

## MIL-HDBK-217F의 환경인자 분석을 통한 환경변환계수 추정

정다운·윤희성·이은학·권동수·이승헌

육군 종합정비창 정비기술연구소

### Method of Estimating Environment Conversion Factor Analyzing Environment Factors of MIL-HDBK-217F

DaUn Jeong·Huisung Yun·Eunhak Lee·Dong-soo Kwon·Seunghun Lee

Maintenance Technology Research Center, Consolidated Maintenance Depot, ROK Army

#### Abstract

Environment Conversion Factors, which are stipulated in System Reliability Toolkit, have a lot of advantages once applied in a reliability data handbook such as NPRD-95, during the process of reliability prediction. However, the factors have a restriction in their applications because they don't deal with a few environments, e.g., Missile Launch (ML). In this study, environment factors of various components from MIL-HDBK-217F were analyzed to address this problem. Statistical computations showed that converting from Airborne Rotary Wing (ARW) to Missile Launch (ML) was the most coherent by comparing coefficient of determination. In addition, conversion factors from System Reliability Toolkit and those from the statistical calculations were evaluated in terms of their similarities.

Keywords : Reliability prediction, Environment conversion factor, NPRD-95, MIL-HDBK-217F

## 1. 서론

제 2차 세계대전 중 진공관의 고장원인 분석으로부터 대두된 신뢰도 문제는 지난 60년간 많은 발전을 이루어 왔다. 단일 부품 단위의 신뢰도 연구 결과를 바탕으로 1962년에는 MIL-HDBK-217의 초판이 발간되었으며, 이후 연구범위가 확장되어 1990년대에는 단일 부품뿐만 아니라 체계 단위의 신뢰도 연구가 진행되었다 Knight(1991), Morris(1990), Denson(1998). 21세기가 되면서 군사 분야뿐만 아니라 산업 및 학술 분야에서도 신뢰도 연구가 진행되고 있으며, 그 중요성이 높아지고 있다 Coppoly(1984), Ebeling(2010), Jones and Hayes(1999).

신뢰도 예측은 신뢰성 공학의 주요한 분야로 활용되었으며 신뢰성 공학과 함께 발전되어 왔다 Denson(1998). 이러한 신뢰도 예측은 상이한 설계 비교 / 평가, 주요 고장 메커니즘의 이해, 새로 개발되는 품목 기술의 평가, 예비품의 유형 / 수량의 평가 등의 이점을 가지고 있다. 신뢰도 예측에 활용되는 도구는 여러 가지가 있으며 대표적인 방법은 다음과 같다 Department of Defense(1991).

- ① 동일 장비에 대한 과거의 시험 혹은 현장 자료
- ② 공학적 분석, 고장 유형 모델, 가속 수명 시험 결과
- ③ 신뢰도 수준을 알고 있는 비교가능 장비 / 기술의 전문적 분석 결과
- ④ 핸드북

동일 장비에 대한 과거의 시험 혹은 현장 자료를 통해 가장 정확한 예측이 가능하지만, 신규 개발 장비의 경우 그 적용에 제한이 많다. 반면, 핸드북은 예측 수준이 낮은 데 비해 활용이 용이한 이점을 가지고 있어 신규장비 개발간 실무에서 많이 활용되고 있다. 그 중, 기계 품목의 경우 모델을 사용하는 데 있어서 많은 제한이 있어 주로 NPRD-95 (Non-electronic parts Reliability Data)를 많이 사용하고 있다.

