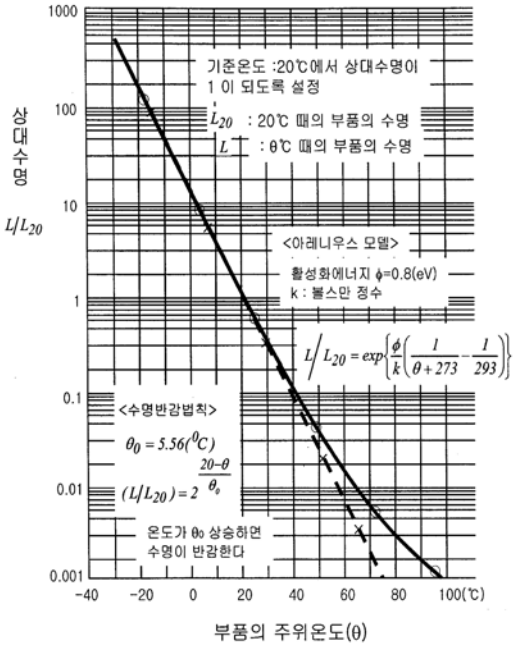
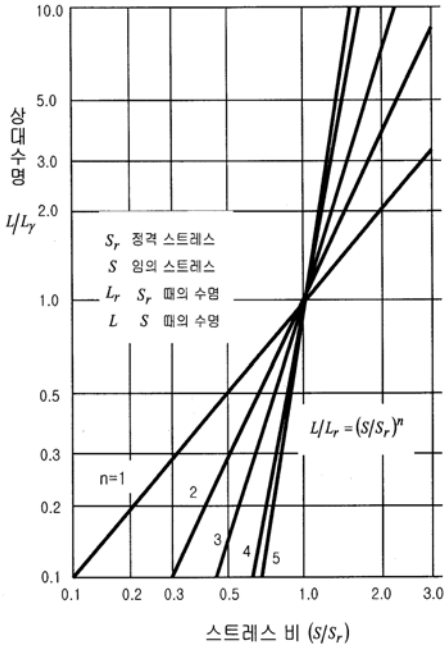
Vol:13 (Rev.0)

관리번호	

자성부품의 신뢰성과 가속시험법



아레니우스 법칙과 수명반감법칙의 비교



일반 스트레스에 대한 역누승법칙

KCE
Korea Coil Engineering Co.,Ltd
Tel:+ 82-2-974-7034
Fax:+ 82-2-974-7345

목 차

제1장:신뢰성의 기초

1. 신뢰성
  1-1:신뢰성 개념의 도입
  1-2:장치의 신뢰성
  1-3:전자부품의 신뢰성
  1-4:제품의 고장율곡선
    ①Bath Tub곡선
    ②인간의 사망율
    ③전자부품의 고장형(Type)
  1-5:MTBF의 계산

2. 제품의 사용환경
  2-1:온도
  2-2:습도
  2-3:진동
  2-4:충격

3. 기타의 환경
  3-1:기압
  3-2:태양광
  3-3:비,흙탕물들
  3-4:모래먼지,먼지,곰팡이,동식물등
  3-5:염분,염수
  3-6:대기오염,화산성가스,기타 가스분위기
  3-7:기타

4. 환경시험과 규격
  4-1:시험항목의 선정과 시험조건의 설정
    ①시험항목
    ②시험조건
    ③환경시험의 종류
    ④시험규격

제2장:가속시험법

1. 가속시험법의 개념
2. 가속성의 검토
3. 온도에 의한 가속시험법
  3-1:온도가속의 원리
  3-2:가속계수를 구하는 방법
4. 열충격에 의한 가속시험법
  4-1:열충격가속의 원리
  4-2:가속계수를 구하는 방법
5. 습도에 의한 가속 시험법
  5-1:습도가속의 원리
  5-2가속계수를 구하는 방법
6. 전압에 의한 가속 시험법
  6-1:전압가속의 원리
  6-2:가속계수를 구하는 방법
7. 가속시험법의 정리표
8. 가속시험의 정리도
9. 가속시험연습문제

본 기술자료는 신뢰성에 대한 기본개념을 설명하고 신뢰성을 예측할 수 있는 가속계수를 개발하는 방법을 개념적으로 설명한것입니다. 가속계수의 개발에는 여러 가지 경험법칙(아레니우스 모델, 수명반감법칙, α승법칙, Coffin-Manson모델등)을 활용하고 있습니다. 본 기술자료를 정리한 필자도 적용된 법칙들에 대해 완벽한 지식이 없는점을 이해하여 주시기 바라며 단순 개념의 이해에 도움이 되었으면 합니다.

2003.11.17

제1장. 신뢰성의 기초

1. 신뢰성

1-1:신뢰성 개념의 도입

오랜 기간 제품의 고장이 없으면 신뢰성이 높다고 한다.

신뢰성이 처음으로 중대한 문제가 된것은 미국의 장치,특히 전자장치이였다.

제2차 세계대전중에 여러 가지의 군사용 전자장치(레이저,무선기등)가 개발되어졌는데 진공관을 사용하였기 때문에 신뢰성이 낮았다(진공관의 수명이 짧다).

이 때문에 진공관의 수명을 늘리기 위한 연구가 시작되었는데 장치의 고장과 수명에 대하여 시스템적으로 고찰하여 고장을 예측한다는 소위 신뢰성의 사고는 아직 없었다.

제2차대전후 수년이 지나 한국전쟁에서 미군은 대량의 전자장치를 투입하였지만 미국에서 보내진 장치중 만족하게 사용할 수 있는것은 반 정도에도 미치지 못하였다.

원인은 제2차세계대전 때문에 급속히 진행된 장치의 전자화,대규모화,거기에 사용환경(수송 및 극동의 다온·다습 분위기)를 고려하지 않은 설계였기 때문이다.

싸우기 전에 반 이상을 사용할 수 없었던것에 충격을 받은 미군은 즉시 전자장치의 신뢰성위원회(AGREE)를 발족시켜 5년의 세월과 비용으로 원인규명과 신뢰성 보증을 하기 위한 제항목을 검토하여 유명한 AGREE Report를 작성하였다.

이렇게 하여 시작된 신뢰성은 아폴로 계획등으로 인간을 달에 보내는것도 가능하게 만들었다.

전자장치의 신뢰성(AGREE보고)	1957년
제1전문부회	필요최소한도의 신뢰성
제2전문부회	개발모델의 신뢰성시험에 관한 요구사항
제3전문부회	생산시작품과 본생산품의 시험
제4전문부회	신뢰성 사양을 만족하기 위한 설계법
제5전문부회	부품의 신뢰성에 관한 규정
제6전문부회	조달계약시의 신뢰성에 대한 규정
제7전문부회	발송 및 수송방법에 대한 조사
제8전문부회	저장 및 보관방법의 조사
제9전문부회	사용중의 신뢰성을 유지하는 방법 과 수순

<표1>AGREE보고항목

1-2:장치의 신뢰성

신뢰성이란 구체적으로 무엇인지 대해 고찰하여 보자.

장치의 신뢰성에 대해 생각할때 두가지를 생각할 수 있다.

얼마나 고장이 잘 생기지 않는지와 수명이 얼마나 긴지이다.

전자는 신뢰성에서 **평균고장간격(MTBF:Mean Time Between Failure)**이라는 척도로서 표현하고 후자는 **내용수명** 혹은 **유용수명**이라는 척도로 표현한다.

일반가정에 사용하는 TV를 포함한 장치의 신뢰성은 MTBF를 많이 사용한다.

부품의 경우는 고장 즉 수명등으로 **고장날때까지의 평균시간(MTTF:Mean Time To Failure)**이라는 척도로 나타낸다.

신뢰성 / 제품	고장	수명
장치	평균고장간격(MTBF)	내용수명,유용수명
부품	고장까지의 평균시간(MTTF)	

<표2>신뢰성의 척도(단위:시간)

예를 들어 TV의 MTBF에 대해 생각하여 보면 칼라 TV의 경우 평균하여 2년에 1회정도 고장이 발생한다고 하고 1대의 TV가 1일 평균 5시간 사용한다면

평균고장간격(MTBF)는

MTBF=5h×365일×2년=3,650h가 된다.

만약 고장의 발생이 10년에 1회 비율이라면 신뢰성은 5배 향상된것이다.

1-3:전자부품의 신뢰성

장치등에 사용되는 전자부품의 신뢰성은 어느정도일까?

예를 들어 원판형의 자기 Capacitor(Ceramic Capacitor)의 평균고장시간(MTTF)은

MTTF=100만년(=10^{10}h)이라고 한다.

부품은 부서질때가 수명이기 때문에 평균수명이 100만년이 되는것이다.

통상 전자부품의 신뢰성은 MTTF의 역수인 고장율(λ)로 표현한다.

고장율은

$$\text{고장율}(\lambda) = \frac{1}{\text{MTTF}}(1/\text{h}) \quad \text{이다}$$

즉 **한시간당 어느 정도 고장이 발생하는지가 고장율이다**.위에서 예를 든 Ceramic Capacitor의 신뢰성을 고장율로 표현하면

$$\lambda = \frac{1}{10^{10}} = 0.1\times 10^{-9} = 0.1\text{fit}$$

$$1\text{fit} = 10^{-9}(1/\text{h}) \quad \text{fit:Failure Unit}$$

이다.0.1fit라고 하는것은 1시간당 0.0000000001개가 고장난다는 의미이므로 시장에 100억개가 출하되었다면 1시간당 1개가 부서진다(고장난다)는 의미이다.

선진기업의 자성부품(Inductor류,Trans류,Line Filter류)의 고장율은 대개 1~10fit정도이다.

1-4:제품의 고장율 곡선

칼라TV의 고장율은 처음에는 높고 그 후 일정하게 된후 다시 높아진다.

