

## 콘덴서용 PET 열수축 튜브의 가속수명시험법

구현진, 윤예석, 김정철\*  
FITI시험연구원 신뢰성평가센터  
\*한국생산기술연구원 광주연구센터

### Accelerated Life Testing of Heat-Shrinkable PET Tube for Condensers

Hyun-Jin Koo, Ye-Seok Yoon, Jeong-Cheol Kim\*  
Reliability Assessment Center, FITI Testing & Research Institute, Seoul, Korea  
\*Gwangju Research Center, Korea Institute of Industrial Technology, Gwangju, Korea

#### 1. 서론

콘덴서의 절연피복제로 사용되는 PET 열수축 튜브는 고온에 장시간 노출되며 절연기능을 수행하여야 하므로 125°C의 온도에서 3000시간 사용 후 50% 이상의 물리적 특성을 요구하고 있을 뿐만 아니라 형태 변화가 없을 것을 요구하고 있다. 그러나 현실적으로 3000시간의 수명시험을 수행하는 것을 경제적 측면과 시장진입시기(time-to-market)를 고려할 때 비효율적이다. 본 연구에서는 온도를 가속스트레스로 하고 인장특성 저하를 고장 모드로 하는 가속수명시험법을 개발하여 신뢰성 평가시간을 단축시키고, 와이블-아레니우스 모델을 적용하여 가속계수를 산출하였다. 가속수명시험법 검증을 위해서 장기내구성 시험결과와의 비교분석을 통하여 90% 신뢰수준에서 가속성 검증을 수행하였다.

#### 2. 실험

##### 2.1. 시료

국내의 콘덴서에 절연피복제를 사용되고 있는 국내산 3개 시료 중, 고온에서 장시간 처리 시 형태 안정성이 가장 좋은 1개 시료를 사용하였다.

##### 2.2. 장기내구성 시험

콘덴서용 열수축 튜브의 장기 내구성 시험은 실 사용조건인 125°C에서 1000시간 처리한 후, 1, 24, 100, 300, 500, 800, 1000시간 간격으로 인장신도의 변화를 측정하였다. 각 조건 당 3개의 시험편을 사용하였다. 시험을 통하여 얻어진 데이터 중 인장신도를 로그전환 시킨 다음, 시간을 반응변수로 하는 회귀분석을 실행시킨 후, 90% 신뢰수준에서 1000시간 사용 후 인장신도 보유율을 산출하였다.

##### 2.3. 가속수명시험

가속수명시험은 3수준의 온도(140, 160, 180°C)에서 192시간 처리한 후, 1, 10, 24, 48, 96, 120, 192시간 간격으로 인장신도의 변화를 측정하였다. 각 조건 당 3개의 시험편을 사용하였다. 가속조건에 데이터 중 인장신도 값을 로그 변환 시킨 다음, 시간을 반응변수로 하는 회귀분석을 실시하고 회귀분석 모델을 이용하여, 각 온도에서 장기내구성 시험(125°C, 1000시간)을 통해서 얻어진 인장신도 보유율 56.8%에 도달하는 고장시간을 외삽에 의하여 추정하였다.

#### 3. 결과 및 고찰

##### 3.1. 와이블-아레니우스 모델의 모수 추정 및 가속성 검증

각각의 온도에서 추정된 고장시간에 와이블-아레니우스 모델을 적용시켜서, 와이블 분포의 형태모수(3.52) 및 아레니우스 모델의 활성화 에너지(0.55eV)를 추정하였다. 이를 적용하여 실 사용조건인 125°C에서의 수명을 추정하였고, 그 결과는 Figure 1에 나타내었다. 또한, 가속성 검증을 위하여 가속 가속수명시험 후 인장신도 56.8%에 도달하는 시간에 대한 다음과 같은 가설을 설정하고 90% 신뢰수준에서 검정하였다.

귀무가설: 중앙수명=1000시간  
 대립가설: 중앙수명≠1000시간

가속조건에서 인장신도 보유율 56.8%에 도달하는 중앙수명(Median)은 816시간이고, 90%신뢰구간(530, 1256시간)이 1000시간을 포함하고 있으므로, 귀무가설을 기각할 수 없다. 즉, 가속수명시험법으로 추정된 수명과 장구내구성 시험결과가 90% 신뢰수준에서 다르다고 말할 수 없다는 결론을 얻었다.

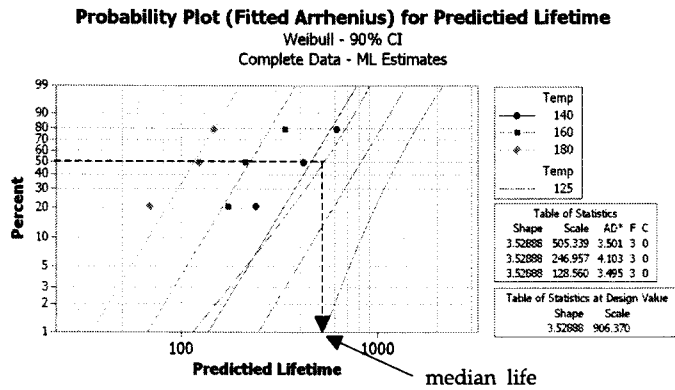


Figure 1. Lifetime distribution of PET tube

### 3.2. 가속계수 산출

가속시험온도와 실 사용온도 간의 가속계수를 각각 구할 수 있는데, 온도에 따른 가속계수는 아레니우스 모델을 통하여 다음과 같이 구할 수 있다. 실 사용온도 125°C에 대한 140, 160, 180°C의 가속계수는 1.8, 3.6, 7.0으로 계산되었다.

$$AF = \frac{\tau_s}{\tau_a} = \exp\left(\frac{E}{K} \left[ \frac{1}{T_s} - \frac{1}{T_a} \right]\right)$$

$\tau$  : 고장시간  
 E : 활성화 에너지(J/mol)  
 K : Boltzman 상수( $1.380658 \times 10^{-23}$  J/K)  
 $T_s, T_a$  : 실 사용온도, 가속온도 (K)

### 4. 결론

본 연구에서는 콘덴서용 PET 열수축 튜브에 대하여 온도를 가속 스트레스로 하고 인장신도저하를 고장 모드로 하는 가속수명시험법을 개발하였다. 이 과정에서 온도와 수명간의 관계식인 와이블-아레니우스 식의 활성화에너지 추정 및 와이블 분포의 형태모수 추정을 통하여 가속계수를 산출하였다. 그 결과 수요자의 요구조건인 125°C에서 3,000시간을 180°C에서 428시간으로 85% 이상 단축시키는 결과를 얻었다. 또한, 장구내구성시험과 가속수명시험 결과 비교를 통하여 90% 신뢰수준에서 가속성을 검증하였다.

감사의 글: 본 연구는 2006년도 신뢰성기반기술확산사업 (사업명 : 전자제품 절연 피복용 PET 열수축 튜브의 가속시험법 개발 및 수명향상) 지원에 의해 진행되었습니다.