

신뢰성 시험의 방법과 응용에 관한 연구

- A Method and Application on Reliability Test -

김 재 중*
Kim, Jae Joong

김 원 중**
Kim, Won Joong

Abstract

This study is concerned with reliability technology. In order to achieve the quality level of items for consumer's satisfaction, tests for the item's reliability are essential. This article deals with a method and real field application to plan reliability testing. Especially the environmental conditions and methods such as screening test for electronic components will be shown. As well, we will explore methods and field applications with respect to mechanic destructive tests and non destructive tests.

1. 서 론

1.1 신뢰성시험의 목적과 범위

현대에 들어 제품의 품질 향상에 동반해 신뢰성기술 향상이 발전되고 있다. 제품의 신뢰성은 사용상태에 따라 크게 좌우되는 것은 틀림없지만, 설계단계에서 신뢰성을 구현함으로써 그 소성이 결정지어지는 것은 분명하다. 신뢰성설계란, 제품 품질향상을 위한 목표를 달성하는 일련의 프로세스이며 오히려 성능, 기능이상으로 중요하다고 할 수 있다. 신뢰성기술이 지향하는 구체적 목표는 결국에는 의도한 기간내에 안정된 품질 확보에 있다고 할 수 있다. 그러나 시스템이 복잡한 것일수록 부품점 수가 많은 제품일 수록 고신뢰성을 유지하는 것이 어려운 것은 당연할 것이다. 이들을 명백히 해서 소비자가 만족하는 품질을 구현하는 것이 신뢰성 기술이며 이를 위해 신뢰성시험의 실시가 중요하다.

신뢰성시험의 대상이 되는 것은 기기전체, 시스템, 부품, 재료등이 있으며 이들이 미리 계획된 기간내에 수명을 유지하고 성능, 기능을 발휘시키기 위한 종합적인 체계이다.

종래의 신뢰성시험은 완성된 제품의 수명을 예측·확인하기 위해 주어진 공간적, 시간적 조건하에서 실시하는 내구시험을 말한다. 종래의 신뢰성은 내구성과 품질관리라는 개념으로 대표된 막연한 형태로 인식되었으며 당연히 각 제조업자의 경험에 기초한 평가기술에 의해 실험되었던 것이다.

그러나 최근의 품질보증, 제품책임 대책에서 볼수 있듯이 새로운 상황에 직면하면서 이에 대응하는 것이 대단히 어렵다. 이 상황을 극복한 것이 새로운 신뢰성 기술이며 이러한 신뢰성 기술중 내구성시험은 신뢰성 시험중에서 가장 중요한 기법중 하나가 되고 있다.

신뢰성기술 프로세스는 제품계획, 제조, 검사등 거의 모든 부분의 활동이며 그 내용도 시장예측에서 기술상의 노하우와 고유기술에 까지 이르고 있다. 이들을 지원하기 위한 신뢰성에 관련하는 고

* 여주전문대학 공업경영과

** 아주대학교 기계산업공학부

유기술과 이들에 대응하는 많은 신뢰성시험의 실시가 중요하다. 본 연구에서는 신뢰성 시험의 방법과 응용에 관한 사항을 전자부품과 기계적인 측면에서의 방법과 응용을 위한 적용예를 다룬다.

2. 신뢰성시험의 기초기술

일반적으로 제품의 고장발생은 종래 3σ 법으로 관리 설정하면 시장에서 문제가 되는 것은 대체로 없다고 여겨졌었다. 그러나 최근의 자동차, 전자 장비, 가전 제품등과 같이 대량 생산으로 제조되는 제품은 6σ 법으로 관리되어 보증기간중에 고장발생율은 그 1/1000~ 1/10000 이하로 요구되고 있다. 또, 최근의 정밀 제품은 장수명화가 추진되고 보증기간이 길어지는 경향이 있다. 그러나 장수명을 보증하기 위한 신뢰성시험을 보증기간에 필적하게끔 실시하고 또한 통계처리 한 만큼의 수를 운전하는 것은 불가능하다. 자동차등 기계공업의 신뢰성기술이 전자공업 등의 신뢰성기술에 비해 발달이 늦어진 것은 신뢰성시험을 하기 어려웠던 이유에서다. 이 해결 방법으로 다음과 같은 사항을 들 수 있다.

