PC 모니터의 시장불량률 감소를 위한 신뢰성 시험법 개발 - Development of reliability test to reduce the field failure rate of PC Monitor -

김준홍*
Kim, Jun Hong

Abstract

In order to review the failure rate of PC monitor under normal environmental conditions, we experimented for various levels of each factors, e.g. Power on/off, DPM mode, using voltage, incoming Surge, Torque strength etc. According to the results of experiment and SN ratios we investigated that the causes of the failure for the horizontal output TR of monitor are Mode change, dispersion of Torque and h_{FE} and these are critical effect.

For the new reliability test we suggested that strengthened part tests in IQC branch, Torque change controls in the TR specification are necessary.

1. 서론

신뢰성 시험의 주된 목적은 신제품 개발에 따른 설계 위험성 감소, 제조 프로세스 확립, 사용 재료 평가, 제품 및 부품에 대한 수명 예측, 발생 가능한 제품의 고장원인 규명, 제품에 관련된 계약 요구사항이나 관련법규 만족 등을 수행하기 위해 시험을 실시하고, 이로부터 제품에서 발생할 수 있는 문제점을 사전에 찾아내어 고장을 재현하고, 그 결과를 해석하여 재발 방지 대책을 세운 후 설계 및 제조과정에서 시험 프로세스를 정립하는데 있다. 신뢰성 시험은 설계가 기본적인 성능 요구사항을 만족시킨다는 것을 보증하기 위한 성능시험, 설계가 예상되는 환경범위에서 작동될 수 있음을 보증하는 환경시험, 제품의 신뢰성에 관한 신뢰성 시험 등을 고려하여 수행되어야 한다[5]. 기업경쟁이 치열한 오늘날 신뢰성 시험 부문의 역량은 기업의 생존과 직접적인 관련을 갖고 있다. 특히, 제품에 대한 고객 만족의 상황을 끊임없이 파악하여, 부품차원에서의

* 수원대학교 산업정보공학과 교수

불량 원인을 규명하여 제품 개선활동을 통해 시장 불량률을 감소시키는데 주력하여야 한다. 또, 신뢰성 전문인력 양성 및 경험부족으로 인한 비효율적인 업무진행을 개선하고, 부품 불량재현 시험 방법을 정립하여 최적의 가속시험 방법을 도출, 신뢰성 시험기술 수준을 향상시켜 나가야 한다. 다양한 제품 사용환경에서 발생하는 시장 Claim을 감소시키기 위한 부품 불량 재현 시험기술을 타 사업장에 전파함과 동시에 제품 신뢰성 향상을 위해 타부서와 긴밀한 협조체계를 갖추어야 할 것이다. 또한 제품 신뢰성에 입각한 설계 및 제조기술 향상을 기하도록 하는 것은 신뢰성부서 업무의 중요한 임무라 할 수 있다[2].

이 연구를 수행하기 위한 기초자료 분석을 위해 연구 대상이 되는 PC 모니터의 과거 시장 Claim 자료, 시장 불량으로 수거된 고장제품, 시장데이터, 소비자 인터뷰 자료를 수집하여 분석하였고, 사용 기간별, 계절별 제품군별, 모델별, 제품 성질별로 고장을 분석하였다. 2장은 공정에서 발생하는 제품고장의 공정별 데이터분석을 실시하여 계통적 고장원인에 의한 주요 고장부품의 선정 방법을 제시하였다. 3장에서는 실험을 위한 인자선정의 배경과 각 수준의 선정에 대해 설명하였고, 재현시험 계획을 통해 목표로 하는 고장을 재현하여 재현고장별 원인 및 고장 메커니즘을 조사하였고, 4장에서는 개선 Point를 설정하여, 최적 Stress 수준과 시험 표준화를 제안하였다.

