으며 이는 고정 운용의 비율이 증가할수록 더욱 심각해질 수 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는  $G_M$  환경으로 결정된 무기 시스템에서 고정 운용의 비율이 증가하면 고장 발생 빈도가 과연  $G_F$  환경 수준으로 감소할 것인가를 연구하였다. 2절에서는 지상 환경 설정의 문제점을, 3절에서는 데이터 산출 방법을 소개하였다. 4절에서 고정 운용과 고장 발생 빈도간의 연관성을 분석하였다. 본 연구의 핵심인 고정 운용이 고장 발생 빈도에 미치는 영향을 분석하기 위하여 현재까지 개발된 무기 시스템 신뢰도 예측 모델 가운데 RiAC-HDBK-217Plus(이하 217Plus)을 사용하였다.[4] 미 RiAC사에서 개발한 이 모델은 진동과 외부 기온을 기준으로 환경 인자를 결정할 수 있도록 모델링되어 있다. 특히 진동값은 RMS 값을 적용하게 되어 있어 무기 시스템의 고정 운용 시간의 영향을 환경 인자에 반영할 수 있었다.

## 2. 지상 환경

### 2.1. 지상 환경의 구분

217F에서 구분한 지상 환경은 <표 1>과 같이 Benign, Fixed, 그리고 Mobile의 3개 환경으로만 구분된다.

<표 1> 지상 환경의 구분

구분	설명	해당 장비(예)
Ground, Benign (G <sub>B</sub> )	온습도 제어는 물론 즉각적인 정비가 가능한 고정 환경	· 실험 도구와 시험 장비 · 의료 전자장비 · 경제 / 과학용 컴퓨터 복합체 · 지상 사일로내의 미사일과 지원 장비
Ground, Fixed (G <sub>F</sub> )	냉각 등 적절한 환경 제어가 가능한 고정적 환경	· 영구설치 항공교통 통제 레이더 · 통신 시설
Ground, Mobile (G <sub>M</sub> )	· 차륜 또는 궤도 차량에 장착된 장비 환경 · 인력 운반 장비 환경	· 전술 미사일 지상 지원 장비 · 기동 통신 장비 · 전술 사격 지휘 체계 · 휴대용 통신 장비 · 레이저 거리 측정기

G<sub>B</sub> 환경과 G<sub>F</sub> 환경은 지상에 고정되어 운용되는 무기 시스템을 대상으로 외부 환경으로부터 보호받는 정도를 기준으로 구분한다. G<sub>B</sub> 환경은 온·습도 제어는 물론, 시스템에 문제 발생시 즉각적인 정비가 가능한 실험실 수준에서의 환경으로 정의된다. 반면 G<sub>F</sub> 환경은 지상에 고정되어 운용되며 기본적으로 외부 온도의 충격으로부터는 어느 정도는 보호되지만 온도와 습도가 완벽하게 제어되지 않는 수준에서 정의된다. G<sub>M</sub> 환경은 차량에 탑재되거나 혹은 사람에 의해 운반되는 장비가 경험하는 환경으로 정의된다. 즉, 기동 소요가 있는 장비의 환경으로 정의된다고 할 수 있다. 각 환경의 정의와 환경별 예시된 장비의 종류로 판단해보면 일부 고정형으로 운용하는 장비에 한하여 G<sub>F</sub> 환경을 적용할 수 있으며 기동의 소요가 있는 대부분의 지상 무기 시스템은 G<sub>M</sub> 환경을 적용하여야 한다.

장비를 구성하는 일부 서브시스템이 메인 시스템과 분리되어 별도의 환경에서 운용되지 않는 이상, 일반적으로는 신뢰도의 예측 대상 장비에 적용해야할 환경이 결정되면 해당 장비를 구성하는 모든 부품 단위까지 장비와 동일한 환경을 적용하므로 신뢰도 예측에 적용할 환경의 결정은 매우 중요하다.

## 2.2. 지상 환경별 $\pi_E$ Factor

지상 무기 시스템 운용간 스트레스로 작용하는 환경은 해당 시스템을 구성하고 있는 모든 부품의 고장 발생에 매우 중요한 영향을 미친다. 217F에서는 각 운용 환경이 전기전자 부품의 고장률에 미치는 영향을 정량화하여  $\pi_E$  인자로 제시하고 있다. 동일한 환경이라도 각 전기전자 부품 종류별로 고장 발생 빈도에 미치는 영향은 상이하므로  $\pi_E$  인자는 부품 종류별로 상이하다. 217F에서 각 부품별로 정량화한  $G_F$ 와  $G_M$  환경의  $\pi_E$  인자값을 <표 2>에서 비교하였다.