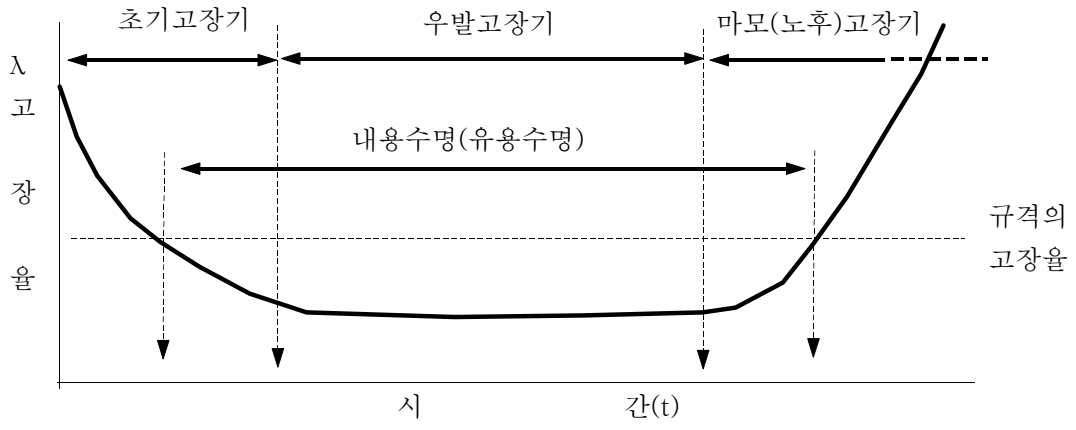
이러한 경향은 TV뿐만 아니라 대부분의 제품도 같다고 할 수 있다.

①Bath Tub(욕조) 곡선

초기고장기는 제품의 설계 잘못,재료의 결함,생산공정에서의 결함,외부환경과 적합하지 않은 약점 등이 제품이 출시되어 사용되기 시작하면서 발생하는 기간이다.

이 기간의 고장의 원인은 상기와 같이 제조자측에 있는 경우가 많고 일반적인 제품은 1~2년 정도의 무상보증기간을 두어 소비자를 보호하고 있다.

이러한 초기고장기는 제품(장치)등을 보전,개조한 직후에도 발생하기 때문에 주의하여야 한다.

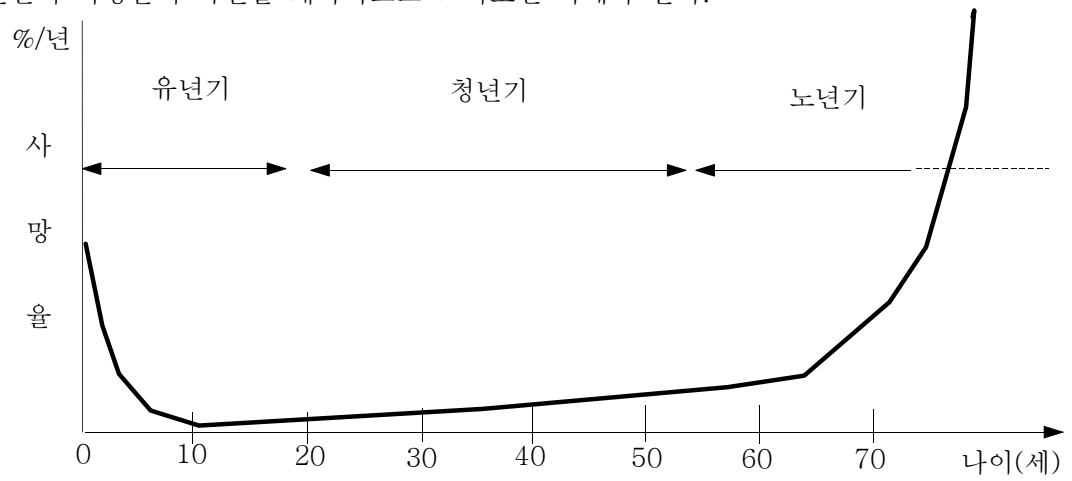


<그림1>제품의 고장율곡선

우발고장기(偶發故障期)는 초기고장이 다 발생한 후 고장율이 가장 낮고 안정된 기간을 말한다.
이 기간의 고장은 예측이 안되는 우발적인 원인에 의해 고장이 발생하는 경우가 많고 고장율은 거의 일정하다.
제품의 신뢰성적인 측면에서는 이 기간의 고장율이 낮고 긴것이 요구된다.
정해진 고장율 이하의 기간을 **내용수명** 혹은 **유용수명**이라고 한다.
마모고장기는 제품 고유의 수명이 도래한 시기로서 마모피로,열화에 의한 고장이 발생한다.
마모고장기에 있어서 예방보전,사후보전을 하여 고장율을 낮춰 내용수명을 연장할지는 코스트를 고려하여 결정한다.

②인간의 사망율

인간의 신뢰성이란 지금까지의 이야기와는 차원이 다르다고 생각되지만 제품의 신뢰성을 잘 이해하기 위하여 인간의 수명,사망율에 대해 생각하여 보면 지금까지의 이야기와 거의 일치한다.
인간은 매우 복잡하고 많은 장치의 조합으로 볼 수 있기 때문이다.
인간의 사망율의 곡선을 개략적으로 그려보면 아래와 같다.



<그림2>년령과 사망율 그래프

0세의 사망율이 매우 높고 청년기에는 사망율이 낮으면서 거의 일정하고 노년기에 사망율이 급격히 증가하는것을 알 수가 있다.
따라서 **초기고장기,우발고장기,마모고장기**가 각각 **유아기,청년기,노년기**에 대응한다.
현재 한국의 남자 평균수명이 72세 정도인데 평균수명이란 0세의 사람이 평균하여 몇세까지 살수 있는지에 대한 수자로서 장치(수리가능),부품.장치(수리불가능)에서는 각각 내용수명,**고장까지의 평균시간 (MTTF)**이 된다.
인간과 제품의 신뢰성을 대응시켜 비교하여 정리하면 다음과 같다.

인간	장치(수리가능)	부품.장치(수리불가능)
수명	내용수명,유용수명	고장까지의 평균시간(MTTF)
사망율	------	고장율(λ)
병발생율	평균고장간격	-----

<표3>인간과 제품의 신뢰성의 대응

③전자부품의 고장 Type

대부분의 제품의 고장분포는 Bath Tub곡선의 경향이라고 설명하였는데 전자부품처름 부품단체의 경우는 3개의 고장기가 전부 나타나는것은 적고 "초기고장Type""우발고장Type"마모고장Type"에 가까운 고장분포를 하고 있다.
이를 정리한 표가 <표4>이다.

고장형(고장Type)	전자부품
초기고장형	반도체부품
우발고장형	Caramic Capacitor,Inductor,Resiater
마모고장형	전해Capacitor,기구부품

<표4>전자부품의 고장Type

1-5:평균고장간격(MTBF)의 계산

제품의 MTBF는 사용되어지고 있는 부품의 고장율에서 계산에 의해 구할 수 있다.

$$MTBF = \frac{1}{\text{제품에사용된부품의고장율의합}}$$

2. 제품의 사용환경

신뢰성은 제품의 **시간적품질**(수명)을 문제로 하지만 시간적품질(수명)은 **공간적품질**(내환경성:耐環境性)에 영향을 받는다. 제품은 수출을 하거나 사용, 보존되는 장소에 의해 여러 가지 환경에 직면하게 된다.

예를 들면 온도환경의 경우 일본의 경우 최저,최고기록은 -41℃~+41℃이지만 자동차의 내부와 같이 밀폐된 장소를 고려하면 대상이 되는 온도범위는 더 커진다.

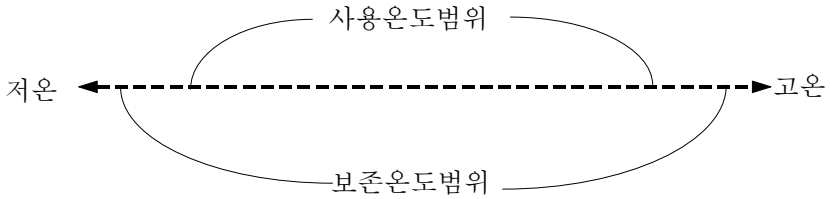
따라서 제품을 설계할 때에는 내환경성에 대하여 충분히 검토하여야 한다.

2-1:온도

사용온도범위와 보존온도범위

설계를 할때는 제일 먼저 제품의 **사용온도범위, 보존온도범위**를 명확히 하여야 한다.

제품의 사양서에는 사용범위는 명기되어 있지만 보존온도범위는 명기되어 있지 않은것이 있기 때문에 주의하여야 한다.



<그림3>사용.보존온도범위

사용온도범위는 User의 사양이 있으면 그것에 따르는것은 말할것도 없지만 사용되어지는 장소(실내외,자동차,항공기,기타),자기발열,열원으로부터의 영향,제품재료의 내열,내한성등을 고려하여 결정한다.

보존온도범위는 특수한 장소 및 열원의 영향을 받지 않는 장소에서의 제품의 수송,보존되는 기후조건에 의해 정해진다.일본 및 세계의 최저 최고기온은 <표4> 와 같다.

	일본	세계
최저기온	-41.0℃(1902년)	-86.7℃(1958년 남극) -67.8℃(1892년 시베리아)
최고기온	+40.8℃(1933년)	+58.8℃(1921년 이라크

<표4>일본과 세계의 최저.최고기온

저온측은 극지를 제외하면 -55,-40,-25,-10,0℃등이 고려되어진다.

사용되어지는 지역에 따라서 다르지만 전자부품의 경우는 -40℃,-25℃가 많이 적용되고 있다.

(자동차 전자부품의 경우 -40℃가 규격화되어 있다)

고온측은 열원의 영향을 받지 않는 경우 40, 55, 70, 85, 100, 125℃등이 고려되어진다.
한여름의 직사일광하 특히 밀폐된내부에서는 상당히 온도가 상승하지만 일반적인 전자부품에서는 85℃를 적용하면 거의 문제가 없다.
그 외 전자부품에서는 사용자의 제조공정내에서의 특수한 열환경에 주의하여야 한다.
예를 들면 납땜처리,초음파접착,기타 접착,용착,에이징등에 대한 내열,내열충격성을 고려할 필요가 있다.

2-2:습도

습도는 온도와의 관계에서 생각할 필요가 있다. 자연환경하에서는 30℃에서 100%RH이상의 엄한 조건은 그다지 없다고 생각된다.
그러나 주위가 밀폐된 장소에 방치된 제품에는 꽤 높은 온도와 습도가 가해진다.자동차에서는 38℃ 98RH,60℃ 80%RH등의 수치가 기록되고 있다.또 다른 특수한 상태에 놓여진 기기에서 55℃ 100% RH라는 수치도 기록되고 있다.
정상 습도시험에서는 40±2℃,90~95%RH가 일반적(MIL,IEC,JIS등)이지만 최근에는 프라스틱 Package제품을 중심으로 55~85℃에서 90~95%RH의 시험이 요구되는 경우도 자주 있다.

