

전자제품의 신뢰성 향상을 위한 HALT기법 연구

이희복¹, 위신환¹, 박동규¹

자동차부품연구원 전자신뢰성연구센터¹

Email: hblee@katech.re.kr, shwei@katech.re.kr, dkpark@katech.re.kr

Abstract

Recently, the application of electronics in vehicle is increasing. in order to assess the reliability of the electronics, highly accelerated life test is used. highly accelerated life test can assess the reliability of the electronics in the short time. In this study, optimized HALT technique can be applied to the electronics is proposed. The main results are as follows; i) HALT is proceed to the 8-step process. ii) The test mode of HALT is composed of the cold step stress, hot step stress, vibration step stress and combined environments stress. iii) The time dwell is set to at least 20 minutes.

1. 서론

최근 자동차의 고급화/전자화에 따라 전자제품의 적용이 크게 증가하고 있다. 특히 자동차에 적용되는 전자제품은 안전과도 직결된 경우가 많아 신뢰성 확보가 되지 못한다면 도요타 사태와 같은 큰 사회적 이슈를 불러일으킬 수 있는 매우 중요한 품목이다. 또한 자동차의 개발기간이 기존의 32개월 정도에서 현재는 24개월로 대폭 단축되고 있어 짧은 기간내에 제품의 신뢰성을 확보하기 위한 다양한 연구가 요구되어지고 있다.

설계자는 다양한 설계 경험을 바탕으로 고신뢰성 제품을 설계하고 개발한다. 이러한 설계제품에 대해 시험적으로 그 결과를 검증하고 설계자가 미처 발견하거나 인식하지 못하는 고장 또는 취약점을 실험적으로 발견함으로써 설계개선점을 이끌어내는 것이 신뢰성 평가자의 역할이다. 특히 개발된 제품에 대해 1차적인 신뢰성평가의 목적은 기능 및 성능을 검증하는 것이다. 그러나 개발단계에서 초기의 제품 설계마진 평가, 고장을 야기할 수 있는 필드 스트레스 규명, 설계취약점 발견 및 안전성을 평가하는 것은 무엇보다도 중요하다. 이를 위해서는 제품의 고장을 전제로 시험하여야 하며, 고장 스트레스와 고장의 상관성을 규명하고 분석할 수 있어야 한다. 이러한 잠재적 고장을 단시간 내 촉진하는 시험방법으로 개발된 것이 AST(Accelerated Stress Test) 시험방법이며 상기의 시험방법 중 대표적인 것이 HALT(Highly Accelerated Life Test) 기법이다.

HALT 기법은 기본적으로 제품의 고장을 촉진시키는 시험법이다. 고장을 촉진시키기 위하여 점진적으로 스트레스를 증가시키는 계단형 스트레스 부과 방식을 채택하고 있다. 계단형 스트레스는 온도 계단형 스트레스시험, 빠른 온도변화 시험, 진동 계단형 스트레스시험, 온도·진동 복합시험으로 이루어진다. 상기와 같은 스트레스 증가에 의한 고장 촉진 방법을 이용하여 제품의 설계마진 검증 및 개선정보를 도출하며 최종적으로 강건설계를 목적으로 한다.

본 연구에서는, HALT기법의 적용 방법 및 원리에 대하여 기술하고 자동차용 전자제품에 대하여 효과적으로 적용할 수 있는 최적화된 HALT기법을 제안하고자 한다.

2. HALT 시험의 필요성 및 목적

2.1 HALT 시험의 필요성

자동차 산업 분야의 기술 트렌드의 변화에 따라 신규 개발품이 자동차에 조기 적용되어지고 있다. 개발단계의 조기 신뢰성 확보를 통한 양산 또는 필드 적용 단계의 개발비용 저감이 요구되어지며 특히 자동차 부품업체의 기술개발 속도를 반영한 신규 신뢰성 평가 기법의 개발 및 신뢰성 기준의 개발이 절실하게 요구되고 있다. 이를 위한 R&D 와의 연계적인 신뢰성 구축이 필요하며 사전예방적 신뢰성 시스템(Active Reliability System)을 구축하여 개발 초기에 신뢰성 기술을 접목하여 기술 개발기간 단축 및 강건 설계의 바탕이 될 수 있도록 발전시켜야 한다. 그림 1은 이러한 초기 개발단계의 신뢰성 역할을 나타낸다.