2. 현상 분석 및 수평 TR 고장원인 분석과 사용환경조사

2.1 현상분석

모니터의 시장 불량은 98년 이후 TR은 ABC 분석 결과 전체 불량원인 중 5대 불량 중 하나에 속하고 있으며 시계열적으로 지속적으로 증가하는 경향을 갖고 있다. 이 중 수평 TR은 제품 출하 후 2~7개월 후에 주로 발생하며 시장에서의 전체 TR 불량 중 수평출력 TR이 차지하는 비율은 25%에 이르고 있어 불량원인 분석 대상으로 선정되었다. 그림1은 불량 점유율이 상승 중인 수평출력 TR의 발생월별 점유현황이다.

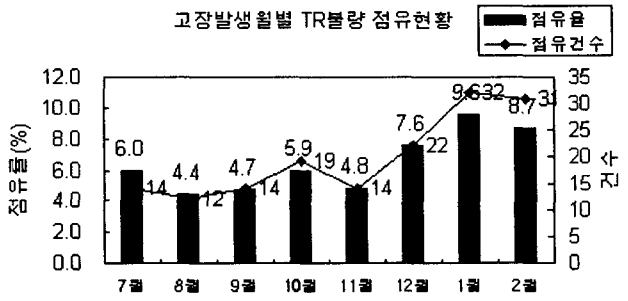


그림1 고장발생별 TR 불량 점유현황

2.2 TR 고장 원인 분석

TR 고장의 원인을 분석한 결과는 표1과 같다. 수평출력 TR 불량의 주원인은 열 폭

주, V_{CP} 폭주에 기인되는 것으로 나타났으며 이에 대한 상세한 원인을 하위 수준에까지 전개하여 공정, 설계, 현장 등에서 나타나는 현상분석을 종합하였다.

Heat sink 결합공정과 최종성능 검토공정에서 TR의 고장이 발생하고, 또 on/off와 DPM 모드 변환 시 자주 발생하는 것으로 나타나 취약점인 것으로 간주되고 있다.

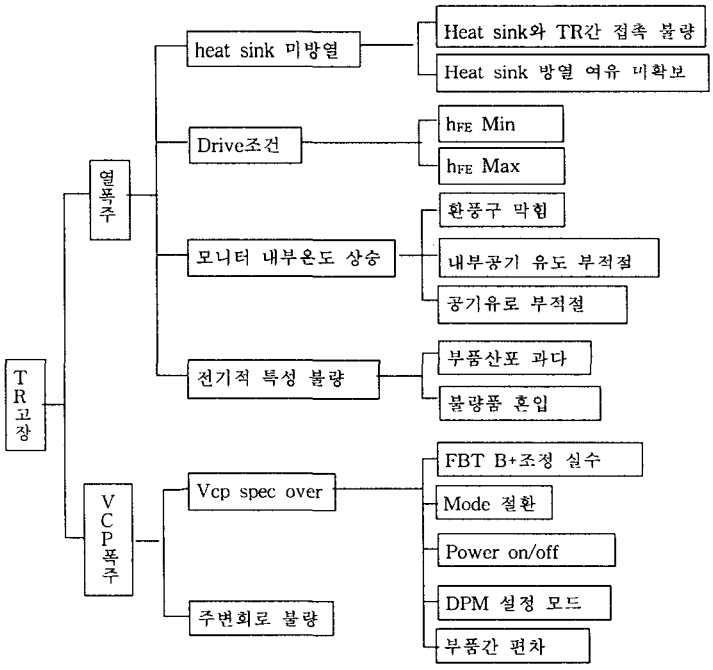
2.3 사용환경조사

전국 3개 지역을 대상으로 모니터의 사용환경을 사용자 인터뷰를 통해 실제 불량 현상을 파악하고, A/S센터에 수집된 고장발생 고객의 모니터 사용 패턴 및 사용부하 등의 환경조사를 실시한 결과, TR 불량은 전원 on/off와 DPM 모드변환시 주로 나타나 이들에 의한 영향이 가장 큰 것으로 파악되었으며, 사용 전압의 변화가 심한 지역도 있어 이에 대한 영향도 고려해야 하는 것으로 판명되었다.