NPRD-95는 70년대 초반부터 94년까지 미군 무기체계 운용간 발생한 고장 데이터를 수집한 데이터 핸드북으로 방대한 양의 고장률을 수록하고 있으나 Denson et al.(1994), 일부 특수한 운용환경의 경우 수집된 고장률의 수량적 한계 때문에 적용상에 제한이 있다. RiAC(Reliability Information Analysis Center)에서 발간한 System Reliability Toolkit의 환경변환계수를 활용하고 있지만, 환경변환계수도 모든 운용환경의 변환을 다루지는 않아 일부 환경에서의 고장률 산출은 제한되고 있다. 본 연구에서는 이러한 환경변환상의 제한을 해소하기 위하여 MIL-HDBK-217F 수록된 각 환경인자 간의 연관성을 분석하고 이를 토대로 System Reliability Toolkit에서 제공하지 않는 환경 변환 계수를 도출하는데 초점을 두었다.

## 2. 환경인자 분석

### 2.1 운용환경(Use Environment)

신뢰도 예측 핸드북인 MIL-HDBK-217F는 운용환경을 다음 <표 1>과 같이 정의한다. MIL-HDBK-217F의 사용자는 신뢰도 예측시 위의 정의에 따라 해당 장비에 가장 적합한 운용환경을 선택하며, 운용환경이 고장률에 미치는 영향은 환경인자로 고장률 모델에 반영된다.

<표 1> 환경을 나타내는 기호 및 설명 Department of Defense(2005)

환경	기호	설명
Ground, Benign	G <sub>B</sub>	실험실과 같이 고정된 장소에서 항온, 항습이 되는 환경
Ground, Fixed	G <sub>F</sub>	고정된 장소에서 적절한 온도가 유지되는 환경
Ground, Mobile	G <sub>M</sub>	차륜 또는 궤도 차량에 설치되는 환경
Naval, Sheltered	N <sub>S</sub>	수상정의 갑판아래나 잠수함에 설치되는 환경
Naval, Unsheltered	N <sub>U</sub>	선정 밖으로 노출되어 있는 환경
Airborne, Inhabited, Cargo	A <sub>IC</sub>	항공기의 승무원이 탑승하는 화물기의 환경
Airborne, Inhabited, Fighter	A <sub>IF</sub>	A <sub>IC</sub> 환경과 유사하지만, 고성능 전투기의 환경
Airborne, Uninhabited, Cargo	A <sub>UC</sub>	화물기에서 승무원이 탑승할 수 없는 장소의 환경
Airborne, Uninhabited, Fighter	A <sub>UF</sub>	A <sub>UC</sub> 환경과 유사하지만, 고성능 전투기의 환경
Airborne, Rotary Winged	A <sub>RW</sub>	헬기 내외부에 장착되는 장비의 환경
Space, Flight	S <sub>F</sub>	인공위성과 같이 지구 궤도에 있는 장비의 환경
Missile, Flight	M <sub>F</sub>	미사일이 비행하는 환경
Missile, Launch	M <sub>L</sub>	미사일의 발사 또는 우주선의 발사 / 대기권 진입에 관련된 환경
Cannon, Launch	C <sub>L</sub>	155 mm 포탄 등의 발사부터 목표물 타격까지 발사체에 관련된 가혹한 환경

### 2.2 환경변환계수(Environment Conversion Factor)

RiAC에서 발간한 System Reliability Toolkit에서는 다양한 조건변화에 대한 신뢰도 값의 변화를 추측할 수 있도록 조정 계수를 제공한다. 그 중 하나가 환경변환계수이다. <표 2>는

원래 MTBF에 곱하여 사용하도록 제공된 System Reliability Toolkit의 환경변환계수 표를 고장률에 곱하여 사용할 수 있도록 변형시킨 표이다.

환경변환계수는 <표 1>에서 제시하는 환경을 기준으로 18,000여개 부품의 고장데이터를 분석하여 도출된 조정계수이다. 이를 사용할 때의 장점은 간편하게 환경조건의 변화에 따른 신뢰도 값의 변화를 살펴볼 수 있다는 점이다. 특히, NPRD-95와 같은 고장률 데이터를 사용할 때 유효하다. NPRD-95는 장비 운용 기록과 정비 기록을 바탕으로 작성된 고장률 데이터로 GB, GF, GM 환경에서의 데이터가 주를 이루고 있으며, 그 외 환경에서의 고장 데이터는 그 수량이 매우 적다. 예를 들어, ML 환경은 전체 13188개의 데이터 중 단 24개에 불과하다. 그렇기 때문에 분석이 요구되는 품목이 운용되는 환경에서 수집된 고장률 데이터 부재시 System Reliability Toolkit의 환경변환계수 활용은 매우 효과적이다.

