

Telcordia SR-332를 이용한 가전제품 신뢰도 예측

이덕규
(주)테스코 신뢰성 연구소

Reliability Prediction using Telcordia SR-332 in Electric Home Appliance

Lee Duck-kyu

Reliability Research Center, TESCO Co.,Ltd

Abstract

This paper is concerned with the problem in predicting the reliability of an LCD product. Product reliability calculation methods classify accelerated life test (ALT) and using the reliability standard as MIL-HDBK-217F and Telcordia SR-332. The reliability standard can calculate estimating value more quickly than accelerated life test. The system MTBF was calculated in accordance of Telcordia SR-332 standard which includes directions of part electronic measurement, temperature rise and environmental test data. This research is intended to obtain the useful information for each electric design step to save time and cost.

1. 서론

현대사회는 기술의 급속한 발달과 소비자 욕구의 다양성으로 인하여 제품의 기능과 성능이 눈부시게 발전되어 왔다. 새로운 기술이 빠르게 개발됨에 따라 많은 제품들에 신기술이 도입되고 경쟁회사의 기술우위를 선점하기 위해 제조업체의 신제품 개발주기는 급속히 짧아지고 있다. 이러한 환경에 대처하면서 고품질의 제품을 생산하기 위해서는 제조 전 단계에서 신뢰성 보증이 절실히 필요하게 되었다. 신뢰성 있는 제품을 설계하기 위해서 소비자의 신뢰성 요구를 충분히 파악하고 이를 만족시킬 수 있는 정량적 신뢰도 목표를 설정해야만 한다. 현재 정량적 신뢰도를 표현하는데 있어서 가장 보편화된 방법이 평균수명 산출이다. 전기전자의 경우에도 부품에서 제품에 이르는 모든 과정에서 개발자들은 자기제품의 신뢰성을 알고 싶어 하고 바이어측에서는 생산업체에 수치화된 데이터를 요구하는 추세이다. 제품 신뢰성을 확인하기 위해서는 오랜 시간 동안의 제품의 경시변화를 확인해야 하는데 납기일과 경쟁우위를 선점하기 위해서 가속화된 시험으로 미래데이터를 추정한다. 평균수명을 산출하는 방법에는 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 가속수명시험을 통해 가속 factor와 활성화 에너지를 산출하여 평균수명을 산출하는 방법이다. 많은 연구논문들이 현재 부품단위로 평균수명을 찾아낸다. 당연히 여러 부품들의 특성을 찾아내서 조합된 제품의 신뢰도를 예측하는 것이 순서이겠지만 최종소비자의 관심은 어떤 부품신뢰도 보다는 그 제품전체의 신뢰도에 관심이 있다. 현재는 제품단위 시험이 많이 부족한 상태여서 앞으로는 더 많아져야 할 것이다. 그러나 제품 신뢰성 시험을 하기 위해서는 많은 제약이 따른다. 고가의 제품으로 많은 시료를 시험한다는 것은 비용적인 측면에서 큰 부담을 얻게 되기 때문이다. 제품을 시험하기 위해서는 부품단위로의 시험보다 가속의 범위를 많이 줄여야 한다. 그래서 시험시간이 길어지게 되어 결국 비용적인 면을 많이 고려하게 된다. 두 번째로 신뢰성 부품 예측규격을 통해 전체시스템의 신뢰도를 산출하는 것인데 부품별로 정리된 MIL-HDBK-217F 와 Telcordia SR-332(이하 SR-332라 한다) 등이 있다.

MIL-HDBK-217은 1992년 이후로 개정이 안 되고 있다. 이는 급속하게 더 좋은 품질과 성능의 부품이 나오는데 반해 부품규격은 그 속도에 상응하지 못하기 때문이다. 이를 보완해 AT&T 연구소에서 자체 품질평가용으로 개발된 Bellcore 규격이 있다. 그리고 부분적으로 수정한 것이 SR-332 이다. Telcordia 규격은 통신 전자 부품의 신뢰도 예측과정에 따른 절차서를 말하며 주로 시스템 신뢰도 산출에 적용된다. Telcordia SR-332 는 일반적으로 Hardware의 Device 와 Unit의 신뢰도 예측에 대한 추정 방법을 기술한 것인데 여기서 Device란 신뢰도 계산에 필요한 다이오드, 트랜지스터 및 IC 등의 기초부품을 말하며, Unit이란 Device로 구성되는 조립체를 의미한다.