<표 2> 217F 제시  $G_F$ 와  $G_M$  환경의  $\pi_E$  인자값

부 품		$\pi_E$ 인자값		
종 류	용 도 / 형 태	$G_F$	$G_M$	$G_M / G_F$
마이크로 서킷		2	4	2
다이오드	Low Frequency	6	9	1.5
	High Frequency	2	5	2.5
트랜지스터	Low Frequency, Bipolar	6	9	1.5
	High Frequency FET	2	5	2.5
광전자	Detector	2	8	4
진공관	TW Tube	1.5	7	4.7
	Magnetron	2	4	2
	TW와 Magnetron의 진공관	1	14	14
레 이 저		1	4	4
저 항		4	16	4
커 패 시 터		10	20	2
인덕터	코 일	6	12	2
회전 장치	Resolver	2	12	6
	Time Meter	2	12	6
릴레이	기계적 릴레이	2	15	7.5
	Solid State	3	12	4
스위치	일 반 용	3	18	6
	차 단 기	2	15	7.5
커넥터	일 반 용	1	8	8
	소 켓	3	14	4.7
Quartz Crystal		3	10	5
램 프		2	3	1.5
전 자 필터		2	6	3
퓨 즈		2	8	4

<표 2>에서 제시된 바와 같이 고장 발생 빈도의 측면에서만 비교하면  $G_M$  환경에서는  $G_F$  환경 대비 최소 1.5배(다이오드)에서 최고 8배(일반용 커패시터)까지 고장률이 증가하는 것으로 판단된다. 이러한 경향은 Telcordia SR-332(Issue 1, 2)에서는 3배, System Reliability Toolkit에서는 약 2.5배로 제시되고 있다.[5, 6]

### 2.3. 세부 지상 환경 선정의 문제점

217F 기반 세부 지상 환경의 선정은 <표 1>에서 제시하는 바와 같이 매우 단순화된 접근 방법을 적용한다. 즉, 지상 무기 시스템을 지속적으로 지상에 고정하여 운용하면  $G_F$  환경으로 결정하고 운용 개념 속에 기동 운용이 포함될 경우에는  $G_M$  환경으로 결정한다.

이 같은 결정 방법에 따라 환경이 결정되면 <표 2>에서 제시하는 바와 같이 무기 시스템에 작용하는 진동 등 구체적인 운용 환경 프로파일의 적용 없이도  $\pi_E$  인자를 적용할 수 있다. 지상 무기 시스템의 운용 개념만으로도 운용 환경을 결정할 수 있다는 점과 시스템에 작용하는 구체적인 운용 환경 프로파일 없이도  $\pi_E$  인자를 적용할 수 있다는 점은 개발 무기 시스템의 신뢰도를 간단하면서도 단순화하여 예측할 수 있다는 장점으로 작용한다.

그러나 단순하고도 간단한 접근 방법은 장점인 동시에 단점으로도 작용한다. 217F에서 제시하고 있는 운용 환경 선정 기준에 의하면 차륜 또는 궤도 차량에 장착된 시스템은 기동 정도에 관련 없이  $G_M$  환경으로 결정된다. 즉, 기동의 소요가 있기는 하지만 전체 무기 시스템 운용 시간중 지상에서 고정하여 운용하는 시간이 상대적으로 긴 장비도 전차 또는 장갑차와 같이 기동을 주임무로 하는 시스템과 동일한  $G_M$  환경과  $\pi_E$  인자를 적용하게 되는 것이다.

$G_F$  또는  $G_M$  환경에서 적용할 각 부품별  $\pi_E$  인자값의 차가 매우 작아서 신뢰도 예측 결과에 미미한 영향만을 미칠 수준이라면 환경 결정의 원칙을 준수하거나 아니면  $G_F$  환경으로 결정해도 큰 문제는 없다. 그러나 <표 2>에서 제시된 바와 같이, 양 환경간 적용해야 할  $\pi_E$  인자값들이 적게는 1.5배, 많게는 8배까지 차이가 나고 있다. 따라서  $G_M$  환경으로 결정된 무기 시스템이라도 고정 운용의 비율이 상대적으로 큰 시스템의 경우  $G_M$ 과  $G_F$ 간 환경 결정 논쟁이 발생할 수 있으며 이는 고정 운용의 비율이 상승할수록 더욱 심각해질 수 있다.