2-3:진동

제품은 수송시와 사용.보존시에 진동을 받는다.일반의 가전제품은 휴대용을 제외하고는 사용.보존시에는 거의 진동을 받지 않기 때문에 수송시의 진동만 고려하면 된다.
수송시의 진동이라는것은 제품이 포장된 상태에서 화물차등에 적재되었을때 받는 진동으로 비교적 낮은 주파수의 진동과 가속도를 받는다.
포장방법이 나쁘면 제품이 완충제, Case와 접촉으로 흠이 생기던지 완충제(예를 들면 발포 스치로폴)의 가루가 부착하기도 한다.
사용시의 진동은 철도,자동차,항공기,로케트등에 탑재된 제품이 받는 진동으로서 어디에 탑재되어지느냐에 의해 주파수범위,가속도가 다르다.
전자부품.기기는 수송,사용.보존시의 진동을 고려하여 대개 다음 <표5>와 같은 조건으로 시험이 행해진다.

2-4:충격

진동외에 기계적인 스트레스로 충격이 있다.
충격환경은 제조공정중에서의 오낙하(誤落下),오전도(誤轉倒),수송중의 하역,제품의 설치시(거치형의 경우),사용중의 오낙하.오전도등이 있다.
제품을 설계할 때에는 수송중의 충격에 대해 보증하느것과 오낙하,오전도에 대해 어디까지 보증할 것인가를 고려할 필요가 있다.
<표6>에 제품의 허용가속도를 참고로 나타내었다.
오낙하, 오전도에 대해서는
제품을 마루에 떨어뜨린 경우 그 충격의 크기는 마루의 재질,제품의 충돌방향에 의해 다르다.
또 허용가속도를 넘은 충격을 받으면 제품은 깨지지만 그것이 어느정도의 낙하 높이에 상당하는지는 자유낙하의 Step 스트레스시험을 하지 않으면 판단이 안된다.
어디까지 보증할것인지는 제품의 사용방법, 크기, 가격등을 고려하여 정한다.
일반의 전자부품에서는 70~100㎝(나무 위. 콘크리트 위)정도의 시험이 잘 이용된다.

주파수 / (주1) 가속도	5~55Hz	5~500Hz	5~2000Hz	비고
0~1g	수송시험:포장하여 실시하는경우. 지진,인공적진동에 대한 시험.			산업용,군사용기기
0~2g	수송시험:기기단체로 실시하는 경우			
0~5g	수송시험:부품단체로 실시하는경우. 선박 및 철도차량에 사용되는 경우.	자동차,일반항공기에 사용되는기기		
0~10g	중량이 큰 회전기기에 인접하여 설치되는 기기. 선박에 사용되는부품.	자동차,일반항공기에 사용되는 기기	제트항공기에 사용되는기기	
0~20g	철도차량에 사용되는 부품	자동차,일반항공기에 사용되는 기기	제트항공기에 사용되는기기 로케트의 부스타 이외에 사용되는 기기,부품	
0~50g			로케트의 부스타 이외에 사용되는 기기,부품	

(주1)가속도:시험을 행하는 경우는 이 범위내의 적당한 g으로 실시한다.

<표5>일반적인 진동시험 조건

가속도g	적용부품.기기
10이하	대형전자계산기
10~25	미사일유도장치,고급전자기기,수정발진기,정밀측정기기
25~40	대형전자관,주파수변환장치,정밀지시계기,전기기기,대형산업기기
40~60	소형전자계산기,대형송신장치,대형Tape Recorder,칼라TV,항해기기장치
60~90	TV,Tape Recorder,Camera,진공관,전구,광학기기,스트레오,이동무선장치
90~120	휴대무선장치,냉장고,라디오,소형거치시계,2ℓ병,맥주병
120~1000	카세트 테이프,실장(Fly-Back용)Core,Ferrite Core단체,Ceramic capacitor, 전자부품일반

*허용가속도:제품이 파손하지 않고 견디는 가속도(g으로 표시)

*상기표의 가속도는 일반적인 값이고 같은 품목이더라도 제품에 따라 수배의 차이가 있기 때문에 주의하여야 한다.

<표6>제품(부품.기기)의 허용가속도

3. 기타의 환경

제품의 사용환경으로 주요한 환경은 온도,습도,진동,충격으로 환경시험에서도 이것을 중심으로 하고 있다. 그 외의 환경으로서는 기압,태양광(자외선),비,흙탕물,사진(모래먼지),먼지,곰팡이,동식물,염분, 대기오염,화산성가스,전자파,화학약품,음향진동등이 있다.

3-1:기압

감압된 환경은 고도가 높은 지방,항공기,우주에서 경험된다.기압이 낮아지면 고전압부의 리크가 증대한다.또 전기접점에서의 아크가 증가하여 기구부품의 접점수명이 짧아진다.

의외의 발열이 생기고 특히 공기가 적기 때문에 대류에 의한 방열도 잘 되지 않는다.높은 산정상에서 사용하는 경우는 이상발열이 발생할 수 있다.

3-2:태양광(자외선)

태양광은 도포면의 색을 퇴색시키고 고무,프라스틱의 강도를 열화시킨다.

시험은 인공태양광을 사용하고 온도,습도,강우를 조합하여 실시한다.

3-3:비,흙탕물등

옥외 혹은 자동차의 엔진룸등에 사용되는 제품이 주로 문제가 된다.

수분이 가해지므로서 제품의 온도변화,절연저항의 열화,부식등에 주의하여야 한다.

수중 혹은 수분이 가해지는 장소에서 사용되는 제품은 그 방수Level에 의해 JIS-C-0920(전기기기 기구 및 배선재료의 방수시험통칙)에 방적형(防適形)에서 방습형(防濕形)까지 8가지로 분류되어 있다.

3-4:모래먼지,먼지,곰팡이,동식물등

공기중에는 눈에 보이지 않는 미립자를 포함하여 10^4~10^7개/ℓ(0.5μ이상의 입자)의 모래먼지,먼지가 부유하고 있다.이러한 분진은 거의 대전하고 있기 때문에 고전압부에 부착되기 쉽다.

고전압부에 먼지가 부착하면 절연저항을 열화시켜 방전 및 발연,발화의 원인이 된다. 곰팡이는 흙중에 10^6개/g으로 알려져 있는데 천연물질에 잘 자란다. 그러나 합성수지에서도 어떤 종류의 곰팡이는 자란다(폴리우레탄,시리콘,에폭시등은 비교적 자라기 쉽고 염화비닐에는 자라기 어렵다)

3-5:염분,염수

해안에 가까운 지방에서는 염분(파도나 물보라가 공기중에 증발하여 염분이 공중에 부유한다)에 의한 부식을 고려하여야 한다.

또 한냉지에서는 동기(冬期)에 도로의 동결을 방지하기 위하여 염화나트륨,염화카륨등이 대량으로 뿌려지기 때문에 자동차에 사용되는 제품은 주의하여야 한다.

3-6:대기오염,화산성가스,기타 가스분위기

아유산가스,이산화질소,일산화탄소,유화수소,오존,암모니아 분위기가 고려되어지고 고무,프라스틱을 열화시키고, 접점수명을 단축시키고, 전극을 부식시켜 응력부식의 원인등이 된다.

또 밀폐된 용기내에 접착제등이 기화하여 제품에 영향을 주는 경우도 있다.

3-7:기타

그 외에 전자파(SW의 ON,OFF,번개등에 의한 잡음,서지,우주에서의 방사선,공항세관에서의 X선 검사등),화학약품(납땜후의 프락스 세정액등),음향진동(130dB이상의 경우는 고려가 필요함)등이 있다.

4. 환경시험과 규격

환경시험은 제품이 시장에서 맞게 될 환경을 출하전에 공장에서 예측하여 인공적으로 환경을 만들어 비교적 단시간에 그 적응성을 판정하기 위하여 실시한다.

시장에 출하된 제품은 시간이 경과하므로서 여러 가지 환경에 접하게 된다.또 받는 환경은 단일의 경우도 있고 복합되는 경우도 있다.

그 때문에 시험방법은 각환경마다 제품을 준비하여 실시하는 단독의 환경시험 보다는 동일한 제품에 여러 가지 환경을 주어 가는 소위 군시험(群試驗)이 바람직하다.

군시험에서는 각환경을 가하는 순서가 문제로 되는데 현재 일반적으로 실시하는 방법은 기계적 스트

레스 또는 열적 스트레스를 가한후 내습시험을 하는 방법이다.

현재 신뢰성시험은 열적 스트레스를 가하는 군,기계적스트레스후에 내습시험을 행하는 군,그 외 환경을 개별적으로 가하여 실시하는 군으로 나누워 시험을 하고 있는것이 일반적이다.

군Ⅰ:내한성→저온저장→내열성→고온저장→열충격(온도 Cycle)

군Ⅱ:진동→충격→내습Cycle→내습정상

군Ⅲ:환경시험마다 별도의 Sample로서 시험

(예를 들면 내후선,염수분모,납땜성,납땜내열성,단자강도,수송포장등)

4-1:시험항목의 선정과 시험조건의 설정

①시험항목

고객의 사양에 없는 경우에도 원칙으로 하여 시험군 Ⅰ,Ⅱ는 반드시 실시한다.

그 외의 시험은 부품,최종상품별,사용되는 지역,장소를 고려하여 결정한다.

또 환경시험은 아니지만 사용.보존온도의 한계를 조사하는 온도 Step 스트레스 시험,전압(전력)의 한계를 시험하는 전압(전력) Step 스트레스시험,허용낙하높이를 조사하는 낙하 Step 스트레스 시험을 하느것이 바람직하다.

②시험조건

부품,최종부품,군사,산업기기용,민생용 또, 우주용,항공기용,선박용,자동차용,철도용,지상용,실내용,옥외용등을 고려하여 결정한다.

③환경시험의 종류

주요한 환경시험의 종류와 조건을 정리하면 <표7>과 같다.

시험항목		시험의 목적	민생용전자부품의 일반적 조건
1	내한성	저온특성을 조사한다	사용온도의 하한치
2	저온저장	저온보존의 영향을 조사한다	보존온도의 하한치에서 72h
3	내열성	고온특성을 조사한다	사용온도의 상한치
4	고온저장	고온보존의 영향을 조사한다	보존온도의 상한치에서 96h
5	열충격	온도변화에 의한 영향을 조사한다	보존.사용온도의 가장 엄한 조건의 조합으로 5Cycle
6	진동	수송,사용시의 내성을 조사한다	10~55Hz,0.7mm xyz 각 30분
7	충격	수송,사용시의 내성을 조사한다	100g 6msec 각방향 3회
8	내습Cycle	온습도변화에 의한 영향을 조사한다	IEC-Pub 68 Test Db
9	내습(정상)	정상습도의 영향을 조사한다	40±2℃,90~95%RH,240h이상
10	기압	감압된 상태에서의 영향을 조사한다	
11	염수분무	도금의 상태를 조사한다	5% NaCl 물 24~96h
12	납땜성	단자의 납땜성을 조사한다	230±10℃ 2sec
13	납땜내열성	납땜시 열에의한 영향을 조사한다	350±10℃
14	단자강도	제품단자의 기계적스트레스에 대한 내성조사	인장강도,구부림,비틀림

<표7>주요 환경시험의 종류와 조건

④시험규격

환경시험의 규격은 많이 있는데 주요한 규격을 소개하면 다음과 같다.