수평출력 TR 불량 발생 소비자 대상으로 파악한 사용환경을 재조사한 결과 불량발생환경은 사용 중 보다는 전원 on/off 에 의한 영향이 큰 것으로 나타나 재현시험에 주요한 인자로 선정하였다.

TR 현품을 내부 분해 조사한 결과 Metal이 용융되었으며, 이로 인한 내부 패턴에 Crack이 발생한 것으로 보아 ASO 영역을 넘지 않는 과전류가 일정시간 경과함에 따라 전류가 밀집한 Pattern일부분이 열에 의한 폭주가 발생하는 것이라 할 수 있다.

표1 TR 고장 원인분석도



2.4. 예비시험 실시

사용환경의 조사내용과 주요 부품 산포를 조합하여 시험조건을 추출하고, 개선 시험결과를 고려하여 재현성 있는 시험방법을 결정하기 위해 예비시험을 실시하였다. 예비

시험방법 및 조건과 시험결과는 아래 표2와 같다.

표2 시험결과

시료번호	시험조건	시험결과 Vcp경향	비고
#1	DPM 절환	h_{FE}값이 Max 인 경우 최대	h_{FE}: mean min max 시료별 부품 3개
#2	DPM normal(1분간)	h_{FE}값이 Max인 경우 최대	
#3	DPM out of range	고장현상 발생	
#4	Mode 절환(generator 사용)	산포는 안정적	

h_{FE}값이 Max인 경우 I_{cp}, V_{cp}가 크지만 규격을 만족하고 있고, I_{cp}와 V_{cp}가 최대로 나타나는 상태는 Mode가 54Khz에서 31Khz로 변환될 때 h_{FE}가 Max인 경우 발생하고 있다. 따라서, Out of Range에서 TR의 h_{FE}값이 Max 일 때 V_{cp} spec. over의 주요 요인으로 작용하였으며 전 시험조건에서 h_{FE}값이 V_{cp}에 영향을 주는 것으로 나타나 재현성이 유효한 것으로 판명되었다.

현상분석에서 나타난 문제점과 예비시험에서의 재현성을 검토하여 수평출력 TR 불량에 대한 고장메커니즘을 도출한 결과는 다음 그림2와 같다.