<표 2> 환경변환계수 (고장률에 곱하여 사용) Morris(1990)

		~ 환경으로										
		G <sub>B</sub>	G <sub>F</sub>	G <sub>M</sub>	N <sub>S</sub>	N <sub>U</sub>	A <sub>IC</sub>	A <sub>IF</sub>	A <sub>UC</sub>	A <sub>UF</sub>	A <sub>RW</sub>	S <sub>F</sub>
환 경 제 시	G <sub>B</sub>	x	1.9	4.6	3.3	7.2	3.3	5.0	8.2	14.1	10.2	0.9
	G <sub>F</sub>	0.5	x	2.5	1.8	3.9	1.8	2.7	4.4	7.6	5.5	0.5
	G <sub>M</sub>	0.2	0.4	x	0.7	1.6	0.7	1.1	1.8	3.1	2.2	0.2
	N <sub>S</sub>	0.3	0.6	1.4	x	2.2	1.0	1.5	2.5	4.4	3.2	0.3
	N <sub>U</sub>	0.1	0.3	0.7	0.5	x	0.5	0.7	1.2	2.0	1.4	0.1
	A <sub>IC</sub>	0.3	0.6	1.4	1.0	2.2	x	1.5	2.5	4.2	3.1	0.3
	A <sub>IF</sub>	0.2	0.4	0.9	0.7	1.4	0.7	x	1.6	2.8	2.1	0.2
	A <sub>UC</sub>	0.1	0.2	0.6	0.4	0.9	0.4	0.6	x	1.7	1.3	0.1
	A <sub>UF</sub>	0.1	0.1	0.3	0.2	0.5	0.2	0.4	0.6	x	0.7	0.1
	A <sub>RW</sub>	0.1	0.2	0.5	0.3	0.7	0.3	0.5	0.8	1.4	x	0.1
	S <sub>F</sub>	1.2	2.2	5.4	3.8	8.3	3.9	5.8	9.5	16.4	11.9	x

하지만 <표 2>에서 확인할 수 있듯이 System Reliability Toolkit이 신뢰도 예측 핸드북에서 다루는 모든 환경의 변환을 다루고 있지는 않다. 예를 들어, MF, ML, CL 같은 운용환경은 NPRD-95에 수록된 데이터가 원천적으로 부족할 뿐만 아니라 System Reliability Toolkit에 명시된 환경 변환계수까지 없어 해당 환경에서 운용되는 품목의 고장률 예측에는 상당한 제약이 따르고 있다.

### 2.3 환경인자(Environment Factor, $\pi_E$ )

MIL-HDBK-217F의 고장률 산출 방법 중 부하 분석법은 다음과 같은 식으로 일반화된다.

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_T \pi_A \pi_R \pi_S \pi_C \quad (1)$$

이때,  $\lambda_p$ 는 개별 부품의 고장률,  $\lambda_b$ 는 부품의 기본 고장률,  $\pi_E$ 는 환경인자이다.

개별 부품의 고장률  $\lambda_p$ 는 기본 고장률  $\lambda_b$ 에  $\pi$ 인자들을 곱하여 산출한다. 분석 대상 품목의 종류에 따라 여러  $\pi$ 인자를 조합하여 사용하는데, 이 중 환경인자  $\pi_E$ 는 모든 품목의 고장률 모델에 포함된다 Department of Defense(2005). 환경인자는 MIL-HDBK-217F에서 다루는 모든 환경에 대해 각 환경이 고장률에 미치는 영향을 정량화한 값이므로, MIL-HDBK-217F에 수록된 모든 품목의 환경인자를 분석시, 환경에 의한 부하가 고장률에 미치는 영향의 상대적인 크기를 알 수 있다.