- ① 과거의 데이터를 활용한다. : 통계적으로 실시한다 해도 한번에 많은 샘플을 입수할 수 없기 때문에 장기에 걸친 시험, 시장데이터를 중요시 한다. 이때 단순히 비율만을 문제삼는 것이 아니라 매카니즘도 조사하고 고장해석을 하고 데이터를 수집한다.
- ② 가속수명(강제열화) 시험을 한다. : 부하하중, 속도, 빈도, 기타 조건을 강제적으로 증대하고, 또 고장나기 쉬운 구조 형태의 시험을 하고 단시간, 소량 샘플로 한다.
- ③ 고장원인을 사전에 Screening 한다. : 과거의 실적을 통해서 고장패턴과 그 발생확률을 열거한다.
- ④ 고장원인을 통계적으로 예측하고 제거한다. : 데이터를 정량적으로 파악하고 영향의 중요도를 확정하며 가능한한 제거한다. 불가능할 때는 대책을 사전에 생각해 둔다.
- ⑤ 고장물리를 이용한다. : 이론적으로 고장 프로세스를 상정하고 문제발생의 원인을 추구한다.

2.1 신뢰성의 척도

다음 <표 2.1>에 제품별로 제품의 사용조건 연속 사용시와 일시적 사용시의 사용조건 하에서 수리 가능성 여부에 대한 수리보전의 종류를 예시하였으며 이때 적용 제품에 대한 신뢰도 척도를 나타낸다.

<표 2.1> 제품별 신뢰성 척도

사용조건	수리가능성	보전종류	제품예	신뢰도 척도 예
연속 또는 계속적으로 사용되는것	수리 가능	예방보전	전자계산기, 차량, 항공기, 생산설비	평균고장간격 내용수명 가동률
		사후보전	가정용 전기품 기계기구	평균고장간격 내용수명 초기고장률(1년)
	수리불가능	마모시까지 사용	전자부품 기구부품 일반소비기구	고장률 평균수명 고장분포형태와 파라미터
		일정기간 사용 후 탐지되는 것	예방보전이 있는 기기의 부품 (방송용 전자관) 실용기간보다 평균수명이 긴것	고장률 내용수명 고장분포형태와 파라미터
단속적으로 사용되는것	수리가능	예방보전	과부하 계전기 구명구	성공률 불발율
	수리불가능	.	발연통 信管	동작률

2.2 신뢰성 시험의 목적

제품의 신뢰성 시험의 목적은 간략히 나타내어 다음과 같다.

- a. 제품의 신뢰성 보증
- b. 신설계 · 신부품 · 신프로세스 · 신재료 평가
- c. 시험법 검토

3. 신뢰성시험의 방법과 응용

3.1 신뢰성시험의 계획과 실시

(1) 일반적 검토항목

신뢰성시험의 종류, 방법, 규모, 일정등은 요구목적 및 대상제품에 따라 선택되며 실시로 이 행된다. 이 때 일반적으로 검토되는 항목은 다음과 같다.

- a. 목적 및 달성척도
- b. 고장의 정의와 고장기준
- c. 측정 파라미터의 선정
- d. 스트레스의 종류와 수준 및 그 증가방법
- e. 시험시간과 샘플수
- f. 시험장치
- g. 시험코스트
- h. 데이터 해석순서와 고장품 분석

(2) 파라미터의 선정과 판정기준

열화고장이 문제가 될 때, 파라미터의 선정이 중요하다. 돌발고장적인 경우에도 그 선구 파라미터가 존재하는 일이 많다.

(3) 시험시간과 샘플수

다수의 시료를 써서, 장시간에 걸친 수명시험을 실시하면 코스트는 증가하지만 얻어진 정보의 질과 양은 증가한다. 따라서 요구되는 정도에서 어느 정도의 샘플 수로 어느 정도의 시간시험을 하면 좋은지가 문제가 된다. 샘플수와 시험시간을 적극적으로 줄이는 방법은 가속 수명 시험의 적용이다. 그러나 가속율을 올리기 위해 스트레스를 엄격하게 하고 과하게 하거나 O n · Off 동작의 반복 회수를 지나치게 늘리면, 실용상태와 다른 고장모드가 발생하고 가속수명 시험이 성립치 않게된다. 이와 같은 경우에는 강제 열화시험과 스텝 스트레스 시험등을 활용하고 고장의 물리적해석에 의해 적용한계를 확인하는 것이 중요하다.

