

영상 제품 PBA Level에서의 HALT 적용 사례

<1> 박상득, 최완수, *강상구, <2> 심진원

요 약

최근 신뢰성 가속 시험 분야에서 제품의 잠재 또는 취약 부위를 단기간에 효과적으로 검출할 수 있도록 개발된 HALT(Highly Accelerated Life Test) 기술을 당사에서 생산 중인 영상 제품에 적용하였다. 적용 결과 HALT는 기존의 보증용 가속 시험에서 추구하는 고장 데이터의 통계적인 수명 예측이나 고장률 추정의 절차를 따르지 않고도 한계 스트레스 시험을 이용하여 제품의 잠재적인 취약부위를 단기간에 효과적으로 촉진하고 들춰 내어 전자 제품에 적용할 수 있는 유용한 가속 스트레스 시험 기술임이 입증되었다.

1. 서 론

일반적으로 설계 및 제조 공정의 취약으로 인해 불충분한 신뢰도, 낮은 MTBF, 빈번한 시장 불량, 높은 Warranty Cost, 고객불만 등이 자주 발생하게 된다. 심지어 Qualification Test 나 Burn-In 등을 통과하여 출하된 제품에서도 이같은 문제점이 발생한다. 이를 해결하기 위해서는 제품이 출하되기 전 설계 단계에서 가능한 한 빠르게 제품에 대한 실질적인 고장정보가 요구된다. 하지만 기존의 가속시험 기법으로는 적용 및 시험법 개발에 한계가 노출되어 산업현장에서 활용하기에는 많은 문제점을 갖고 있었다. 본 논문은 최근 미국을 중심으로 많은 적용 효과를 보이고 있는 Hobbs⁽¹⁾에 의해 창안된 HALT 기술을 당사 영상 제품에 적용하여 그 효과성을 고찰한 사례이다.

일반적인 방법으로 제품의 결함을 알아내기 위해서는 통계적으로 많은 시료가 필요하다. Seusy⁽²⁾의 논문에 의하면 주어진 문제점을 들추어 내는데 한번의 관찰이 충분하다는 가정 하에서 모집단의 2%가 문제점이 있고 95%검출 확률이 요구되면 145개의 시험 시료가 필요하다. 그러나 이같은 시료 수는 현실적으로 제품 제조 업체에서 적용하기 어려운 수치이다. 반면에 HALT에서는 시료 수를 줄이는 대신 스트레스 수준을 올리고 복합화하여 단기간에 잠재 문제점을 유발시키고 설계마진을 확보하기 위한 정보를 수집하는 데 초점을 맞춘다. 즉 일반적인 보증용 수명시험 또는 가속시험에서와 같이 MTBF를 예측하는 등의 통계적인 데이터 처리를 추구하지 않고 발생 고장 증상에 대한 개선점을 설계단계에서 조기에 확보하는 것이 HALT의 주요 목적이다. 이러한 활동은 궁극적으로 MTBF의 향상을 나타내게 된다.

2. 배경 이론

HALT는 다양한 한계 스트레스를 이용하여 제품의 취약부위를 단기간에 실험적으로 규명하는 Margin 발견 프로세스다. Field에서 오랜 시간 동안 작은 스트레스를 받아 발생하는 고장은

<1>삼성전자 CS경영센터 <2> 삼성전자 디지털 영상(사)

짧은 시간 동안 높은 Stress 수준을 인가하여 동일 고장을 검출할 수 있다. 제품을 강건하게 하기위해 고장의 원인이 명확히 규명되어야 하고 Cost 및 제품이 도달할 수 있는 기술의 한계를 고려하여 최대한 문제점이 수정 되어야 한다. 이같은 프로세스는 제품의 내력과 사용환경 사이에서 높은 마진을 확보할 수 있도록 해주며 결국 제품의 신뢰성을 향상시키고 시장불량을 줄이게 된다. 전자 제품의 경우 고장발생 경과를 Stress-Strength 모델 관점에서 보면 그림.1 에서 와 같이 초기에는 설계마진이 확보되어 있다 하더라도 사용시간 경과에 따라 열화과정을 겪게 되어 Stress 분포와 Strength 분포가 겹치는 부분에서 고장이 발생하게 된다. HALT는 그림.2 에서 와 같이 스트레스를 인위적으로 이동시켜 시간 T_i 시점 상황을 T_0 에서 구현하여 궁극적으로 T_0 와 T_i 의 간격을 늘리는 시험 기법이다.

