

신뢰성 시험기술



최 현 오(KIMM 공인시험평가부)

- '78 서울공대 원자핵공학과(학사)
- '81 KAIST 기계공학과(석사)
- '86 KAIST 기계공학과(박사)
- '86 - 현재 한국기계연구원 책임연구원

1. 서론

산업의 발달과 더불어 기계류 제품은 고기능화, 고효율화, 소형화되어 가면서 관련 부품은 고집적화, 고정밀화 되어 부품의 신뢰성 확보가 완제품의 신뢰성과 직결되어 가고있다. 우리나라의 경우 제품의 설계, 생산, 출하까지 통상 품질보증체계나 성능검사 등을 통해 완제품의 성능을 유지할 수 있는 체계를 갖추고 있지만, 이런 방법으로는 출하 후 사용 중에 나타날 수 있는 숨은 결함(latent defects)을 미리 발견해 낼 수가 없다. 따라서 제품의 신뢰성을 확보하여 경쟁력을 높이기 위해서는 제품의 설계, 부품의 제작, 조립, 성능검사 등 일련의 과정에서 발생할 수 있는 결함을 단계별로 찾아내어 제거할 수 있는 신뢰성 확보 기술을 개발할 필요가 있다.

기계류 완제품은 부품의 결함으로 이루어져 있으므로 부품의 신뢰성은 완제품의 성능과 신뢰성에 직접 관련이 있다. 우리나라의 경우 대부분의 기계류 완제품을 생산, 출하하고 있으나, 핵심 부품은 외국에 의존하고 있는 경우가 많다. 따라서 완제품의 대외 경쟁력은 종속되어 질 수밖에 없으며, 또한 신뢰성 확보도 근원적으로 대외의존도가 높은 편이다. 이러한 구조를 타파하여 국산 기계류 부품의 경쟁력과 개발력을 제고하기 위해서는 설계기술의 확보와 더불어 부품의 신뢰성을 향상시킬 수 있는 신뢰성 시험 및 평가기술의 개발이 매우 중요한 실정이다. 또한 신뢰성 기술의 확보는 기계류 부품과 시스템의 성능 향상과 제품의 전 주기비용(total life-cycle cost)을 줄일 수 있으므로 기업체가 필수적으로

갖추어야 할 기술이다. 기계류 부품은 현대 문화 생활을 유지하는 데 필수적인 기기이며, 산업생산에 기반이 되는 설비이다. 따라서 이에 대한 신뢰성 제고 기술의 확보는 국민생활에 미치는 정서가 직접적이며, 전 산업에 미치는 파급효과가 매우 크다.

미국의 경우 2차 대전 중 군사 목적상 제품의 신뢰성을 확보하고자 현장의 환경을 실험실에 재현하여 주로 성능과 노화(aging) 시험을 하였다. 이러한 시험을 통칭하여 burn-in 시험이라 한다. 그러나 이러한 방법은 시간과 경비가 많이 들고, 특히 숨은 결함(latent defects)을 발견해 낼 수가 없었다. 1970년대 말 IES(Institute of Environmental Science)를 중심으로 체계적으로 ESS(Environmental Stress Screening)에 대한 연구를 시작하였으며, 현재는 이를 발전시켜 미국정부 공인기관인 RAC(Reliability Analysis Center)를 중심으로 미국내 여러 신뢰성 관련 연구소에서 부품(components)과 완제품(system)에 대한 신뢰성(reliability), 유지성(maintainability), 성능(quality)을 향상시키는 연구를 활발히 수행하고 있다. 우리 나라의 경우 제품에 대한 결함을 찾고 이를 보완하기 위해 성능검사와 내구성 검사를 주로 수행하고 있으나, 사용 중에 나타날 수 있는 숨은 결함(latent defects)을 제품 출하 전에 찾아낼 수 있는 신뢰성 공학기술(reliability engineering)이 제대로 정립되어 있지 않아 사용 중 제품의 잦은 고장과 내구성 부족으로 인해 제품의 경쟁력이 매우 취약한 상태이다. 미국의 경우 숨은 결함(latent defects)을 생산 공정의 단계별로 찾아내어 이를 설계, 생산관리, 유통 등에 적용하여 최종 소비자가 사용하는 보증된 기간 내에 고장이 일어나지 않도록 하여 제품 경쟁력을 높이고 있다. 또한 지속적으로 이에 관한 현장 자료를 수집하여 분석하고 이를 방지하기 위한 일련의 프로그램 개발을 RAC를 중심으로 관련 연구소와 학계들이 지속적인 연구를 통해 수행하고 있다. 우리 나라는 이런 체계적인

연구가 미흡하였으나, 올해부터는 국립표준기술원의 주관 하에 각 분야별 출연연구소들이 신뢰성평가센터를 운영하여 신뢰성 기술의 개발과 현장에의 적용 및 보급에 나설 국가적인 신뢰성 관련 연구개발 프로그램을 만들고 있다.