(4) Stress 선정

제품, 부품의 샘플에 대한 가속 수명시험시 스트레스의 선정은 매우 중요한 요소이다. 특히 샘플의 일정 강도(Strength)가 설정시 기계적인 부하(Load), 온도, 저류, 전압, 진동, 사용 환경등을 통틀어서 Stress라고 한다. 이러한 Stress 수준의 선정은 제품, 부품의 수명 추정에 직접적인 요소이며 일반적으로 다음과 같은 방법이 적용되고 있다.

- a. 일정 스트레스 방법 (Constant Stress Method)
- b. 단계적 스트레스 방법 (Step Stress Method)
- c. 점진적 스트레스 방법 (Progressive Stress Method)

3.2 환경시험

제품의 신뢰성에 미치는 영향 인자를 선택하여 신뢰성 시험을 실용하는 것은 매우 주요한 것이며 특히 제품이 소비자에 이르러서 소비자가 일반 사용조건에서 제품을 사용하기 때문에 환경의 시험은 실제적으로 제품의 고장, 수명평가를 위하여 매우 본질적으로 수행 되어야한다.

제품의 신뢰성에 주요한 인자에 대하여 살펴보면 다음과 같다. 먼저, 일반적으로 제품사용의 온도의 측면에서 제품의 신뢰성에 영향을 미치는 수준을 살펴보면 고온, 저온, 온도 Cycle, 급열, 급냉 등에 의해 발생하는 열적, 기계적 스트레스에 의한 돌발고장, 화학반응의 진행 촉진에 의한 성능변화, 재료부품의 온도특성에 의한 특성 파라미터의 변화, 팽창에 의한 가동부분의 마모 현상이다. 이때 제품의 고장 발생 예를 보면 전자부품의 특성변화인 항공치, 정전용량 등, 도장의 파손과 벗겨짐, 적층판의 휘어짐, 왁스의 용융과 구열, 윤활유의 증발과 고화 현상등을 들 수 있다. 또한 온도에 의한 고온에 의한 절록과 내압특성의 저하, 흡습에 의한 재료의 부식과 누설 전류의 증가, 팽창에 의한 패키징 재료의 어긋남 증가, 저습에 의한 고화와 정전기장해, 영결에 의한 배관파열, 빗방울 부착에 의한 단락, 수증의 불순물에 의한 열교환기의 기능저하 현상으로 고장 예로서 플라스틱의 팽윤, 집적회로의 정전파괴, 인쇄회로의 선간절록 불량, 밀봉 불완전한 기기의 절록 불량현상이 나타난다. 진동 충격으로 인한 피로에 의한 기계적강도의 열화, 취부리드의 단선, 나사풀림, 진동에 의한 전기신호의 변조, 기계적인 기능의 열화, 외부진동과 자기진동과의 공진을 일으키면 고장이 가속되며 고장 예를 보면 전산판의 마이크로포닉 잡음 등의 현상으로 발생한다. 일반적으로 고도 저기압의 전기적 내압저하와 냉각 효과의 저하, 탱크등 용기의 기계적 어긋남 증대, 수지부분의 가스 누설, 재료내 기포의 팽창에 의한 기계적 손상 항공기용 전자기기의 내압열화 TV용 브라운관의 폭축의 현상이 나타난다. 일상현상은 도장의 퇴색, 고무와 플라스틱의 포성화, 정밀기기의 정도저하, 용기내의 온도상승, 오존발생에 의한 절록 저하와 재료의 열화의 요인이된다. 감분현상은 부품의 절록저하와 전식, 금속재료의 발청, 땀에 의한 전자부품의 열화, 안테나의 발청, 전자관의 수명 불량 현상이 나타난다. 유해가스는 아황산가스, 암모니아 등에 의한 재료 부식, 내압저하 안테나의 발청, 전자관의 수명불량으로 나타나며 진애는 정밀기기 부품의 손상, 필타의 입구 막힘에 의한 온도상승, 고온하의 절록 저하, 찰상과 막힘 등에 의한 가동 부분의 마모증가 점점의 소손, 밀봉 불완전한 기기에서 회전축과 모타 축수의 마모 등이다. 대전, 유도, 복사 고전압부분의 대전에 의한 진애부착, 전파방해, 유도가열 전자렌지의 마이크로파 누설의 현상이 발생한다.

3.3 Screening 시험

(1) Screening 시험의 예

제조결함에 기초한 초기불량과 잠재고장을 조기에 비파괴적으로 제거하는 기술이다. 다음 <표 3.1>에 반도체의 경우에 Screening 시험법의 실례를 간략히 나타낸다.