1.MIL-STD-202F:전기.전자부품의 시험방법

가장 권위 있는 규격으로 다른 모든 규격은 이 규격을 참고하여 만들어졌다.

군 규격이기 대문에 조건히 매우 엄하고 전자부품이 대상이다.

2.IEC-Pub.68:기본 한경시험법

국제전기위원회(IEC)규격으로 JIS는 IEC에 의해 만들어졌다.

전자기기,부품이 대상이다.

3.JIS-C-5020:전자부품의 내후성 및 기계적강도 시험방법 통칙.
JIS의 전자부품의 공통 시험방법.
전자부품대상

4.MIL-STD-810B:환경시험법

제2장. 가속시험법

1.가속시험법의 개념

제1장에서 신뢰성에 대한 기초적인 내용을 기술하였는데 다시 간단히 정리하면 신뢰성이란 부품,제품.시스템이 주어진 조건(사용,환경조건)하에서 고장없이 일정기간(시간,거리,사이클등)동안 최초의 품질 및 성능을 유지하는 특성을 말하며 신뢰성이 좋은 제품은 고장없이 오래 쓸 수 있고 소비자가 만족하는 제품이라 할 수 있습니다.

일반적인 전기제품의 내용수명(유용수명)은 그 제품에 사용하는 부품의 고장까지의 평균시간(MTTF)에 의해 결정되는데 이 MTTF는 부품의 수명에 해당한다.

따라서 부품의 수명시험을 하여야 하는데 이 수명시험은 장시간(예를 들어 TV에 사용하는 전자부품의 경우 TV의 수명보장은 10년,TV의 내부온도가 약 40℃, 하루 평균 6시간 시청한다면 수명시험은 40℃, 정격부하에서 2.5년간 하여야 한다)을 요하므로 제품의 개발과 개선이 급속히 이루워지고 있기 때문에 설계단계에서 결과를 짧은 시간에 예측할 수 있는 기법의 필요성이 간절히 요구된다.

이에 대응한 시험법이 **가속시험법**이다.

가속시험법은 획일화되어 있는 규정 및 법칙이 있는것이 아니고 각 부품별 **가속항목**(온도,습도,온도 Cycle등)에 따른 **가속시험법(가속계수)**를 개발하여야한다.

또 가속계수는 여러 가지 경험법칙을 많이 활용하고, 통계적인 어려운 기법을 많이 활용하여 개발하기 때문에 전문가가 아니면 완벽한 내용의 이해는 무척 어렵다.

따라서 여기서는 가속시험법의 개념을 이해하고 선진기업이 개발하여 사용하는 가속시험을 소개한다.

가속시험법을 간단히 설명하면 제품의 사용 환경조건을 실제의 조건보다 높여 실험(가속하여 실험)하므로 짧은 시간에 수명을 예측하는 방법이고 가속시험법의 개발은 각 부품의 가속항목(온도,습도,온도 Cycle등)별의 가속계수(AL:Accelerate)를 구하는것 이다.

예를 들어,

통상 85℃ ×1,000h정도의 부하시험에서 제품의 신뢰성을 보증하고 있는데 이것은 몇년을 보장하는 것에 상당하는지? 온도가속을 10℃법칙(가속계수에 해당함:후에 설명함)으로 하고 TV의 예에서 계산하여 보면

①대상전자부품의 주위온도

평균실내온도(20℃) + TV내부의 온도상승:△T(20℃정도)=전자부품의 주위온도 (40℃)

②TV의 사용시간:1일 평균 6시간 사용한다.

③85℃ ×1,000h는 TV에서 몇년에 해당하는지?

우선 온도의 가속계수(AL)는

$$AL = 2^{\frac{T_a - T_n}{\theta_r}}$$ 인데

여기서 T_a:가속온도

T_n:정상온도

Θ_r:수명이 반감하는온도(Ceramic Capacitor의 경우는 10℃, 프라스틱은 8℃이다.즉 Ceramic Capacitor의 사용온도를 10℃높여 사용하면 수명이 반으로 준다는 법칙의 온도)

상기식에서 가속계수(AL)는

AL=$2^{(85-40)/10}$=22.627이 되어 85℃에 시험하면 22.627배가 가속된다.

따라서 수명은

수명(년) = $\frac{\text{가속계수}\times\text{가속시험시간}}{\text{가동시간/1일}\times 365\text{일}}$ 으로 되어 수명은 $\frac{22.627\times 1{,}000}{6\times 365}\approx 10.3$년 이 된다.

여기서는 직감적으로 계산하기 쉬운 온도반감법칙Model을 사용하였는데 실제로는 아레니우스** (Arrenius) Model의 활성화 에너지(△E)에서 가속 계수를 계산한다.

**S.August Arrhenius:1859년~1927년,스웨덴화학자,1903년 노벨화학상수상.

지금까지의 설명에서 알 수 있듯이 부품별 가속항목별 가속 계수를 알고 있으면 수명에 해당하는 가속시험시간을 알 수 있다.즉 필요한 가속시험시간은

가속시험시간= $\frac{\text{제품.장치의보장수명(년)}\times\text{가동시간/1일}\times 365\text{일}}{\text{가속계수}}$ 이 된다.

2.가속성의 검토

가속계수를 구하기 위해서는 가속성이 성립되어야 하는데 가속성 성립요건은

①목표로 하는 고장이 종래와 비교하여 고장 메커니즘이 같아야 하고

②고장 진행과정의 법칙성이 같아야 한다.

가속성을 검토하기 위해서는

①동일 Lot제품을 신뢰성 항목(온도,습도등)의 2가지 이상의 스트레스 조건에서 시험하여

②고장빈도 대 시간의 데이터를

③와이블확률지에 Plot하였을때,각 스트레스 조건(예를 들면 온도의 경우 +40,+70℃등)에서의 기울기(m)가 같아야 하며 즉,평행이동을 시킬 수 있어야 한다.

④또한 고장모드,고장메카니즘이 같으면 가속성이 성립한다고 함.

예를 들어 사용되어지고 있는 재료의 Glass전이점 및 융점이 시험온도 범위내에 있으면 실제의 고장메카니즘과 다른 고장이 발생하는 경우가 있기 때문에 주의하여야 한다.이러한 경우는 가속성이 성립하지 않는다.

3.온도에 의한 가속시험법

3-1:온도가속의 원리

① 아레니우스의 경험법칙(Arrhenius Equation)

온도에 의한 가속법은 일반적으로 아레니우스의 경험법칙(아레니우스 Model)에 따른다.

아레니우스의 Model에 의한 수명μ 와 온도 T와의 관계는 (1)식으로 표현된다.

$$\mu = A \bullet \exp\left(\frac{\Delta E}{0.86166\times 10^{-4}\times T}\right) \quad \text{----------(1)}$$

단 △E:활성화에너지(eV)

T:절대온도(K)

A:정수

(1)의 대수를 취하면

$$\ell_n \mu = D + \frac{\Delta E}{0.86166\times 10^{-4}} \bullet \frac{1}{T} \quad \text{----------(2)}$$

D:정수

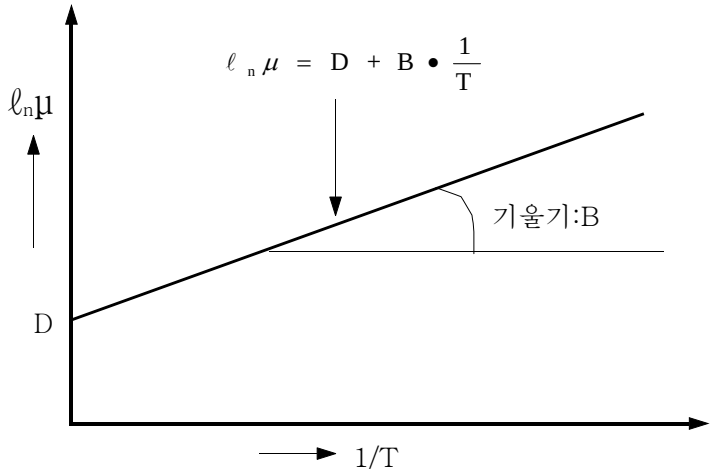
(2)식은

$$\ell_n \mu = D + B \bullet \frac{1}{T} \quad \text{----------(3)}$$

B:정수(=△E/(0.86166×10^{-4}))

가 되어 수명의 대수ℓn μ와 온도의 역수 1/T는 직선으로 표현된다(그림4참조)

활성화에너지 △E는 직선의 기울기 B에서 구해진다.



<그림4>수명 μ의 온도특성(1)

②아레니우스 경험식에 의한 가속계수

기존조건에 대한 온도 및 수명을 Tn ,μ_n 가속조건에 온도 및 시험시간을 Ta ,μ_a 라 하면 가속계수 AL은

$$\text{가속계수 } AL = \frac{\mu_n}{\mu_a} \text{ ----------(4)가 되고}$$

(3)식을 (4)식에 대입하면

$$AL = \exp\left(B \bullet \left(\frac{1}{T_n} - \frac{1}{T_a}\right)\right) \text{ ----------(5)가 되고}$$

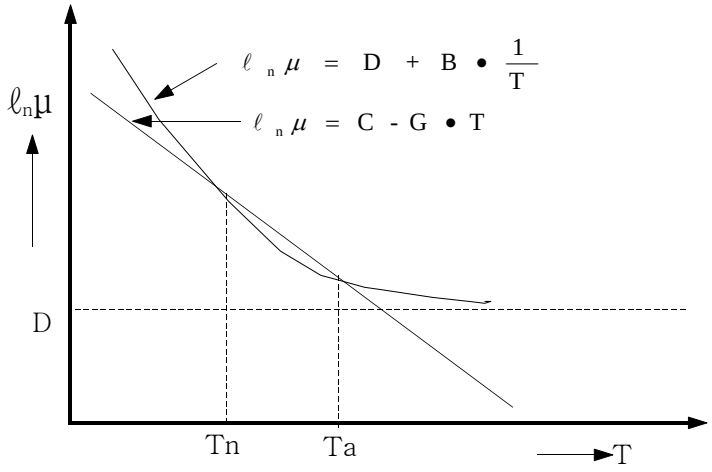
$B = \frac{\Delta E}{0.86166 \times 10^{-4}}$ 를 대입하면

$$AL = \exp\left(\frac{\Delta E}{0.86166 \times 10^{-4}} \bullet \left(\frac{1}{T_n} - \frac{1}{Ta}\right)\right) \text{ ----------(6)이 된다.}$$

③근사식

인접한 온도범위(Ta, Tn)의 범위에서는 (3)식은 다음과 같이 표현할 수가 있다.(그림5참조)

$$\ell_n \mu = C - G \bullet T \text{ ----------(7)}$$



<그림5>수명 μ와 온도특성(2)

(7)식을 (4)식에 대입하면 가속계수가 구해진다.

$$AL = \exp(G \bullet (T_a - T_n)) \quad \text{----------(8)}$$

$\frac{\ell_n 2}{G} = \theta_r$ 를 대입하면 (8)식은

$$AL = 2^{\frac{T_a - T_n}{\theta_r}} \quad \text{----------(9)가 된다.}$$

(9)식은 기존온도 Tn에 대하여 Θ_r의 온도가 올라가면 수명이 반으로 된다는 형을 하고 있다. Ceramic Capacitor의 10℃법칙이 유명하다.프라스틱은 8℃이고 Chip Resister는 5.56℃로 알려져 있다.