고정 운용의 비율이 상대적으로 큰 시스템이  $G_M$  환경으로 결정되더라도 온도, 진동 등 무기 시스템의 운용 환경 프로파일에 의한  $\pi_E$  인자 보정 방법이 강구된다면 이러한 문제는 해결될 수 있다. 그러나 현재까지 217F 기준 지상 환경 결정 방법과 병행할 수 있는 환경 보정 방법은 존재하지 않고 있다. 심지어 217F 기준  $G_M$  환경으로 결정된 무기 시스템을 기동 위주로 운용할 경우와 고정 위주로 운용할 경우, 양 상황에서의 고장 발생 빈도의 차이에 관한 연구 결과는 찾아보기 힘들다.

일반적으로는 지상 기동 무기 시스템을 고정 위주로 운용할 경우, 당연히 고장 발생 빈도가 기동 위주로 운용할 경우보다 감소한다고 유추할 수 있다. 왜냐하면 System Reliability Toolkit만 고려하여도  $G_F$  환경에서는  $G_M$  환경 대비 40% 수준으로 고장률이 감소하기 때문이다. 그러나 이러한 개략적인 결과는 양 환경간 고장 발생 빈도의 경향을 나타낼 뿐,  $G_M$  환경에서 고정 운용 정도의 문제에 대한 또는 해결책이 될 수 없다.

### 3. 데이터 산출 방법

#### 3.1. 적용 모델

본 연구는 고정 운용의 정도가 고장 발생 빈도에 미치는 영향의 분석을 시도한다. 일반적으로 분석에 필요한 데이터는 실제 필드에서 수집하거나 시뮬레이션 하여 수집할 수 있다. 그러나  $G_M$  환경으로 결정된 특정 무기 시스템을 선정하여 필드에서 각 장비별 고정 운용 정도와 고장률을 수집하기 위해서는 상당한 시간과 노력이 필요하다. 또한 완전 고정 운용과 같은 극단적인 상황의 데이터 수집은 현실적으로 불가능하다. 그러므로 본 연구에서는 217Plus 모델을 적용하여 시뮬레이션 하였다. 217Plus는 진동과 외부 기온을 기준으로 환경 인자를 결정할 수 있도록 모델링 되어있다. 특히 진동은 RMS 값을 적용하게 되어 있어 무기 시스템의 고정 운용 시간의 영향을 환경 인자에 적절히 반영할 수 있게 모델링 되어 있다. 더욱이 무기 시스템의 신뢰도 예측 모델 가운데 가장 최신 모델이다. 따라서 217Plus 모델은 필드 데이터의 분석 없이 수행되는 본 연구의 제한을 극복하고 타당성 있는 결과를 도출하는 역할을 수행할 수 있다고 판단된다.

#### 3.2. 217Plus 모델의 구조

217Plus 모델에서 환경 factor  $\Pi_E$ 는 부품 단위가 아닌 시스템 단위 고장률 예측 모델 내에서 다음의 식(1)과 같은 관계로 고려된다.

$$\lambda_S = \lambda_{IA} [\Pi_P \Pi_{IM} \Pi_E + \Pi_D \Pi_G + \Pi_M \Pi_{IM} \Pi_E \Pi_G + \Pi_S \Pi_G + \Pi_I + \Pi_N + \Pi_W] + \lambda_{SW} \quad (1)$$

식(1)에서  $\lambda_S$ 는 시스템의 고장률,  $\lambda_{SW}$ 는 소프트웨어의 고장률이다.  $\Pi_P$ ,  $\Pi_D$ ,  $\Pi_M$ ,  $\Pi_S$ ,  $\Pi_I$ ,  $\Pi_N$ ,  $\Pi_W$ ,  $\Pi_{IM}$ ,  $\Pi_G$ 는 각각 부품 공정, 설계 공정, 생산 공정, 체계관리 공정, 유발 공정, 비결함 공정, 마모공정, 초기 폐기율, 신뢰도 성장 Factor이다.  $\lambda_{IA}$ 는 217Plus 부품 고장률 모델에 의한 초기 개별 부품 고장률의 총합으로 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$\lambda_{IA} = \lambda_{P1} + \lambda_{P2} \cdot \cdot \cdot + \lambda_{Pn} = \sum_{i=1}^n \lambda_{Pi} \quad (2)$$