가속수명시험에 비해 신속히 MTBF를 산출할 수 있는 장점이 있지만 부품 규격에 맞춰 전체시스템의 신뢰도를 예측하는 것이라 현실과 거리가 멀 수 있다는 의견이 많다. 그리고 규격에서 정하는 몇가지 제약들이 있다. 이러한 방법들은 서로 보완적인 수단으로 신뢰도 평가에 적용된다.

본 연구에서는 가전 LCD 영상제품의 개발단계에서 신뢰도 예측을 함에 있어서 SR-332 규격을 통해 신속하게 전체시스템의 신뢰도를 파악하고 각 요인들의 변화를 찾아보고자 한다.

2. 시스템 신뢰도 예측

전체 System의 Unit 레벨 대상으로 블록도를 만들고 하부조립체와 구성부품들의 사용조건과 품질수준을 결정하여 예비설계에 사용된 구성부품의 고장률을 계산하고 이를 근거로 전체 System의 고장률, 평균수명, B10 수명을 예측한다. 또한 환경시험 데이터를 첨부하여 그 변화를 알아본다. 고장률에 영향을 미치는 요소는 전기적인 스트레스, 동작온도, 환경조건, 품질상태로 나눈다.

본 신뢰도 예측을 위해 규격에서 제시한 가정 및 제한사항은 다음과 같다.

- (1) 구성부품의 수명분포는 지수분포이며, 독립적이다.
- (2) 구성부품의 상태는 고장 및 작동상태로만 구분한다.
- (3) 각 구성 Device, Unit, System은 직렬로 연결되어 있다.
- (4) Unit 고장률 예측 시, 배선, 케이블, 납땜연결, 배선봉인연결, PCB는 포함하지 않는다.

2.1 시스템 구성

제품 블록을 Device, Unit, System 3단계로 나눈다. SR-332를 이용하여 신뢰도를 예측하기 위해서 PCB를 구성하고 있는 부품의 Part list를 준비하여 종류별로 부품군을 정리하는데 부품용량과 스펙을 조사해야 한다. 부품군은 각 Sub 시스템 별 Resistor, General capacitor, Aluminum capacitor, Inductor, Diode, TR, IC, FET, Relay, Miscellaneous, Photo device, Connector 로 나눈다.

2.2 예측방법의 결정

전자 기초 부품을 토대로 규격서에는 세가지 예측방법 인 'Black Box'를 제시하고 있다. Method I 은 예측을 할 Device 및 Unit에 대한 정보가 전혀 없는 경우로 SR-332 규격을 통해 신뢰도 파라미터들의 고장률 및 수량 정보를 이용해서 예측을 하는 방법으로 'Part Count' 라고 한다. 예측을 위해 사용 가능한 자료에 따라 Case-1,2,3 으로 분류하고 있다. 주로 Method I 의 Case3을 사용하는데 Case1과 2의 경우를 모두 포함하고 시료의 Burn-In

시간에 관계없이 System, Unit, Device 레벨 모두 적용할 수 있다. 각 부품의 기본온도는 40℃이며 50%의 전기적 스트레스를 가정한다.

Method II는 Unit 이나 Device에 대한 실험 데이터를 얻을 수 있을 때 사용하는 것으로 일반 데이터에 대한 실험데이터의 가중치를 부여하여 예측하는 방법이다. 이는 4개의 Case 로 분류한다.

Case L1 : Device가 Lab에서 시험된 경우 그러나 사전 Burn-In은 없는 경우

Case L2 : Unit 또는 System이 Lab에서 시험된 경우 그러나 사전 Burn-In은 없는 경우

Case L3 : Device가 Lab에서 시험된 경우 그리고 사전 Burn-In도 있는 경우

Case L4 : Unit 또는 System이 Lab에서 시험된 경우 그리고 사전 Burn-In도 있는 경우

Method III는 필드 수집데이터를 얻을 수 있을 때 일반 데이터와 혼합하여 예측하는 방법이다. 실제 예측 하고자 하는 System 또는 Unit에 대한 통계적 조정 역할을 하는 데이터를 수집하여 예측하는 것이다. 여기서는 영상제품 개발단계에서 해당 모델의 신속한 예측이 관심의 대상이므로 사전 Burn-In과 필드 데이터가 없는 Method I Case3 과 Method II Case L2에 의한 방법으로 한다.

