

HALT 기술을 이용한 Note PC main board의 NDF성 고장 검토 사례

The analysis on the NDF(No Defect Found) of Note PC main board using
HALT

*강상구, **김재이

*SangGoo Kang, **JaeEe Kim

ABSTRACT

본 논문은 시장 사용 조건에서 발생한 PC제품의 Main board 고장품이 회수 후 검토 시 정상적으로 기능하여 나타나는 NDF(No Defect Found) 판정 상황에 대한 효과적인 검토 방안을 제시한다. NDF 시료의 고장성 진위 여부를 가리기 위해 HALT(Highly Accelerated Life Test)기술을 응용한 결과 기존의 시험 검토 방법보다 높은 재현 효과를 보였다. 결함 제품의 잠재적인 취약부위를 단시간에 효과적으로 촉진하고 들춰 내는 HALT 기술은 전자 제품의 NDF성 고장을 기술적으로 접근하여 개선할 수 있는 기초를 제공하는 유용한 가속 스트레스 시험 기술임이 입증되었다.

1. 서 론

전자제품을 제조하여 판매하는 기업체가 당면한 품질 문제 중 하나는 회수된 반품에서 고장 현상이 재현되지 않아 정확한 방지대책을 적용하지 못함으로 인해 동일문제가 지속적으로 발생한다는 것이다. 일부제품에 있어서는 회수품 중 50~60%에서 이런 현상이 나타나며, 제조자의 잘못된 해석과 판단으로 많은 시간과 비용을 소비하고 고객으로부터 불만을 증폭시키게 된다.

그 동안 당사에서는 이런 비재현성 고장 현상을 감소시키기 위한 많은 신뢰성 개선 활동을 추진해 왔으며 시장 회수품의 비재현성 결함을 NDF(No Defect Found)성 고장이라 칭하고 신뢰성 시험을 적용하여 발생율을 감소시키는 활동을 추진해 왔다. 여기서 NDF성 고장을 보는 견해는 크게 두 가지로 구분된다. 하나는 회수된 제품 또는 Unit에 원천적으로 결함이 존재하지 않아서 회수 후 검사 시에도 고장 증상이 나타나지 않는 경우이다. 이런 경우는 AS 수리과정에서 고장부위가 정확히 구분되어 수리되지 못하고 양품 Board가 교체된 경우이다. 현실적으로 이런 경우는 여러 가지 원인에 의해서 발생하고 있다. 이런 경우는 당연히 회수품의 상태는 고장이 재현되지 않는 양품의 상태로 나타나게 된다. 다른 하나는 실제 회수품이 원천적으로 고장증상을 갖고 있으나 고장 재현기술(Test coverage)이 미흡하거나 고장품의 일부분만 회수되어 적절하게 원인을 밝혀내지 못하는 경우이다. 이런 경우는 자칫 판단의 오류로 회수품을 양품으로 판정하여 재사용하는 상황이 발생하며 또다시 반복적으로 시장에서 동일 고장이 발생하게 된다. 따라서 NDF성 고장 회수품의 고장 잠재 유무를 규명하는 것은 이같은 문제를 해결하는 가장 기본적인 절차이며 중요한 실마리라 할 수 있다.

본 논문은 당사에서 발생하는 Note PC main board 의 NDF성 고장 증상을 재현하기 위해 기존의 시험 평가방법과 다른 가속 스트레스 시험기술 (HALT)을 응용하여 그 적용 및 효과성을 고찰한 사례이다. 현재 HALT 기술은 미국을 중심으로 PBA Level에서 신뢰성을 가속 평가

* 삼성전자(주) CS경영센터 전문기술그룹, **삼성전자(주) 컴퓨터 시스템(사) 제조기술그룹

하기 위한 방법으로 다양하게 사용되고 있으며 국내에서도 그 효과성이 입증되고 있다.

2. 배경 이론

일반적으로 전자제품의 PBA(Printed Board Assembly)에서 발생하는 고장현상은 단순한 기능시험을 통하거나 일정량의 균일 스트레스를 인가한 상태에서 동일하게 재현된다. 그러나 제품이 복잡해지고 기능이 다양해지면서 그런 경우에서 예외적인 상황이 발생하게 된다. 즉 스트레스-동작마진 관점에서 볼 때 특정의 단일 스트레스 또는 복합 스트레스를 인가하면 그 조합성과 상관없이 고장현상이 쉽게 재현되리라 가정할 수 있으나 특정 고장현상들은 오히려 스트레스가 높을 경우 재현이 더 안되거나 특정한 복합 스트레스 조건 하에서만 재현되는 경우가 발생한다. NDF성 고장 회수품의 경우가 특히 이같은 성향의 고장 재현성을 나타낸다.