아래의 <표 3>은 MIL-HDBK-217F의 환경인자의 예로서, 저항, 집적회로, 저주파 다이오드, 커패시터의 고장률 모델에 적용되는 환경인자이다. 각 부품의 좌측 열에는 환경조건을 표시하였으며, 우측 열에는 환경인자 값을 표시하였다. MIL-HDBK-217F의 사용자는 분석하고자 하는 환경에 맞는 환경인자 값을 선택함으로써 환경이 품목 고장에 미치는 영향을 고장률에 반영할 수 있다.

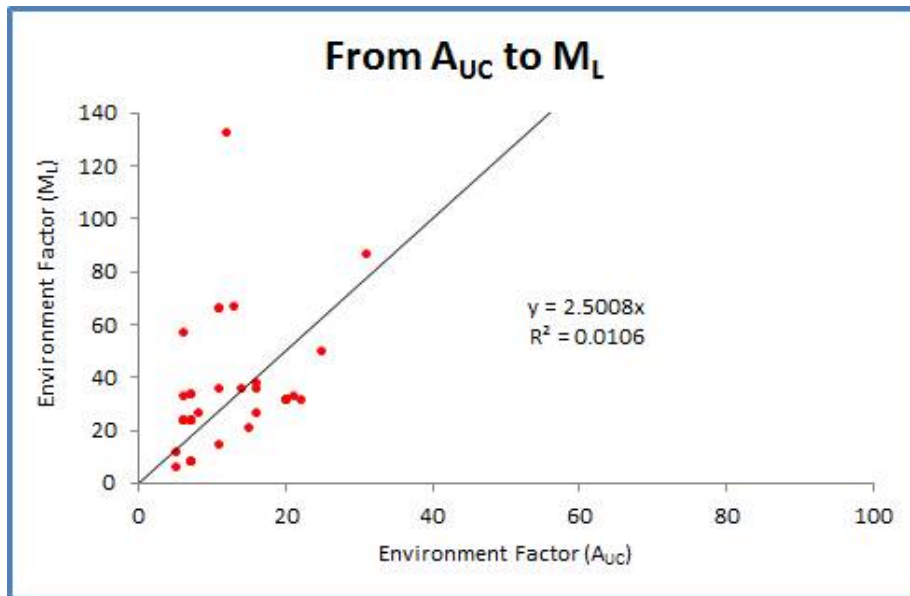
<표 3> 환경인자- $\pi_E$

환경	저항	집적회로	저주파 다이오드	커패시터
환경	$\pi_E$	$\pi_E$	$\pi_E$	$\pi_E$
G <sub>B</sub>	1.0	0.50	1.0	1.0
G <sub>F</sub>	4.0	2.0	6.0	10
G <sub>M</sub>	16	4.0	9.0	20
N <sub>S</sub>	12	4.0	9.0	7.0
N <sub>U</sub>	42	6.0	19	15
A <sub>IC</sub>	18	4.0	13	12
A <sub>IF</sub>	23	5.0	29	15
A <sub>UC</sub>	31	5.0	20	25
A <sub>UF</sub>	43	8.0	43	30
A <sub>RW</sub>	63	8.0	24	40
S <sub>F</sub>	.50	0.50	0.5	0.5
M <sub>F</sub>	37	5.0	14	20
M <sub>L</sub>	87	12	32	50
C <sub>L</sub>	1728	220	320	570