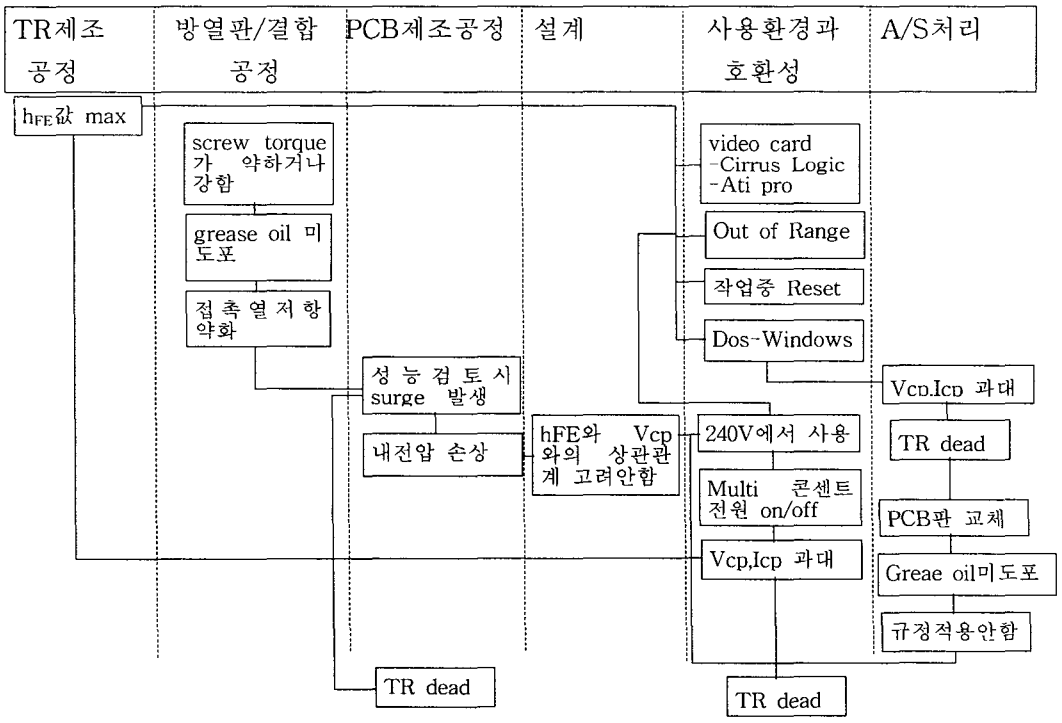


그림2 고장 메커니즘

3 수명시험장치 설계 및 방법

3.1 장치 설계

Power on/off는 PC on/off를 통하여 실시하고 신호는 분배기를 통해 6개의 모니터에 입력하고 on/off는 자동으로 작동되도록 Jig를 제작하였다. 그에 대한 수명시험장치는 설계는 그림3과 같다.

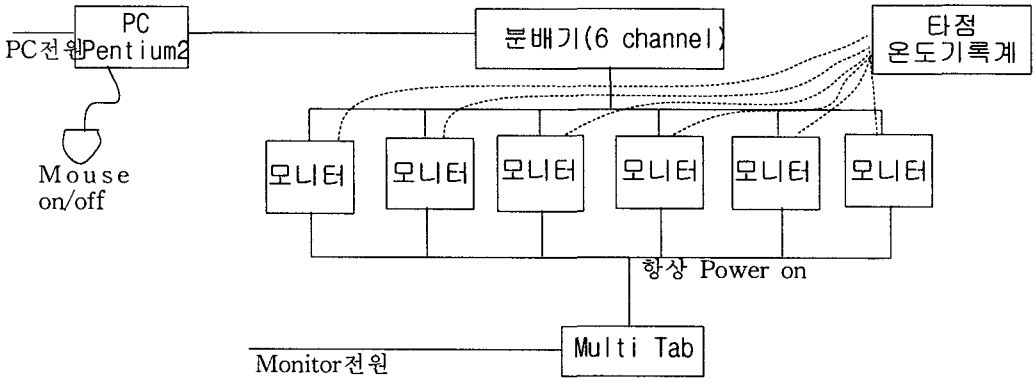


그림3 실험장치 레이아웃

시험 cycle은

power on/off 1 수준: PC power on(초기 booting)→ 해당 수준의 mode 절환 → 전원off(2분)

power on/off 2 수준: PC power on(초기 booting) → 해당 수준의 mode 절환 →5분 지속
해당 수준의 mode 절환 →5분 지속

로 실시하였다.

3.2 환경스트레스 수명시험계획

3.2.1 인자의 선정

(1) Torque 강도

수평 TR의 불량의 추정원인 중 주요한 두 가지에 대해 FTA를 실시하여 현장을 분석한 결과 열 폭주와 V_{cp} 폭주가 주원인으로 나타났다. Heat sink 결합공정과 Screw torque 공정을 분석한 결과 열 폭주의 원인은 Screw torque의 강도의 강/약으로 인해 Heat sink와 TR 간의 접촉이 불안전하여 생기고 있다.

(2) 사용전원

사용환경과 부품 산포를 조합하여 시험한 결과 h_{FE} 값이 Max와 사용전압이 240V 까지 나타나는 지역이 있어 이에 대한 영향도 고려할 필요가 있는 인자로 결정하였다.

(3) 전원 on/off

소비자 서비스센터의 자료에 의하면 TR 불량은 on/off와 DPM 모드 변환시 주로 나타나는 영향이 큰 인자로 판명되었다.