즉 잠재 고장이 존재한다고 가정할 경우 단순한 시험 평가법으로는 고장유무를 규명하기 곤란한 경우가 발생한다.

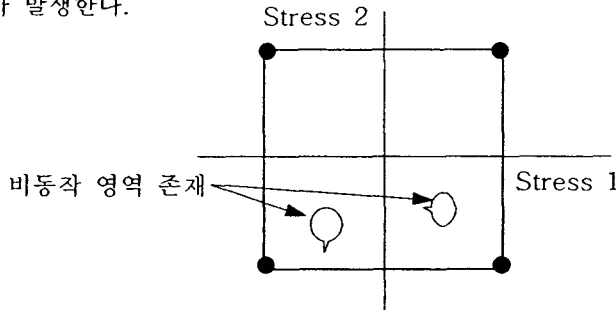


그림1. Four corner test의 문제점

그림1.은 대표적인 마진 확인 시험으로 사용되는 Four corner test의 개념도를 나타낸다. 이 경우 4개의 모서리에 해당하는 스트레스를 인가하면 box 내부의 스트레스 수준에서 발생하는 고장 증상이 모두 확인될 것이라는 가정을 하게 된다. 그러나 이러한 가정이 항상 성립하는 것은 아니며 제품에 따라서 또는 고장유형에 따라서 예외적인 경우가 발생한다. 즉 box 내부에는 특정 스트레스 조합 상태에서만 고장이 발생하는 비동작 영역이 존재하기도 한다. 이는 고집적 회로를 사용하는 PBA에서 흔히 발생하는 현상이다. 가장 대표적인 경우가 NDF성 고장 증상을 나타내는 PBA에서 자주 발생한다. 일종의 고장현상과 스트레스의 비선형적 관계라 말할 수 있으며 이와 같은 현상을 해결하기 위한 현실적인 방법은 스트레스 조합 조건의 해상도를 높이는 방법을 들 수 있다. 즉 스트레스 조합을 정적으로 두지 말고 변조가진(Modulated excitation)시켜 최대한의 스트레스 조합 수준을 발생시켜 비동작 영역을 추적해 들어가는 방법을 사용해야 한다.

실용적인 관점에서 볼 때 변조 가진시 사용되는 스트레스는 온도와 진동이다. 온도는 불량부품이나 Data Processing Problem 검출, Resistance, Inductance Capacitance, Power, Dielectric Constant 등 전기 특성치 변화 및 절연성 저하를 촉진하는 인자이며 진동은 부품의 Lead, Solder접합부, 조립부, Lead Forming부, 회전 마찰부 등에 반복 피로를 유발시켜 기구적 취약부위를 촉진하는 인자이다. 여기서 NDF 성 고장현상을 재현하고자 할 때는 반드시 전원이 입력된 동작상태에서 상기 스트레스를 인가해야 한다. 이유는 특정 스트레스 조합 상태에

서 고장 현상을 파악하기 위해서는 연속적인 동작 조건이 설정되어야 하기 때문이다.

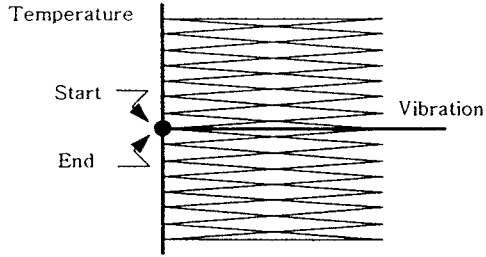


그림2. Modulated excitation 의 2차원 도해

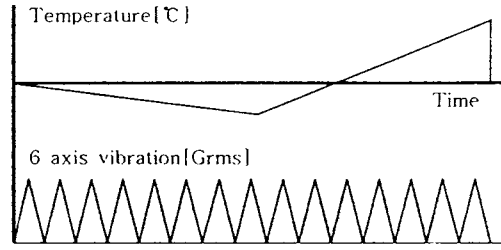


그림3. Modulated excitation 의 시간축 도해

그림2.를 보면 Modulated excitation 방법을 적용할 경우 온도 변화구간 동안 진동스트레스 Input 값을 최대한 빠르게 변화시켜 2가지 스트레스 조합의 수를 늘릴 수 있음을 알 수 있다. 이 때 중요한 것은 그림3.에서와 같이 온도 스트레스의 변화는 상대적으로 최대한 느리게 하는 것이다. 즉 특정 온도에서 진동값을 빠르게 가변시켜 동작시킴으로서 잠재되어 있는 고장모드를 검출할 수 있는 확률을 최대한 높일 수 있는 것이다.