(9)식은 직감적으로 이해하기가 쉽지만 [Tn ,Ta]의 범위를 벗어나면 가속계수가 크게 달라지기 때문에 (6)식을 사용하느것이 바람직하다.

(6)식의 활성화 에너지도 품종별(반도체,Inductor류등),고장 Mode별(반도체의 경우 산화막의 결함, 금속부식등),고장현상별(개방,단락등)에 따라 전부 다르다.

자성부품의 경우 0.7~0.8(eV)정도로 생각하면 된다.

3-2:가속계수를 구하는 방법

①가속시험의 설정

1.온도의 시험수준을 3점이상 선정한다.

온도를 3점이상 선정하는데 통상 +40,+55,+70,+85,+125,+155℃등이 바람직하다.사용되어지고 있는 재질의 Glass 전위점 및 융점이상의 온도에서는 기준온도에서의 고장 메카니즘과 다른 고장이 생기는 경우가 있기 때문에 주의한다.온도 T1,T2,T3(T1<T2<T3)를 선정한다.

2.각 시험 수준 n=20정도 선정한다.

적어도 각 수준 n=5이상은 필요하다.

3.수명시험을 실시한다.

수명시험의 중간 측정은 통상 log(t)가 등간격이 되도록 선정한다.

96,240,500,1,000,2,000,3,000, 4,000, 5,000h로 한다(1,000h이상은 1,000h간격으로 평가한다)

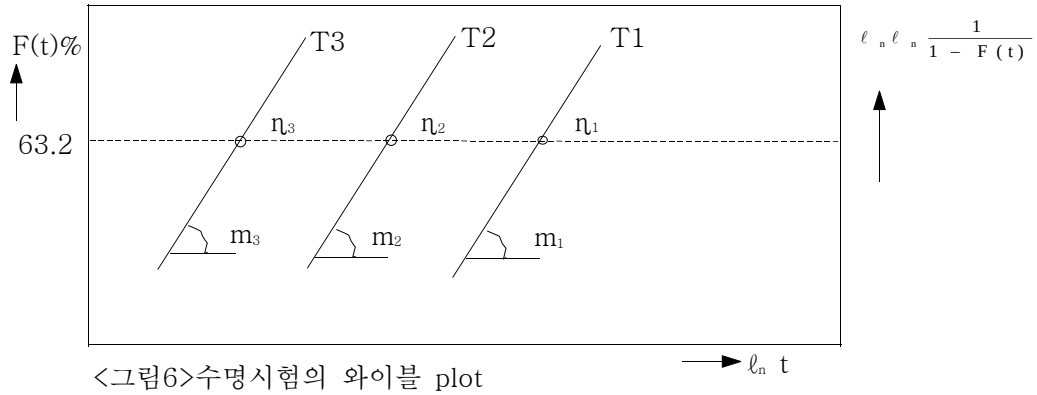
측정이 파괴시험일 경우는 중간 Check시간 마다의 시료를 준비한다.

예를 들면 시험수준이 3점으로 각 시험수준의 측정회수가 8회(예:96,240,500,1,000,2,000,3,000 4,000,5,000h에서 측정한다)라 하면 n=5의 경우 준비하는 시료수는

5회×3수준×8회=120개가 된다.

②시험결과의 와이블 Plot

시험결과를 와이블확률지에 Plot한다.



<그림6>수명시험의 와이블 plot

각온도 T1,T2,T3의 형상 파라메터 m_1,m_2,m_3의 값이 거의 같으면 가속계수를 구할 수 있다.

③가속계수를 구한다

1.ℓ_n μ와 1/T를 Plot한다

수명(MTTF) μ는

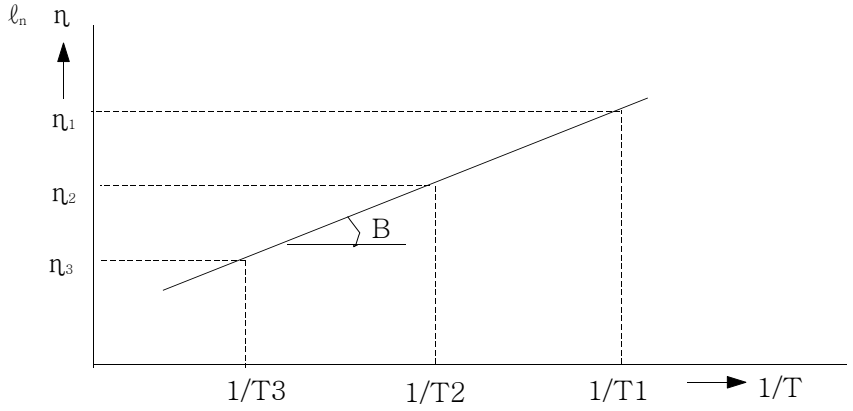
$$\mu = \eta \Gamma (1 + \frac{1}{m}) \quad \text{----------(10)}$$

η:전체의 63.2%가 파괴되는 시간

이기 때문에 m의 값이 T1,T2,T3에서 같으면 (4)식은

$$AL = \frac{\mu_n}{\mu_a} = \frac{\eta_n}{\eta_a} \quad \text{----------(11)이 된다.}$$

ℓ_n (μ)대신 ℓ_n (η)를 Plot하여도 좋다 또 η 대신 특성치가 일정치에 도달하는 시간을 고장시간으로 하여 사용하여도 된다.



<그림7>수명의 온도특성

2.활성화 에너지를 구한다

<그림8>의 직선의 기울기에서 활성화 에너지 △E를 구한다.

$$\Delta E(eV) = B \times 0.86166 \times 10^{-4} \quad \text{----------(12)}$$

3.가속계수를 구한다.

예를 들어 반도체 LSI를 시험하여 활성화 에너지 △E=0.7(eV) 라고 구해진 경우 기준온도 85℃에 대한 가속시험온도 105℃의 가속계수 AL은

$$AL = \exp(\frac{\Delta E}{0.86166} \bullet (\frac{1}{T_n} - \frac{1}{T_a}))$$

$=\exp(0.7\times\{1/(273.16+85)-1/(273.16+105)\}/(0.86166\times10^{-4}))$

$\fallingdotseq 3.32$

가 된다.따라서 85℃ 2,000h의 시험은 105℃에서는 2,000h/3.32≒603h의 시험으로 좋다는 이야기이다.

4.열충격(온도 Cycle)에 의한 가속시험법

4-1:열충격 가속의 원리

①Coffin-Manson모델

열충격(온도 Cycle)에 대한 고장현상은 재료의 팽창수축 스트레스의 피로가 주된 원인이다.

피로에 의한 재료의 파단(破斷) 및 크랙의 발생이 고장으로 관찰된다.

피로에 의한 크랙 및 파단은 재료에 주기적으로 가해지는 왜(歪:塑性變形歪:소성변성왜)의 크기와

파단에 이르는 주기는 다음식의 관계가 있다.

$$\Delta\varepsilon \times Nf^{\alpha} = C \quad \text{----------(13)}$$

단 △ε:주기적으로 재료에 가하는 왜
Nf:파단에 이르는 회수(Cycle수)
α,C:정수

열충격 (온도 Cycle)의 온도범위내에서 재료의 열팽창계수가 지나치게 변화하지 않고 또한 주기적으로 가하는 왜가 열팽창계수의 차에 의해 생기는 경우는 (13)식은 (14)식으로 변형할 수 있다.
보존(동작)온도 범위내에서 열팽창계수와 같은 물성치가 크게 변화하는 재료는 사용하지 않는것이 바람직하다.
통상 열충격(온도 Cycle)은 보존(동작)온도의 상하한(上下限) 온도에서 실시한다.

$$\Delta T \times \mu^{\alpha} = D \quad \text{----------(14)}$$

단 △T:열충격의 온도차
μ :수명(Cycle)
α,D:정수

(14)식에서

$$\mu = G \bullet \Delta T^{-K} \quad \text{----------(15)}$$

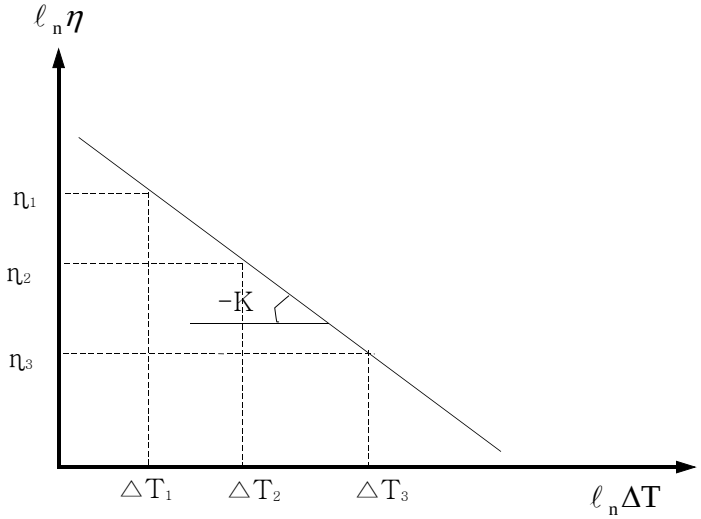
단 K:열충격가속계수
G:정수

(15)식의 대수를 취하면

$$\ell_n \mu = P - K \bullet \ell_n \Delta T \quad \text{----------(16)}$$

단 P:정수

가 되어 $\ell_n\mu(\eta)$와 $\ell_n\triangle T$는 직선관계가 된다.(<그림8>참조)



<그림8>수명 η와 시험온도범위 △T와의 관계

②Coffin-Manson식에 의한 가속계수

따라서 열충격(열Cycle)의 가속계수 AL은 (4)식 및 (15)식에 의해

$$AL = (\Delta T_a / \Delta T_n)^K \quad \text{----------(17)이 된다.}$$

단 $\triangle T_a$:가속조건의 온도차
$\triangle T_n$:기존조건의 온도차

정수K는 재료에 다라 다르다(통산 전자부품은 2).납접합은 K=2,철강재료는 K=1.9~1.0이라고 알려져 있다.