(4) Surge 유입

Chip 파손 결과를 고장 물리적으로 검토한 결과 고장 현상은 Surge 파괴와 Chip 균열로 모아지고 있다. 그 원인은 스위칭 특성 중 콜렉터 접촉불량에 의한 Surge 전류발생 및 접합용량이 큰 디바이스에 고전압이 인가될 때 나타나고 특히 공정에 의한 영향으로 나타난다.

(5) DPM 동작 모드

모니터 절전모드가 규격범위를 넘어갈 때 TR의 h_{FE} 값이 Max에서 V_{cp}가 규격을 넘는 주 요인으로 작용하고 있고, h_{FE} 값은 V_{cp}에 영향을 주는 것으로 나타난다. Out of range와 수평출력 TR의 특성치인 h_{FE} 값과의 상관관계를 비교한 결과 h_{FE} 값이 Max일 때 TR이 시장에서와 똑같은 형태로 고장이 발생 재현됨으로 그 인자는 유의한 것으로 판명되고 있다.

3.2.2 각 인자에 대한 수준의 선택

인가 스트레스는 고장 메커니즘에서 주효한 인자로 선정하였으며 그 수준은 2수준 4개, 3수준 2개인 L_{18} 직교배열표를 이용하여 실험계획을 실시하였다. 인자 및 수준별 배열현황은 표3과 같고, 수평 출력 TR 재현시험 시료 배분현황은 표4와 같다. 현장에서의 고장은 18회의 실험에서 재현되었으며 고장 후 TR을 교체하여 V_{cp}를 측정한 결과 1,461V로 나타나 이 이상의 전압에 의해 폭주된 것으로 파악되었다.

3.2.3 재현 실험 결과

실험결과의 이들 자료를 토대로

① 각 시험 조건별로 수평 출력부의 V_{cp}를 측정한 결과, 개선후의 시료가 Out of range에서 V_{cp} 값이 개선되었음이 증명되었고, Mode 절환, 시료 차, Torque의 인자가 아주 유의한 것으로 나타났다:

(i) Out of range에서 V_{cp}개선 정도

개선 전: 1466.5(97.7%: 부품 Spec.)

개선 후: 1165.7(77.7%: 부품 Spec.)

(ii) Torque 10일 때 기여율 17.3%로 V_{cp}에 영향이 큼

(iii) 개선 후 V_{cp}값은 평균 1,200V이하로서 안정됨.

표3 실험 계획표

구분	인가 스트레스	인가 수준	스트레스 인가방법	적용여부
사용	전원 on/off	1수준: on/off 2수준: 연속 on	power on/off	○
	사용전원	1수준: 정격 2수준: 240V	power supply	X
	Mode 절환	1수준: Normal 2수준: Out of Range		○
부품산포	h_{FE} 산포	1수준: 4.5이하 2수준: 4.6~5.9 3수준: 6.0이상	h_{FE} 측정 후 선별	○
	V_{CBO}	1수준: 1500V이상 2수준: 1500V 미만	V_{CBO}측정 후 선별	X
제조공정	Torque 강도	1수준: 4 torque 2수준: 6 torque 3수준: 10 torque	직접제조	○
	Surge 유입가능성	1수준: 유 2수준: 무	Line 성능 check 실시	○
설계요소	개선 전/후	1수준: 개선 전 2수준: 개선 후	시료배분	○

표4 시료배치현황

시료번호	h_{FE}값	V_{CBO}	Torque	Surge	개선 전/후	On/off	Mode절환	시험결과
1	4.36	1696	4	o	후	o	Normal	h_{FE}가 불량인 시료혼입
2	5.89	1702	6	x	전	o	N	
3	6.64	1656	10	o	후	o	N	
4	4.90	1656	6	x	후	x	Spec.over	
5	5.85	1680	10	o	전	x	O	V_{CP}:1500V이상
6	6.62	1662	4	o	후	x	O	
7	4.92	1670	4	o	전	o	N	h_{FE}가 4.5이하로 감소
8	5.84	1616	6	o	후	o	N	
9	6.67	1680	10	x	후	o	N	
10	4.80	1708	10	x	후	x	N	
11	5.87	1608	4	o	후	x	N	
12	6.63	1686	6	o	후	x	N	Out of Range시 고장
13	4.89	1728	10	o	전	x	O	
14	5.83	1614	4	x	전	x	O	
15	6.64	1640	6	o	후	x	O	
16	4.80	1690	6	o	후	x	N	
17	5.89	1662	10	o	후	x	N	
18	6.67	1622	4	x	전	x	N	3~5회 해상도변환후 고장