3. 시 험

3.1 시료 선정

본 시험을 위해 시장에서 회수된 Note PC에 사용되는 P-II 333MHz 용 Main board 16장과 P-III 550MHz Main board 20장이 선정되었다. Note PC 구조면에서 볼 때 Main board는 컴퓨터의 핵심기능을 담당하고 있으며 복잡한 회로 구조로 구성되어 있어 쉽게 고장 재현을 하기 어렵다. 선정된 시료는 출하된 지 6개월 이내의 제품이며 공장 내 수리사에 의해 1차 Bench test 결과 정상 동작하는 것으로 판명되어 NDF성 고장품으로 분류되었다.

3.2 Test flow

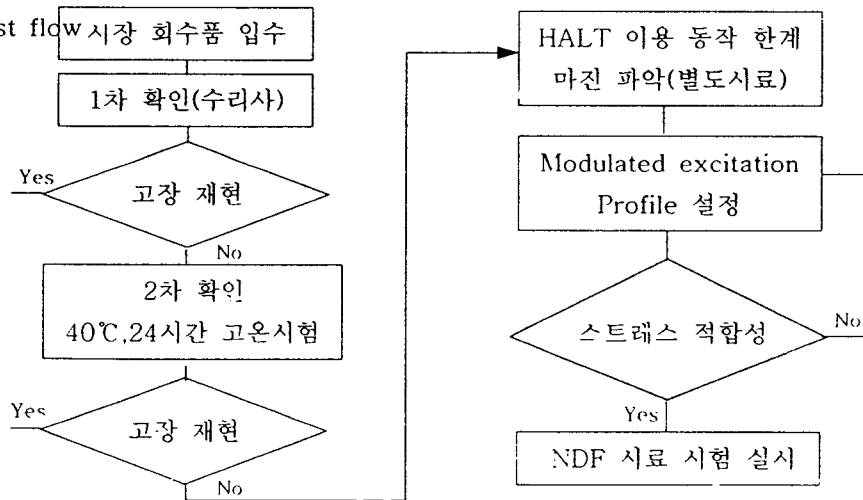


그림4. NDF성 고장 확인 시험 흐름도

NDF성 고장 회수품의 고장 잠재 유무를 확인하기 위해 그림 4.의 과정과 같은 순서로 진행하였다. 여기서 수리사에 의한 1차 확인 결과 정상품으로 확인된 시료를 2차로 고온조건에서 동작시켜 잠재 고장 증상이 파악되는지를 확인한다. NDF 특성상 대부분의 경우 2차 고온동작 조건에서도 잠재결함이 검출되지 않는다. 따라서 최종적으로 스트레스 변조 가진(Modulated excitation) 방법을 적용하여 잠재 결함을 확인한다. 이 때 변조 가진 프로파일을 작성하기 위해서는 별도의 양품 Board를 복수로 사용하여 Step Stress 방식으로 한계 동작 마진(UOL:Upper Operating Limit, LOL:Lower Operating Limit)을 구한다. 여기서 구해진 동작 마진 범위 내에서 실제 NDF 판정 시료에 적용될 변조 가진값의 스트레스 상 하한값을 결정한다.

적절히 설정된 변조가진 스트레스 값은 고장이 잠재되어 있지 않은 양품 Board에 대해서는 부가적인 고장을 유발시키지 않는다. 이를 명확히 하기 위해서는 동일 시료에 2회에 걸쳐 변조가진 스트레스를 인가하고 부가적 고장이 발생하지 않음을 확인해야 한다. 만일 부가 고장이 유발될 경우는 스트레스 수준을 낮추고 변조 가진 프로파일을 재 설정해야 한다. 이어서 최종적으로 확인된 변조가진 프로파일을 적용하여 NDF 판정시료의 잠재고장 유무를 확인한다.

