

## Computer용 Monitor에 대한 신뢰성 예측·확인 방법의 응용

박종만

대우전자

정수일

인하대학교 산업공학과

김재주

서울대학교 계산통계학과

## A Study on Application of Reliability Prediction & Demonstration Methods for Computer Monitor

Jong-Man Park

Daewoo Electronics Co.

Soo-il Jung

Dept. of IE, Inha University

Jae Joo Kim

Dept. of Statistics, Seoul National University

### Abstract

The recent stream to reliability prediction is that it is totally inclusive in depth to consider even the operating and environmental condition at the level of finished goods as well as component themselves. In this study, firstly we present the reliability prediction methods by entire failure rate model which failure rate at the system level is added to the failure rate model at the component level. Secondly we build up the improved bases of reliability demonstration through application of Kaplan-Meier, Cumulative hazard, Johnson's methods as non-parametric and Maximum Likelihood Estimator under exponential & Weibull distribution as parametric. And also present the methods of curve fitting to piecewise failure rate under Weibull distribution, PRST (Probability Ratio Sequential Test), curve fitting to S-shaped reliability growth curve, computer programs of each methods. Lastly

we show the practical process for determination of optimal burn-in time as a method of reliability enhancement, and also verify the practical usefulness of the above study through the application of failure and test data during 1 year.

## 1. 서론

최근 CHALLENGER호의 비극[Leemis, 1995]과 같은 재앙적인 사례 이외에 일반 전자부품이나 완제품 등의 유효수명동안 발생하는 다양한 고장들 역시 제조자나 소비자 양쪽에 매우 민감한 사안이 되고 있어 부품수준 뿐만아니라 시스템수준까지 고려하는 신뢰도예측의 정확성향상과 신뢰도강화가 강력히 요구되고 있다. 그러나 기존의 전자시스템에 대한 신뢰도 예측방법[Bowles, 1992]은 현장적용시 일정 고장률에 의한 초기고장의 미고려, 시간경과에 따른 열화 고장을 미반영, 시스템자체의 고장률 미고려, 부품품질수준의 지속적인 향상, 고장률 예측 모형의 단순성, 적용 Parameter의 부정확 등으로 인한 불확실성을 안고 있다. 따라서 이러한 방법에 의한 신뢰도 예측치는 부품수준 뿐만아니라 완제품수준에서의 고장률도 고려하여 신뢰성 예측 · 확인의 불확실성을 최소화하는 방법으로 강구되어야 한다.

신뢰도를 강화하기 위한 방법으로는 설계와 제조과정을 개선하여 평균수명(Mean Time to Failure)을 성장시키는 방법과 Burn-in으로 초기고장을 제거 또는 감소시키는 방법이 있는데 이를 최적화 하고자 하는 많은 연구들이 있어왔다[11, 9, 5, 20]. 그러나 이러한 연구결과들은 실무 적용시 CFR(Constant Failure Rate) 진입시점 판정방법의 부재, Burn-in 전후의 상이한 고장률분포등으로 인해 연구의 기본가정과 상충되었다. 또한 신뢰도조건의 미충족시 비용이 충족시의 비용보다 크다면 비용이 들더라도 소비자(Buyer)가 요구하는 신뢰도조건을 충족시키려는 성격이 강하게 되어 비용최소화에 의한 최적화결정 보다는 신뢰도만의 목표치에 의한 결정을 선호하는 경향이 있어왔다. 따라서 신뢰도 조건화시 최적 Burn-in 시간에 따른 신뢰도조건의 충족여부를 실무적으로 편리하게 결정해가는 분석절차의 제시가 불확실성을 내포한 비용최적화모형의 제시보다는 실무적으로 선호될 수 있으리라 판단되어, 본 논문에서는 PC Color Monitor를 대상으로 첫째, 부품수준에서의 신뢰도 예측뿐만 아니라, 시스템수준에서의 신뢰도 예측이 가능하도록 MIL-HDBK-217의 부품고장률 방법에 시스템고장률을 추가한 시스템신뢰도 예측방법을 제시하고 동절차에 의한 신뢰도예측치를 실증분석하였다. 둘째, 예측된 신뢰도를 확인하기 위해 모수 및 비모수(Parametric & Non Parametric)적 방법하에서 누적 Hazard, Kaplan Meier, Johnson의 신뢰도예측, 분포의 구간별 적합(Piecewise Curve Fitting), 확률비에 의한 축차 시험(Sequential Test)등의 각 방법별로 Computer Program을 적용하여 신뢰도를 산출하고 예측치와 비교분석하였다. 셋째, 신뢰도의 성장여부를 판단하기위해 Computer Program을 적용 S자형 곡선의 적합결과를 비교분석하였다. 넷째, 개발 단계에서의 예측된 신뢰도로 시작하여