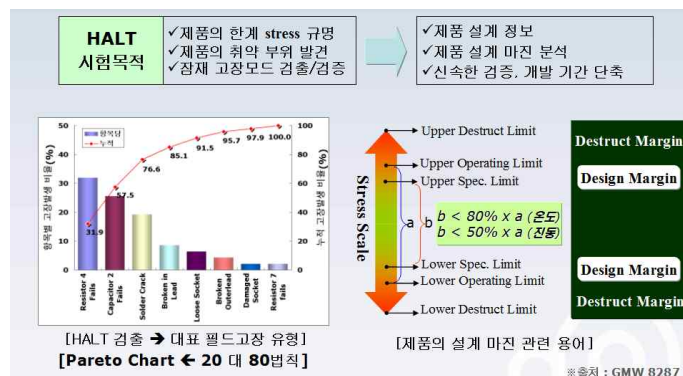


<그림 1> 초기 개발단계의 신뢰성 역할

상기와 같은 초기 개발단계의 신뢰성 기술 개발은 설계품의 안정성 평가, Fail Safe 설계 검증을 가능하게 하고 개발 초기 고장 축진을 가상으로 가능케 하여 제품의 강건 설계를 가능하게 한다.

2.2 HALT 시험의 목적

HALT 시험의 목적은 제품의 한계 스트레스 규명, 제품의 취약 부위 발견 그리고 잠재 고장모드 검출/검증에 있다. HALT 시험의 결과 데이터는 분석 및 해석을 통하여 제품 설계 정보와 제품 설계 마진 분석, 신속한 검증과 개발 기간 단축이라는 결과물을 얻어낼 수 있다.



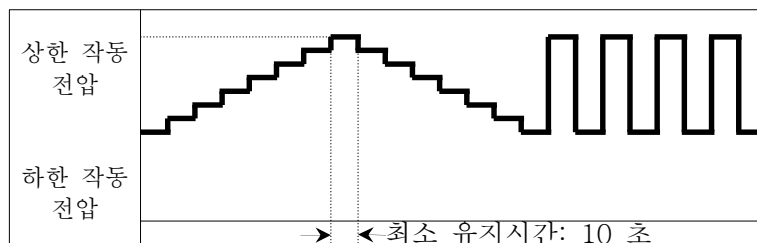
<그림 2> HALT 시험의 주요 목적

특히 그림 2에서 보는 바와 같이 저항, 콘덴서의 온도에 의한 고장이나 납땜 단선, 리드선 단선, 커넥터 접촉불량은 다른 시험으로 쉽게 검출이 안되면서도 필드에서 빈번하게 발생하는 고장이다. 이러한 고장을 양산이전에 검출함으로써 초기 고장을 줄이기 위해 만들어진 기법이 HALT이다.

3. HALT 시험 평가 방법

3.1 아이টে에 대한 스트레스 인가방법

환경 스트레스에 대한 아이테의 설계 마진을 확인하고 잠재 고장의 촉진 및 검출을 강화하기 위하여 각 시험단계별 환경 스트레스를 인가한다. 가속시험에 활용되는 환경 스트레스에는 온도와 진동이 있으며 이 스트레스를 활용한 시험단계는 저온스텝스트레스, 고온스텝스트레스, 급속온도변화, 진동스텝스트레스, 복합시트레스 등 5단계로 구성된다. 상기의 스트레스는 아이테의 작동 규격범위를 포함하고 있으며 아이테의 작동 한계 및 파괴 한계 검출을 위하여 규격범위를 초과하는 부분에 대해서도 가속시험의 범위에 포함한다. 취약부 검출 극대화를 위하여 외부 환경 스트레스는 물론 아이테 입출력간 전기/전자 스트레스를 인가한다. 이 때 모든 전기·전자 스트레스는 실차 조건 및 ES 규격을 기반으로 구성되며 과도한 스트레스 인가로 인한 어리석은 고장(Foolish Failure)이 발생되지 않도록 해야 한다. 작동 전압이 9V ~ 16V인 경우 일반 기능/성능 시험시 그림 3의 전압 파형을 인가하여 전압변동에 대한 아이테의 특성 및 취약 여부를 검증한다. 이때 시험 구성상 전원과 아이테과의 간격이 실차 조건 이상으로 길게 시험구성을 해야하는 경우 아이테 끝단의 전압을 기준으로 하며 배선 연장으로 인한 전압강하 및 통신지연 등 시험 결과에 영향이 없도록 한다.