제품의 신뢰성 향상은 제품 경쟁력과 직결되므로 구미 각국은 이에 대한 연구개발을 국가기관을 중심으로 산업계, 학계 등과 연관지어 집중 투자하고 있는 실정이다. 군사, 우주 분야 등 국가적인 필요에 의해 발달되어 이제는 그 기술이 산업 전반에 확산되고 있다. 우리 나라도 생산업체들이 제품의 신뢰성 향상에 의한 경쟁력 제고를 목표로 이에 관한 연구 개발을 투자하지 않을 수 없을 것이다. 다만 이에 대한 관심이 아직도 모자라고 여건이 성숙되지 않고 있으므로, 국가가 국책 연구기관을 선정, 학연산 인프라를 구축하게 하고 이에 관한 시설 구축과 관련 기술을 보유토록 함으로써 신뢰성 기반기술을 조속히 정립, 기업체로의 기술확산을 가속화시킬 수 있다고 사료된다.

2. ESS 개요

신뢰성 시험^[1]은 세계 2차 대전 중 군사 목적상 정교한 무기의 신뢰도를 확인하기 위한 방안으로 발달되었으며 실제 현장의 상황을 시뮬레이션^[2]할 수 있는 격리된 챔버가 사용되었다. 전쟁 종결 후, 산업기술의 발달과 더불어 제품들은 소형화, 다 기능화 됨에 따라 절차 및 조립 과정이 더욱 복잡한 구조로 바뀌었다. 제품의 사용현장에서 결함에 대한 데이터 베이스를 구축하고 이를 설계에 반영하는 것만으로는 신뢰도를 증가시키는데 한계가 있었다. 이것은 부품 설계, 생산 기술 및 제작 과정을 포함하는 예측할 수 없는 다수의 요인이 고장율을 기대 이상으로 높이는 역할을 하고 있다고 볼 수 있다. 이러한 다수의 고장은 생산 초기에 발생하였다고 볼 수 있으며, 생산 초기 단계를 따라할 수 있는 시험

방법론이 그 해결책이 될 수 있을 것이다.

Burn-in 시험으로 불리는 시험 과정은 높은 온도의 열을 이용하여, 조기에 생산품에 고장을 일으키는 스트레스(stress)를 준다. 1960년대에 제조업자들은 전자 구성품에 “burn-in”(특정 기간^[3]동안 굽는 시험)을 실시하기 시작하였다. Burn-in 시험은 초기 고장율을 낮추는데는 성공하였으나, 중요한 필드 고장율을 줄이는데는 불충분하였다. 또한 그 과정은 생산을 지연시켰으며 단위 비용을 증가 시켰고 배달을 지연 시켰다. 이러한 초기 신뢰성 시험방법의 단점을 극복하는데는 보다 더 엄격한 시험조건이 요구되는 군사 장비의 시험방법에서 그 해답을 찾게되었다. 군사 표준서 형식의 환경 시물레이션 시험 방법은 생산품이 극한 환경에서도 작동할 수 있는 능력을 요구하였다. 예를 들면, 제트기는 사막 활주로부터 이륙해 높은 고도로 상승하게 되면 단 시간에 급격한 온도 변화에 노출되게 된다. burn-in과 같은 정적 시험 과정은 이에 알맞은 환경 시물레이션을 제공할 수 없다. 따라서 ESS(Environmental Stress Screening)라고 하는 새로운 개념의 신뢰성 시험 방안이 제안되었다.