필드까지의 자료를 1년간 추적 수집하고 상기 방법을 적용하여 예측된 신뢰도가 제조 과정에서 실현되고 확인되는 과정, 필드의 결과치로서 나타나기까지의 과정을 분석, 제시함으로써 신뢰도예측과 강화의 실증적인 분석과 실무적인 유용성을 제공하고자 하였다. 분석제품구성은 기구부분(Housing), 회로부분(Chassis), 외장(Tilt & Swivel Base), 주변 부속품(Accessaries)으로 이루어져 있으며 총 구성 부품수는 644 Item이며 수동삽입이 63점, 자동삽입이 581점이다. 이중 회로관련 분석대상 부품수는 446개이다. 생산공정은 자동삽입으로부터 포장까지 4개의 수리공정을 제외하고 16개의 표준공정으로 이루어져 있으며 대별하면 자동삽입과정, 수동삽입과정, 완성조립과정으로 분할된다. Burn-in 전까지는 회로조립이 거의 완성된 상태이며 완성조립과정의 대부분은 검사공정으로 되어 있다.

## 2. 신뢰도 예측

MIL-HDBK-217에는 구성 부품수에 따른 고장률만의 합으로 계산하는 Part Count 방법과 구성 부품의 특성과 작동인자, 사용환경, 품질수준등을 고려하여 고장률을 계산하는 Part Stress 방법이 있다. 두 방법 모두 부품의 직렬 연계(SERIES)를 전제로 하고 있으며 전체고장률은 구성 부품고장률의 합으로 표현된다. 이는 단순히 구성부품에 대한 고장률의 합으로 표현되어 시스템수준의 고장률을 반영하지 못하고 있다. 그러나 시스템의 신뢰도는 부품수준의 고장뿐만 아니라 부품이 생산공정을 거쳐 완제품형태로 제조되고 소비자 사용환경에서 정상적으로 작동되는 수준까지의 고장률을 반영해야 한다. 이러한 고장률은 시스템수준에 있어서 신뢰도를 고려하는 정도에 따른 영향, 사용환경에 따른 영향, 품질에 의한 영향요소들을 감안하여 모형화 될 수 있다. 따라서 시스템수준에서의 전체고장률은 다음과 같은 형태로 표현될 수 있다.

$$\lambda_T = \lambda_P + \lambda_S$$

단,  $\lambda_T$  : 시스템수준에서의 전체고장률

$\lambda_P$  : 부품들의 고장률합

$\lambda_S$  : 시스템의 고장률

부품들의 고장률은 부품별 동작고장률 산출식과 기본고장률 산출식, 시스템의 고장률은 시스템의 고장률산출식과 시험강도(Test Stress)를 적용한 기본고장률 산출식으로부터 산출된다[박종만, 1997]. 시스템 고장률은 가속시험과 관련된 Eyring 모형 [Jensen, 1982]으로부터의 고장률을 응용하여 시스템수준의 기본고장률로 적용하였다. 이는 완제품 수준에서의 환경적 요소로서 온도 및 전기적인 요소, 진동요소등의 가속

요인을 시험조건화 함으로서 산출할 수 있었다[11, 16]. 본 연구에서는 IBM이 적용한 HUGHE AIRCRAFT사의 시험강도(Test Stress) 산출식[Daewoo, 1993]을 이용하여 가속요인 즉, 시험강도를 계산한 후, 이를 Eyring 모형에 적용하여 기본고장률을 산출하였다.

