

VTR 제품의 내구수명시험과 시장불량 상관성 검토

최완수, 박상준

요 약

VTR 제품에 대해 소비자가 만족하는 신뢰성을 보증하기 위해, 내구수명시험을 10,000시간 실시하여 제품의 특성치 변화와 고장률이 만족하는지 검토하였다. 아울러 시간의 경과에 따른 제품의 특성치 변화를 관측하여 고장분포를 추정하였고 실험실에서의 고장유형과 시장에서의 불량유형과 일치여부를 분석하였다.

내구수명시험 결과에서 제품의 특성치 변화와 Field의 시장불량 관계등은 제품에 중요한 요인이기 때문에 이를 바탕으로 신뢰성 방향을 재 검토하는 계기가 되었다.

제품의 신뢰성을 향상시키기 위해 시험을 많이 실시하지만, 시험으로 모든것을 검출하기에는 한계가 있으며 또한 많은 시험 시간이 소요되기 때문에 현업에 적용하기에는 한계가 있었다. 본 연구에서는 제품의 신뢰성을 향상시키기 위해 내구수명시험과 더불어 제품의 설계 마진 분석, 그리고 고장분석을 같이 추진해야만 단시간 신뢰성을 향상시키는데 좋은 지름길임을 제시하였다.

1. 서 론

신제품 개발 단계에서 제품의 신뢰성을 확보하기 위하여 여러 가지 시험 방법이 적용되고 있다. 이중에서도 제품의 보증에 가장 영향을 미치는 시험이 수명시험이기 때문에 이 시험을 통해 제품의 수명을 확인하고 시간변화에 따른 품질 특성의 변화율을 관리하여 장시간 사용시 제품에 어떠한 영향을 미치는지 분석 하였다.

일반적인 전자 제품은 지수분포로 따른다고 알려져 있으나, VTR 제품의 경우는 구동부와 전자회로물이 있기 때문에 고장분포의 검토가 필요하였고, 실 사용환경에서 발생한 불량유형과 실험실에서 검출된 불량유형의 비교·검증을 통해 내구수명시험의 방향을 설정하였다. 또한 내구성 취약 부위의 검출 및 개선을 추진하여 최종적으로는 당사 제품의 내구수명 보증체계를 수립하여 신뢰성을 향상 시키는데 목적이 있다.

2. 시험방법

2.1 시험전 처리

시험전 제품의 초기 불량이 있는지 검증하기 위해서 소비자 유통환경등을 고려하여 전처리 시험조건을 추가하였다. 유통환경의 방치조건은 고온고습(60℃, 90%) 환경조건에서 24시간 방치한 후 그 세트를 불규칙 진동시험을 1시간 정도 실시해서, 유통조건에서 제품기능에 이상이 없는지 검토 하였다. 또한, 초기 정밀측정을 실시해서 규격대비 규격을 벗어났는지 검토하였다.

<1> 삼성전자 CS경영센터 신뢰성파트

이와 같이 사전에 신뢰성시험을 강화한 이유는 순수하게 양품만 가지고 제품의 내구성 특징을 파악하기 위함이었다.

2.2 시험 조건

시험조건은 실사용환경에서 발생할 수 있는 최악조건을 가정하여 설정하였으며, 시험시간은 소비자 보증년수 7년과 소비자 실사용 구조에서 분석된 일사용 시간을 계산하여 시험시간을 설정하였다.

먼저, 온도와 습도는 실사용 조건보다도 더 열악한 40℃와 90%RH로 설정하였다. 시험시간을 단축하기 위해 온도를 더 높이려고 하였으나, 온도가 40℃ 이상이 될 경우 Tape의 자화에 의해 연속적인 시험을 할 수 없기 때문에 시험조건을 낮추어 설정하였다.

시험시간은 소비자 실사용 구조에서 분석된 자료를 가지고, 시험시간을 결정하였으며 산출식은 "일 사용시간(3시간)×365일(1년)×7년(제품내용년수)=7,700시간"으로 산출되었다. 여기에서 일 사용시간 결정은 소비자 실사용시간 분포의 90퍼센타일로 결정하였으며, 제품내용년수는 정부와 소비자관련 연맹 그리고 기업체에서 정한 내용을 인용하였다.