3.4 기계의 신뢰성시험

3.4.1 기계의 신뢰성 문제점

종래의 신뢰성 기술과 이론은 전자계를 중심으로 발달해 왔다. 그러나 기계로의 신뢰성 응용은 다음과 같은 난점이 있다고 여겨졌으며 현재 기계적 측면에서의 신뢰성 시험은 점차 일반화 되고 있으나 다음과 같은 문제점을 안고 있고 아래의 사항을 배제하여 수행되어야 한다.

- a. 공간적 구속조건이 많고 또한 구조가 열화현상에 영향을 미친다.
따라서 요소간의 고장모드에 상관관계가 발생하고 신뢰성에 큰영향을 준다.
- b. 실동상태의 부하가 복잡하며 또한 긴 내구수명을 요구한다. 요소의 고장데이터 수집 평가가 곤란하다.
- c. 과혹 사용조건이 추정이 곤란한 경우가 많기 때문에 신뢰성시험 조건을 설정하기 어렵다. 또 피로파괴와 마모 등 기구가 충분히 해명되지 않는 현상이 많다.

<표 3.1> Screening법의 실례 (반도체인 경우)

Screening		초기에 제거한 불량	부 작용
명 칭	방 법		
원 심 력	와이어, 칩이 벗어나기 쉬운 방향에 수천~수만의 원심력을 가한다	와이어의 단락, 칩의 벗겨짐, 본딩 불완전	구조에 따라서는 지나치게 엄격하다.
충격또는낙하	수백~수천의 충격력을 수회 가한다.	와이어의 단락, 단선, 칩의 파손, 어긋남, 본딩불완전	
진 동	50Hz의 진동을 10~60초 가하고 노이즈 발생	"	
고 온 보 관	100~200℃에서 수십~수백시간 보관한다.	표면오염, 산화막 단락, 증기막오픈	캡, 리드표면의 변질, 발브브레이크의 생성촉진
온 도 Cycle	저온(-20~-65℃)과 고온(70~175℃) 사이를 수회 반복한다.	표면오염, 본딩 불완전, 칩의 어긋남	외위기(外圍氣)의 클락
동 작 시 험	최대 콜렉터 손실 또는 고온으로 동작시킨다.	표면오염, 핫시베이션 불완전, 산화막의 편홀	
리 크 시 험	수압 5kg/m ² 를 수시간 가하거나 헬륨데테쿠타, 라지프로데테쿠타를 이용하여 리크부를 검출한다.	10 ⁻¹⁰ ~10 ⁻¹⁰ ce/sec의 리크	
의 관	목시, 현미경으로 검사	도금불량, 유리클락	

3.4 기계의 신뢰성시험

3.4.1 기계의 신뢰성 문제점

종래의 신뢰성 기술과 이론은 전자계를 중심으로 발달해 왔다. 그러나 기계로의 신뢰성 응용은 다음과 같은 난점이 있다고 여겨졌으며 현재 기계적 측면에서의 신뢰성 시험은 점차 일반화 되고 있으나 다음과 같은 문제점을 안고 있고 아래의 사항을 배제하여 수행되어야 한다.

- a. 공간적 구속조건이 많고 또한 구조가 열화현상에 영향을 미친다.
따라서 요소간의 고장모드에 상관관계가 발생하고 신뢰성에 큰영향을 준다.
- b. 실동상태의 부하가 복잡하며 또한 긴 내구수명을 요구한다. 요소의 고장데이터 수집 평가가 곤란하다.
- c. 과혹 사용조건이 추정이 곤란한 경우가 많기 때문에 신뢰성시험 조건을 설정하기 어렵다. 또 피로파괴와 마모 등 기구가 충분히 해명되지 않는 현상이 많다.

3.4.2 재료시험

재료의 시험은 다음과 같이 대표적인 시험이 주류를 이루고 있으며 특히 다음과 같은 부품 및 재료 시험은 신뢰성 기계, 계측 장비들이 필수적으로 구비되어야 한다.