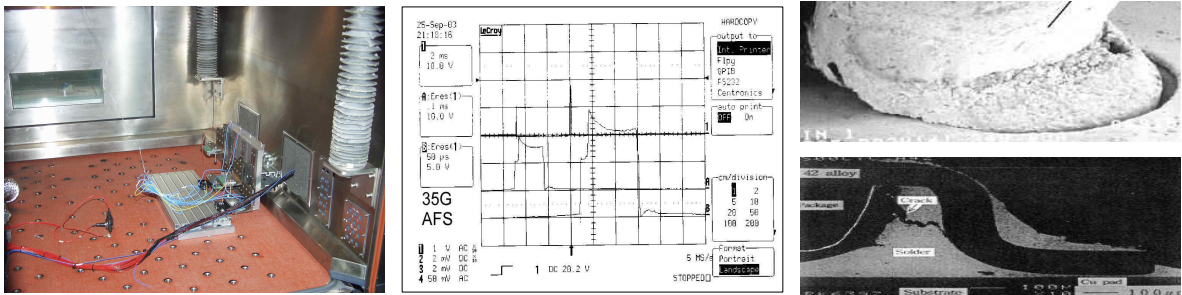


<그림 3> 전원전압 변동

저온 및 고온 스텝 스트레스 시험 시 각 스텝별 암전류를 측정하여 기록한다. 이때 외부 환경을 저온 및 고온 스텝 스트레스 시험의 각 단계별 온도 조건으로 하며 기준전압을 12 V로 하되 방전에 의한 전압레벨을 감안하여 9 V ~ 13 V 내에서 암전류를 측정하여 특이사항을 검출한다.

기타 주파수 변동, 부하 변동 등의 전기/전자 스트레스를 인가하여 아이테의 특성을 평가 할 수 있다. 이러한 각 아이테에 대한 스트레스는 가속시험 중 기능시험에 포함되어 각 스트레스 레벨에서 행하여진다. 아이테이 주어진 환경스트레스 및 전기/전자 스트레스가 조합된 조건에서 올바른 성능을 내고 있는지를 검증하고, 특정 조건하에서 이상 현상 등 취약부를 검출하기 위하여 입출력 모니터링을 실시한다. 아이테의 초기 검사 시 성능

측정값을 기록하여 각 스트레스 단계별로 측정값의 변화가 있는지 확인할 수 있도록 한다. 필요한 경우 입출력 모니터링 이외에 전기전자 유니트 내부의 주요 지점에 대한 특성값을 모니터링 할 수 있다. 가속시험시 각 스트레스 단계별 발생 현상에 대하여 기록을 수행하며, 가속시험준비, 방법, 결과고찰 등 모든 항목에 대해 문서화하여 아이템의 고장 발생에 대한 동일항목에 대해 고장분석 진행여부를 진행한다. 아이템의 작동온도 상한/하한 스펙 구간(LSL : Lower Spec. Limit/USL : Upper Spec. Limit)에서 발생한 모든 이상현상 및 특성 변화현상에 대해서는 X-ray, 레이저현미경, 전자주사현미경 등의 고장에 대해 분석할 수 있는 고장분석 장비를 이용하여 반드시 원인분석을 실시한다.