앞서의 시스템고장률은 본장에서는 특정제품을 지칭하므로 이하 완제품고장률로 칭한다. 시스템수준에서의 신뢰도예측치는 <표 2.1>과 같이 산출된다. 전체고장률에 의한 신뢰도 예측결과를 분석해 볼 때 실제 분석대상 Model의 설계단계에서 제시된 부품고장률과 MTTF는 완제품고장률의 미고려, 의지 목표로서 Connectors와 PCB(Printed Circuit Board) 수치의 과대반영, Monitor 완제품의 핵심 주요부품으로서 CRT(Cathode Ray Tube)의 미포함등으로 완제품고장률과 CRT의 고장률 반영여부에 따라 큰 차이를 보여준다. 설계단계에서의 예측된 신뢰도의 정확도 여부는 신뢰도 확인시 실제 자료와의 근접도 즉 차이의 정도에 따라 유용성을 판단할 수 있다. 비모수적 방법에 의한 산출결과로서 MTTF는 <표 2.2>와 같다. <표 2.2>의 각각의 산출 방법별 MTTF를 <표 2.1>의 전체고장률방법에 의한 MTTF와 비교해 볼때 개발 설계 단계에서 CRT 미포함시의 전체고장률 예측치보다도 생산출하단계에서 CRT포함시의 신뢰도예측치가 작다는 것은 개발설계단계에서의 부품고장률 및 완제품고장률 산정의 비정확성을 나타내 준다. 또한 CRT 포함시 개발설계단계의 예측신뢰도가 실제보다 작다는 것은 제품의 결함에 기인한 것일수도 있기 때문에 결함부품이나 공정에 대한 수정조치가 필요하다. <표 2.2>의 산출 MTTF로 볼 때 Kaplan-Meier방법에 의한 MTTF와 Johnson의 MTTF는 근접해 있고 누적 Hazard 방법에 의한 MTTF와는 차이가 커 방법선택이 중요함을 알수 있다. 만약 누적 Hazard방법을 선호한다면, 본 연구에서 제시한 전체고장률 방법은 상당히 보수적인 방법이라고 할 수 있다.

< 표 2.1 > 전체고장률 비교

구 분		부품 고장률 (A)	완제품 고장률 (B)	전체 고장률 (A+B)
CRT 미포함	고장률	0.000016271	0.000015042	0.000031313
	MTTF	61458 hrs	66481 hrs	31935 hrs
CRT 포함	고장률	0.000082938	0.000015042	0.00009798
	MTTF	12057 hrs	66481 hrs	10206 hrs

< 표 2.2 > 비모수적 방법하의 MTTF

Kaplan-Meier	누적 Hazard	Johnson
16881 hrs	24017 hrs	16714 hrs

실제 완제품고장률의 기본고장률에는 부품고장률의 영향이 있을 수도 있으나 이는 평균수명을 논할때는 Constant Failure를 가정하기 때문에 부품고장률은 평균수명기에 진입하면 부품내구수명중 우발 고장으로 설명되어 완제품고장률과 구별되어야 한다. 전체고장률은 보수적이라 할지라도 전체 Life Cycle로 따지자면 정확도가 높을 것으로 판단된다. 그러나 실무적으로는 우발고장(기준이 문제지만)은 발생시마다 수정조치되어 가므로 완제품고장률이 적절한 계약기준이 될 것으로 판단된다. 모수적방법하의 분포에 의한 신뢰도 산출결과는 <표 2.3>과 같다.

< 표 2.3 > 모수적 방법하의 MTTF

구분	신뢰도	MTTF
지수 분포	$R(t) = \text{EXP}(-0.000108897*t)$	27549 hrs
와이블 분포	$R(t) = \text{EXP}(-(t/4512.451)**0.563)$	22248 hrs

상기 지수분포하의 MTTF 값은 최우추정산식  $1/\lambda$ 로부터 산출되며 와이블분포하의 MTTF값은  $\eta \cdot \Gamma(1+1/m) = \eta \cdot (1/m)\Gamma(1/m)$ 의 성질을 이용하여 산출한다. <표 2.1>의 전체고장률 비교에서 나타난 고장률별 MTTF와 <표 2.2>, <표 2.3>의 MTTF를 비교해 보면, CRT를 포함한 개발설계단계의 예측된 신뢰도를 전체고장률 기준으로 하여 산출한 MTTF와 모수적방법하의 최우추정에 의해 산출한 MTTF 역시 2배 이상의 차이를 보이고 있어 방법별 선택에 따라 많은 오차가 날수 있다. 이는 역시 설계개발단계에서의 부품고장률 산정시 핵심부품인 CRT고장률산정의 부정확에 기인하는 것으로 판단된다. 누적 Hazard 와 최우추정방법에 의한 MTTF는 비슷한 수준으로 해석된다. 분포에 의한 적합도나 방법별 Performance 비교는 상기의 방법들에 의한 신뢰도 적합과 신뢰도산출식에 의한 민감도분석으로 달성될 수 있으며 구간별분포와 S자형곡선의 적합결과분석에서 논의될 것이다.