제품의 전원은 통상 실사용 조건에서 발생할 수 있는 최대 조건을 가산하여 정격±20%로 설정하고, 전원 ON/OFF는 6시간 ON, 2시간 OFF로 시험을 실시하였다. 이렇게 시험을 정한 이유는 전원 단속에 의한 내구성과 습도에 의한 흡습 영향도를 평가하기 위함이었다.

시험에 필요한 시료수는 제품의 불량율을 1,000시간당 2%와 신뢰수준 60%로 8,000시간을 실시하는 경우 약 40개로 산출된다. 시험조건에 대한 자세한 내용은 아래의 표 1과 같다.

<표 1> 내구수명시험 조건 및 인가방법

구 분	시료수	시험시간	온·습도	인가전압	전원단속주기	제품 동작 조건
인가 조건	40대	8,000시간	40℃ 90%RH	정격전압 ± 20%	POWER ON : 6시간 POWER OFF: 2시간	프로그램으로 자동 RUN (PLAY,REW,FF등등)

2.3 측정 시간

시험에 대한 일상 점검은 일일 2회 기능 검사를 실시하여, 제품의 이상여부를 판단하였으며 특성치 변화는 초기측정, 300, 500, 700, 1000, 1500, 2000 단위로 측정하였고, 그 이후에는 1,000 시간 단위로 측정하여 제품의 특성 변화를 관찰하였다. 특성치가 초기치 대비 30% 이상 벗어날 경우를 불량으로 판정하였으며, 불량이 발생하더라도 계속 시험을 실시하여 특성변화를 검토하였다.

3. 시험결과

시험기간은 8,000시간을 목표로 내구수명시험을 실시하였으나, 시험에 대한 결과자료를 더 얻기 위해서 추가로 2,000시간을 연장하여 10,000시간까지 시험을 실시하였다.

3.1 고장 발생 현황

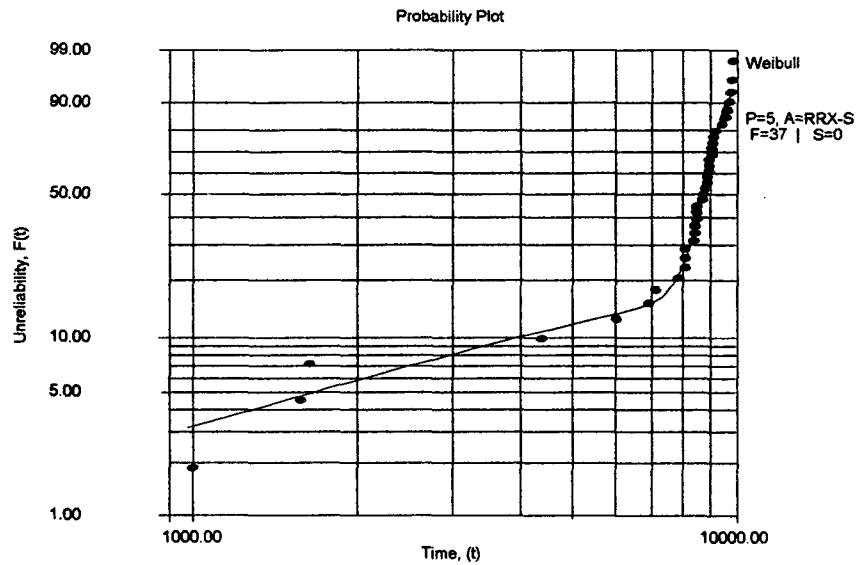
VTR 제품의 시험시간별 고장 현황은 아래의 표 2와 같이 발생하였으며 고장 시간은 7,000 시간 이후에 불량이 서서히 증가하다가 9,000시간에서 급격히 증가하였다. MTBF를 추정해본

결과 약 8,600시간 정도 산출 되었고, VTR 제품은 다른 제품과 달리 고장분포가 혼합와이블분포를 이루었으며 이와 같이 발생한 이유는 전자부품의 고장과 제품을 장시간 사용하면서 구동부와 구동부를 지원하는 회로부분의 열화로 인한 고장이 혼합되어 발생한 것으로 판정된다.