가속 스트레스 시험

입출력 모니터링 데이터

고장분석(전자주사현미경)

<그림 4> 가속스트레스 시험 진행 후 모니터링 데이터결과 및 고장분석결과 예시

3.2 HALT 시험 방법

가속시험이 수행될 아이템은 각각의 고유한 시험 기준과 스트레스 수준이 적용되기 때문에 다양한 아이템에 대한 가속시험을 수행할 때 시험방법 및 내용에 대해서는 설계 및 평가 담당자와의 협의에 의하여 실시한다. 각 스텝별 온도 유지시간(Dwell Time)에서 온도 허용오차는 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 이내이어야 하며 진동 관련 시험에서 진동 허용 오차는 $\pm 5\text{Grms}$ 이내이어야 한다.

온도 계단형 스트레스 시험은 Cold Step과 Hot Step으로 구분되며, Cold Step Stress 시험은 온도를 계단형으로 낮추어가며 시험하고, Hot Step Stress 시험은 온도를 계단형으로 올려가며 기본기술한계(Fundamental Limit of Technology : FLT)에 도달할 때까지 시험을 진행한다. 한편 고장을 가속할 수 있는 제품 스트레스인 전원, Power Cycling, 입력 전압, 부하, 주파수 변동 등도 함께 인가한다. 빠른 온도변화 시험은 온도 계단형 스트레스 시험에서 확인된 동작한계의 5°C 이내에서 온도범위를 설정하고, 가능한 빨리 온도를 변화시킨다. 이때, 온도 계단형 스트레스 시험과 마찬가지로 제품 스트레스도 함께 인가한다. 진동 계단형 스트레스 시험은 진동을 계단형으로 증가시키는데, $3\sim 5\text{Grms}$ 에서 시작하여 계단형으로 $3\sim 5\text{Grms}$ 씩 증가시키며, FLT에 도달할 때까지 시험을 수행한다. 온도·진동 복합시험은 온도 계단형 스트레스와 빠른 온도변화 시험에서 결정된 온도의 동작한계와 유지시간 및 온도변화율을 사용하여 온도 프로파일(Profile)을 개발한다. 대략 5Grms 의 진동수준에서 온도 프로파일에 따라 시험을 진행한다.

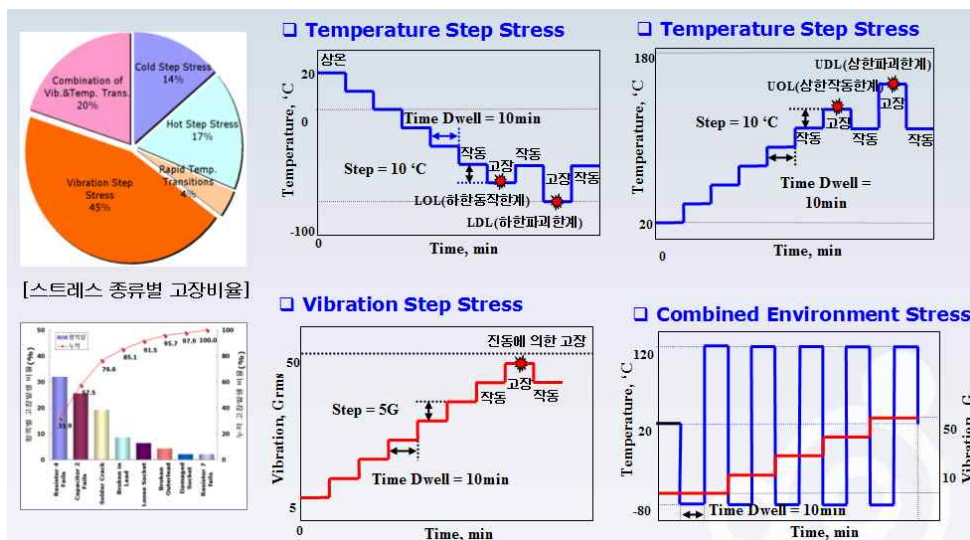
4. HALT 기법의 최적화

자동차용 전장품에 적용할 수 있는 최적화된 HALT 시험 절차를 <그림 6>에서 보여 준다.