### 3. 신뢰도 확인방법

본 연구에서는 예측신뢰도의 확인방법으로 수명분포를 가정하지 않은 경우와 수명분포를 가정한 경우를 비교분석해 봄으로써 불확실성을 감소시키며, 분포의 구간분할에 의한 모수추정방법과 그래프에 의한 축차시험방법을 응용 제시하여 특정 공정 이후(출하 공정 이후)의 data뿐만 아니라 전 공정단계에서의 고장률 data를 연관 분석하여 신뢰도예측의 정확성을 향상시켜 보고자 한다. 수명분포를 가정하지 않은 경우 비모수적(Non-Parametric) 방법으로 Kaplan-Meier 방법, 누적 Hazard 방법, Johnson 방법등을 적용할 수 있다[한국표준협회, 1992]. 수명분포 형태에 따라 모수적(Parametric)인 방법은 규명된 분포하에서 최우법, 모멘트법, 선형추정법등이 있다. 적용분포로는

지수 및 와이블분포 등이 널리 사용되며, 정규 및 대수 정규분포, 감마분포등이 이용되기도 한다. 본 연구에서는 지수 및 와이블 분포하에서 최우 추정법으로 Parameter를 추정하는 방법을 적용한다. 상기의 수명분포의 가정여부와 관계없이 개략적인 스케치나 그래프 및 분석적인 절차들에 의한 간편한 모수추정방법이 논의되었고[15, 26] 이러한 노력은 이론적인 분포에 적합시키기 위한 노력과 시간을 절약하게 해주었다. 그러나 분포의 비 선형성이나 혼합적인 분포때문에 시간축의 이동(Shifted), 선형 구간 분할(Piecewise linear), 멱함수(Power Series) 등의 다양한 기법이 개발되었다 [Shooman, 1968]. 본 연구에서는 가정된 와이블분포를 구간분할하여 모수를 추정하는 방법을 적용하였다[Fung, 1982].

신뢰도시험은 제품의 설계 및 개발단계에서는 신뢰도예측으로서의 의미를 가지며 제조 및 출하단계에서는 품질의 관리나 신뢰도를 확인하기 위한 의미를 갖는다. 부품이나 완성품의 신뢰도가 규정된 조건을 만족하는지를 확인하기 위한 방법으로 MIL-STD-781과 MIL-STD-781 A, B의 PRST(Probability Ratio Sequential Test) 방법을 적용한다. 이상과 같은 축차시험 절차는 그래프의 이용으로 간단히 응용될 수 있으며 본 연구에서는 미국 컴퓨터회사인 AST의 program을 응용한다. 1년간의 Burn-in 시험자료를 구간별 분포적합방법의 적용으로 Polynomial Regression한 결과 및 ANOVA 분석을 시행한 결과 구간적합에 의한 변곡점발견이 어려워 와이블분포의 적합도를 재검토할 필요가 있었는데 이때 구간적합절차상에서 도출된 누적 Hazard 값으로 S자형 곡선의 적합방법을 이용하였다. 적합을 시도한 결과는 <표 3.1>에서 보듯이 적합도 (goodness of fit)의 통계량인 카이스퀘어값이 유의수준 0.05와 자유도 7의 Percentage Point 14.0671 보다 작아 유의적 차이가 없고, 기대치와 관찰치의 차이를 나타내주므로 Modified Exponential, Exponential, Quadratic곡선 순서로 부합되어 고장률분포 가정이 와이블보다 지수분포가 적절할 것으로 판단된다. 따라서 신뢰도 목표에 따른 정책적인 판단이 필요하게 된다.