스트레스 조합 응용 프로그램을 통한 환경 시물레이션이 주된 시험방안이며, 예를 들면 기계적 진동기를 통한 저주파 진동과 함께 극심한 저/고온 사이의 온도 주기를 조합한 시험조건과 이를 재현할 수 있는 독립된 시험 환경을 재현할 수 있는 시험설비가 포함된다. 이러한 유형의 시험은 온도 변화를 통한 팽창 및 수축의 결과로 이전에 발견되지 않은 잠재적 결함(latent defects)이 제

품을 고장나게 하였다. 즉 이러한 잠재적 결함을 가진 부품을 공정 상에서 미리 발견하여 제거(screening)함으로써 완제품의 신뢰도를 높일 수 있음을 알게되었다. 이러한 발견으로부터 ESS의 개념이 태어났다. 다수의 생산품이 극심한 온도에서는 성공적으로 운용됨을 발견하였으나 다양한 온도 주기를 거치는 동안에는 실패되었다. 열 주기는 더욱 짧은 시간에 고장을 발생시킬 수 있으므로 실용적인 신뢰성 시험 방법으로 자리를 잡게되었다. 열 주기로 알려진 이 과정은 ESS 이론의 기초가 되었다. 미국의 NASA는 Apollo Space Program을 수행하는 동안 전자 장비의 사용여부를 위해 ESS의 초기 응용 프로그램을 이용하였다. Grumman 주식회사에서는 아폴로 달착륙선에 대해 ESS 시험을 적용함으로써 랜덤 진동 및 열 주기를 조건으로 한 장비의 모든 기술적 결함을 85%~90% 감소할 수 있었다. 이후 ESS 개발은 Grumman 회사에 의해 군용 항공기용 탑재 전자 시스템에까지 확대되었다. Grumman 회사에서 수행된 ESS 작업은 미 해군 문서 P-9492 “Navy Manufacturing Screening Program”에 주 기초가 되는 것 중의 하나가 되었다. 이 문서는 온도 프로파일 영향 및 전자 장비 스크리닝용 랜덤 진동 스펙트럼을 제안하기 위한 첫 번째 군 문서중의 하나였다. ESS 개발 관심으로 인해, 다수의 회사들은 스트레스에 관한 다양한 형태의 시험을 포함하였고 각 생산품 유형에 맞는 특수 지침을 작성하는 노력을 기울였다. 그후 IES(Institute of Environmental Science)는 다양한 방법의 신뢰성 시험 관련 기술을 집대성하여 정리하였다. ESS에

표 1. burn-in 시험 및 ESS 절차의 비교

특 성	Burn-in	ESS
온 도	운용 또는 가속	높은 온도에서 낮은 온도로의 운용 주기
진 동	사인 곡선(사용시)	랜덤, 보통 20-2000 Hz
온도 비율/변화	일반적으로 일정하나 때론 주기적	최소 분당 5°C
시간 길이	보통 168시간 이하	<ul style="list-style-type: none"> 진동 방향의 각 축에 직각으로 5 내지 10분 온도 주기에 대해 10~20 주기

대한 기술적인 개념을 정립하기 위한 일련의 시험을 떠맡았으며 1974, 1981, 1984 및 1985년에 ESS를 주제로 회의를 개최하였다. 1981^[4] 및 1984^[5] 연도에 발간된 Electronic Stress Screening of Electronic Hardware(ESSEH) 및 1985^[6]년에 발간된 Environmental Stress Screening Guidelines for Parts 교재는 신뢰성 시험과정의 불확실성을 제거하였으며 ESS 응용 프로그램을 위한 일반적인 지침을 제공하였다. 미 공군, 육군 및 해군은 신뢰성 있는 전자 장비를 획득하기 위한 주요 수단으로 ESS 필요성을 인식하여 받아들였다. 공군은 R&M 2000을 정책 성명으로 1985^[7, 8, 9, 10]년도에 발표하였다. 해군은 NAVMAT P-9492를 1979^[11]년도에 Best Practices NAVSO P-6071을 1986^[12]년도에 발표하였다. 공군은 1986^[13]년도에 AMC-R 702-25 성명을 발표하였다. 이 각각의 문서 목적은 무기 체계 준비에 절대적으로 필요한 것은 필드 생산품의 신뢰도라는 메시지를 산업에 전달하는 것이다. 이러한 모든 노력과 IES에 의한 계속되는 노력 및 기타 소스는 생산품 신뢰도를 높이는 성공적인 방법이 ESS라는 확실한 증거를 제공하였다.