여기에서는 불량 발생시 그제품의 불량원인을 분석해서 현업에 피드백하고, 고장부품을 새로운 부품으로 대체하여 내구수명 목표 시험까지 시험을 실시하였다.

<표 2> 시험 경과별 고장율 DATA

시간경과별	1,000hrs.	3,000hrs.	5,000hrs.	7,000hrs.	9,000hrs.	10,000hrs.
고장율	2.5% (1/40)	5% (2/40)	2.5% (1/40)	10% (4/40)	45% (18/40)	32.5% (13/40)



$\beta[1]=0.95, \eta[1]=8064.73$ $P[1]=0.25; \beta[2]=18.97, \eta[2]=8930.90$ $P[2]=0.75, \rho=0.97$

<그림 1> 고장데이터 분석 : 혼합와이블분포 적합

3.2 특성 변화

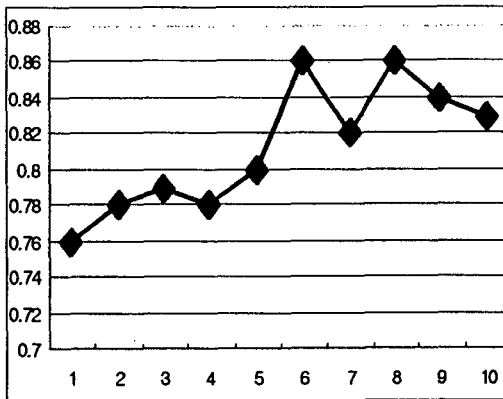
제품에 영향을 미치는 인자로 VIDEO신호, AUDIO신호, 구동부, 소음부분 등 총 14가지 항목을 선정하여 시간변화에 따라 제품의 특성치를 정밀하게 측정하였다.

<표 3> 제품의 특성치 측정 항목 List

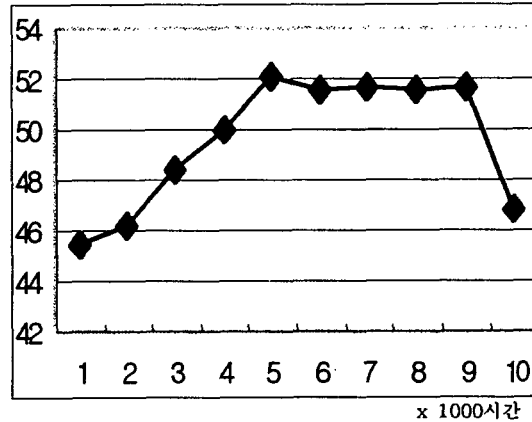
대 항목	VIDEO 신호	AUDIO 신호	구동물 변화	소음
세부 항목	Video Output Level - Video, Sync, Burst Video Distortion - Over, Pre Shoot	Audio Output Level Audio Distortion Audio S/N	Play Torque Jitter	PLAY, FF 소음 REW, 2배 REW 소음

제품의 특성치를 측정된 결과, 규격을 초과하거나 변화가 30% 이상 발생한 것이 2개 항목에서 21개가 있었으나 소비자의 관점에서 특성 변화로 판정하기에는 쉽지 않았다. 그리고, 특성치가 계속 증가하거나 감소할 경우 특성 변화로 사전 고장판정기준을 설정하려고 했으나, 제품의 특성변화는 500개 정도의 부품이 복합으로 이루어 졌기 때문에 시간 경과에 따라 부품의 노화가 증가하는 부분이 있거나, 콘덴서와 같이 감소하는 부품이 있기 때문에 제품 전체의 불량 추이를 가지고 고장을 판정하기에는 한계가 있었다.

그림 2에서 보듯이 Video Output단 특성치는 시간 경과에 따라 변화가 심하게 발생하였으며, 이는 위에서 말한 바와 같이 부품이 복합적으로 관련되면서 7,000시간에서 측정치가 크게 떨어지는 현상이 발생하였다. 또한, 그림 3에서 보듯이 소음도 5,000시간까지는 증가하다가 그 이후에는 일정하게 유지가 되었으며 9,000시간에서는 갑자기 떨어지는 현상이 발생하였다.