식(2)에서 제시된 개별 부품 고장률  $\lambda_{Pi}$ 에는 임무주기, 운용 온도, Cycling rate 등 부품의 운용과 관련된 요소가 고려되어 있다. 따라서 각종 공정, 초기 폐기율, 신뢰도 성장, 환경 Factor가 모두 고려된 개별 부품의 고장률인  $\lambda_i$ 는 다음의 식(3)과 같이 표현된다.

$$\lambda_i = \lambda_{Pi} [\Pi_P \Pi_{IM} \Pi_E + \Pi_D \Pi_G + \Pi_M \Pi_{IM} \Pi_E \Pi_G + \Pi_S \Pi_G + \Pi_I + \Pi_N + \Pi_W] \quad (3)$$

각 개별 부품의 고장률에는 소프트웨어에 의한 고장률은 포함될 수 없으므로 식(3)에서 소프트웨어 고장률은 제외하였다. 식(2), (3)에 포함된 환경 Factor  $\Pi_E$ 는 다음의 식(4)로부터 산출된다.

$$\Pi_E = \frac{0.855(0.8(1 - e^{(-0.065(\Delta T + 0.6)^{0.6})}) + 0.2(1 - e^{(-0.046G^{1.71})}))}{0.205} \quad (4)$$

식(4)에서  $\Delta T$ 는 시스템 운용간 대기온도( $T_{AO}$ )와 시스템 비운용간 대기온도( $T_{AE}$ )의 차( $T_{AO} - T_{AE}$ )이며  $G$ 는 시스템 운용간 발생하는 진동의 강도로  $G_{RMS}$  단위로 표시된다.  $\lambda_{Pi}$ ,  $\Pi_P$ ,  $\Pi_D$ ,  $\Pi_M$ ,  $\Pi_S$ ,  $\Pi_I$ ,  $\Pi_N$ ,  $\Pi_W$ ,  $\Pi_{IM}$ ,  $\Pi_G$ 의 구체적 산출식은 217Plus 모델을 참고한다.

### 3.3. 데이터 산출 방법

본 연구에서는 다음과 같은 가정과 방법을 적용하여  $G_M$  환경하 지상 무기 시스템의 고정 운용 정도에 의한 고장 발생 빈도 데이터를 산출하였다.

첫째, 기동 또는 고정 운용간 부품의 임무주기, 운용 온도, Cycling rate, 전기적 스트레스 등에는 변화가 없는 것으로 가정하였다.

둘째, 지상 무기 시스템의 기동 정도를 표현하기 위하여 다음과 같이 기동률을 정의하였다.

$$\text{기동률} = \frac{\text{기동시간}}{\text{무기 시스템 총 운용시간}} \quad (5)$$

기동률은 총 운용 시간중 기동으로 운영하는 시간의 비율 개념으로 사용하였다. 그러므로 본 연구에서 기동률  $x\%$ 라는 의미는 총 운용 시간중  $x\%$ 는 기동운용하고  $(100-x)\%$ 는 고정 운용 하였음을 의미한다.

셋째,  $\Pi_E$  산출식에 포함된  $G$ 값은 217Plus에서 제시하는  $G_M$  환경의  $G$  기본값( $G_{GM}$ )을 활용하되 기동률을 고려하여 산출하였다.  $G_{100}$ 이 기동률 100%시의  $G$ 값이라면  $G_0$ 은 기동률 0%시의  $G$ 값으로, 기동률  $x\%$  운용시의  $G$ 값인  $G_x$ 는 RMS를 고려하여 다음과 같이 산출하였다. 결과는 식(4)의  $G$ 에 적용하였다.

$$G_x = \sqrt{G_{GM}^2 \frac{x}{100}} \quad (6)$$

넷째,  $\Pi_P$ ,  $\Pi_D$ ,  $\Pi_M$ ,  $\Pi_S$ ,  $\Pi_I$ ,  $\Pi_N$ ,  $\Pi_W$ ,  $\Pi_{IM}$ ,  $\Pi_G$  값은 기본적으로 217Plus에서 제시하는 기본값을 적용하였다.