< 표 3.1 > 누적 Hazard 자료의 적합

적합 곡선	적합된H(t) 산출식	Chi-Square
Linear	$H(t) = \{-0.34542 + 0.09242 * t\}$	10.2667
Quadratic	$H(t) = \{0.64138 + 0.046212 * t + 0.0011597 * t^{**2}\}$	2.8409
Exponential	$H(t) = \{0.11251 * 1.1336^{**t}\}$	1.3409 0.6111
Modified-Exponential	$H(t) = \{-0.24568 + 0.33088 * 1.0862^{**t}\}$	4.6111
Gompertz	$H(t) = \{205800 * 0.000005^{**} * (0.98900^{**t})\}$	3.7778
Logistic	$H(t) = \{1.28227 / (1 + 10^{**} * (0.13233 - 0.078960 * t))\}$	

확률비 축차시험 program은 실무적으로 매우 유용한 Tool로서 신뢰도 입증시험을 위한 기본 입력의 정보화면, 채택 및 기각역을 보여주는 그래프 화면, 고장 이력 관리

화면, Chi-Square Table 및 MTTF의 신뢰수준 산출화면, 기간별 고장률 산출화면 등으로 구성되 있다.

#### 4. 신뢰도 곡선적합

신뢰도를 강화하는 방법은 신뢰도성장의 철학(Philosophy of Reliability Growth)에 따라 Burn-in과 MTTF의 향상으로 압축될 수 있다[Jensen, 1982]. 신뢰도성장은 설계, 개발, 제조 전과정의 개선을 통해 출하되기 이전의 내재된 고장률 (Inherent Hazard Rate)을 지속적으로 감소시키는 조치의 결과 즉, MTTF를 증가시키는 결과로 나타난다. Burn-in은 초기 고장을 제거 또는 감소시킴으로서 일정 고장률을 가진 MTTF를 보장하기 위한 조치로 신뢰도성장과는 구별되어야 한다. 본 연구에서는 1년 여간의 수정 조치(Corrective Action)의 이력 data를 통해 신뢰도 성장곡선과 최적 Burn-in시간을 판단하려 시도하였다. 또한 신뢰도 곡선적합의 추정식으로부터 기간별 신뢰도를 비교하여 신뢰도 성장 즉, MTTF의 향상여부를 검토하였다. 신뢰도 성장곡선은 Duane [Duane, 1964]에 의해 제시되었으며 성장의 수학적모델은 누적고장률(Cumulative Hazard Rate)을 이용할 경우 일반적으로 S자형 곡선형태로서 나타난다[Jensen, 1982]. 본 연구에서는 S자형 곡선의 적합여부를 판단하기 위해 직선형, 2차선형 (Quadratic), 지수, 수정지수(Modified Exponential), 고펜퍼르츠(Gompertz), 로지스틱(Logistic) 곡선등을 이용한다. 각 곡선의 적합여부는 컴퓨터 프로그램으로 분석된다.

Burn-in최적화 연구에서 명확히 구분되어 표현되는 DFR(Decreasing Failure Rate)과 CFR(Constant Failure Rate)은 실제 Bathtub Curve상 명확히 구분되지는 않는다. 이는 CFR 상의 Mean Residual Life는 Constant 하지 않다는 것이며 CFR 상의 최저 고장률 시점이 항상 Mean Residual Life를 최대화하는 시점은 아니다 라는 것을 나타내준다[Kyung, 1985]. 그러나 실제 DFR과 CFR 시점이 명확히 구분될 수 없다 하더라도 구간 개념(Piecewise)에 의거 Curve Fitting으로 DFR과 CFR의 변곡점(Variation Point)을 구분점으로 할 수 있다. 이러한 변곡점의 명확한 파악은 Reliability Maximization Model 이든 Cost Minimization Model 이든 Burn-in 최적화의 제약조건과 판별기준이 되기 때문에 매우 중요하다. 특히 Reliability가 제약조건화되지 않은 경우 목표 Reliability가 주어지면 DFR과 CFR 사이의 변곡점이 최적 판별기준이 된다.

비용 최소화 Model에서도 Field 수리비용이 Burn-in Set Up 비용과 출하전 수리비용 보다 작다면 Reliability, Burn-in 시간, Capacity 등의 Constraint는 최적화 결정변수로서 역할이 미미해 지므로 Burn-in 최적화시간 결정을 위해 CFR로의 진입시점이 판별 기준이 된다. 본 연구에서는 IBM이 그들의 OEM Manufacturer에게 제시하였던 Sequential Method [Shaw, 1987]와 구간개념에서의 Curve Fitting방법을 적용하였다 [Park, 1987].

S자형 곡선의 적합결과는 <표 4.1>, <표 4.2>, <표 4.3>과 같다. 이러한 S자형 곡선의 적합방법은 실무적으로 비모수적 방법의 신뢰도산식을 도출할 때 매우 유용한

방법이 될 것으로 판단된다. 각 방법별, 곡선별 Performance에는 차이가 있으나 본 사례모형에서 각 방법에 공통적으로 잘 부합되는 곡선은 Logistic 곡선과 Modified Exponential 곡선이며 방법별로는 누적 Hazard 곡선이 선호된다.

