

전해 캐패시터의 최적 가속시험방법과 수명예측

김 하나, 심 찬호, 김 성준, 윤 중락*, 이 헌용
 명지대학교 전기전자재료연구실, *삼화콘덴서(주)

The best accelerated method and lifetime prediction of electrolytic capacitors

HaNa Kim, ChanHo Sim, SungJun Kim, JungRag Yoon, HunYong Lee
 University of Myong Ji, SamHwa Capacitor Inc.

Abstract - This study considers find out best accelerated life testing and lifetime prediction of electrolytic capacitors. We proved about relation between failure and deterioration mechanism from last thesis. Beside we performed test that temperature and voltage press higher than allowance specification. Failure distribution acquired from those test. And weibull function and Minitab program applied to accelerated constant and lifetime by means of calculation. At the result, goodness of fit affect to weibull function and acceleration factor therefore fitting is important factor in reliability testing.

시험으로 얻은 데이터를 분석하여 최적의 시험조건을 찾아 수명과의 관계성에 대하여 규명하여 볼 것이다.

2. 본 론

2.1 이론적 고찰

가속 수명의 정의는 시험 기간을 단축하기 위한 목적으로 기준조건보다 가혹한 조건에서 실시하는 시험이다. 고 스트레스(Stress)수준에서 스트레스를 인가하는 가속과 간헐동작 시 반복회수를 증가하거나 연속 동작 시 지속시간을 늘이는 시간 가속을 실시하여 제품의 고장 메카니즘[1]을 촉진하여 수명을 측정하는 시험 방법이다. 따라서 가속한 조건의 시험 결과로부터 기준조건의 수명 또는 고장률을 추정하기 위해 두 조건 사이에 존재하는 규칙성을 활용하여 가속계수를 구하며, 일반적인 고장 메카니즘이 동일해야 한다. 가속 시키는 방법에는 제품의 사용률을 증가시키는 방법과 제품의 노화율을 증가시키는 방법으로 크게 나눌 수 있으며 가속 시험모델 중 대표적인 것으로는 관측 시 관측 대상이 고장수인 가속 수명시험(Accelerated lifetime testing)과 열화정도인 가속 열화 시험(Accelerated degradation testing)이 있다. 가속 시험의 부하는 사용 조건보다 높은 상태에서 일정하게 유지시켜 시험하는 일정 부하 시험(constant stress tests)과 부하는 시간에 따라 단계적으로 증가시키는 단계 부하시험(step-stress tests), 연속적으로 증가 시키는 증가 부하 시험(progressive-stress tests), 일정한 주기로 반복적으로 실시하는 순환 부하시험(cycling-stress tests)이 있다. 고장데이터를 분석하는 방법으로는 그래프를 이용한 도식적 방법(Graphical Method)과 최우추정법(MLE)과 같은 분석적 방법이 있으며, 일반적으로 많이 사용되는 고장 모델로서는 물리적 모델과 통계적 모델이 있다. 물리적 모델은 부하와 부품의 물리적 반응 특성사이의 관계를 수학적으로 표현한 아레니우스 모델(Arrhenius model), 아이링모델(Eyring model), 인버스 파워 모델(Inverse power model), 10⁶법칙 등이 있다. 통계적 모델은 수명분포의 특성을 나타내는 것으로 가속 시험에 많이 이용되는 분포는 정규분포, 대수 정규 분포, 지수 분포, 와이بل 분포이다. 와이블 분포는 형상모수(shape parameter)값에 의해 다양한 고장률 형태를 표현할 수 있어 제품 및 부품의 수명분포로 널리 사용되고 있다. 평균수명의 추정 방법으로는 수명 시험을 통하여 부품의 신뢰성을 추정하는 것으로 여러 가지 방법을 사용하는데 고장 데이터가 많은 경우와 아주 적거나 없는 경우로 나누어 볼 수 있다. 관측된 고장수가 많은 경우에는 누적 히스토그램이나 도수 분포를 그려보아 적절한 수명분포를 선택할 수 있다. 또한 수명분포에 해당하는 확률지 상에 고장데이터를 타점하면 직선 형태가 나오는데 이 직선으로부터 모수 및 평균수명을 구할 수 있다.