② PC 시스템을 변경하여 시험한 결과, Power on/off를 실시한 조건에서 V_{CP}가 높게 나타나 개선 전/후의 인자는 유의하다고 할 수 있다.

③ I_{CP}와 가장 관계가 깊은 것은 Torque로서 10 Kg/cm^{2}일 때 가장 악조건이며, 개선

전 시료는 개선후의 시료보다 유의 하다고 할 수 있어 개선 효과가 있는 것으로 판정된다. 개선 전후의 전류치를 비교해 보면 Out of Range에서 Peak 전류값은 개선전 시료에 비해 개선후 기료가 감소되었다.

그리고, ④ h_{FE}의 감소율은 h_{FE}가 Max일 때 가장 크며, 온도의 상승과 관계가 있는 것으로 나타나 h_{FE}의 감소율은 열 폭주와 연관성이 있는 것으로 판단된다.

4 결론

실험결과에 따라 각 조건별로 분산분석을 실시하고 SN 비를 계산하였다. 불량에 영향이 있는 PCB 공정분석 결과 제일 취약점으로 작용하는 것이 Heat sink 결합공정과 최종 성능 검사공정으로 판단되었다. 또 V_{CP} 폭주와 Heat sink의 발생원인이 검증되어, 실험을 통해 시장 불량을 재현하여 주요 요인을 검증하였고, 상기의 재현 실험결과에 따라 제품고장 인자가 산입될 수 있는 공정을 파악하여 제안된 개선 안은 다음과 같다:

(i) 부품 불량 혼입이 h_{FE}을 가져오므로 IQC에서 부품시험법을 개정해야 하고, 그 기준을 마련 하였다.

(ii) 외주업체에서 Heat sink 조립 시 Torque의 산포를 일정하게 관리하도록 하여 h_{FE}가 경시적으로 열화 되지 않도록 하였다.

(iii) 설계부문에서는 공정산포에 의해 V_{CBO} 규격을 벗어나지 않도록 V_{CP} 값을 낮게 설정할 필요성이 있었다.

(iv) h_{FE} 값 저하되어 TR의 내부 온도가 상승하여 열 폭주로 변하는 경향이 있으므로, 이 규격 내에 있도록 on/off 조건을 설정하였다.

(v) Screw hole에 유격이 생겨 Torque가 약해지는 현상이 발생하므로 Screw torque가 사용중 저하되지 않도록 Screw의 구조를 변경하였다.

재현시험에서 나타나는 결과를 이용하여 TR에 대한 부품 출하 보증 방법을 정립하여 재현 시험개발 프로세스를 정립하였고, 시험장치를 계속되는 모델에 적용하기 위해 Mode 변환을 위한 자동 프로그램의 개발이라든가 재현 시험개발 시스템을 정립한 후 타 부품으로 적용할 필요성은 향후 과제라 할 수 있다.

참고문헌

[1] 이영주, 박영현, 박성현, 통계적 공정관리, 민영사, 1997

[2] 信賴性セミナーテ專門 コース・テキスト,日本科學技術聯盟, 1995

[3] 박성현, 품질공학, 민영사, 1997

[4] A.Birolini, Quality and reliability of technical systems, Springer Verlag, 1994

[5] 권수호, 신뢰성 평가를 위한 구성요소, 제2회 신뢰성기술 Work shop, 아주대학교 신뢰성센터, 2000