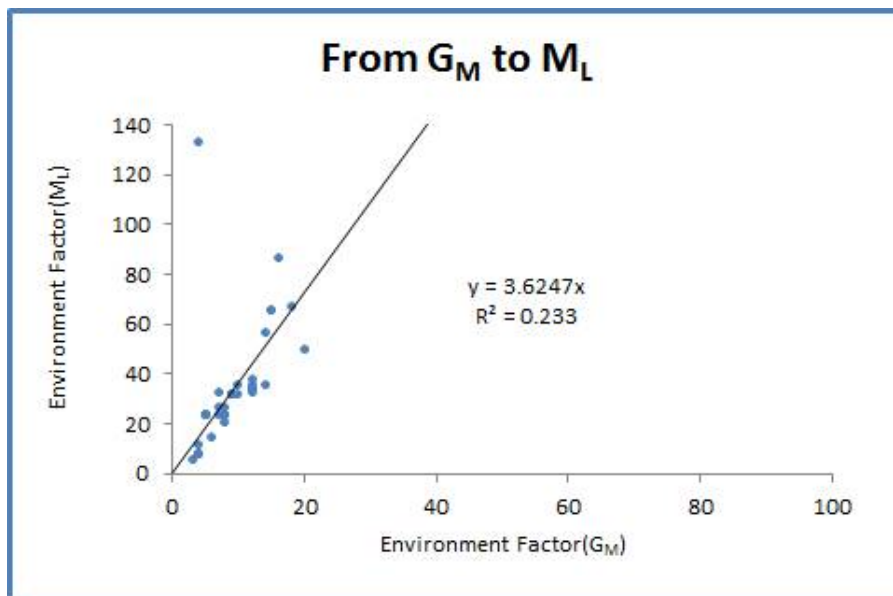
MIL-HDBK-217F에는 40 여종의 부품에 대한 환경인자가 수록되어 있다. 본 연구에서는 System Reliability Toolkit에서 제공하지 않는 일부 환경 간의 연관성을 분석하기 위하여 50여 년간 활용되어온 MIL-HDBK-217의 환경인자 데이터를 통계적으로 처리하였다.

### 3. 분석 결과

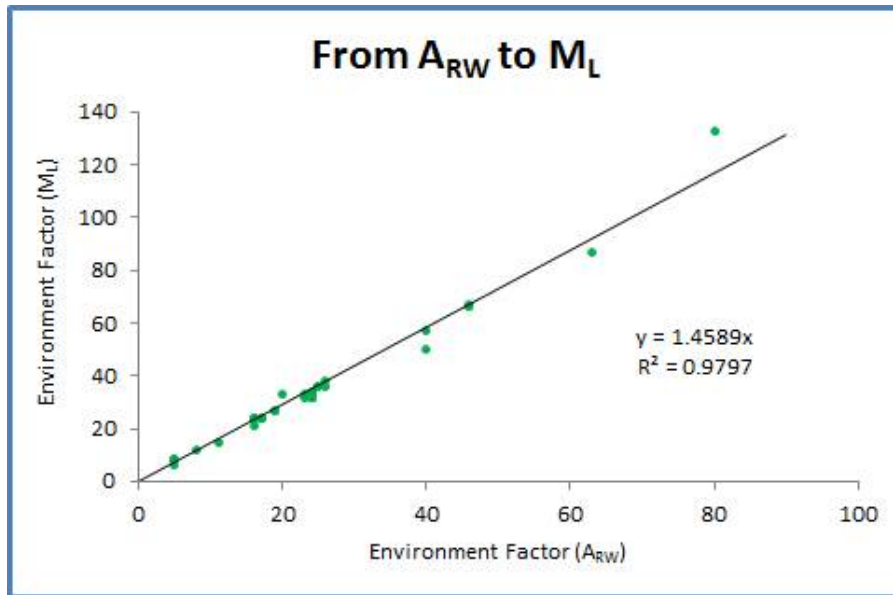
<그림 1>부터 <그림 3>은 MIL-HDBK-217F에서 제공하는 품목별 환경인자를 이용하여 GM, AUC, ARW 환경과 ML 환경 간의 연관성을 분석한 결과이다. System Reliability Toolkit에서 제공하는 환경변환계수와 동일한 형태의 계수 도출을 위하여 원점을 지나는 선형회귀분석을 사용하였다.