1. 서 론

현재 사용되는 전자부품들은 신뢰성이란 근본적인 문제를 해결하지 못하여 제품의 능력에 비해서 그 우수성을 인정받지 못하는 제품들이 많이 있다. 가격보다는 제품의 품질을 중요시하는 것이 현재의 추세로서 기업들은 좀더 높은 품질과 신뢰성 있는 부품을 만들기 위해 노력하고 있다. 정보화시대가 고도화됨에 따라 더욱 복잡해지고 정밀해져 가고 있는 전자제품들에 대한 신뢰성 확보의 문제가 크게 대두되고 있는 것이다. 최근에는 모델의 다양화됨에 따라 기술개발로 인한 신규부품이 속출되고 있다. 좋은 부품의 제공되지 않는다면 그 신규의 제품이 개발된다 하더라도 최상의 제품이 될 수 없을 것이다. 이에 제품의 신뢰도의 확보는 매우 중요한 과제인 것이다. 신뢰도 확보는 신뢰성시험을 통하여 낮은 신뢰도 수준의 부품을 제거하는 것이다. 그러나 신뢰성 시험에 걸리는 시간이나 시험설비의 제약과 시료수의 한계, 비용 등을 고려하여 볼 때 가속 수명 시험이 필요할 경우가 적지 않다. 고 신뢰도의 제품에 사용되는 부품의 수명분포와 장기적인 성능을 평가하기에는 매우 큰 어려움이 있다. 전자부품의 경우 고장률이 낮고, 운용수명이 길어 그 고장률을 추정하기가 어렵다. 따라서 실제사용조건하에 부품의 고장률을 측정하기위해서는 짧은 기간 내에 부품 고장을 일으키는 가속시험(Accelerated testing)이 필요하다. 현재 이러한 이유로 제조 산업에서는 가속 시험을 부품의 신뢰성과 수명시간을 예측하는 방법으로 많이 사용하고 있다. 위와 같은 배경을 토대로 가속수명시간에 대한 기존의 이론을 응용하여 알루미늄(AL)전해 캐패시터에 대한 실제 가속 수명시험을 수행하고 이를 통하여 최적의 가속시험 방법과 수명시간을 예측하여 보았다. 기존의 실험을 통하여 일반적인 고장의 원인과 가속시험에서의 고장의 원인이 같은 것을 확인하였으므로 가속시험에 대한 기초적인 이론적 배경은 성립하였다[5]. 또한 기 실험을 통하여 얻은 데이터를 통하여 고장률의 분포를 얻었다. 본 연구에서는 다양한 조건에서의 가속

2.2 실험방법

실험방법으로는 시료를 사용하는 온도와 전압에 따라 표1과 같이 균등하게 배분하여 고장의 개수를 확인하였다. 시료를 배분하는 방법에는 여러 가지가 있는데 본 연구에서는 여러 방법을 제외하고 균등하게 배분하여 고장의 개수를 파악하였다. 고장의 판정기준은 표2와 같이 선정하였다. 본 실험에 사용되는 시료는 기 실험[5]에서 사용하였던 것과 동일한 10V, 1000 μ F를 사용하였다. 1000시간 동안 실험을 진행하였으며 시간에 따른 고장 개수를 확인하였으며, 본 연구에 사용되는 측정 장비로는 Protek의 RLC-meter와 같은 회사의 전류계를 사용하였다.

표1. 실험에 사용된 시료 개수[단위:개]

온도/전압	10V	15V	30V
25 $^{\circ}$ C	30	30	30
85 $^{\circ}$ C	30	30	30
125 $^{\circ}$ C	30	30	30

표2. 고장 판정기준

측정항목	일반시험	가속시험
정전용량	공칭용량 \pm 20%	초기값의 \pm 20%
누설전류	1분후 4 μ A이상	1분후 4 μ A이상

2.3 실험결과

실험을 통하여 고장의 개수를 파악하여 MINITAB 프로그램[3]을 이용하여 와이블 분포로 나타내어 형상모수와 척도모수의 값을 구하였다. 그림 1,2,3 에서는 고장분포를 10V, 15V, 30V에서의 25 $^{\circ}$ C, 85 $^{\circ}$ C, 125 $^{\circ}$ C에 대하여 와이블 분포로 나타내어진 것이다. 그림4에서는 모든 조건에서의 결과 값을 도식한 것으로서 여기서 얻은 척도모수를 이용하여 가속계수를 얻었다. 또한 이를 통하여 얻은 활성화에너지를 이용하여 아레니우스 식을 이용하여 온도에 따른 수명을 예측하였으나 와이블 분포를 이용하여 형상모수의 값을 이용하여 최적의 가속 조건을 찾았다. 실험을 통하여 각 조건에 따른 가속 시험에 따른 수명시간과 가속계수는 표3과 같이 나타내어지는데 30V에서는 그 가속 속도가 너무 빠르게 진행되어 가속시험을 위한 조건으로는 불가능한 것으로 파악되었다. 그리하여 얻은 최적의 가속 시험방법은 15V-25 $^{\circ}$ C이며 수명예측을 통하여 얻은 수명은 3.8×10^4 시간을 얻을 수 있었으며 가속계수를 이용하면 533시간 내에 수명과 같은 효과를 얻는 실험이 되었다. 최적의 가속시험을 위한 실험 조건 찾는 방법은 FITTING에 의한 와이블 분포이며 그림4와 같이 나타내어진다.