다섯째, 전술한 방법을 적용하여 지상 무기 시스템의 기동률별로  $G_M$  환경하 고장 발생 빈도를

산출하였다. 그리고 이를 기동률 100%시 발생하는 고장 발생 빈도로 나누어 기동률 100%시의 고장 발생 빈도를 기준으로 고장 발생 빈도비를 산출하였다.

여섯째,  $G_M$  환경하 기동률 0%시의 결과와 비교하기 위하여  $G_F$  환경하 고장 발생 빈도비를 산출하였다.

### 3.4. 적용 기본값

<표 4>는 본 연구에서 적용한 각  $\Pi$  인자 및 운용 조건값이다. 217Plus에서 제시한 값을 기본으로 하였다. 각 공정  $\Pi$  인자값은 217Plus에서 제시하는  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $R$ 값으로 산출하였다.  $\Pi_{IM}$ ,  $\Pi_G$  값은 217Plus에서 기본값을 미제시하고 있으므로 양 인자에 의한 영향을 최소화하기 위하여 1로 가정하였다.  $T_{AO}$ ,  $T_{AE}$ ,  $G$  값은 217Plus에서 제시하는 미군 Ground Mobile과 Stationary 장비의 기본값을 적용하였다.

<표 4> 데이터 산출 적용 기본값

구 분		적 용 값	비 고
$\Pi_D$	설계 공정 Factor	0.23382773523	217Plus에서 제시하는 기본값을 적용하여 산출
$\Pi_M$	생산 공정 Factor	0.42148856636	
$\Pi_P$	부품 공정 Factor	0.37164027601	
$\Pi_S$	체계관리 공정 Factor	0.39200791239	
$\Pi_N$	비결함 공정 Factor	0.35061506266	
$\Pi_I$	유발 공정 Factor	0.27548869361	
$\Pi_W$	마모 공정 Factor	0.21034003816	
$\Pi_{IM}$	초기 폐기율 Factor	1	양 Factor의 영향을 최소화하기 위하여 임의 적용
$\Pi_G$	신뢰도 성장 Factor	1	
$T_{AO}$	시스템 운용간 대기온도	55 / 35 [°C]	217Plus에서 제시하는 Ground Mobile / Stationary 장비의 기본값
$T_{AE}$	시스템 비운용간 대기온도	14 / 19 [°C]	
$G$	시스템 운용간 진동 강도	10 / 0 [ $G_{RMS}$ ]	



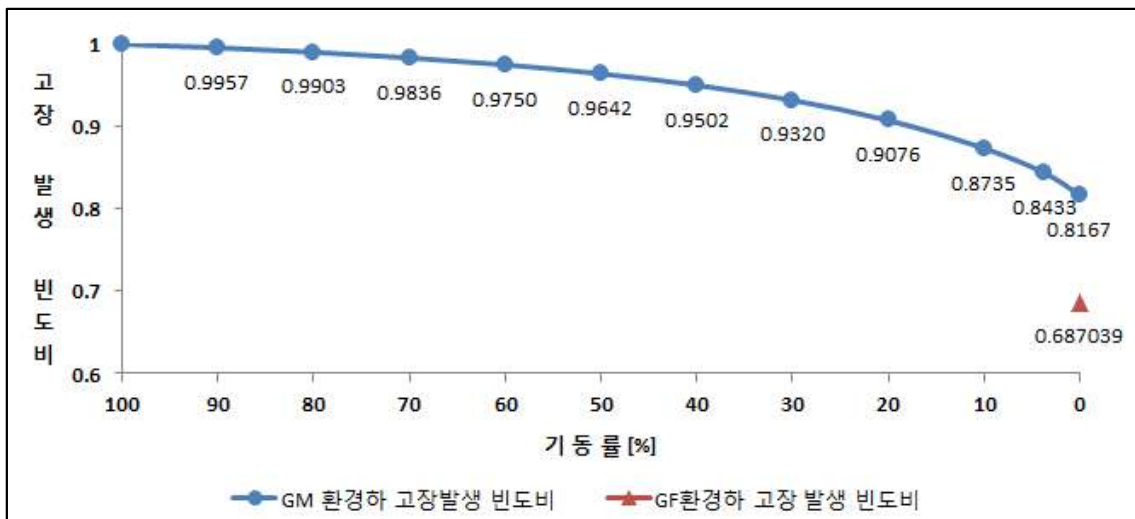
## 4. 분석결과

### 4.1. 고장 발생 빈도비 분석

<그림 1>은 <표 4>에 제시된 값을 적용하여 산출한 결과이다.  $G_M$  환경하 기동률별 고장 발생 빈도비와  $G_F$  환경하 고장 발생 빈도비가 산출되어 있다.