< 표 4.1 > Kaplan-Meier방법 자료의 적합

적합 곡선	R(t) 산출식	Chi-Square
Linear	$R(t)=1-\{-0.01033+0.0067907*t\}$	5.3833
Quadratic	$R(t)=1-\{0.068446+0.0033953*t+0.000057318*t^{**2}\}$	4.1250
Exponential	$R(t)=1-\{0.016328*1.1053^{**t}\}$	4.7778
Modified-Exponential	$R(t)=1-\{0.23855+0.24773*1.0188^{**t}\}$	4.7500
Gompertz	$R(t)=1-\{0.080307*0.08557^{**}(0.78354^{**t})\}$	31.3625
Logistic	$R(t)=1-\{0.16925/(1+10^{**}(0.96916-0.082063*t))\}$	5.6333

< 표 4.2 > 누적 Hazard 방법 자료의 적합

적합 곡선	R(t) 산출식	Chi-Square
Linear	$R(t)=1-\{-0.51441+0.010835*t\}$	14.7222
Quadratic	$R(t)=1-\{0.040306+0.0054175*t+0.00024233*t^{**2}\}$	6.8533
Exponential	$R(t)=1-\{0.011132*1.1309^{**t}\}$	4.1333
Modified-Exponential	$R(t)=1-\{-0.16842+0.17503*1.0244^{**t}\}$	2.9625
Gompertz	$R(t)=1-\{0.096663*0.066523^{**}(0.84994^{**t})\}$	16.5417
Logistic	$R(t)=1-\{0.16384/(1+10^{**}(1.0188-0.084067*t))\}$	2.9625

< 표 4.3 > Johnson 방법 자료의 적합

적합 곡선	R(t) 산출식	Chi-Square
Linear	$R(t)=1-\{-0.13631+0.021836*t\}$	36.7857
Quadratic	$R(t)=1-\{0.019621+0.021826*t+0.0024578*t^{**2}\}$	424.5454
Exponential	$R(t)=1-\{0.0076961*0.011224^{**t}\}$	7.5833
Modified-Exponential	$R(t)=1-\{0.002262+0.010303*0.011717^{**t}\}$	8.8667
Gompertz	$R(t)=1-\{0.043402*0.0019029^{**}(0.9646^{**t})\}$	11.0833
Logistic	$R(t)=1-\{0.0014172/(1+10^{**}(3.0405-0.07578*t))\}$	7.25



또한 이러한 S자형 곡선은 신뢰도 성장을 파악하는데 손쉽게 응용될수 있다. 사례 대상 모델에 대해 신뢰도 성장을 확인하기 위해 수집된 1년간의 Burn-in 시험자료를 95년 상하반기로 분류조정하여 MTTF를 산출한 결과, <표 4.4>와 같이 산출되어 MTTF의 개선이 이루어진 것으로 판단된다. S자형 곡선 적합결과로 부터도 신뢰도의 성장을 판단할 수 있다. 최적 Burn-in 시간은  $(t_i)^{1.149} - (t_{(i-1)})^{1.149} > 30.23$ 을 만족하는 시간이 된다. 따라서  $t_i$ 를 찾은 결과 44hr의 20번째 고장을 초과하지는 않는다. 기대 Burn-in 시간은 21번째 고장시간으로 접근한다. Data상으로 볼때는 65시간 정도를 Burn-in 시험의 기준으로 설정할 수 있다고 판단되나 실제 적용시 납기나 경제성 등으로 정책적인 결정이 필요하다.

< 표 4.4 > MTTF 개선

구 분	95 상반기	95전체 (하반기)
지수분포	15882 hrs	27549 hrs
와이블 분포	4919 hrs	22248 hrs

### 5. 결론

종래 부품고장률의 합으로만 산출되던 신뢰도모델에 완제품수준에서의 운영환경과 부품 뿐만이 아닌 완제품 자체로서의 고장률도 반영하는 전체고장률 방법을 응용 제시하고 실제 운영상의 신뢰도를 개발설계단계부터 고려하여 목표화 할 수 있는 과정을 제시함으로써 궁극적으로는 제품의 사용신뢰성을 높일 수 있도록 하였다. 이에 대한 사례의 신뢰도 예측결과를 <표 5.1>과 같이 비교될 수 있다. 품질수준 I, II는 MIL-HDBK-217E 및 MIL-M-38510을 고려 외부 관리수준과 내부 관리수준으로 구분 적용한다.