경제적인 측면에서 ESS를 보면 제품의 전 주기비용(total life-cycle cost)을 줄일 수 있다고 할 수 있다. 즉 제품이 설계에서 부품 생산, 조립, 운송 등의 과정을 거쳐 최종 소비자가 보증된 기간 동안 사용할 시 어떠한 고장도 일어나지 않도록 단계별로 시험을 거쳐 수리비가 가장 적게 들 수 있도록 조기 결함을 가속화시켜 찾아내어 제거하는 방법이다. 제작업체 시설에서의

결함 수정이 필드 운용중의 인도 후 고장 수정보다 경제적이다. 표 2는 4개의 다른 제품 시장에서 4단계의 반도체 장치 결함 제거 비용을 비교하여 설명한다. 즉 숨은 결함이 제품에서 필연적인 것이라고 본다면 숨은 결함을 가속화시켜 초기에 제거함이 전체 비용을 줄일 수 있는 경제적인 방법이라 하겠다.

3. ESS 시험방법

결함은 크게 표면적인 결함(patent defect)과 잠재적인 결함(latent defect) 두 가지로 나눌 수 있으며, 이 두 결함의 정의를 분명히 할 필요가 있다. 표면적인 결함은 사실상 이상이 있거나, 허용오차를 벗어나거나(out-of-tolerance), 또는 검사나 시험 절차에 의해 쉽게 탐지될 수 있는 특징이 있다. 표면적인 결함은 스트레스 스크리닝 없이 쉽게 탐지된다. 그러나 결함의 일부는 형식적인 방법으로는 탐지할 수 없으며 이러한 결함을 잠재적인 결함(latent defect)이라 한다. 표면적인 결함과 잠재적인 결함은 제작, 조립, 취급 및 시험 작동 동안 제품에서 나타난다. 표면적인 결함은 철저한 시험이나 검사에 의해 탐지되며 이후 제품에서 제거될 때까지 다양한 조립 단계를 거친다. 잠재적인 결함은 시간의 흐름에 따라 적용되는 환경적 스트레스로 인하여 표면적인 결함으로 변형될 때까지 발견할 수 없다. 스트레스 스크리닝은 잠재적인 결함이 발견 가능한 결함으로 변형되게 하는 매개물이다. 예를 들면, 냉간 납땜 접합부는 금(flaw)을 나타낸다.

표 2. 4가지 다른 제품 시장의 4가지 단계에서 반도체 장치 결함 제거 비용

제품 시장	* 다른 단계의 결함 제거 비용, \$			
	유입 단위 부품	보드 마운트 제거	시스템 시험	필드 사용
상용	3.00	7.50	7.50	75.00
산업	6.00	67.50	67.50	322.00
군대	10.50	180.00	180.00	1,500.00
우주	22.50	450.00	450.00	3 × 10

진동이나 열 사이클링 후, 접합부는 균열되어(가정) 발견할 수 있는(표면적인) 결함을 가지게 된다. 그러나 모든 잠재적인 결함이 스크린 될 수는 없다. 즉 모든 결함이 모든 자극에 반응하는 것은 아니다. ESS에서 가장 중요히 고려해야 할 사항은 숨은 결점을 노출시키기 위한 스크리닝이 품질 저하(degradation)를 일으켜서는 안 된다는 점이다. ESS는 하나 이상의 스트레스 환경이나 열 사이클링, 진동, 고온, 전기적인 자극, 열충격 등과 같은 자극에 제품을 노출시키는 것이다. 스트레스 극단 상태, 변화율, 진폭, 주파수, 및 주기와 같은 외형적인 특징은 각 제품에 따라 적용해야 한다. 다음은 가장 흔히 사용되는 ESS 환경에 관한 설명이다.

3.1 온도 사이클링

온도 사이클링은 두 개의 주어진 극한 온도 값 사이를 시간에 따라 변화하는 복합 사이클로 구성되어 있다. 일반적인 온도 프로파일은 그림 1과 같다.