#### 4.1.1. $G_M$ 환경하 기동률별 고장 발생 빈도비

<그림 1>에서 확인되는 바와 같이 지상 무기 시스템은  $G_M$  환경하 고정 운용 시간이 증가할 경우 고장 발생 빈도가 감소할 것이라는 최초의 유추는 타당하였다. 그러나 고장 발생 빈도의 감소 정도는 비교적 완만하였다. 지상 무기 시스템은  $G_M$  환경하에서 기동률이 20%만 되어도 기동률 100% 운용시 발생하는 고장 빈도의 90% 이상 수준에서 고장이 발생하는 것으로 확인되었다. 즉,  $G_M$  환경하 지상 무기 시스템은 기동률 수준이 20% 이하로 감소하지 않는 이상, 고장 발생 빈도가 감소하기는 하나 지대한 영향은 없다는 것을 의미한다. 기동률 0% 운용시의 고장 발생 빈도비는 0.816679로, 기동률 100% 운용시의 고장 빈도 대비 약 18.3% 감소하는 것으로 확인되었다.



<그림 1> 기동률별 고장 발생 빈도비

#### 4.1.2. $G_F$ 환경하 고장 발생 빈도와 비교

$G_F$  환경하 고장 발생 빈도비 0.687039 역시  $G_M$  환경하 기동률 100% 운용시의 고장 빈도를 기준으로 산출되었다. <그림 1>에서 제시된 바와 같이  $G_M$  환경하 무기 시스템의 기동률이

감소하면 고장 발생 빈도는 점차  $G_F$  환경하 고장 발생 빈도에 근접하게 된다. 기동률이 3.7% 이하가 되면 오히려 고장 발생 빈도비가  $G_M$  환경에서의 결과 보다  $G_F$  환경하의 고장 빈도비에 근접하게 된다. 그리고 기동률이 0%까지 감소하였을 경우, 양 환경간의 고장 발생 빈도비는 불과 13% 차이로 줄어든다.

그러나 기동률이 0%까지 감소하여도 여전히  $G_M$  환경하 고장 발생 빈도는  $G_F$  환경에서의 고장 발생 빈도를 상회한다. 기동률 0% 즉, 진동에 의한 영향이 전혀 없는 환경이라 하더라도 상대적으로 외부 기온 변화로부터 보호 정도가 미흡한  $G_M$  환경에서 고장 발생 빈도가 높은 것은 당연한 결과이다.

## 4.2. 기동률별 고장 발생 빈도비의 적용성 분석

### 4.2.1. 제한 사항

$G_F$  환경하 고장 발생 빈도비 0.687039의 역수는 1.46으로써  $G_F$  환경 기준  $G_M$  환경에서의 고장 발생 빈도비에 해당한다. 217F에서 제시하고 있는 각 부품별  $G_M$  환경의  $\pi_E$  값이  $G_F$  환경  $\pi_E$  기준 1.5 ~ 8배인 점을 고려하면 비교적 낮은 수치이다. 또한 무기 시스템 단위로 필드에서 수집된 MTBF 데이터를 분석하여 도출된  $G_M$ 과  $G_F$  환경간  $\pi_E$ 의 비율인 2.5와 비교하여도 작은 값이다.

217F 및 필드 데이터 분석 결과와 비교하여 본 연구에서 산출한  $G_M$  환경과  $G_F$  환경간의 고장 발생 빈도 차이가 상대적으로 감소한 이유는 217Plus의 고장률 모델링 방식에 있다. 식(3)에서 제시된 바와 같이 217Plus 모델은 설계, 생산 등 다수의 공정이 고장에 미치는 영향을 환경에 의한 영향과 결합하여 복합적으로 고장률 예측 모델을 구성한다. 그러므로 다수의 공정들이 고려되지 않는 217F 및 필드 데이터에 비하여 상대적으로 환경에 의한 영향이 다소 감소할 수밖에 없는 모델 구조라고 할 수 있다.

이와 같은 고장률 예측 모델 구조간의 차이점 때문에 본 연구에서 217Plus 모델을 적용하여 산출한 기동률별 고장발생 빈도비를 217F 모델에 직접적으로 결합하여  $\pi_E$  인자 보정 방법 등으로 사용하기에는 제한이 따르는 것으로 판단된다.