< 표 5.1 > 신뢰도 예측결과 비교표(MTTF)

(단위 : hrs)

구 분		부품 고장률 방 법	완제품 고장률 방 법	전체 고장률 방 법
품질수준 I	CRT포함	12057	132961	11054
	CRT미포함	61458	132961	42030
품질수준II	CRT포함	12057	66481	10206
	CRT미포함	61458	66481	31935

부품고장률의 민감도는 CRT의 포함 여부에 따라 약5배의 차이가 나므로 CRT의 신뢰도를 높이는 것이 최우선이며, 완제품고장률 민감도는 MIL-HDBK-217의 품질관리 응용기준을 적용할때 수준에 따라 많은 차이가 나므로 용도별로 신중히 구분 사용하되 내부 관리목표로는 신뢰도 측면에서만 볼때 품질수준 II를 사용하는것이 좋다고 본다. 전체고장률의 민감도는 동일수준의 품질수준에서 비교해 볼때 1.2~2배 정도의 차이가나므로 부품고장률로만 신뢰도를 추정하는 방법보다 전체고장률이 보수적이라 할수 있으나 생산단계에서의 신뢰도 확인시 실제 산출되는 신뢰도가 작게 나타나 신뢰도예측보다는 목표를 달성하기 위한 부품의 신뢰도 향상 방안이나 공정작업등의 고유신뢰성 확보노력을 기울여야 할 것으로 판단된다. 이러한 민감도분석에 의한 차이는 신뢰도목표와 비교되어 정책적으로 목표관리 측면에서 feed back되어 관리되어야 할 것이다. 상기와 같이 예측된 신뢰도를 확인하기 위한 각방법들이 적용되었으며 산출된 결과는 <표 5.2>와 같이 비교될 수 있다.

< 표 5.2 > 신뢰도 확인 방법별 비교(MTTF)

(단위 : hrs)

Kaplan-Meier	누적 Hazard	Johnson	지수분포	와이블분포	구간별 분포적합	확률비축차시험
16881	24107	16714	27549	22248	19278	33567

각 방법별로 신뢰도는 매우 다양하여 본 사례연구 모델에 잘 맞는 특정방법을 선택하기 위해서는 경험적방법과 통계적방법의 적용을 모두 필요로 하나 실무상 내부관리 목적으로는 Kaplan-Meier방법을 적용하고 외부 확인제시용으로는 확률비축차시험방법으로 관리하는 것이 바람직 하다고 판단된다. 최적 Burn-in 시간 역시 구간별 분포적합방법과 Sequential 방법에 의해 종합적으로 판단될 수 있는 지침이 제공되었다. 초기고장 제거시점의 발견이 어려울 경우 데이터의 정확성여부 뿐만아니라 Burn-in 조건을 재검토 해야하며 만약 Burn-in효과가 미미하다고 분석될 경우 Burn-in 온도나 위치 변경 등의 대응조치가 시급하다고 판단된다. 향후 본 연구에서 응용 제시된 방법들을 통합 program으로 작성하여 GUI 환경에서 손쉽게 신뢰도를 향상시키고 강화해 갈 수 있는 체계를 만들고 지속적인 신뢰도DB 구축과 운영을 위한 노력과 함께 필드 data가 지속적으로 비교 연구되어 가야 할 것이다.

### 참고문헌

[1] 국방과학연구소(1982), 「시스템 신뢰도 공학」, pp. 398-428.  
 [2] 박종만(1995), "Computer용 Monitor 완제품의 Burn-in 최적화에 관한 연구," 「품