<그림 1> A<sub>UC</sub> 환경과 M<sub>L</sub> 환경 간의 분석결과



<그림 2> G<sub>M</sub> 환경과 M<sub>L</sub> 환경 간의 분석결과



<그림 3> A<sub>RW</sub> 환경과 M<sub>L</sub> 환경 간의 분석결과

<그림 1>의 AUC 환경과 ML 환경 간의 분석 결과는 <그림 3>의 ARW 환경과 ML 환경 간의 분석 결과와 달리 데이터가 넓은 영역에 분포되어 있어 데이터 분포의 추세 유사성이 상대적으로 낮은 것으로 판단된다. <그림 2>의 GM 환경과 ML 환경 간의 분석 결과와 <그림 3>의 ARW 환경과 ML 환경 간의 분석 결과의 비교에서도 유사한 결과를 확인할 수 있다. <표 4>는 GB부터 SF까지의 환경과 ML 환경 간의 분석 결과를 나타낸 표이다.

<표 4> M<sub>L</sub> 환경으로 변환시 분석결과

환 경	결정계수 (R <sup>2</sup> )	변환 비율 (분석결과)
G <sub>B</sub>	-	-
G <sub>F</sub>	-0.430	8.59
G <sub>M</sub>	0.233	3.62
N <sub>S</sub>	0.683	6.00
N <sub>U</sub>	0.909	2.24
A <sub>IC</sub>	0.146	4.37
A <sub>IF</sub>	-0.216	2.31
A <sub>UC</sub>	0.0106	2.50
A <sub>UF</sub>	-0.169	1.44
A <sub>RW</sub>	0.980	1.46
S <sub>F</sub>	-	-

<표 4>의 1열은 기준 환경, 2열은 결정계수(R2)로 값이 1에 가까울수록 데이터와 회기분석 결과의 일관성이 높다. 또한 3열은 분석을 통해 얻은 환경간 비율의 평균값을 나타낸다. 분석 결과 GB와 SF는 타 환경과 연관성을 찾기 어려웠다. 그 이유는 GB는 실험실과 같은 이상적인 환경, SF는 무중력 및 진공의 우주환경으로 환경인자가 1이나 그 이하의 제한된 값을 갖기 때문이다. 그 이외의 환경은 품목의 종류에 따라 다양한 값의 환경인자를 갖기 때문에 환경인자 값의 분포와 상관관계를 찾을 수 있었고, 그 중 ARW 환경으로부터 ML 환경으로의 변환이 결정계수 0.980, 평균 비율 1.46으로 선형 추세선에 대한 가장 일관성 있는 결과를 보였다. <표 5>는 본 연구의 타당성을 검토하기 위하여 MIL-HDBK-217F에서 제공하는 모든 환경 중 결정계수 분석을 통해 상호 연관성이 높은 환경들을 선별하고, 이들 간의 변환 비율을 System Reliability Toolkit의 기존 환경변환 계수와 비교한 결과이다.

<표 5> 환경인자 분석결과와 System Reliability Toolkit의 유사성 비교

~ 환경에서	~ 환경으로	결정계수 (R <sup>2</sup> )	변환 비율 (분석결과)	Toolkit 환경변환계수	Toolkit과 비교 ( $\frac{\text{변환비율}}{\text{환경변환계수}}$ )
N <sub>U</sub>	A <sub>RW</sub>	0.935	1.54	1.4	1.10
A <sub>IC</sub>	A <sub>IF</sub>	0.833	1.68	1.5	1.12
A <sub>UC</sub>	A <sub>UF</sub>	0.830	1.61	1.7	0.950

<표 5>의 가장 우측 열에는 분석을 통해 산출한 환경간 변환 비율의 값과 System Reliability toolkit의 환경변환계수 사이 비율을 표시하였다. <표 5>의 분석결과로 본 연구에서 접근한 환경 변환계수 추정 방법이 유용함을 판단할 수 있었다. System Reliability Toolkit에서 ARW 환경을 경유하여 위에서 구한 비율 1.4589를 활용하면 <표 6>와 같은 결과를 얻을 수 있다.