안전적인 측면에서는 K=1이 적용된다.

4-2:가속계수를 구하는 방법

①가속시험의 설정

1.온도범위의 시험수준을 3점이상 선정한다.

열충격(온도 Cycle) 시험조건을 3점이상 선정한다.통상 고온측은 40,+70,+85,+100,+125,+155℃ 저온측은 -5,-10,-25,-40,-55,-65℃에서 선정하는것이 바람직하다.

사용되어지고 있는 재료의 Glass전이점 및 융점이 시험온도 범위내에 있으면 실제의 고장 메카니즘과 다른 고장이 발생하는 경우가 있기 때문에 주의한다.

시험조건 $\triangle T_1,\triangle T_2,\triangle T_3$($\triangle T_1<\triangle T_2<\triangle T_3$)를 선정한다.

2.각 시험 수준 n=20정도 선정한다.

적어도 n=5이상은 필요하다.

3.수명시험을 실시한다.

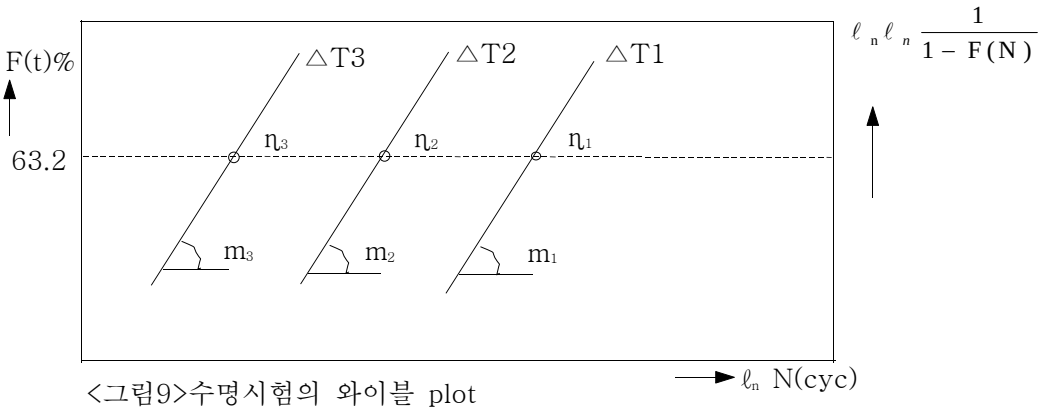
수명시험의 중간 측정은 통상 log(cyc)이 등간격이 되도록 선정한다.

구체적으로 5,000cyc의 수명시험에서는

25,50,100,200,500,1,000,2,000,5,000로 한다(1,000cyc이후는 1,000cyc마다 평가한다.

②시험결과의 와이블 Plot

시험결과를 와이블확율지에 Plot한다.



<그림9>수명시험의 와이블 plot

각온도 $\triangle T_1,\triangle T_2,\triangle T_3$에서의 형상 파라메터 m_1,m_2,m_3의 값이 거의 같으면 가속계수를 구할 수 있다.

③가속계수를 구한다

1.ℓ_n μ 와 ℓ_n △T를 Plot한다.

수명(MTTF) μ는

$$\mu = \eta\,\Gamma\,(1+\frac{1}{m}) \quad \text{----------(18)}$$

η:전체의 63.2%가 파괴되는 시간

이므로 m의 값이 $\triangle T_1,\triangle T_2,\triangle T_3$에서 같으면 (4)식은

$$AL = \frac{\mu_n}{\mu_a} = \frac{\eta_n}{\eta_a} \quad \text{----------(19)이 된다.}$$

ℓ_n (μ)대신 ℓ_n (η)를 Plot하여도 좋다 또 η 대신 특성치가 일정치에 도달하는 시험 Cycle수를 고장Cycle수로 하여 사용하여도 된다.

2.열충격 가속계수 K를 구한다

<그림8>의 직선의 기울기 K를 구한다.

3.가속계수를 구한다.

예를 들어 유니트 기판을 시험하여 열충격 가속정수 K가 2로 구해진 경우 기존온도 범위 $\triangle T_n$ =50℃에 대한 $\triangle T_a$=125℃(-40~85℃)의 가속계수 AL은 식(17)에 의해

$$AL = (\Delta T_a / \Delta T_n)^K$$

$=(125/50)^2 \fallingdotseq 6.25$

가 된다.따라서 △T=50℃에서 1,000cyc의 시험은 -40~85℃(△T=125℃)에서는 1,000cyc/6.25=160cyc의 시험으로 좋다.

5.습도에 의한 가속시험법

5-1:습도가속의 원리

습도에 의한 고장현상은 재료의 흡습(확산,호흡효과,모세관현상)에 의한 팽창,절연열화,부식,가수분해등으로 생각되어 진다.

습도와 수명의 관계에 대해서는 이하의 관계식이 알려져 있다.

①절대습도에 의한 가속모델

프라스틱으로 봉지되어진 디바이스에 습도가 확산하므로 생기는 경우(예:프라스틱으로 봉지되어진 반도체 LSI가 흡습하면 납땜시의 열로 수분이 급격히 증발(폭발)하므로서 프라스틱부에 크랙이 생긴다)

$$\mu = C \bullet H^{-\alpha} \quad \text{----------(20)}$$

단 H:절대습도(g/㎥등)

μ:수명(h)

C:정수

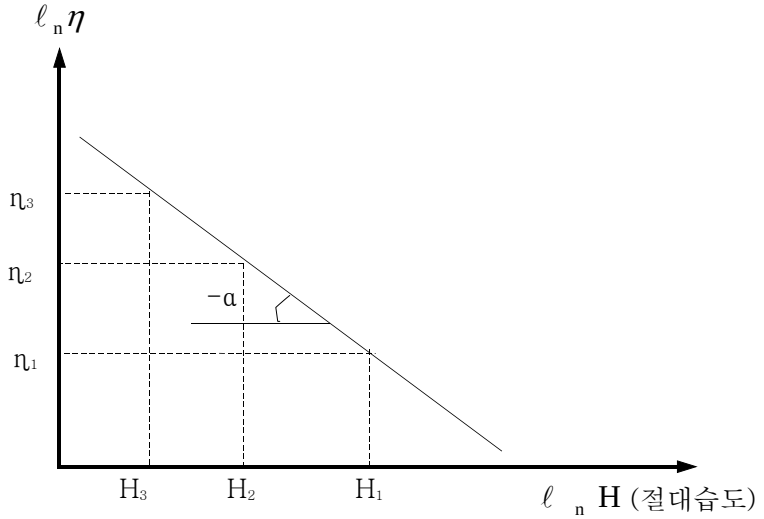
α:습도가속계수

(20)식의 대수를 취하면

$$\ell_n \mu = P - \alpha \bullet \ell_n H \quad \text{----------(21)}$$

P:정수

가 되어 $\ell_n\mu$와 $\ell_n H$ 는 직선관계가 된다.(<그림10>참조)



<그림10>수명 과 습도의 관계

②아레니우스 근사모델의 변형

프라스틱으로 봉지되어진 디바이스가 습도와 온도 양쪽의 영향으로 고장이 생긴 경우(예:프라스틱 봉지(封止) LSI가 흡습하여 국부전지작용 및 이온 오염에 의해 배선이 부식하여 단선된다)

이 모델은 아레니우스 근사식의 온도에 상대습도를 첨가한 형태로 되어 있다.

$$\mu = A \bullet \exp(-B \bullet (T + RH)) \quad \text{----------(22)}$$

단 RH:상대습도(%R.H.)
μ :수명(h)
A,B:정수

③상대습도의 역비례 모델

프라스틱으로 봉지되어진 LSI가 습도,온도,전압의 영향으로 고장이 생긴 경우(예:프라스틱 봉지 LSI가 흡습하여 인가전압에 의해 배선이 부식 단선된다)

$$\lambda = A \bullet \exp(-\frac{\Delta E}{kT}) \bullet RH \bullet V \quad \text{----------(23)}$$

$\mu = \frac{1}{\lambda}$ 를 (23)식에 대입하면

$$\mu = B \bullet \exp(\frac{\Delta E}{kT}) \bullet \frac{1}{RH} \bullet \frac{1}{V} \quad \text{----------(24)}$$

단 RH:상대습도(%R.H.)
λ :고장율
A,B:정수
T :절대온도(K)
k :볼스만 정수
V :전압(Volt)

(24)식의 모델은 온도,전압이 일정하면 수명은 상대습도의 역수에 비례한다.

5-2:가속계수를 구하는 방법

여기서는 5-1-①의 절대습도에 의한 가속모델을 예로 하여 설명한다.

습도에 의한 고장이 (20)식에 의해 발생한다고 하면 가속계수 AL은 (4)식 및 (20)식에 의해

$$AL = (H_a / H_n)^{\alpha} \quad \text{----------(25)}$$

단 H_a :가속조건의 절대습도(g/㎥등)
H_n :기준조건의 절대습도(g/㎥등)
α :습도가속정수

정수α는 제품에 따라 다르다. 프라스틱 봉지 LSI 의 경우는 α=2로 알려져 있다.

①가속시험의 설정

1.온습도의 시험수준을 3점이상 선정한다.

온습도조건을 3점이상 선정한다.통상 40℃ 90%R.H.(45.9g/㎥),60℃ 90%R.H.(116.6g/㎥), 85℃ 85%R.H.(297.3g/㎥)등의 조건이 바람직하다. H_1,H_2,H_3(H_1<,H_2,<H_3)를 선정한다.

상대습도에서 절대대습도의 계산은 다음식을 이용한다.

$$\text{절대습도}\rho(g/m^3) = 0.007932 \times \frac{273.16}{T + 273.16} \times e \times \phi / 100 \quad \text{----------(26)}$$

$$= 2.167 \times \frac{e \times \phi / 100}{T + 273.16}$$

단 e:온도 T(℃)에 대한 물의 포화증기압(Pa)

ϕ:온도 T(℃)에 대한 물의 상대습도(%R.H.)