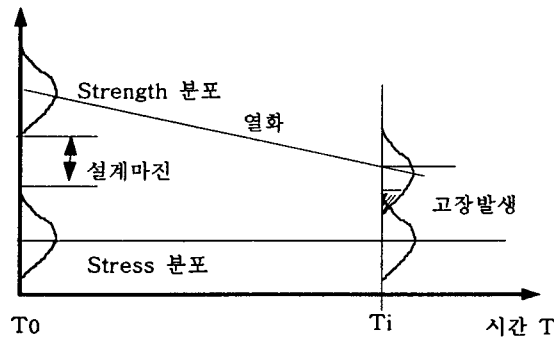


그림.1 고장 발생 과정(Stress-Strength 모델)

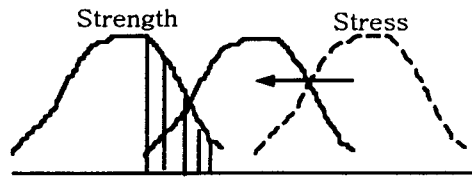


그림.2 스트레스 이동

전자 제품의 주요 고장모드는 온도, 온도 변화율, 진동, 전압, Power Cycling 등에 의해 촉진되어질 수 있다. 환경인자를 이용하여 HALT를 실시할 경우 각각의 촉진자가 일으키는 고장 메카니즘을 알아보면,

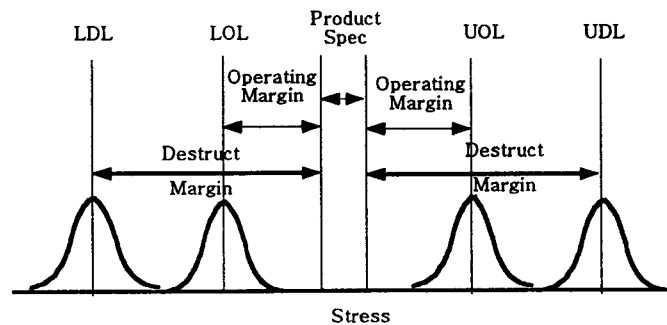
온도는 불량부품이나 Data Processing Problem을 들추어 낸다. 온도 변화는 Solder Joint 에 Creep 또는 재질 열화를 촉진시킨다. 이를 이용해 시장에서 오랜 시간에 걸쳐 발생하는 취약한 Solder Joint나 IC Package 결점, 열팽창 계수의 불일치, 부품 실장 문제, Data Processing 문제 등을 검출할 수 있다. 온도 변화가 클 수록 유발 효과는 더 크다. 온도 변화율 차이에 의한 가속성 비교에 관한 Smithson⁽⁴⁾의 실험 논문에 의하면 표면 실장 트랜지스터를 400,000개 시험했을 경우 온도 변화율에 의한 가속계수는 5℃/분 보다 40℃/분의 경우가 약 400배임을 보여 주었다.

진동의 경우 부품 Lead, Solder 등에 높은 반복 피로를 유발하여 기구적인 취약부위를 촉진

시킨다. 또한 부적절한 Connection 부위는 정상적인 Connection 부위에 손상을 주지 않는 수준의 낮은 진동에 의해서도 문제점이 들추어진다. Steinberg⁽⁵⁾의 S-N 선도(스트레스-수명 Cycle)이론에 따르면 진동에 의한 누적 피로 손상관계는 $D \approx n \sigma^\beta$ (D: 누적 피로 손상 n: Stress cycle 수, σ : 기계적 스트레스, β : 지수(대부분 8~12임)과 같이 표현된다. 즉 인가 에너지 2배 증가는 제품스트레스 2배 증가이며 7075-T6 Aluminum의 경우 1,000배의 수명 가속성을 가지게 된다.