<그림 2> Video Output Level Trend



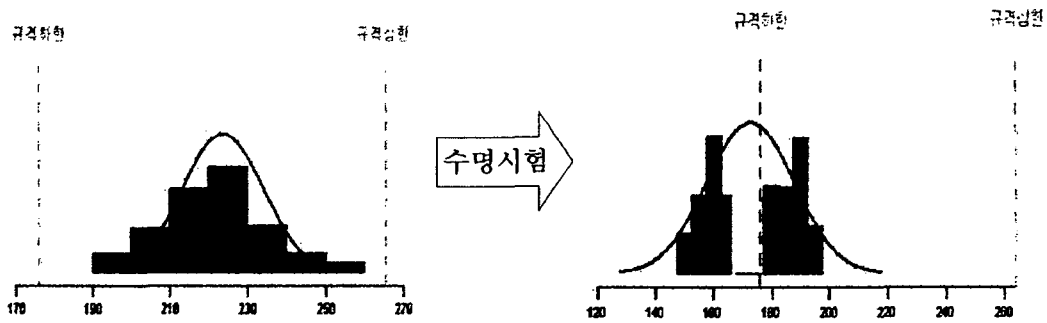
<그림 3> FF 소음 Trend

4. 시장불량 상관성 비교

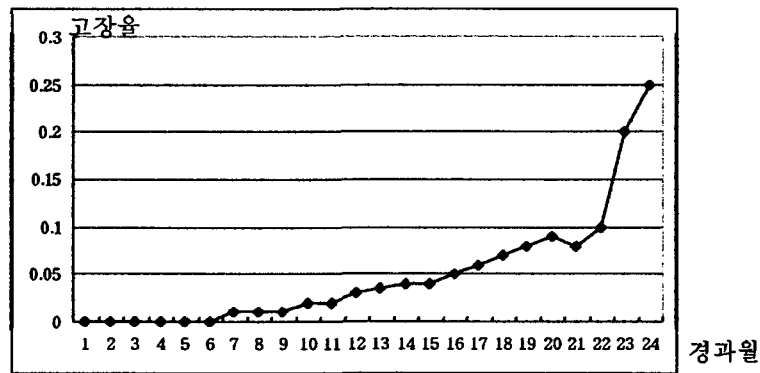
시장불량과의 상관성 검증은 Field에서 발생한 고장 내용과 내구수명시험에서 발생한 내용을 분석하여 검증·비교하였다. 시험에서 가장 많이 발생한 항목은 No Power와 Tape 추출 불량이었으며, Field 고장데이터도 불량 순위가 거의 비슷하게 발생하였다. 시험에서 발생한 항목은 Field에서 100% 재현 되었다. 시장불량 전체로 볼 때 재현율은 약 30% 정도이며, 이는 내구수명시험이 시장환경을 전부 포함할 수 없기 때문에 내구성 부분에서만 불량이 재현된 것으로 판단된다.

4-1. No Power 불량

시험에서 No Power 불량이 가장 많이 발생하였으며, 이중 콘덴서 고장이 90%를 점유하였다. No Power가 발생한 이유는 콘덴서의 노화에 의해 +12V 전압이 +3V로 낮아지면서 발생하였다. 콘덴서 부품의 직접적인 노화 원인은 콘덴서 부품을 제품에 적용 할 때 과대 리플로 설계 되어서 수명을 단축시키는 결과를 가져왔다.



<그림 4> 콘덴서 노화 특성 그래프



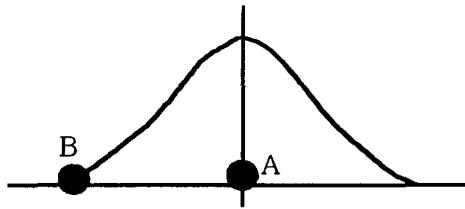
<그림 5> 콘덴서 시장불량 추이

그림 4에서 콘덴서의 용량감소가 고장으로 발생한 시점은 6,000시간에서 발생하였으나, 시장에서는 콘덴서 부품의 산포(콘덴서 용량, 리플인가 전류, 사용자 조건)에 의해 6개월 만에 동일 불량률이 발생하였으며, 콘덴서 부품의 Trend를 계속 관찰해 본 결과 불량률이 증가하는 형태를 보였다

여기에서 중요한 점은 개발단계에서 여러가지 시험(전원단 가속시험등)을 실시한 경우 이러한 문제점이 발견되지 않았으나 field에서는 불량률이 발생한 점이다. 개발단계에서도 문제점이 발견되지 않고, 내구수명(40℃, 90%) 시험에서도 연속적으로 시험을 실시해야만 6,000시간만에 불량률이 발생하였다. 그러므로 개발단계에서 불량을 빨리 검출할 수 있는 방법을 모색하는 것이 큰 과제이다.