T:온도(℃)

(26)식의 온도 T에 대한 물의 포화증기압(Pa)는 다음식에 의해 계산한다.

온도T가 0℃보다 높은 경우는

$$\text{포화증기압 } e(\text{Pa}) = 100 \times 10^{n} \quad \text{----------} \quad (27)$$

단

$$n = -7.90298 \bullet (\frac{373.16}{T+273.16} - 1) + 5.02808 \bullet \log\frac{373.16}{T+273.16}$$

$$- 1.3816 \bullet 10^{-7} \bullet [10^{11.344 \bullet (1 - \frac{(T+273.16)}{373.16})} - 1] + 8.1328^{-8} \bullet [10^{-3.49149 \bullet (\frac{373.16}{(T+273.16)} - 1)} - 1]$$

$$+ \log 1013.246 \quad \text{----------} (28)$$

온도T가 0℃이하의 경우

$$n = -9.09718 \bullet (\frac{273.16}{T+273.16} - 1) - 3.56654 \bullet \log\frac{273.16}{T+273.16} + 0.876793 \bullet (1 - \frac{T+273.16}{273.16})$$

$$+ \log 6.10714 \quad \text{----------} (29)$$

2.각 시험수준 n=20정도 선정한다.

적어도 n=5이상은 필요하다.

3.수명시험을 실시한다.

수명시험의 중간 측정은 통상 log(h)가 등간격이 되도록 선정한다.

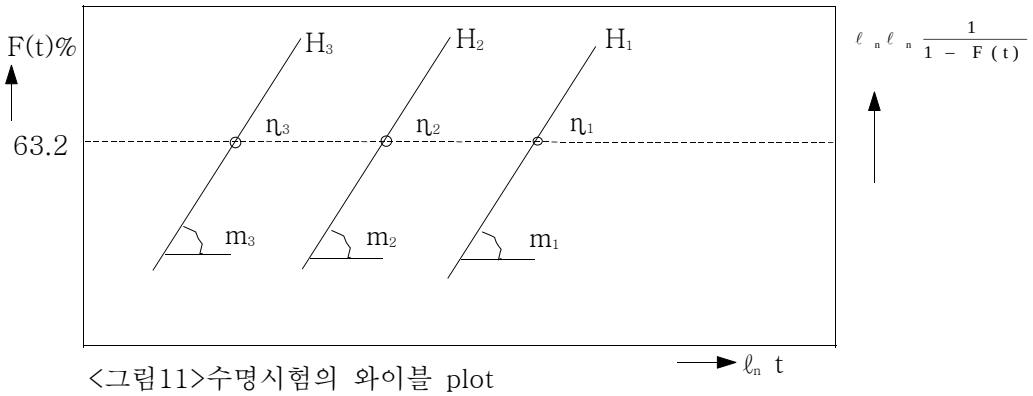
구체적으로 5,000h의 수명시험에서는

96, 240, 500, 1,000, 2,000, 3,000, 4,000, 5,000h로 한다.

평가가 파괴시험의 경우는 3-2-①의 3을 참조한다.

②시험결과의 와이블 Plot

시험결과를 와이블확율지에 Plot한다(<그림11>참조)



<그림11>수명시험의 와이블 plot

각 습도 H_1,H_2,H_3에서의 파라메터 m_1,m_2,m_3 의 값이 거의 같으면 가속계수를 구할 수 있다.

③가속계수를 구한다

1.ℓn μ 와 ℓn H를 Plot한다.

수명(MTTF) μ는

$$\mu = \eta \Gamma (1 + \frac{1}{m}) \quad \text{----------(30)}$$

이므로 m의 값이 H_1,H_2,H_3에서 같으면 (4)식은

$$AL = \frac{\mu_n}{\mu_a} = \frac{\eta_n}{\eta_a} \quad \text{----------(31)이 된다.}$$

ℓ_n (μ)대신 ℓ_n (η)를 Plot하여도 좋다 또 η 대신 특성치가 일정치에 도달하는 시험시간을 고장시간으로 하여 이용하여도 된다.

2.습도가속정수를 구한다.

<그림10>의 직선의 기울기α를 구한다.

3.가속계수를 구한다.

예를들어 프라스틱으로 봉지LSI를 시험하여 습도가속계수 α=2로 구해진 경우 기준습도 H_n=40℃90%R.H.(45.9g/㎥)에 대한 가속습도 H_a=85℃85%R.H.(297.3g/㎥)의 가속계수 AL은 (25)식에 의해

$$AL = (H_a / H_n)^{\alpha} = (297.3 / 45.9)^2 \approx 41.95$$

기 된다.따라서 40℃90%R.H.5,000h의 시험은 85℃85%R.H.에서는 5,000h/41.95=119h가 된다.

6.전압에 의한 가속시험법

6-1:전압가속의 원리

①스트레스 모델

전압(전계)에 의한 고장원인은 유전체파손,트랙킹,이온오염등에 의한 절연열화 및 Glow방전등에 의한 발열발화등으로 생각되어 진다.

전압 S와 수명μ는 다음과 같은 관계식이 알려져 있다.

$$\mu = D \bullet S^{-\alpha} \quad \text{----------(32)}$$

단 S:전압(Volt)

μ:수명

α:전압가속계수

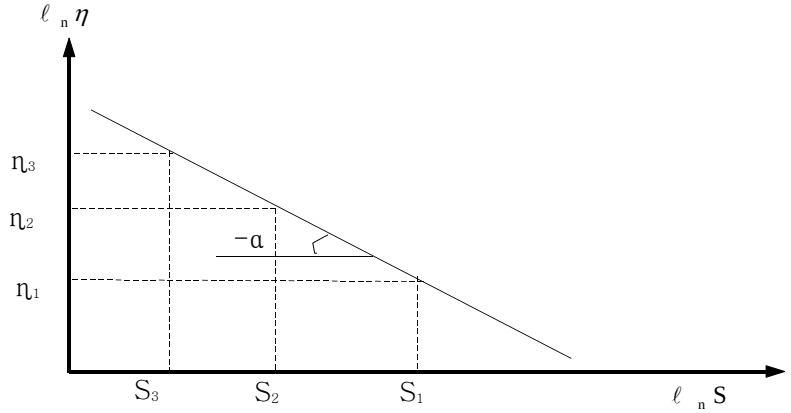
D:정수

(32)식의 대수를 취하면

$$\ell_n \mu = P - \alpha \bullet \ell_n S \quad \text{----------(33) 이 된다.}$$

P:정수

ℓ_nμ와 ℓ_nS는 직선관계가 된다.(<그림12>참조)



<그림12>수명 과 시험전압범위 S와의 관계

따라서 전압가속에 대한 가속계수 AL은 (32)식 및 (4)식에서

$$AL = (S_a / S_n)^{\alpha} \quad \text{----------(34)}$$

단 S_a:가속전압(Volt)

S_n:기존전압(Volt)

(34)식은 α승법칙(α누승법칙)이라고 한다. 전압가속정수 α는 제품에 다라서 다르다.

Ceramic Capacitor는 3승법칙이 있다.

6-2;가속계수를 구하는 방법

①가속시험의 설정

1.전압의 시험수준을 3점이상 선정한다.

log(S)가 등간격이 되도록 시험전압을 선정한다. S_1, S_2, S_3($S_1<S_2<S_3$)를 선정한다.

2.각시험수준 n=20정도 선정한다.

적어도 n=5이상은 필요하다.

3.수명시험을 실시한다.

수명시험의 중간측정은 통상 log(h)가 등간격이 되도록 선정한다.

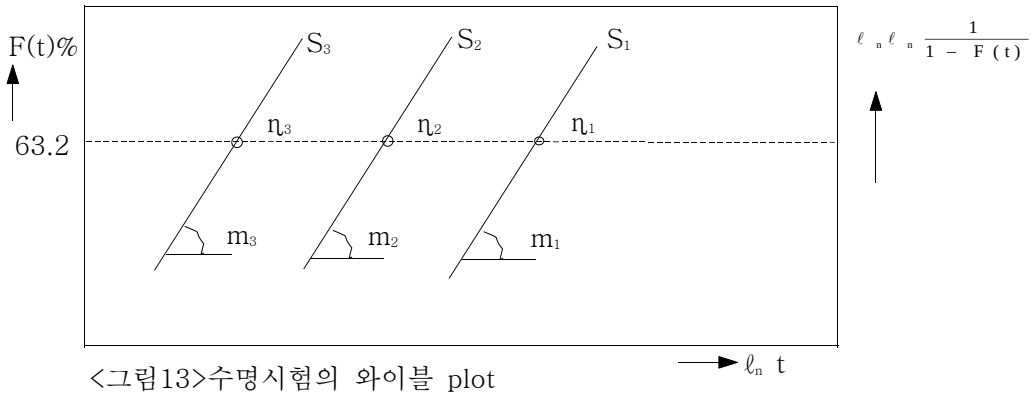
구체적으로 5,000h의 수명시험에서는

25, 50, 100, 200, 500, 1,000, 2,000, 5,000h로 한다.

평가가 파괴시험의 경우는 3-2-①의 3을 참조한다.

②시험결과를 와이블 Plot

시험결과를 와이블확율지에 Plot한다.



<그림13>수명시험의 와이블 plot

각 스트레스(전압) S_1,S_2,S_3에서의 형상 m_1,m_2,m_3 의 값이 거의 같으면 가속계수를 구할 수 있다.

③가속계수를 구한다

1.ℓ_n μ 와 ℓ_n t를 Plot한다.

수명(MTTF) μ는

$$\mu = \eta \Gamma (1 + \frac{1}{m}) \quad \text{----------(35)}$$

이므로 m의 값이 S_1,S_2,S_3에서 같으면 (4)식은

$$AL = \frac{\mu_n}{\mu_a} = \frac{\eta_n}{\eta_a} \quad \text{----------(36)}$$

ℓ_n (μ)대신 ℓ_n (η)를 Plot하여도 좋다.

2.전압가속정수를 구한다.

<그림12>의 직선의 기울기α를 구한다.

3.가속계수를 구한다

예를 들어 Ceramic Capacitor를 시험하여 전압가속정수=3 이 구해진 경우 기준전압 S_n=50V에

대한 가속시험전압 S_a=100V의 가속계수 AL은 (34)식에서

$$AL = (S_a / S_n)^{\alpha}$$

$$= (100/50)^3 = 8$$

이 된다.따라서 50V,1,000h의 시험은 100V에서는 1,000h/8=125h가 된다.