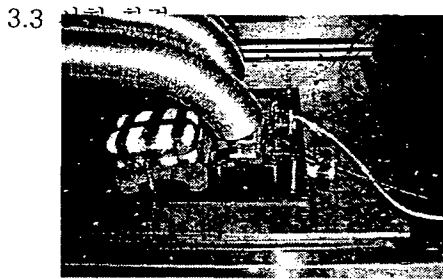


그림5. Fixturing

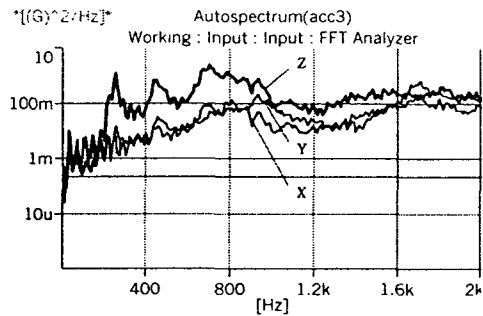


그림6. Board 진동 응답 (3Axis)

NDF성 고장품의 잠재고장을 규명하기 위해서는 스트레스 변조가진이 용이한 HALT Chamber를 이용하는 것이 바람직하다. 특히 HALT Chamber는 전자기장 영향이 없이 6축 진동이 가능하기 때문에 기구적 잠재 고장모드를 쉽게 재현하는 장점이 있다. 그림5.는 Board가 고정되어 있는 HALT Chamber 내부의 모습이다. 시험 중 Board의 동작 이상유무를 알아보기 위해 외부에 별도 모니터가 설치되어 있으며 인터페이스 케이블과 전원선을 통해 내부의 동작을 제어하게 된다. 그림6.은 진동 인가시 Board 중앙에서 발생하는 3방향의 진동 응답 Spectrum을 나타낸다. 가진기 특성상 상하 방향의 진동 응답값이 가장 크게 나타남을 알 수 있으며 광대역의 주파수로 가진 할 수 있으므로 소형 부품 수준까지 가진이 가능하다. 본 시험에 사용된 HALT 시험기는 2~10KHz Band의 주파수 가진이 가능하며 주요 가진 대역은 2~2KHz 대역이다. Board에 인가되는 고저온 스트레스는 Air duct를 통해 Board 표면에 직접 인가되며 전체적인 온도 균일성을 유지한다.

3.4 변조가진 프로파일 (Modulated excitation profile)

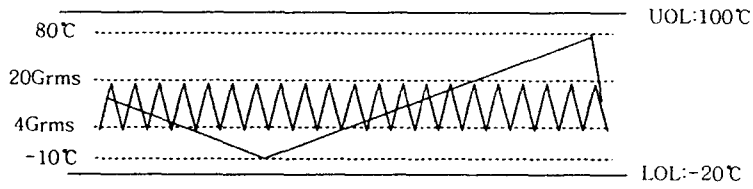


그림7. NDF 검증용 Modulated excitation profile

별도 선정된 양품시료 2대로 HALT Step stress test를 통해 한계 동작 수준을 파악한 후 시험 수준 마진을 더 확보한 뒤 2회에 걸쳐서 확인 시험을 실시하였다. 이 때 온도 변화율은 1°C/분으로 하고 진동 변화율은 4Grms → 20Grms/2분으로 설정하였다. 그림 7.의 NDF 검증용 Modulated excitation profile을 적용한 결과 2대의 별도 양품 시료에 대해서는 과도한 스트레스로 인한 비상관 고장을 유발시키지 않았으므로 회수된 Board에 적용할 수 있는 적절한 프로파일임을 확인할 수 있었다.

4. 결 과

1차 수리사 평가시 NDF Board로 판정된 동일 시료를 고온 Aging 조건 및 HALT 조건에 적용한 후 아래의 같은 결과를 얻었다

구 분	1차 수리사 평가	2차 고온 Aging	3차 HALT
조 건	상은 기능 평가	40°C, 24시간, Aging	Modulated excitation
P-II 333MHz Main board 16장	NDF:16장	NDF:16장 증상재현:0 재현율:0%	NDF :11장 증상재현:5장 재현율:31%
P-III 550MHz Main board 20장	NDF:20장	NDF:20장 증상재현:0 재현율:0%	NDF :16장 증상재현:4장 재현율:20%

표1. 재현시험 방법별 검출 결과

검출된 결함 증상	
P-II 333MHz Main board 5장	P-III 550MHz Main board 4장
1. Power on 시 화면 안나옴. 2. 간헐적 Power on 안됨. 3. 외부 키보드 인식 못함. 4. 동작중 화면 멈춤. 5. CMOS Error	1. 동작중 화면 멈춤. 2. 화면 깨지며 오동작함. 3. 화면 깜박이며 정지됨. 4. 부팅 안됨. 5. 화면 안나옴.