2.3 신뢰도 예측모델

고장률의 기본단위는 10억 시간당 고장횟수(FIT : failure in time)를 기준으로 한다. 부품에 대한 정상상태 고장률 예측은 부품의 종류에 따른 일반적인 정상상태 고장률에 근거하고 있다. 품질, 스트레스, 온도 등에 따라 달라질 수 있으며 기본 모델은 다음과 같이 나타낸다.

(1) Device 모델

$$\lambda_{P_i} = \lambda_{G_i} f(\Pi_i)$$

$$\lambda_{P_i} = \lambda_{G_i} \pi_{Q_i} \pi_{S_i} \pi_{T_i}$$

λ_{P_i} i번째 부품의 고장률

λ_{G_i} i번째 부품의 규격 제시 기본고장률

π_{Q_i} i번째 부품의 품질요소

π_{E_i} i번째 부품의 환경요소

π_{S_i} i번째 부품의 전기적 스트레스 요소

π_{T_i} i번째 부품의 동작온도 요소

(2) Unit 모델

$$\lambda_{Assy_i} = g\left(\sum_{i=1}^n \lambda_{P_i}\right)$$

(3) System 모델

$$\lambda_{SYS} = h\left(\sum_{i=1}^n \lambda_{Assy_i}\right)$$

하위시스템 고장률의 합이 상위시스템 고장률은 아니다. 이것은 MIL-HDBK-217F와 구별되는 점이다. SR-332는 필드데이터, Burn-In 데이터, 시험데이터 등을 첨부시킴으로써 더 유효한 값을 얻을 수 있다.

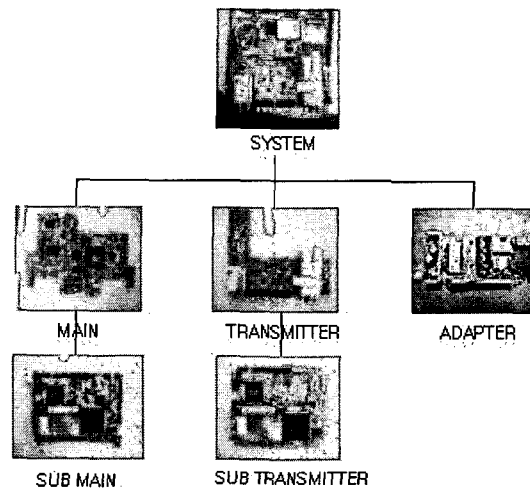
2.4 스트레스 요인

<표 1> 스트레스 채택요인

요인	SR-332	채택
기본고장률	규격표	해당부품
품질요인	품질레벨 0 ~ 3	기본 2, 기본값1
환경요인	G_B, G_F, G_M, A_C, S_C	기본 G_B , 기본값1
전기적 요인	STRESS율	개별부품 측정
온도 요인	온도 30 °C ~ 150 °C	개별부품 온도측정

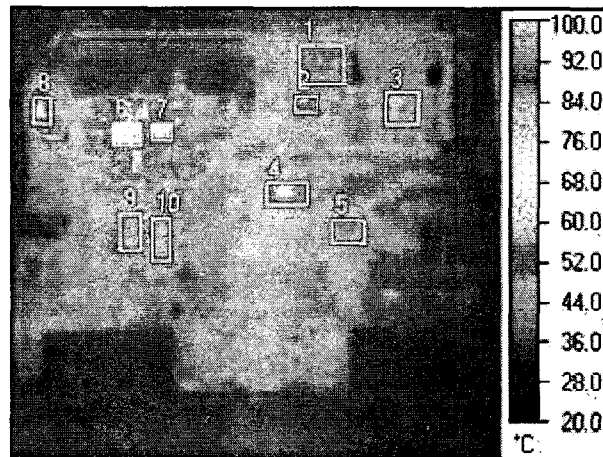
3. 사례 연구

본 연구에서 적용된 시료는 LCD를 사용하는 홈패드로 가정내에서 무선으로 업무처리 및 실내 환경제어가 가능하고 여러 기능을 가진 제품이다. 가속수명시험을 할 경우 LCD 특성상 주위온도가 60 °C 이상이 되면 LCD 표면에 이상증상이 발생하기 때문에 그 하위수준에서 시행해야하는데 그렇게 되면 오랜 시험시간이 필요하게 된다. 그래서 전자 제품의 신뢰도 예측 규격인 SR-332을 이용해 신속하게 전체 고장률 및 평균수명, B10수명을 산출하여 시스템의 신뢰도 특성을 분석한다.