- 질경영학회지」 23권, 4호, pp. 148-156.
- [ 3 ] 박종만(1997), "신뢰도 예측 및 확인 방법과 Burn-in 시간 결정에 관한 실증적 연구," 박사 학위 논문, 인하대학교.
- [ 4 ] 한국표준협회(1992), 「신뢰성의 분포와 통계」, 한국표준협회 출판부, pp. 140-189.
- [ 5 ] Alexanian, I.T and Brodie, D.E.(1977), "A Method for Estimating The Reliability of ICS," *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-26. No 5, pp. 359-361.
- [ 6 ] Blanks, H.S.(1988), "Reliability Prediction : A Constructive Critique of MIL-HDBK-217E," *Quality & Reliability Engineering International*, Vol. 4, pp. 227-234.
- [ 7 ] Bohoris, G.A.(1994), "Comparison of the Cumulative-Hazard & Kaplan-Meier Estimators of the Survivor Function," *IEEE Transaction on Reliability* Vol. 43, No. 2, pp. 230-232.
- [ 8 ] Bowles, J.B.(1992), "A Survey of Reliability Prediction Procedure for Microelectronic Devices," *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. 41, pp. 2-12.
- [ 9 ] Chi, D.H. and W.Kuo.(1989), "Burn-in Optimization Under Reliability & Capacity Restrictions," *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. 38, No. 2, pp.193-198.
- [10] Craig W.W & M.L. Lawrence(1989), "Component vs System Burn-in Techniques for Electronic Equipment," *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. 38, No. 2, pp. 206-209.
- [11] Daewoo.(1993), *Reliability Seminar with IBM*, Daewoo Electronics Display Business Division.
- [12] Department of Defence(1991), MIL-HDBK-217E, Superintendent of Document, Washinton D.C.
- [13] Duane, J.D.(1964), "Learning Curve Approach to Reliability Monitoring," *IEEE Transactions on Aerospace*, Vol. 2.
- [14] Epstein, B. and Sobel M.(1953), "Life Testing," *Journal of American Statistics Association*, Vol. 48, No. 263, pp. 486-502.
- [15] Fung, K. & A.K.S. Jardine(1982), "Weibull Parameter Estimation," *Microelectronics & Reliability*, Vol. 22 No. 4, pp. 681-684.
- [16] Jensen, F. & N.E. Petersen.(1982), *Burn-in : An Engineering Approach to The Design and Analysis of Burn-in Procedures*, John Wiley & Sons, Inc., N.Y.
- [17] Kaplan, E.L. & P. Meier(1958), "Nonparametric Estimation from Incomplete Observations," *Journal of American Statistics Association*, Vol. 53, pp. 457-481.
- [18] Klion, J.(1992), *Practical Electronic Reliability Engineering*, Van Nostrand Reinhold.
- [19] Koh, J.S., C.H. Kim, J.I. Park & B.J. Yun.(1995), "Determination of Effective

- Burn-in Time for Printed Board Assembly," *Microelectronics & Reliability*, Vol. 35, No. 6, pp. 893-902.
- [20] Kuo, W.(1984), "Reliability Enhancement Through Optimal Burn-in," *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-33, No. 2, pp. 145-156.
- [21] Leemis, L.M.(1995), *Reliability-Probabilistic Models and Statistical Methods*, Prentice-Hall International, Inc. ,N.J., pp. 5-7.
- [22] Li Yan, J.R English & T.L. Landers.(1995), "Modeling Latent & Patent Failures of Electronic Products," *Microelectronics & Reliability*, Vol. 35, No. 12, pp. 1501-1510.
- [23] O'conner, P.D.T.(1983), "Microelectronic System Reliability Prediction," *IEEE Transaction on Reliability*, Vol. 32, pp. 9-13.
- [24] J.M. Park(1987), "*Improvement of Software Reliability Predictions*," A Thesis of M.S Degree in Department of Industrial Engineering, Lehigh University.
- [25] Kyung S. Park.(1985), "Effect of Burn-in on Mean Residual Life," *IEEE Transaction on Reliability*, Vol. R-34, No. 5, pp. 522-523.
- [26] Patrick D.T. & O'conner(1984), *Practical Reliability Engineering*, John Wiley & Sons, pp. 75-77.
- [27] Petch, M. and W.C. Kang(1988), "A Critique of MIL-HDBK-217E Reliability Prediction Methods," *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. 37, pp. 453-457.
- [28] Seidl, R.H and W.J. Garry(1990), "Pi Factors Revisited," *Proceeding Annual Reliability and Maintainability Symposium*, pp. 19-24.
- [29] Shaw, M.(1987), "Recognizing The Optimum Burn-in Period," *Quality and Reliability Engineering International*, Vol. 3, pp. 259-263.
- [30] Shooman, M.L.(1968), *Probabilistic Reliability*, McGraw-Hill, Inc., pp. 159-199.