### 4.2.2. 일반화

본 연구에서 산출한  $G_M$  환경하 고장 발생 빈도비를 직접적으로 217F 모델에 적용하는 것은 제한되지만 다음 2가지의 중요한 경향성은 신뢰도 예측간 충분히 활용될 가치가 있다. 첫째,  $G_M$  환경하 기동률이 감소하면 고장 발생 빈도 역시 감소하기는 하지만 그 감소 정도가 상대적으로 크지 않다. 둘째, 기동률 0%로 완전 고정운용을 하더라도  $G_F$  환경하 운용되는 무기 시스템의 고장 발생 빈도를 상회한다.

이러한 경향성은 차륜 또는 궤도 차량에 탑재되어 운용되는 무기 시스템이 특수한 경우를 제외하고는 현실적으로 기동률 0%로 운용될 가능성이 희박하다는 점을 고려할 때 다음과 같이 일반화될 수 있다. 첫째,  $G_M$  환경으로 결정된 무기 시스템에서는 특수한 경우를 제외

하고는 기동률이 매우 중요한 고려요소는 아니다. 둘째, 기동률 0%라는 매우 특수한 경우라 하더라도 기동 가능성을 배제할 수 없다면  $G_M$  환경의 적용은 필요하다. 이들 일반화는 217F 기반 신뢰도 예측간에는 정량화된 결과를 제공하기는 곤란하지만 예측 기준으로는 충분히 고려될 수 있다. 그리고 고정 운용의 비율 때문에 발생할 수 있는  $G_M$ 과  $G_F$ 간의 환경 결정 논쟁에 중요한 해결책으로 고려될 수 있을 것이다.

그럼에도 불구하고 일부 지상 무기 시스템에서 기동률이 문제시되어  $G_M$ 과  $G_F$ 간의 환경 결정 논란이 이어질 경우, 217Plus 모델은 217F를 대신하여 이러한 논란을 종식시킬 매우 효과적인 대안으로 활용될 수 있다고 판단된다.

## 5. 결 론

본 연구는 217F를 기반으로 지상 무기 시스템의 신뢰도 예측시, 기동률과 관련하여  $G_M$  환경 설정 기준의 문제로부터 출발하였다. 문제의 해결을 위하여 217Plus 모델을 활용하여  $G_M$  환경하 지상 무기 시스템의 기동률별 고장 발생 빈도비를 산출하고 이를 분석하였다.

217Plus의 모델 구조가 217F와 상이하므로 본 연구에서 제시한 산출 결과를 217F 모델에 직접적으로 결합하여 활용하는 것은 제한되었다. 그러나 고장 발생 빈도비 산출간 확인된 경향성으로부터 다음과 같이 일반화할 수 있었다.  $G_M$  환경으로 결정된 무기 시스템에서는 특수한 경우를 제외하고는 기동률이 매우 중요한 고려요소는 아니며 기동률 0%라는 특수한 경우라 하더라도 기동 가능성을 배제할 수 없다면  $G_M$  환경의 적용은 필요하다.

이러한 일반화는 217F 기반 신뢰도 예측간에는 정량화가 곤란하지만 217Plus 모델에서는 정교하게 정량화 될 수 있다. 그러므로 향후 기동률이 문제시 될 수 있는 일부 지상 무기 시스템의 경우, 217F 모델보다는 217Plus 모델이 신뢰도 예측에 더욱 효과적으로 적용될 것이라 판단된다.

## 참고문헌

- [1] Department of Defense (1991), MIL-HDBK-217F, Reliability Prediction of Electronic Equipment
- [2] William Denson, Greg Chandler, William Crowell, Amy Clark, and Paul Jaworski (1994), NPRD-95, Non-Electronic Parts Reliability Data - 1995, Reliability Analysis Center
- [3] William Denson, William Crowell, Paul Jaworski, David Mahar (1996), Electronic Parts Reliability Data - 1997, Reliability Analysis Center
- [4] Reliability Information Analysis Center (2006), RIAC-HDBK-217Plus, Reliability Prediction Models
- [5] Telcordia Technologies (2001), Telcordia Technologies Special Report SR-332, Reliability Prediction Procedure for Electronic Equipment
- [6] Reliability Information Analysis Center (2005), System Reliability Toolkit