<그림 1> 시스템 블록도

분석의 편의를 위해 크게 MAIN, TRANSMITTER, ADAPTER 로 나눴다. 시스템이 놓여 있는 환경요인은 G_B (Ground Benign, Controlled)로 설정하였으며, 주위 온도는 40 °C로 정하였다. BOM 데이터를 사용하여 Part list를 작성하고 개별부품의 전압, 전류를 측정하여 부품SPEC 대비 전기적 OVER STRESS율(POWER RATIO)을 적용하였다. 또한 각 부품 표면 온도를 측정하여 Temperature Rise에 삽입하였다. 고장률의 효과적인 계산을 위하여 SR-332규격을 포함한 신뢰도예측 Software인 Relx 7.6을 활용하였다.



<그림 2> MAIN PBA 적외선 온도측정

<표 2> 부품 측정 항목

부품명	전압	전류	전력	온도
RESISTOR			0	0
General CAP	0			0
Aluminum CAP	0			0
DIODE	0	0	0	0
ZENER DIODE	0		0	0
TR			0	0
IC (REGULATOR)				0
INDUCTOR				0
FET			0	0
RELAY		0		0
Photo Device				0

시스템 분석을 위한 신뢰성 척도는 다음과 같다.

<표 3> 신뢰성 척도

고장률	$\lambda_{Assy} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i}}$, $\lambda_{Sys} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_{Assy}}}$
평균수명	$\int_0^{\infty} R(t)dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}$
B10수명	$t = -\frac{1}{\lambda} \ln 0.9$
고장률	$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$

3.1 Method I Case3 분석

홈패드의 고장률은 전체 9,831 FIT로 추정되며, 평균수명은 101,719 시간이다. B10수명은 10,717 시간, 1년 예상고장률은 8.25 % 이다.

일반적으로 규격으로 예측할 시에는 10,000 시간을 1년으로 기준 한다.

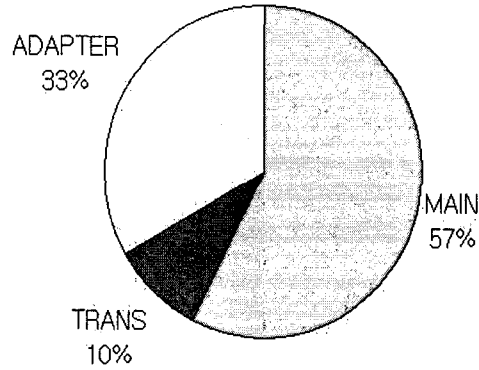
Name	Part Nu...	Failure Rate
System	System	9831.203082
Main	Sub_Unit	5631.838479
RESISTOR	320	96.892571
Gen_Capacitor	458	361.978469
AL_Capacitor	4	552.433473
Inductor	47	353.434526
Diode	37	246.109647
TR	3	6.329358
IC	34	2992.858894
FET	21	549.601541
Miscellaneous	7	167.000000
Photo Device	5	300.000000
Connector	4	5.200000
Transmitter	Sub_Unit	934.072879
RESISTOR	68	20.563252
Gen_Capacitor	81	53.204525
AL_Capacitor	4	262.744874
Inductor	9	67.752555
Diode	4	30.401817
Zener diode	13	80.540828
TR	1	2.776843
IC	8	154.301222
FET	6	114.586963
Miscellaneous	2	23.000000
Photo Device	2	120.000000
Connector	2	4.200000
Adapter	Sub_Unit	3265.291725

<그림 3> Method I Case3 분석결과

각 Sub unit 중에서 Aluminum Cap.의 개당 고장률 비율이 가장 높게 나왔다. 이는 Aluminum Cap.이 전체 시스템 고장을 발생시킬 수 있는 가장 높은 요인을 가지고 있는 것으

로 부품의 용량 값이나 변경을 통해 개선해야 할 것이다.

전체시스템의 고장을 발생시키는 비중은 Main, Adapter, Transmitter 순으로 나타났다.