전압 또는 Power Cycling은 회로 부품의 전기적 내력 및 이상동작 여부를 파악할 수 있는 효과적인 스트레스이다. 이는 Inverse Power Model에서 주로 설명되어지는 부분이다.

HALT는 이들 스트레스 인자를 규정된 절차에 따라 인가하게 되는 데 기본적으로는 한계시험 방식을 따른다. 즉 모든 스트레스 촉진자에 대하여 제품 스펙 또는 Field 환경 이상에서 상하한 동작수준 및 파괴한계수준을 파악하는 시험을 수행하게 된다. 그림.3 에 의하면 UOL과 LOL까지 시험하여 동작한계를 알아보고 UDL과 LDL 에서는 파괴한계를 알아보게 된다. 대부분의 전자 부품은 정격사용 조건 범위 밖에서도 동작되도록 설계되기 때문에 이러한 한계시험이 가능하게 되며 고장에 대한 정보도 정격범위 밖에서 시험 할 경우 보다 더 효과적으로 얻을 수 있게 되는 것이다.



LOL: Lower Operating Limit
 LDL: Lower Destruct Limit
 UOL: Upper Operating Limit
 UDL: Upper Destruct Limit

그림.3 HALT 시험 한계

3. 시 험

3.1 시료 선정

본 시험에 사용된 시료는 53" Projection TV 모델로서 시장과 공정에서의 고장 데이터를 확보한 양산 제품이 선정되었다. 영상 제품의 주요 기능은 PBA(Printed Board Assembly)에 집중되어 있고 시장에서의 고장 모드도 대부분 PBA와 관련되어 있으므로 시험부위는 PBA Level로 국한하였다. HALT 적용성을 높이기 위해서는 양산 제품이 아닌 개발 단계 모델을 선정하는 것이 효과적이거나 시험의 검출력, 상관성, 가속성 등을 비교 파악하기 위해서는 양산 모델 선정이 타당하다고 판단되었다.

3.2 Fixturing

본 시험을 위해 60℃/분의 온도 변화율 성능과, 동시에 10kHz 주파수 대역에서 40Grms 이상의 6자유도 Random Vibration 인가가 가능한 장비를 이용하였다. 인가 진동 에너지가 손실없이 전달될 수 있도록 그림.4 와 같이 PBA Holder의 4개 모서리를 알루미늄 Bar를 이용하여 Vibration Table위에 고정시켰다, Monitoring을 용이하게 하기위해 전원선 및 신호선을 길게 정형하여 Chamber 외부로 이탈 시키고 영상 스크린을 연결하였다. 이 때 신호선 연장에 의한 Noise 간섭을 배제하기 위해 부가 조치를 취하였다.

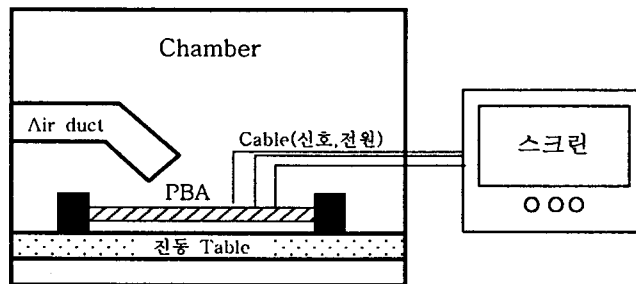


그림.4 HALT Fixturing

3.3 Monitoring

HALT 수행 중 제품의 이상 동작 유무는 Chamber 외부의 스크린 및 리모콘을 이용하여 지속적으로 확인되었다. 전원 전압은 160~300V 범위에서 인가되고 영상 신호 입력은 White Cross, Color Bar Pattern 등을 입력하였다. 결함 발생시 증상이 기록되었으며 재현을 위해 보조 시험이 일부 수행되었다.

3.4 시험절차

HALT는 아래의 5개 Test Step으로 구성되며 시료 수는 4대이다. 각각의 스텝에는 L-Temp H-Temp, Rapid Temp를 제외하고 별도의 시료(PBA)를 사용하였다. Functional Test를 10분간의 Dwell Time중 수행하고 이상유무를 기록하였다.