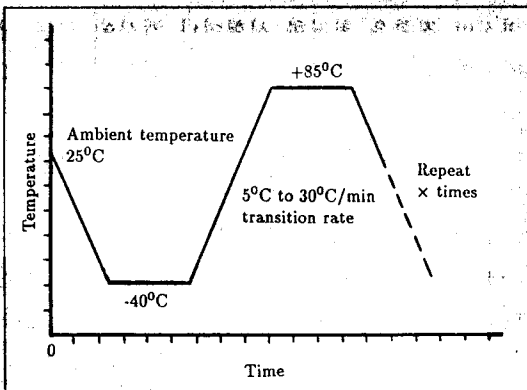


그림 1. ESS의 일반적인 온도 프로파일

스크린의 모든 변수가 제품 의존적 일 때 극한 온도는 제품이 손상되지 않을 정도의 값이 되어야 하지만 두 극한 온도의 값은 온도 변화에 따른 스트레스를 최적으로 줄 수 있도록 그 간격이 훨씬 떨어져야 한다. 사이클 시간은 제품

에 충분히 스트레스를 주어 필요한 팽창이나 압축을 제공할 수 있도록 정해야 한다. 제품에 대한 온도 변화율은 제품의 구체적인 열 특성, 제품 온도와 기온과의 차이 및 공기 속도와 방향을 포함하는 표면 전도 요인에 의해 좌우된다. 극한 온도에서 정지 시간은 중요하게 스트레스에 영향을 주지 않기 때문에 대다수의 제작업체는 그림 2와 같이 제품의 성능 시험을 충분히 시험할 수 있을 만큼만 극한 온도에 제품을 놓아둔다.

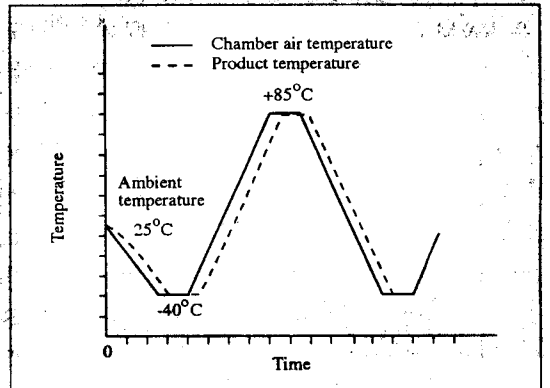


그림 2. 일반적인 온도 프로파일의 온도 한계 정지 주기

열 사이클링동안 스트레스를 최소화하기 위해 제작업체가 취하는 또 다른 방법은 고온 및 저온을 제품이 견딜 수 있는 극한에 가깝도록 챔버 온도를 조절하는 것이다. 그러나 이러한 스트레스 프로파일에서는 두 극한 온도간의 다중 사이클이 제품 수명을 감소시키지 않는다는 것이 확인되어야 한다. 그림 3은 이러한 프로파일을 나타낸다.

열 사이클링 챔버에서 공기의 흐름은 제품 온도가 챔버 온도에 도달하는 지연 시간에 직접적으로 영향을 주기 때문에 중요하다. 그림 4는 온도 변화율이 이상적인 프로파일의 세 가지 개별 운용동안 제품 온도를 지시한다. 운용간의 차이도 단지 공기 속도이다. 그림에서 공기 속도가 느릴수록 제품 온도가 더 천천히 챔버 온도에