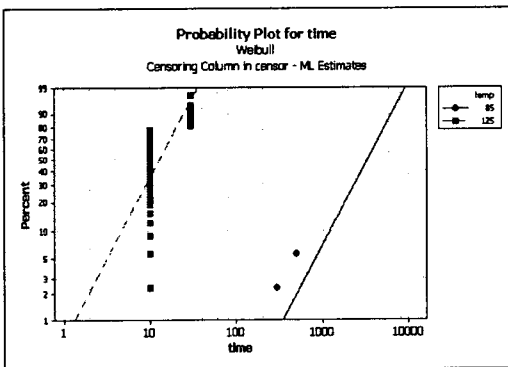


그림1. 10VOLT에서의 와이블 분포

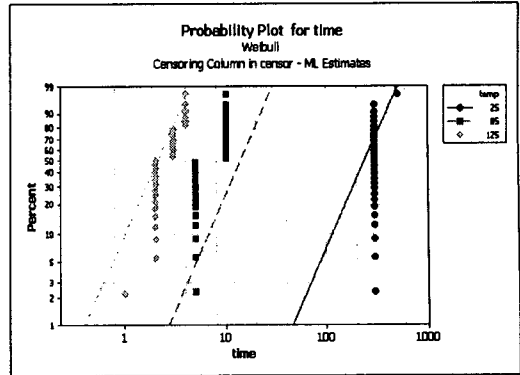


그림2. 15VOLT에서의 와이블 분포

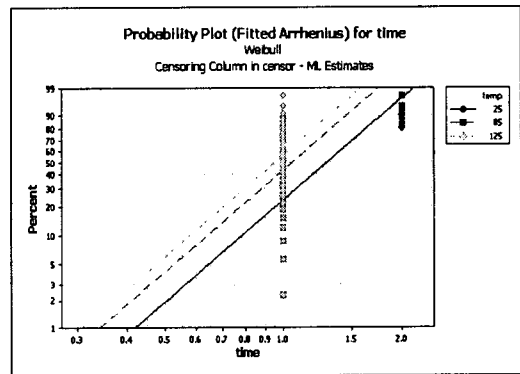


그림3. 30VOLT에서의 와이블 분포

위의 그림은 프로그램에서 온도의 조건으로만 사용한 그래프로서 이를 통하여서는 각 조건에서의 수명시간을 얻을 수 있으나 전체적으로 해석하기는 불가능하다. 그래서 다음의 그림4 에서 가속 스트레스를 2개로 이용하여 얻은 결과로서 아레니우스 식을 이용하면 프로그램으로 자동 FITTING하여 특정수명시간을 얻을 수 있다. 이를 통하여 얻은 값을 이용하여 가속계수를 구하고 최적의 가속 조건을 찾은 것이다.

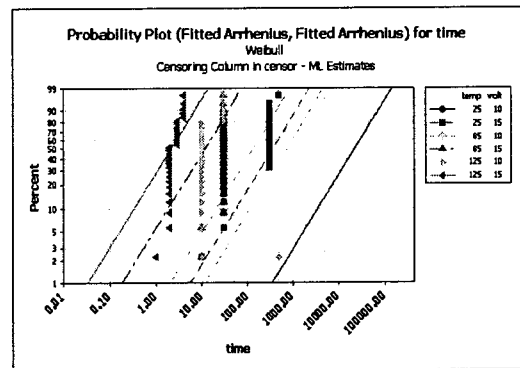


그림4. 온도와 전압에 대한 와이블 (FITTING)분포

가속계수는 AF로 표기하며 임의의 두 스트레스 조건1과 2사이에 가속이 성립한다고 할때, 수명 M_1 , M_2 와의 관계식(1)을 아래와 같이 나타내며 이를 통하여 계산한 값을 표3에 정리하였다.

$$AF = \frac{M_{1,0.632}}{M_{2,0.632}} = \frac{\eta_1}{\eta_2} \quad \text{식(1)}$$

수명을 얻기 위한 실험하는 값과 동일한 효과를 얻기 위해서 가속계수가 71인 15V-25°C에서 533시간동안 실험하는 것과 같은 효과를 얻을 수 있다. 최적의 조건으로 선택한 것은 실험을 통하여 얻은 값과 비교하여 신뢰성에 관하여 비교 하였을 때 가장 높은 조건으로 확인되었기 때문에 최적의 조건으로 선정하게 된 것이다.