- 1) Low Temperature Step Stress Test
10℃부터 10℃씩 온도를 낮추어 LOL과 LDL(생략가능)을 결정한다.
- 2) High Temperature Step Stress Test
30℃부터 10℃씩 온도를 올려가며 UOL과 UDL(생략가능)을 결정한다.
- 3) Rapid Thermal Shock Cycle Test
60℃/분 변화율로 LOL과 UOL 사이에서 온도 싸이클 시험을 5회 수행한다.
- 4) Vibration Step Stress Test
5Grms부터 VOL과 VDL을 결정하기 위해 5Grms씩 증가시킨다.
- 5) Combined Thermal Shock and Vibration Test
LOL과 UOL 사이에서 온도 Cycle이 5회 이루어지며 VOL을 동시에 인가한다.

3.5 시험결과

HALT 실시 결과 15종의 고장이 발생하였으며 이들 고장은 대부분 시장에서 발생하는 고장 유형과 동일한 증상이었다. 이를 나열하면 다음과 같다.

상 떨림 발생, 콘버전스 틀어짐, 화면 왼쪽 수직 노이즈 Bar 발생, 가로줄 노이즈 발생, 화면 깜박임 발생, 수직패턴 그림자 줄무늬 발생, 대각선 물결무늬 Noise 발생, 좌우 상 줄어들면서 흔들림 발생, 음량 가변시 잡음 Noise 발생, 상하 상 Size 줄어들음, 화면 꺼짐 발생, 화면 하부 상 말리며 수평띠 흘러내림, CG Module X-Tal Lead 단선됨, HV Module H-Drive TR Lead 납 크랙, VM Module Connector Lead 납 크랙, CG' Amp 저항 RZ149 Lead 끊어짐, RZ142,RZ143 저항 연소됨.

1) 검출력

본시험에 적용된 모델은 양산 시 공정에서 24시간의 양산 Aging 시험을 실시하게 된다. 따라서 양산 Aging 시험 고장 데이터와 양산 제품에 적용한 HALT 고장 데이터를 비교하여 검출력을 산출하는 것이 가능하다. 비교결과 HALT의 검출력은 시료수 기준으로 약 107배의 효과를 나타내었다. 즉 HALT를 적용하여 소수 시료로 시장에서 발생하는 많은 고장현상을 높은 검출력으로 재현할 수 있었다.

구분	시료수	실제 문제	부품 문제	제조 문제	Total	검출력 (대당)	비고
HALT	4	6	2	7	15종	3.75개	3.75/0.035 =107
양산AGING	514	14	3	1	18종	0.035개	

표1. 검출력 비교표

2) 상관성

실제 공정 및 시장에서 발생하는 고장 현상을 적절히 재현하는가를 알아보기 위해 HALT에 적용된 동일 샤시와 Projection TV전체 모델로 이원화하여 비교하였다. 비교대상은 동일 샤시 비교인 경우 공정 및 시장 고장 데이터이며 Projection TV전체 모델 비교인 경우는 1년간의 시장 불량 Worst 15위 데이터이다. 증상별로 비교한 결과 73~100%의 상관성을 나타내었다.

표2.에서 증상 재현 예는 상떨림, 콘버전스 틀어짐, 왼쪽 수직 노이즈Bar 발생, 상하 상 Size 줄어들음, 하부 상말림. 등으로 시장과 동일한 증상을 말하며, 발생가능 예는 HV Module H-Drive TR Lead 납 크랙, V/M Module TR Lead 납 크랙, CG Module X-Tal Lead 단선 등 주로 장기적인 신뢰성 문제가 우려되는 증상이었다.