콘덴서의 고장 시간을 실사용 조건으로 계산하면 "실사용조건(일 3시간)×6,000시간"은 약 7년에 해당되고, 24시간을 계속 사용하더라도 최소 8개월에 해당된다. 그러나, 여기에서 콘덴서의 특성이 동일하게 변화되는 시점을 계산하면 모집단이 큰 산포를 가지고 있기 때문에 불량 현상은 일치할지 모르지만 시간상으로는 차이가 발생할 수 밖에 없었다.

그림6에서 산포에 의한 수명산출식으로 계산해 볼때 A지점의 수명은 8,000시간이 산출되었으며, B지점의 수명은 5,460시간으로 A지점과 2,540 시간의 수명차이가 발생하였다. 이를 일사용시간으로 계산한다면 약 2.3년이 차이가 발생한다.



A Point 산포의 중심
 A 지점의 최대 허용전류 : 230mA
 B Point 산포의 하한치
 B 지점의 최대허용 전류 : 184mA

<그림 6> 산포 차이에 의한 리플전류의 차이

- 콘덴서 수명예측 산출식 및 결과

$$L = L_0 \times 2^{\frac{T_0 - T_a - A}{10}}, \quad A = \left(\frac{I_a}{I_{rms} \times F_m} \right)^2 \times T_{rd}$$

- 수명을 계산하여 비교한 결과

A지점의 콘덴서의 수명은 $L = 2,000\text{시간} \times 2^{(65-55-A)/10}$

$A = (505/230 \times 2.2)^2 \times 10 = 9.96$ 수명을 계산할 경우 약 8,000시간

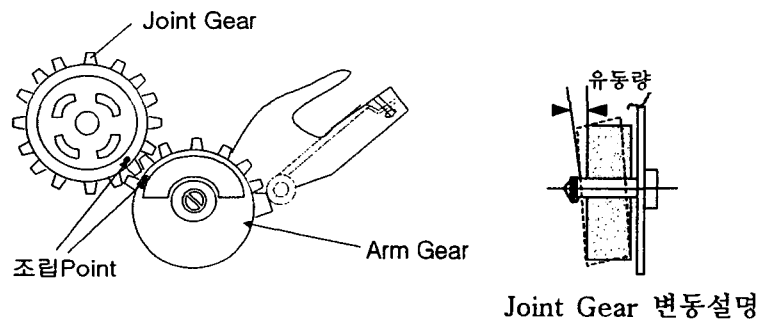
$B = (505/184 \times 2.2)^2 \times 10 = 15.5$ 수명을 계산할 경우 약 5,460시간

L : 예상 수명
 L₀ : 최고 사용온도에서 보증 수명
 T_a : 측정된 표면온도
 T₀ : 정격 사용 온도
 A : 리플 전류 계수
 I_a : 측정된 Ripple 전류
 I_{rms} : 최대허용 Ripple 전류
 F_m : 주파수 및 온도계수
 T_{rd} : 업체의 디자인 온도 계수

4.2 기구물 내구성 고장

이 고장은 Housing Ass'y 부분의 Tape를 Eject 시키는 기어류 부품에서 유동량이 불합리하게 설계된 결과이다. 즉, 설계 초기에 유동량 변화는 만족하였으나 장시간 사용시, 기어의 틱니 이빨과 Hole 마모에 의해 유동량이 증가되면서 Tape Eject 고장이 발생하였다.

이 부품도 전자부품과 마찬가지로 개발단계에서는 문제점이 발생하지 않았으나, Field에서는 5개월 만에 고장이 발생한 점이었고, 내구수명시험에서는 5,000시간만에 불량률이 재현되었다. 개발단계에서 VTR 제품의 Housing 관련시험을 총 100만회 정도 시험을 실시하였으나 불량률이 검출되지 않았다.