- a. 인장 시험
- b. 압축 시험
- c. 구부림 시험
- d. 조이기 시험
- e. 전단 시험
- f. 충격 시험

- g. 단단함 시험
- h. 피로 시험
- i. 크립 시험
- j. 마모 시험

3.4.3 비파괴 시험

기계, 재료의 비파괴 시험은 고비용의 재료, 부품의 신뢰성 시험에 대한 적용으로 다음에 비파괴 시험의 종류와 이에 대한 원리, 특징 및 시험 응용 예를 나타내었다.

a. 방사선투과시험

투과한 방사선의 강도변화로 재료의 결함, 조립품의 내용구조 등을 조사한다. 제트 엔진의 내부의 노즐 가이드변의 만곡량, 연소실의 손상상태를 X선 검사를 이용한다.

b. 초음파탐상시험

초음파의 반사를 이용해서 재료의 결함을 조사한다. 압력용기용 재료와 용접부의 결함검사에 적용한다.

c. 자분탐상시험

철강과 같은 자화(磁化)가능한 재료에 자분을 걸어 그 모양에서 표면 또는 표면 가까이 결함을 검출한다. 이 자분탐상 시험의 적용 예를 보면 철도차량의 차축의 표면피로를 검사, 검출한다.

d. 침투탐상시험

형광염료, 착색염료를 포함한 침투성이 강한 약체를 모관현상을 이용해서 침투시켜 결함의 유무를 조사한다. 나사, 키홈이 있는 부품의 결함과 기밀봉지인 전자관과 반도체의 리크시험에 적용 된다.

e. 전자유도시험

교류자계(交流磁界)를 인가한 경우 비자성체내에 발생하는 과전류, 자성체의 자기 특성 변화를 이용해서 재질감별, 클락검출 치수측정 등에 이용된다. 항공기의 랜딩 기어호일의 결함검사를 적용한다.

f. 온도분포측정

적외선과 야정의 색변화를 이용해서 표면온도 분포를 측정하고 잠재결함을 발견한다. 저항, 반도체등 동작시의 핫스포트 검출, 납땜, 용접등 접착불량의 검사에 적용한다.

g. Acoustic Emission

금속이 변형 및 파괴할 때 개방 에너지에 의해 발생하는 탄성파를 검출하여 검사하는 방법으로 미사일 연료탱크와 원자력 압력용기 흡입과 파손의 성장, 공작공구의 마모와 축수의 결함을 검출한다.

h. Holographie

내부에 결함이 있는것에 열 또는 진동등의 스트레스를 주면 표면형상이 변화한다. 따라서 1매의 홀로그램상에 변형전과 변형후의 상을 이중노출하고 그 우섭(于涉) 줄무늬 모양에서 변형된 모습을 조사하고 내부상황을 추정한다. 항공기의 타이어 내부결함의 접착 불량, 스크류, 터빈 등의 진동상태를 검사한다.

3.4.4 파괴 시험

일반적으로 적용되는 기계, 재료의 파괴 시험은 일반적인 신뢰성 시험의 적용으로 적정 샘플의 검사 분석으로 스트레스에 대한 수명시험을 적용한다.

4. 결 론

본 연구에서는 신뢰성 시험의 방법과 적용을 다루었으며 신뢰성 시험은 설계 단계에서 제품 완성 후 잠재적 고장의 측면을 방지, 예측하고 사전에 수명, 특성분석을 행하는 기술로서 본 연구에서는 기계적 측면에 재료 시험의 종류와 제품의 소성에 따른 비파괴 검사의 원리, 특징, 원인 및 적용 예와 파괴 검사부문을 다루었다. 특히, 전자 부품의 신뢰성 시험시의 영향을 미치는 환경 조건과 Screenig시험 방법의 예를 나타내었다. 결론적으로 제품의 신뢰성 시험을 위한 방법과 적용이 실제수행 될 수 있는 측면을 다루었으며 추후 신뢰성 시험을 위한 절차와 순서측면에서 세부적인 연구가 이루어져야 한다고 사료된다.

참 고 문 헌

- [1]Mann, N. R., Scafer, R. E. and Singpurwalla, N. D., Methods for Statistical Analysis of Reliability and Life Data, John Wiley & Sons, New York, 1974.
- [2]Little, R. E. and Jebe, E. H., Statistical Design of Fatigue Experiments, Halstead, New York, 1975.
- [3]Locks, M. O., Reliability, Maintainability, and Availability Assesment, Hayden, Rochelle Park, New York, 1973.
- [4]Yurkowasky, W., Schaefer, R. E., and Finkelstein, J. M., Accerated Testing Technology, Air Development Center Technical Report, Griffiss Air Force Base, New York, 1967.
- [5] 이 상 용, 신뢰성 공학, 형설 출판사, 1994.
- [6] 監見弘 , 信賴性入門, 日科學技連出版社, 1976.
- [7] 日科技連, 信賴性 研究委員會, 初等信賴券, 日科學技連出版社, 1968.
- [8] 日本規格協會, 品質保證 信賴性管理便覽,1988.