구분	증상재현	발생가능 (신뢰성 측면)	비고
동일 샤시 비교 (공정 및 시장)	6/15(40%)	9/15(60%)	73~100% 상관성 보임.
PJT TV 전모델 비교 (시장불량 Worst15)	11/15(73%)	-	

표2. 재현성 비교

3) 가속성

HALT 에서는 일반적인 가속시험 절차에서 수행하는 수명 데이터의 분포를 이용한 엄정한 통계적 가속계수 산출을 할 수가 없으며 무의미하다. 그러나 양산 시료를 이용한 본 시험에서는 공정 및 시장 데이터가 존재하므로 총 시험시간 비교 및 대표 사용 시간과의 산술적 비교로 HALT의 가속성을 나타낼 수 있었다. 이에 대한 전제로서 비교 조건별 데이터 상관성이 70% 이상이므로 시간 단축에 의한 가속성 비교는 현실적으로 유의하다고 판단하였다. 양산 Aging 조건은 제품 내부 온도 54℃에서 24시간 실시된 자료이고 시장 데이터는 1일 사용시간 7시간 기준으로 1년간 사용한 대표 시간이다. 비교결과 가속성은 양산 Aging 조건 대비 1,542배 이며, 시장불량(1년) 대비 319배 임을 알 수 있다.

HALT 소요시간	양산 Aging 소요시간	시장불량 1년 사용시간
2hr.(기준시험시간) ×4(시료수) = 8Hr.	24Hr.(Aging 시간) × 514(시료수)=12,336 Hr.	7Hr.(일사용시간) × 365일 =2,555Hr.
가속성 비교	12,336/8 = 1,542배	2,555/8 = 319배

표3. 가속성 비교

3.6 ReHALT

본 모델의 1차 HALT 결과에 대해 Failure Analysis를 수행하고 개선 활동을 연계하였다. 이어서 개선 정도를 확인하기 위하여 2차 HALT(ReHALT)를 실시하였다. 이때 적용된 스트레스 수준은 1차 HALT의 수준과 동일하게 유지하였다. 시험결과 1차 문제점의 개선 상태를 확인하였으며 2건의 신규 문제점이 발생하였다.

4. 결 론

영상 제품 PBA Level에 대하여 HALT 기술을 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) HALT의 검출력은 양산 Aging 시험 대비 시료수 기준으로 약 107배의 효과를 나타내었다. 즉 HALT를 적용하여 소수 시료로 시장에서 발생하는 많은 고장 현상을 높은 검출력으로 재현할 수 있었다.

2) 동일 사시의 공정 및 시장 고장 데이터와 Projection TV 전체 모델의 1년간 시장 불량 Worst 15위 데이터를 증상별로 비교한 결과 73~100% 상관성이 나타났다. 즉 HALT에서 사용하는 스트레스 인자 및 시험절차는 실제 시장에서 발생하는 고장증상을 충분히 재현함을 알 수 있었다.

3) 24시간 양산 Aging 조건 대비 가속성은 1,542배 이며 1년간의 시장 데이터 대비 가속성은 319배 이었다. 즉 HALT를 개발단계에 적용할 경우 기존 시험보다 빠르게 고장정보를 확보함으로써 신뢰성 강건설계 Tool로 유용하게 활용될 수 있음을 알 수 있었다.

4) ReHALT를 통하여 1차 HALT의 문제점에 대한 개선 확인을 할 수 있었고 추가적인 취약점도 검출할 수 있었다.

5) 영상제품의 주요 기능은 PBA에 집중되어 있으므로 단기간에 PBA의 취약점 및 잠재 문제점을 촉진하고 그에 대한 정보를 얻고자 할 경우 HALT의 효과성이 입증되었다.

HALT는 향후 전자 제품의 가속 스트레스 시험 기술로서 기존의 시험법들을 보완 대체할 것으로 전망된다.

참고 문헌

- (1) "HALT and HASS Seminar Notes", G.K.Hobbs, 1999,
- (2) "Achieving Phenomenal Reliability Growth", Clifton Seusy, ASM Conference on Reliability, 1987
- (3) "Reliability Growth Management in Non Military Industry", Clifton J.Seusy,1998
- (4) "Effectiveness and Economics--Yardsticks for ESS Decisions", S.A. Smithson, IES ATM, 1990
- (5) "Vibration Analysis for Electronic Equipment", Dave Steinberg, wiley, 1988
- (6) "Straight Talk About Accelerated Stress Testing", Eugene R. and Edmond L. Kyser, Sound and Vibration, 1998