<그림 7> Tape Eject 그림 설명

4.3 고장요인 분석 결과

콘텐츠의 마모성 고장과 기어 유동량에 의한 고장은 제품의 내구수명시험과 Ass'y 가속시험을 실시하였지만 쉽게 불량 검출이 되지 않았기 때문에 고장원인에 대한 정확한 분석을 실시하였다.

콘텐츠의 리플 전류에 대한 설계 마진을 검토한 결과 정격에 초과 사용되어 Field에서 불량이 발생한 것으로 판정되어 콘텐츠 용량을 변경·개선한 결과 문제점이 재발되지 않았다. 그러므로 장시간 시험을 실시하지 않더라도 간단하게 콘텐츠의 리플전류를 검토하여 설계마진을 70%이하로 설계하도록 조치를 취한다면 콘텐츠 부품에 관련된 고장은 쉽게 예방이 되어 고신뢰성을 확보할 수 있다.

또한 기구물의 내구성 고장도 기어 유동량 변화에 의해 고장이 발생하였으나 최종적으로는 맞물림에 대한 설계 마진이 부족하였다. 그러나 개발단계에서 모든 것을 시험에 의존하면서 불량을 검출하려고 노력하였으나 검출되지 않고, 잠재불량으로 이어지면서 Tape Eject 고장이 발생하였다. 이러한 문제점을 사전에 검출하기 위해서 편차 조합에 의한 고장 사전 예측이 필요하였고 또한 설계 초기시 CAE Simulation 해석을 통해 미비점을 개선하여 문제점을 예방하였다.

5. 결론

본 내구수명시험을 통해 VTR제품의 수명분포와 특성치 변화, 그리고 시장불량과의 관계등 다음과 같은 효과와 교훈을 얻었다.

(1) 시험으로 모든 고장을 다 검출하기에는 한계가 있었다.

전자제품은 제품의 구조 및 기능의 성질등에 의해서 가속시험을 하는데 한계가 있었으며, 또한 시험을 1,000시간 이상 수행하는 것도 한계가 있기 때문에 설계마진 분석 활동 및 강건설계 등을 같이 병행하여 추진해야만 좋은 결과를 얻을 수 있었다

(2) 내구수명시험 고장 내용중 95% 정도가 설계 불량으로 나타났다.

설계 불량이 많이 점유하기 때문에 품질부서의 신뢰성 부분도 필요하지만, 신뢰성을 조기에 정착시키고 좋은 결과를 얻기 위해서는 설계부서의 신뢰성 활동을 가속화할 필요가 있었다.

(3) 시장불량과의 일치정도는 양호하였지만, 시험시간이 장시간 소요되었다.

내구성시험을 통해 시장불량의 30% 정도가 검출되었지만, 시험시간이 1만(2년)시간으로 상당히 긴 시간 소요 되었다.

(4) 전자부품이 복합되어 있는 경우는 특성치로 판정가속시험은 효과가 부족하였다.

전자 부품의 특성에 의해 용량이 감소하거나 증가하기 때문에 특성치로 판정가속시험을 실시하여 중도에서 고장으로 판정하는 것은 의미가 없다. 단 제품의 고장유무를 판단하기 위해서 측정하는 것은 관계가 없다.

(5) 전자제품 중 구동부가 있을 경우에는 수명 분포는 혼합와이블분포를 따른다.

일반적으로 전자제품은 지수분포 곡선을 많이 따르지만, 내구수명시험 결과 구동부 제품은 마모고장을 보이므로 신뢰성시험시 제품의 마모를 가속시켜 고장을 검출하는 것이 중요하다.

- (6) 제품 내구성으로 검출 한계를 타파하기 위해 PCB Ass'y 단위로 HALT가 필요하다.
제품의 특징과 기능등에 의해서 온습도 인가조건이 쉽지 않기 때문에 단시간에 검출할 수 있는 PCB Ass'y 단위의 HALT 시험을 추천하는 것이 검출력 부분과 시험시간측면에서 필요함을 알 수 있었다.

참고문헌

- (1) 삼성전자, "신뢰성 기법과정", 1995
- (2) 日科技連 "고장을 ZERO로 하는 信頼性 技術", 1990
- (3) MIL-STD-198E SECTION 201 TABLE 201- II