<그림 6> HALT의 시험 절차

그림에서 보는바와 같이, 시험 대상이 선정되면 시험 사전에 개발자/분석자간에 협의를 통하여 예상 취약 부위와 대상 샘플 특성에 대하여 협의를 진행한다. 후에 육안/현미경/X-ray 검사 및 예상취약 부위 분석을 통한 사전 분석을 실시하며, 제품에 인가할 스트레스 수준과 인가 패턴, 고장판단/검출 방안 등의 HALT 시험 설계를 진행한다. 설계된 시험 정보를 활용하여 HALT 시험 평가를 진행하게 되며 본 시험 결과를 분석하여 설계 취약점과 설계 마진 평가, 촉진된 고장모드 분석을 수행한다. 고장 분석 장비를 활용하여 물리적/화학적 고장원인에 대한 분석을 실시하여 개선활용 DB(Data Base)를 작성하게 된다. 개선활용 DB에는 설계 취약점/설계 마진에 대한 정보와 필드 잠재적 고장모드, 고장원인/개선 DB가 포함되어 있어야 한다.



<그림 5> HALT의 Stress 인가 방법

<그림 5>는 자동차부품연구원의 축적된 평가경험을 통해 가장 효과적으로 적용할 수 있는 HALT 시험 모드이다. 온도 스텝 스트레스는 LOL과 LDL을 파악하기 위해 상온에서 시작하여 10℃씩 낮춰가며 -80℃까지 시험을 진행한다. UOL과 UDL을 파악하기 위해서는 20℃에서 10℃씩 올라가며 180℃까지 시험을 진행한다. 5 Grms씩 증가시키며 각 단계별 10분씩 시험을 진행하여 고장모드를 검출한다. 복합 환경 스트레스 시험에선 온도와 진동을 복합적으로 단계별 10분동안 인가함으로써 고장을 촉진한다.

4. 결 론

본 연구에서는 자동차용 전자제품에 대하여 효과적으로 적용할 수 있는 HALT 기법을 제안하였다. 제안된 HALT 기법은 설계자가 미처 예상치 못한 잠재고장모드를 도출하고자 하며 설계자가 의도한 제품의 한계스펙을 실험적으로 평가하여 설계마진을 규명하고 설계취약점을 도출하여 최종적으로 설계개선점 도출 및 강건설계를 목적으로 하는 시험 방법이다. 본 연구에서 제안한 HALT 기법을 요약하면 다음과 같다.

1. HALT 시험의 성공적 수행을 위해서는, 제품의 설계자와 신뢰성 평가자 그리고 고장분석 전문가 등이 참여하여 제품의 설계정보 및 시험방법을 공유하여야 하며, 시험 중 발생하는 고장에 대하여 정확한 분석을 통한 설계개선점이 도출되어야 한다.
2. 온도 스텝 스트레스는 LOL과 LDL을 파악하기 위해 상온에서 시작하여 10℃씩 낮춰가며 -80℃까지 시험을 진행한다. UOL과 UDL을 파악하기 위해서는 20℃에서 10℃씩 올라가며 180℃까지 시험을 진행한다. 5 Grms씩 증가시키며 각 단계별 10분씩 시험을 진행하여 고장모드를 검출한다. 복합 환경 스트레스 시험에선 온도와 진동을 복합적으로 단계별 10분동안 인가함으로써 고장을 촉진한다.
3. 각 온도별 유지시간(Time Dwell)은 해당 아이템과 내부 부품이 열적으로 안정화되고 포화될 수 있도록 충분히 길어야 하며 일반적인 온도유지 시간은 열전대의 온도 반응에 따라 결정되지만 최소 20분 이상으로 설정하고 체크 항목이 많은 경우 20분 이상 실시할 수 있다.

Reference

1. 산업자원부 기술표준원 편찬위원회(2005), 신뢰성용어 해설서, pp. 83~89
2. GMW-8287 HALT