7.가속시험법의 정리표

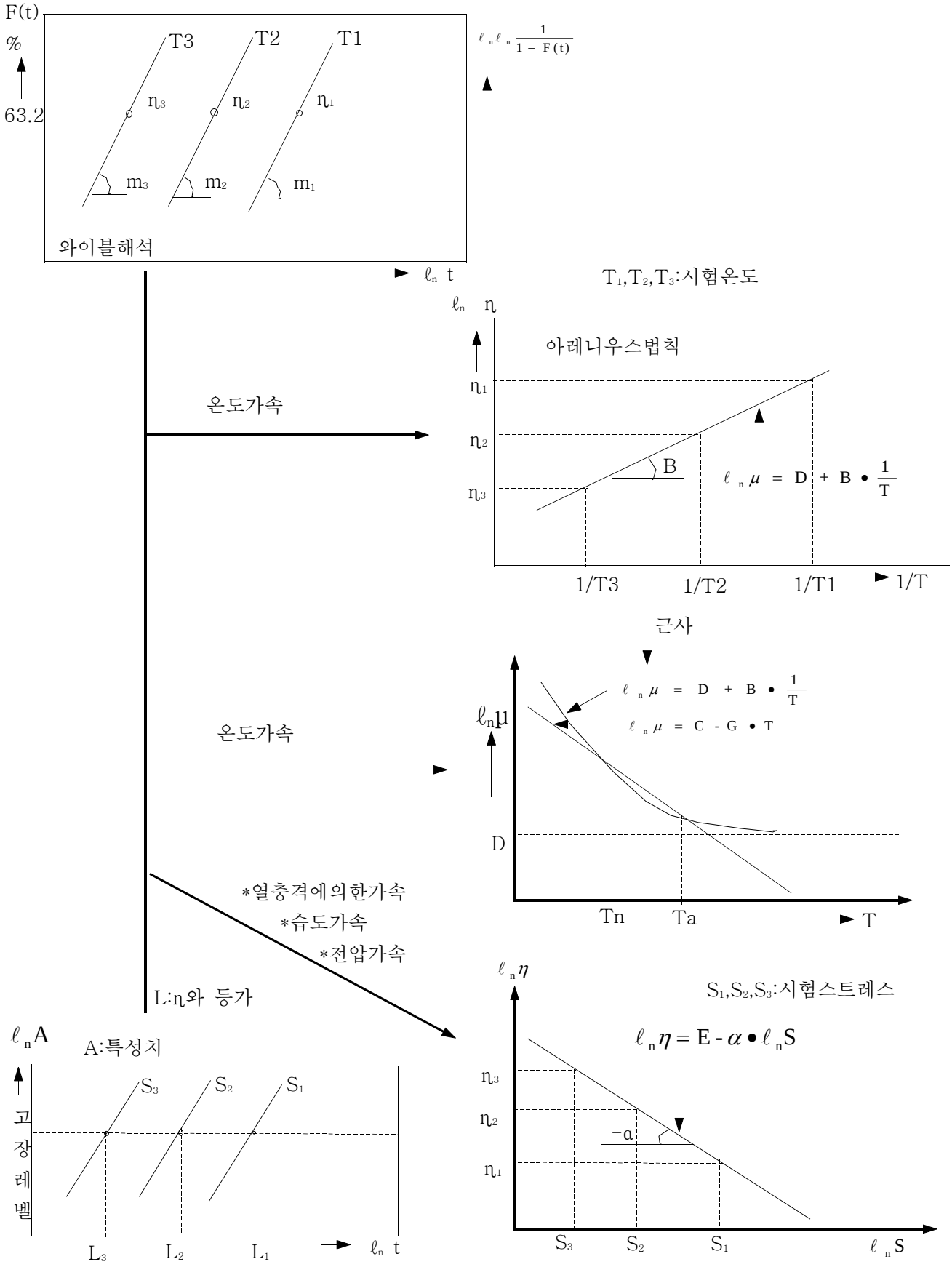
지금까지 설명한 가속시험법을 정리하면 <표8>과 같다

시험항목	가속식	비고
온도	$AL = \exp(\frac{\Delta E}{0.86166} \bullet (\frac{1}{T_n} - \frac{1}{T_a}))$ AL:가속계수 △E:활성화에너지(eV) T_n:표준온도조건(K) T_a:가속온도 조건(K)	
	$AL = 2^{\frac{T_a - T_n}{\theta_r}}$ AL:가속계수 Θ_r:Θ_r온도가 높아지면 수명은 반감 T_n:표준온도조건(K) T_a:가속온도 조건(K)	Ceramic Capacitor: Θ_r:10℃ 납: k=2 철강 k=1.9~1.0 프라스틱봉지LSI: α=2
열충격	$AL = (\Delta T_a / \Delta T_n)^K$ AL:가속계수 k:열충격가속정수 △T_a:가속조건의 온도차 △T_n:기존조건의 온도차	
습도	$AL = (H_a / H_n)^{\alpha}$ H_a :가속조건의 절대습도(g/㎥등) H_n :기준조건의 절대습도(g/㎥등) α :습도가속정수 AL:가속정수	
	$AL - \exp(B((T_a - T_n) + (RH_a - RH_n)))$ AL:가속계수 B:습도가속정수 T_a:가속온도(K) RH_a:가속상대습도(%R.H.) T_n:기준온도(K) RH_n:기준상대습도(%R.H.)	
	$AL = \exp(-\frac{\Delta E}{kT} \bullet (\frac{1}{T_n} - \frac{1}{T_a})) \bullet \frac{RH_a}{RH_n} \bullet \frac{V_a}{V_n}$ AL:가속계수 △E:활성화에너지(eV) T_a:가속온도(K) RH_a:가속상대습도(%R.H.) T_n:기준온도(K) RH_n:기준상대습도(%R.H.) V_a:가속전압(V) V_n:기준전압(V)	

<표8>가속시험법정리표

8.가속시험의 정리도

각시험 스트레스에 대한 수명측정(예측)--->열화특성의 모델화(수식화)



9.가속시험 연습문제

9-1:온도가속

(예제1)

LSI의 온도가속시험을 한 결과 활성화 에너지가 0.7eV라는것을 알았다.종래에 실시한 고온 부하시험 85℃,2,000h는 25℃에 대한 부하시험의 몇시간에 상당하는가?

[해답] 아레니우스 식에서

$$AL = \exp\left(\frac{\Delta E}{0.86166 \times 10^{-4}} \bullet \left(\frac{1}{T_n} - \frac{1}{T_a}\right)\right)$$

$$AL = \exp\left(\frac{0.7}{0.86166 \times 10^{-4}} \bullet \left(\frac{1}{273+25} - \frac{1}{273+85}\right)\right) = 101.7 \quad \text{배가속}$$

(25℃에 대한 상당 시험시간)=AL×2,000=101.7×2,000=2.034×10^5[h](약23년에 상당)

(연습문제1-1)

예제 1에 대한 종래의 고온부하시험 85℃,2,000h를 더욱더 가속하여 단시간에 평가하는것을 검토하고 있다.온도조건을 105℃로 한 경우 몇시간 시험을 하면 동일한 조건이 되는지?

(연습문제1-2)

어떤 전자부품이 주위온도 40℃에서 사용되는 경우에도 수명이 10년이상 되는것을 확인하고 싶다. 60℃에서 고온부하시험을 하는 경우 몇시간의 시험시간이 필요한지?단 활성화 에너지는 1.0eV이다.

9-2:열충격가속

(예제2)

어떤 전자부품에서 실시하고 있던 열충격시험의 조건을 변경할려고 한다.종래의 조건과 동등한 조건으로 하기 위해서는 신조건에서는 몇Cycle 실시하면 좋은가?열충격정수 k=2.0.으로 한다.

종래조건:-25℃~40℃ 각 30mn. 1,000Cyc

신조건 :-45℃~85℃ 각 30mn ? Cyc

[해답]열충격 가속계수 AL을 계산한다.

$$AL = (\Delta T_a / \Delta T_n)^k = (125/65)^2 = 3.7\text{배가속}$$

(신조건에서 필요한 Cyc 수)=1,000/AL=1,000/3.7=270Cyc

(연습문제2-1)

예제 2의 제품에서 -55℃~155℃각 30min의 조건으로 실시하는 경우 동등의 시험조건으로 하기 위해서는 몇 Cyc 실시하면 좋은가?

(연습문제2-2)

어떤 Unit기판의 열충격시험(-40℃~85℃ 각 30min)으로 실사용의 10년 상당의 시험을 하기 위해서는 몇 Cyc 행하면 되는가?

열충격 가속정수는 k=2.0으로 가정한다.실사용에 대한 ON-OFF에 의한 온도차 $\triangle T_n$ =20℃로 하고 1일 5회 ON-OFF한다고 가정한다.

6-3:습도가속

(예제3)

프라스틱 봉지 LSI의 내습부하 가속시험의 결과 습도가속정수α=2.0인것을 알았다.종래의 내습부하시험 60℃,90%RH,1.000h의 조건은 상온상습(25℃,60%RH)에 대한 부하시험의 몇시간에 상당하는가?

60℃,90%RH-->116.6(g/㎥)

25℃,60%RH--> 13.8(g/㎥)

[해답]습도가속계수 AL을 계산한다.

$$AL = (H_a / H_n)^{\alpha} = (116.6 / 13.8)^2 = 71.39\text{배가 속}$$

(상온상습에 대한 상당시험시간)=AL×1,000=71.39×1,000=71,390h(약8년)

(연습3-1)

예제3의 제품에서 온습도조건을 85℃,85%RH로 한 경우 몇시간 시험하면 동등한 시험이 되는지?

85℃,85%RH에서의 절대습도는 297.3g/㎥이다.

(연습3-2)

어떤 전자부품에서 85℃,85%RH의 내습부하시험을 행한 결과 120h에서 고장이 발생하였다.이 전자부품을 40℃,90%RH에서 시험한 경우 같은 고장현상이 발생하는지 어떤지를 확인하고 싶다.

습도가속정수 α=2.0.으로 가정한 경우 적어도 몇시간 시험을 하여야 하는지?

각 환경의 절대습도는 다음과 같다.

85℃,85%RH-->297.3(g/㎥)

40℃,90%RH--> 45.9(g/㎥)

--이상--

자성부품의 신뢰성과 가속시험법

발행인:구 진욱
편집인: Ishikawa Michio,김 성규
발행처:코리아 코일 엔지니어링(주)

131-232
서울특별시 노원구 중계3동 511-2 중계제1공단 601호
Tel:+82-2-974-7034
Fax:+82-2-974-7345

인쇄처:코리아 코일 엔지니어링(주)