<그림 4> 전체시스템 고장 기여율

3.2 Method II Case L2 분석

(1) $T_1 \leq 10,000$ 일 경우

$$\lambda_{SS} = \frac{(2+n)\lambda_{PC}}{2 + \frac{4N_0 T_1^{0.25} \lambda_{PC}}{\pi_E \pi_T 10^6}}$$

n 실험테스트를 통한 시스템 고장횟수

λ_{PC} Unit 고장률

π_E Unit 환경요소

π_T Unit 온도요소

N_0 실험테스트 한 Unit 개수

T_1 실험 테스트 시간 ($T_1 = T_a \times A_L$)

T_a 실제 테스트 시간, A_L 온도가속요소 ([1] Table 7-7참조)

(2) $T_1 > 10,000$ 일 경우,

$$\lambda_{SS} = \frac{(2+n)\lambda_{PC}}{2 + \frac{(30,000 + T_1)N_0\lambda_{PC}}{\pi_E \pi_T 10^9}}$$

홈패드 4개로 85 °C 방치시험으로 250 시간 시험한 결과 모두 고장이었다. 데이터 삽입결

과 시스템의 고장률은 42,891 FIT 이고 평균수명은 23,315 시간으로 나타났다. B10수명은 2,456 시간이고 1년간 예상 고장률은 31.32 %로 상당히 높게 산출되었다.

Name	Part Nu...	...	Failure Rate
System	System	T...	42891.433893
Main	Sub_Unit		26084.114375
RESISTOR		320	289.257084
Gen_Capacitor		458	1066.369661
Al_Capacitor		4	1612.157126
Inductor		47	1041.642635
Diode		37	729.231901
TR		3	18.981983
IC		34	7795.918094
FET		21	1604.116739
Miscellaneous		7	496.794678
Photo Device		5	886.519212
Connector		4	5.200000
Transmitter	Sub_Unit		7294.516214
RESISTOR		68	61.625524
Gen_Capacitor		81	159.184280
Al_Capacitor		4	777.874858
Inductor		9	202.562017
Diode		4	91.065117
Zener diode		13	240.640080
TR		1	8.329355
IC		8	459.311287
FET		6	341.775790
Miscellaneous		2	68.919652
Photo Device		2	357.823513
Connector		2	4.200000
Adapter	Sub_Unit	66	18553.365711

<그림 5> Method II Case L2 분석결과
 <표 4> 분석 데이터 비교표

	Method I Case3 경우	Method II Case L2 경우
시간에 따른 신뢰도 변화		
온도에 따른 고장률 변화		
환경에 따른 고장률 변화		
스트레스에 따른 고장률 변화		

4. 결론

본 연구에서는 Telcordia SR-332의 신뢰도 예측 방법인 Black Box를 이용하여 개발 중인 홈패드의 신뢰도 예측과 주요 요인들의 영향을 분석하였다. 시험에 사용된 시료는 5개이고 시험분석시간은 300시간 이었다. Method I Case3 분석에서 시스템의 평균수명은 약 10만 시간으로 나타났고, 환경시험을 시행한 후에 고장데이터를 삽입한 결과 평균수명이 2만3천 시간으로 줄어들었다. 각 board의 Aluminum Cap. 고장률이 가장 높아서 전체시스템의 신뢰도에 가장 큰 영향을 주었다. 본 분석은 개발과정중인 모델에 대해서 신속하게 제품단위의 신뢰도를 파악하기 위해서 실시되었다. 이는 개발 과정 및 변경, 수정단계에서 모두 신속히 행해짐으로써 제품의 취약부분에 대한 보완 및 예측을 할 수 있다. 보다 더 정확히 신뢰도를 파악하기 위해서는 향후 생산 또는 사용제품의 정확한 현장 데이터와 더 많은 시험 데이터가 필요할 것이다. 추후 연구과제는 가속수명과 예측규격시험을 통한 가속수명의 신뢰도를 각각 산출하여 비교하여 상호간의 불확실성의 범위를 찾아보고자 한다.

참고문헌

- [1] Telcordia technologies special report SR-332(2001), Reliability prediction procedure for electronic equipment.
- [2] 장주수 외(2004), 신뢰도예측 가이드.
- [3] 이낙영, 이봉훈(1998), 인공위성 탑재 전자광학장비의 신뢰도 분석 연구.
- [4] 김명수(2000), MIL-HDBK 217을 이용한 신뢰도 예측.
- [5] 광민곤, 전종우(2000), CDMA 기지국 시스템의 고장간 평균시간 분석.