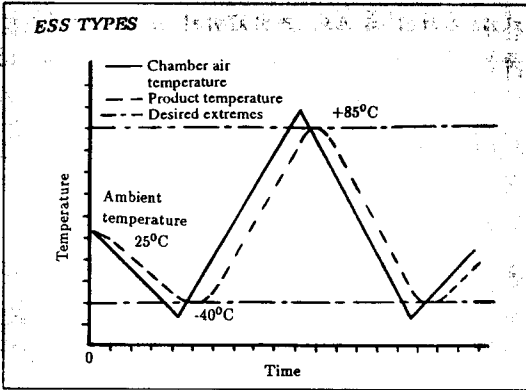


그림 3. 제품의 설계 한계에 가까운 고 및 저 온도 프로파일

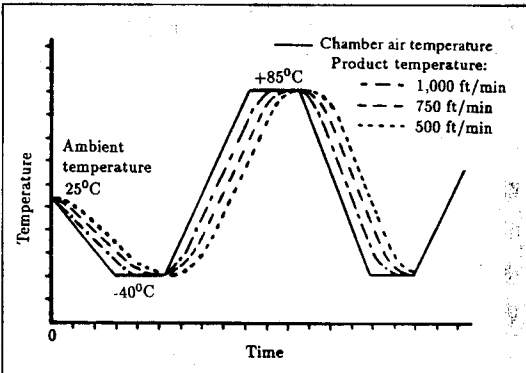


그림 4. 챔버 대기 온도에 접근하는 제품 온도에 대한 대기 속도 영향

도달하며 더 적은 스트레스가 제품에 주어진다
는 것을 분명히 알 수 있다. 공기 속도가 빠를수록
제품 온도 변화가 급속하게 이루어져 제품이
더 높은 스트레스를 받게 되는 것이다. 최상의
공기 흐름은 제품에 따라 다르다. 최대 열이
전달되는 공기 속도가 있다. 이를 초과하는 공기
속도는 역효과를 가질 수 있다. 그림 4에 제시되
는 공기 속도는 제품에 가장 적절할 수도 있고
아닐 수도 있다. 특정 제품에 대한 정확한 공기
속도 및 공기 방향은 실험을 통해서만 결정할
수 있다. 일반적인 견해는 열 사이클링이 가장
효과적인 스크린이라는 것이다. 다른 스크린과
같이 여기서도 적당한 조건이 충족되어야 한다.
잠재적인 결함이 고장을 일으키는지를 판별하기

위해 결함율을 분석해야 하며 이러한 특정한 잠
재적인 결함이 고장을 유발하는데 가장 적합한
스크린 프로파일을 결정하기 위해서는 실험을
실시해야 한다.

3.2 랜덤 진동

랜덤 진동은 세 가지 주요 진동의 종류, 즉, 사
인파, 고정 주파수(사인파, 스위프 주파수), 랜덤
진동 중 가장 효과적인 것으로 고려된다. 랜덤
진동은 대개 20~2,000 Hz의 광범위한 주파수에서
제품을 자극하는 것이다. 그림 5는 일반적인
입력 전원 스펙트럼 밀도이며 많은 제작업체가
제품을 자극하기 위해 개별 제품에 사용한다. 제
품 스트레스는 프로파일의 범위 이내의 모든 공
진 주파수의 동시 여자를 통해 발생된다.

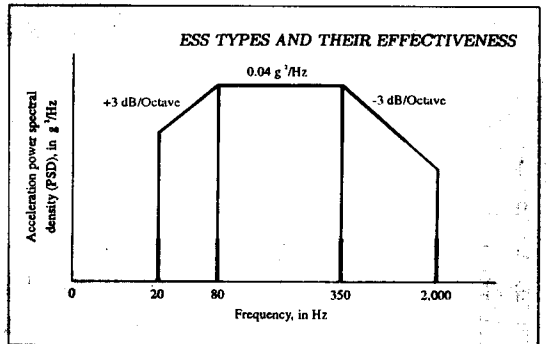


그림 5. 일반적인 입력 전원 스펙트럼 밀도

랜덤 진동은 루프 폐쇄형 디지털 시스템 및
전용 설비에 의해 제어되는 전기 역학 진동 테
이블에 제품을 장착 또는 부착하여 공급한다. 설
비는 스트레스가 직접적으로 제품에 전달되고
타당한 정확도로 공정이 반복될 수 있도록 견고
해야 한다. 제품은 단일 축이나 복합 축에서 동
시에 또는 연속적으로 진동할 수 있다. 최근에는
스트레스가 더 심한 환경 제공에 관해서 다양한
견해들이 있다. 랜덤 진동 스크린은 일반적으로
기타 ESS 프로그램보다 운용하는 시간이 더 짧
아 느슨한 접합부, 부적절한 접합 및 인쇄 회로

기관 단락과 같은 기계적인 결함을 드러내는데 특히 효과적인 것으로 고려된다.

주요 단점은 장비 비용 및 스크린 확일성의 부족이다. 전기 역학 진동 테이블은 설치, 관리 및 정비 비용이 비싸다. 또한 랜덤 진동은 특성상 확일적인 스트레스 환경을 제공하는데 있어 온도 사이클링보다 효과가 적다. 과도한 스트레스를 피하기 위해 랜덤 진동 스크린은 제품 중심에 위치하는 접합부 부품에 최대 스트레스를 가하도록 되어 있으며 가장자리에 가까운 부품일수록 점차 스트레스가 감소된다. 이것은 모든 잠재적인 결함을 노출시키지 못하게 하는 요인이 된다. 그럼에도 불구하고 랜덤 진동은 다른 형태의 진동보다 더 우수하다고 고려되며 재정적인 면이 허용되는 곳에서는 열 사이클링 스크린과 함께 흔히 사용된다.