표2. 검출된 결함 증상

시험 결과를 분석해 보면 수리사에 의한 1차 평가시 NDF로 판정된 시료는 고온 Aging에서 확인할 경우에도 잠재 결함이 거의 검출되지 않음을 알 수 있다. 즉 정적 온도에 의한 단일 스트레스 시험 조건은 NDF성 Board 평가시 재현 효과가 떨어짐을 알 수 있다. 반면에 Modulated excitation profile을 이용한 재현 시험 결과 20~31%의 높은 재현율을 나타냈다. 이는 앞서 설명한 대로 스트레스를 정적으로 두지 말고 변조 가진 시켜 최대한의 스트레스 조합 수준으로 비동작 영역을 추적해 들어가는 방법이 보다 효과적임을 증명한다.

표 2.에 나타난 증상들은 온도와 진동의 특정 조합 상태에서 나타났으며 스트레스 제거 시 원 상태로 회복되는 경우가 있었고 일부는 잠재 결함이 충분히 촉진되어 정상 조건 하에서도 증상이 재현되었다. 표2.에 나타난 증상들은 실제 시장에서 사용 중 Main board내부의 결함으로 발생하는 고장모드와 동일한 현상임을 밝혀 둔다.

변조 가진에 의해서도 재현되지 않은 Board는 AS 수리과정에서 고장부위가 정확히 구분되어 수리되지 못하고 양품 Board가 교체된 경우이거나 주변기기와의 조합성 문제인데 고장품의 일부분만 회수되어 적절하게 조합평가를 실시하지 못해 나타난 현상으로 판단된다.

4. 결 론

Note PC Main board 의 NDF성 고장 증상을 재현하기 위해 Board level에 HALT 기술을 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Board level의 NDF성 고장은 일반적인 기능검사나 정적 스트레스 평가법으로는 재현하기 어려우며 변조가진(Modulated excitation) 방법이 보다 효과적임을 알 수 있었다.
즉 잠재된 고장모드 확인은 복합 스트레스가 적절히 변화되어 인가될 경우 쉽게 들추어 짐을 알 수 있다.
- 2) Note PC main Board 2개 모델에 적용 결과 변조가진 프로파일 적용시 최대 31%의 재현율을 나타낸 반면 정적 스트레스 평가법인 고온 Aging 방법은 고장 재현 효과가 없었다.
- 3) 최적의 변조가진 프로파일을 설정하기 위해서는 Step stress test를 선행하여 한계 동작 마진을 충분히 파악해야 하며 또한 프로파일 적용 가능성에 대한 확인 절차가 필요하다.
- 4) 변조가진 프로파일은 느리게 변하는 온도와 급격히 변하는 6축 Random vibration의 조합으로 구성할 수 있으며 시험 대상별로 수준을 차별화 해야 한다.
- 5) 변조가진 프로파일의 장점은 스트레스 조합 수를 가장 높게 가져갈 수 있다는 것이며 비동작 영역을 추적 가능하며 잠재 결함 검출에 보다 효과적이다.

HALT를 응용한 전자 제품의 Board 가속 스트레스 평가법은 다양한 방법으로 응용이 가능하며 향후 기존의 시험법들을 보완 대체할 것으로 전망된다.

참고 문헌

- (1) "Accelerated Reliability Engineering" G.K.Hobbs, 2000
- (2) "HALT and HASS Mastering Seminar Notes". G.K.Hobbs, 2001
- (3) "Effectiveness and Economics--Yardsticks for ESS Decisions", S.A. Smithson, IES ATM, 1990
- (4) "Vibration Analysis for Electronic Equipment". Dave Steinberg, wiley, 1988
- (5) "Straight Talk About Accelerated Stress Testing", Eugene R. and Edmond L. Kyser, Sound and Vibration, 1998
- (6) "Solder joint Reliability of BGA,CSP,FlipChip, and Fine Pitch SMT Assemblies" John H.Lau and Yi-HsinPao, 1997
- (7) "영상 제품 PBA Level에서의 HALT 적용 사례" 박상득,강상구,심진원, 한국신뢰성학회 2000년 춘계학술대회, 2000