표3. 조건에 따른 수명시간과 가속계수

조건(v-°C)	시간(H)	가속계수
10-25	3.8×10^4	1.0
10-125	19	2000
15-25	533	71
15-85	190	200

그림 5와 6은 전압과 온도에 따른 고장의 분포를 타점한 것을 토대로 전압에 따른 각 온도에서의 분위수를 추정 한 것으로서 가정으로 실험한 가속모형의타당성을 검증 할 수 있다.

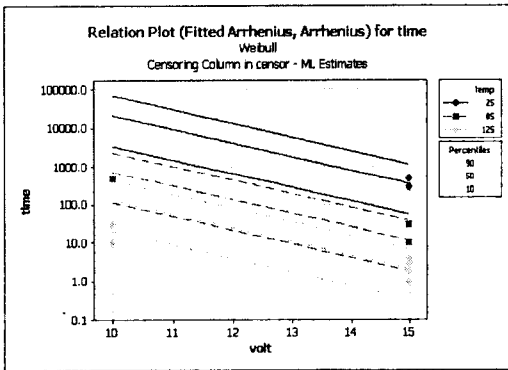


그림5. 전압에 따른 신뢰분포도

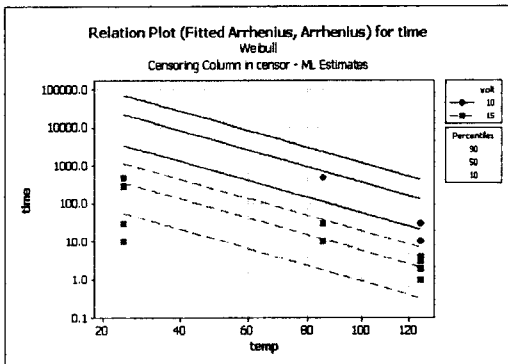


그림6. 온도에 따른 신뢰분포도

3. 결 론

오늘날과 같은 부품의 고품질화 추세 하에서 부품의 신뢰성 평가를 신속하게 실행하기 위해서는 가속 수명시험의 도입이 필요시 된다. 본 연구에서는 알루미늄 전해 캐패시터에 관하여 가속실험 및 수명예측을 다루었다. 실험의 결과로서 가속계수를 산정하여 최적의 가속시험 조건을 확인하면서 수명시간을 짧은 시간 내에 예측할 수 있었다. 분석으로 이용한 MINITAB Program은 일정 부하 시험에 관하여 사용될 수 있는 것으로 본 실험에서 매우 유용하게 사용되었다. 본 연구를 통하여 얻을 수 있는 것은 현재 사용되는 제품의 경우 수명시간을 예측하기 어려워 부품에 대한 신뢰성과 더불어 수명시간의 정보를 요하고 있다. 본 연구에서 사용한 온도와 전압의 스트레스를 이용하여 아레니우스 식을 이용한다면 간단하게 제품의 수명시간을 예측할 수 있을 것이라 생각되며 신뢰성을 뒷받침하는 프로그램을 이용한다면 더욱더 용이하게 사용될 것이라 생각된다. 본 연구를 통하여 정확한 수명시간을 예측하기는 어려웠으나 수명시간을 예측하는 방법과 그에 따른 가속시험방법을 찾는 데 도움이 될 것이라고 생각된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 강 영식, 백 종배, 이 근오, "신뢰성 공학", 도서출판 동화, 2002.
- [2] Atsushi Nishino, "Capacitors: operating principles, current market and technical trends", Journal of power sources 60, P137-147, 1996.
- [3] 서 순근, "MITAB신뢰성 분석", (주)이레테크, 2002.
- [4] Meeker, W. Q, and Hahn, G. J., "How to plan an accelerated life test-some partical guidelines", The ASQC Basic Reference in Quality Control : Statistical Techniques, 1985.
- [5] 김 하나, 심 찬호, 윤 중락, 이 현용, "전해캐패시터의 고장 및 열화메카니즘 분석", 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, P37-39, 20005.