3.3 고온 burn-in

이 공정은 일반적으로 미리 정해진 기간동안 상승시킨 온도로 제품을 유지시키는 정적인 것이다. 이 스크리닝은 제품의 연속 작동이 초기 고장을 발생시킨다는 생각에서 발전되었다. 또한 추가 열을 공급하면 결함율이 상승될 것이라고 믿었다. 그러나 조사된 바에 따르면 스크린 효과 증가는 일정한 고온에서의 작동보다는 heat-up 및 최종 cool down 동안의 온도 변화와 관계가 더 있다고 알려져 있다.

3.4 전기 스트레스

전기 스트레스는 반도체의 접합 온도를 자극하거나 회로를 실행하는데 사용되는 공정이다. 제품 전원을 지정된 간격으로 on/off 시키는 전원 사이클링과 전압 margining의 두 가지 기본 종류가 있다. 조사에 따르면 전기 스트레스는 열이나 랜덤 진동 스크린을 통해 흔히 발견되는 많은 결함을 노출시키지 않으므로 덜 효과적이다. 그러나,

전체 스크린 효과를 증가시키기 위해 전기 스트레스를 같이 가하는 것이 효과적일 때가 많다.

3.5 열 충격

열 충격은 제품을 극한 온도 다시 말해 극고온에서 극저온으로 기계적 또는 수동으로 제품을 이동시킨 다음 되돌리는 공정이다. 열 충격은 일반적으로 잠재적인 결함을 고장으로 연결하는데 필요한 큰 변화율을 주기 위한 것으로 높은 스트레스를 필요로 하는 집적회로에서 결함을 스크린하는 방법으로 고려되고 있으며 탄 방법에 비해 비용이 적게 든다. 열 충격은 자체의 심각한 변화율이 불필요한 손상을 야기하지만 않으면 기타 조립 단계에서 유용하다. 이것은 집적회로 이외의 구성품을 포함하는 더욱 복잡한 조립체에는 특히 위험하다. 또한 열 충격 스크린의 비용 효율을 고려해 보아야 한다. 일반적으로 열 충격 시험장비는 탄 환경장비에 비해 비싸다. 또한 수동 이동이 개입되게 되면 우연한 제품 손상이 증가할 위험이 있다. 마지막으로 열 충격 스크린은 모니터하기가 어렵기 때문에 필드 결함 분석 데이터를 측정할 가능성을 제한시킨다.

3.6 사인파 진동, 고정 주파수

사인파, 고정 주파수 진동은 고정된 사인파나 단일 작동 주파수에서 작동시키는 진동의 한 형태이다. 이러한 방법은 일반적으로 주파수 범위가 60Hz인 기계적인 진동 테이블(mechanical shaker)을 필요로 한다. 고정 주파수 진동 스크린은 일반적으로 랜덤 진동 스크린보다 관리 비용이 싸고 더 쉬운 반면 효과적인 스트레스 레벨을 제공하지 못하는 것으로 보여진다.

3.7 저온

이 개념은 고온 스크린 개념과 유사하지만 공

급되는 동력에 의해 발생하는 열과 저온 환경 사이의 대조에 의해 고장이 발생된다는 원리를 기본으로 하고 있다.

3.8 사인파 진동, 스위프 주파수

사인파, 스위프 주파수 진동은 스위프-사인파 또는 다중 작동 주파수에서 작동하는 진동의 한 형태이다. 대개 주파수 범위가 500Hz인 유압 진동 테이블(hydraulic shaker)을 필요로 한다. 전체적인 효과의 관점에서 볼때 고정 주파수 진동과 유사한 것으로 보여진다.

3.9 조합된 환경

제품의 복잡성에 따라 비용이나 신뢰도 제한(specification), 환경 스크린이 서로 관계되어 사용될 수 있다. 예를 들면, 열 사이클링 및 랜덤 진동은 흔히 ESS 프로그램에 조합된다. 특히 추가적 스트레스 -동시에 또는 연속적으로 적용되는- 가 추가적인 결함을 노출시키며, 추가적인 스트레스 비용이 타당한지를 고려해 보아야 한다. 일반적으로, 사용되는 스트레스의 종류와 스트레스가 적용되는 방법은 특정 제품에 가장 단 시간에 가장 많은 수의 고장을 유발하는 것이 무엇이나에 따라 전적으로 좌우된다. 모든 스크린의 경우에 가장 효과적인 프로파일은 제품에 따라 다르다.