<표 6> M<sub>L</sub> 환경으로의 환경변환계수 (고장률에 곱하여 사용)

From	G <sub>B</sub>	G <sub>F</sub>	G <sub>M</sub>	A <sub>RW</sub>
To M <sub>L</sub>	14.9	8.03	3.21	1.46

## 4. 결 론

신뢰도 데이터 핸드북인 NPRD-95를 활용하여 신뢰도를 예측할 때, 원천 데이터가 부족하고 System Reliability Toolkit에 명시된 환경변환계수 또한 존재하지 않는 특수 환경에 대해서는 신뢰도 예측이 제한된다는 문제점이 있었다. 본 연구에서는 이러한 특수 환경에서의 신뢰도를 예측하기 위하여 MIL-HDBK-217F에서 제공하는 40여 종의 부품별 환경인자를 선형회귀분



석을 통해 각 환경별 연관성과 환경간 변환 비율을 분석하였다. ML 환경을 기준으로 분석한 결과 ARW 환경이 결정계수 0.980으로 가장 연관성이 높은 것으로 분석되었으며, 이때 환경간 변환 비율은 1.46으로 산출되었다. 본 연구의 타당성을 검토하기 위하여 기타 환경 간의 연관성을 분석한 결과 환경간 연관성이 높은 NU 환경과 ARW 환경, AIC 환경과 AIF 환경, AUC 환경과 AUF 환경 간의 변환 비율이 System Reliability Toolkit에서 제공하는 환경변환계수와 근사하다는 결과를 확인할 수 있었다. 이를 통해 본 연구에서 추진한 선형회귀분석을 통한 환경변환계수 추정은 타당하다고 판단되었다.

그러나 결정계수 분석을 통해 상호 연관성이 높은 환경간 변환 비율 추정 방법은 반대로 상호 연관성이 높지 않은 환경에서는 사용이 제한된다는 한계가 있다. 그럼에도 불구하고 기존에 사용되었던 System Reliability Toolkit에서 제공하는 환경변환계수와 본 연구에서 제시된 결과를 상호 보완적으로 활용한다면 환경변환 범위의 제한성을 극복할 수 있는 효과적인 방안이 될 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- [1] A. Coppoly (1984), Reliability Engineering of Electronic Equipment-A Historical -Perspective, IEEE Transactions on Reliability, Vol.33, NO. 1, 29-35
- [2] Charles E. Ebeling (2010), An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering Second Edition, Waveland Press, INC., Long Grove, Illinois
- [3] C. R. Knight (1991), Four decades of reliability progress, Annual Reliability and Maintainability Symposium, 1991 Proceedings, 156-160
- [4] Department of Defense (1991), MIL-HDBK-217F, Prediction of Electronic Equipment
- [5] Department of Defense (2005), DoD Guide For Achieving Reliability, Availability, And Maintainability "System Engineering for Mission Success"
- [6] Jeff Jones and Joseph Hayes (1999), A Comparison of Electronic-Reliability Prediction Models, IEEE Transactions on Reliability, Vol. 48, NO. 2, 127-134
- [7] Reliability Information Analysis Center (2005), System Reliability Toolkit
- [8] Seymour F. Morris (1990), Use and Application of MIL-HDBK-217, Journal of the IES, Vol. 33, 40-46
- [9] William Denson, Greg Chandler, William Crowell, Amy Clark, and Paul Jaworski (1994), NPRD-95, Non-Electronic Parts Reliability Data - 1995, Reliability Information Analysis Center
- [10] William Denson (1998), The History of Reliability Prediction, IEEE Transactions on reliability, VOL. 47, NO. 3, 321-328