4. 결론

신뢰성 시험은 사용기간 중 발생할 수 있는 결함(latent defects)을 제품의 생산공정 단계마다 신뢰성 시험을 통해 미리 발견한다. 단계에 따라 부품, 단위품, 조립품, 완제품 등을 미리 screening함으로써 제품의 전 주기비용(total life-cycle cost)을 줄이고 성능과 내구성을 향상, 경쟁력을 제고할 수 있는 기술이다.

제품의 신뢰성 향상 기술은 제품 경쟁력과 직결되는 기술이므로 선진 각국은 이에 관한 기술을 이전하길 꺼리고 있다. 따라서 이와 관련된 기술은 국책 연구소들이 관련 기술과 설비를 갖추고 학연산 연구 인프라를 구축하여 기반기술을 정립한 후 업체의 참여를 유도하는 것이 바람직할 것으로 사료된다. 신뢰성 시험 센터를 중심으로 다음과 같이 3단계의 연구내용을 실천함으로써, 우리 나라의 신뢰성 기술은 그 기반을 구축할 수 있을 것으로 사료된다.

- 1 단계: 신뢰성 시험설비의 구축
- 2 단계: 신뢰성 기술의 고도화
- 3 단계: 신뢰성 기술의 확산

참 고 문 헌

- [1] Caruso, H., "A Consumer Guide to ESS: Making Sense Out of Environmental Stress Screening Standards and Requirements," The Journal of Environmental Sciences, pp. 13-17, January/February 1987.
- [2] Thermotron Industries, The Environmental Stress Screening Handbook, 291 Kollen Park Drive, Holland, MI 49423, 36p., 1987.
- [3] Tustin, W., "Recipe for Reliability: Shake and Bake," IEEE Spectrum, pp. 37-42, December 1986.
- [4] Institute of Environmental Sciences, Environmental Stress Screening Guidelines, 940 East Northwest Highway, Mount Prospect, IL 60056, 1981.
- [5] Institute of Environmental Sciences, Environmental Stress Screening Guidelines, 940 East Northwest Highway, Mount Prospect, IL 60056, 1984.
- [6] Institute of Environmental Sciences,

- Environmental Stress Screening Guidelines for Parts, 940 East Northwest Highway, Mount Prospect, IL 60056, 1985.
- [7] Gabriel, C. A., "Reliability and Maintainability Action Plan, R&M 2000," USAF, February 1985.
- [8] Littlefield, J. W., "R&M 2000 Environmental Stress Screening," IEEE Transactions on Reliability, Vol. R-36, No. 3, pp. 335-341, 1987.
- [9] Saari, A.E., "On the Implications of R&M 2000 Environmental Stress Screening," IEEE Transactions on Reliability, Vol. R-36, No. 3, pp.342-345,1987. 10. Capitano, J, L., "R&M 2000 Environmental Stress Screening," IEEE Transactions on Reliability, Vol. R-36, No. 3, pp 346-350, 1987.
- [11] Willoughby, W. J., "Navy Manufacturing Screening Program," Department of the Navy, NAVMAT P-9492, May 1979.
- [12] Willoughby, W. J., "Best Practices," Department of the Navy, NAVSO P-6071, March 1986.
- [13] Ross, J. D., "Product Assurance, Environmental Stress Screening." U.S. Army, AMC-R 702-25, March 1986.

- Environmental Stress Screening Guidelines for Parts, 940 East Northwest Highway, Mount Prospect, IL 60056, 1985.
- [7] Gabriel, C. A., "Reliability and Maintainability Action Plan, R&M 2000," USAF, February 1985.
- [8] Littlefield, J. W., "R&M 2000 Environmental Stress Screening," IEEE Transactions on Reliability, Vol. R-36, No. 3, pp. 335-341, 1987.
- [9] Saari, A.E., "On the Implications of R&M 2000 Environmental Stress Screening," IEEE Transactions on Reliability, Vol. R-36, No. 3, pp.342-345,1987. 10. Capitano, J, L., "R&M 2000 Environmental Stress Screening," IEEE Transactions on Reliability, Vol. R-36, No. 3, pp 346-350, 1987.
- [11] Willoughby, W. J., "Navy Manufacturing Screening Program," Department of the Navy, NAVMAT P-9492, May 1979.
- [12] Willoughby, W. J., "Best Practices," Department of the Navy, NAVSO P-6071, March 1986.
- [13] Ross, J. D., "Product Assurance, Environmental Stress Screening." U.S. Army, AMC-R 702-25, March 1986.