

## 펙의 모델을 적용한 자동차 에어백용 원단의 수명예측

구현진, 조항원, 장갑식  
FITI시험연구원 신뢰성평가센터

### Shelf Lifetime Prediction of Airbag Cushion Fabrics using Pecht's Model

Hyun-Jin Koo, Hang-Won Cho and Gap Shik Chang

Reliability Assessment Center, FITI Testing & Research Institute, Seoul, Korea

#### 1. 서론

에어백은 일정 이상의 속도에서 차량 충격 시 센서가 충격을 감지하여 에어백을 가스로 팽창시킴으로써 운전자 및 승객을 보호하는 장치로, 모든 작동상황이 0.05초 내에 이루어지도록 해야 하는 만큼 고정밀도가 요구되는 첨단 안전 부품이다. 이에 적용되는 원단은 장기간의 보존기간을 거치면서 팽창되는 순간, 탑승자를 보호하는 역할을 수행하여야 하므로 자동차 수명 기간인 10년 이상 사용 후 최초에 요구되었던 품질특성의 80%를 유지할 것을 요구하고 있다. 현재 에어백용 원단의 수명평가는 대부분 ASTM D 5427에 의하여 열 노화 및 오존 노화 후 물리적 특성저하 및 공기투과도 변화를 측정하므로 정량적인 수명예측 및 다양한 원단간의 비교평가가 매우 어려운 실정이다. 그러므로 에어백용 원단의 사용환경을 고려한 고장 메커니즘 규명을 통하여 에어백용 원단의 수명을 예측할 수 있는 가속수명시험법을 개발하였다.

#### 2. 가속수명실험법

자동차 에어백용 원단으로 적용되는 대표적 소재인 나일론 66는 자동차 내부에서 장기간 사용될 경우 온도와 습도에 의한 가수분해(hydrolysis) 및 열산화(thermo-oxidative degradation)에 의한 물리적 특성 저하를 주요 고장메커니즘으로 추정할 수 있다. 이를 확인하기 위하여, 다양한 온·습도 조건에서 에어백용 원단을 장기간 처리하였다.

##### 2.1. 고장 메커니즘 재현시험

먼저 온도와 습도간의 교호작용 및 처리시간(1주, 2주)의 효과를 단기간에 확인하기 위하여, 130°C의 온도에서 온도만 처리한 경우와 온도와 습도를 동시에 처리한 경우의 인장강도 감소를 비교하여 Figure 1에 나타내었다. 온도만 처리한 경우에 비하여 온도와 습도를 동시에 처리한 경우, 처리시간이 1주에서 2주로 증가함에 따라 인장강도가 통계적으로 유의하게 감소하였다. 이를 통하여 자동차 에어백용 원단은 고온에 노출되었을 때 온도에 의한 열산화가 발생되지만, 고온·고습에 의한 가수분해와 열산화가 동시에 발생하는 경우 기계적 특성치의 저하가 매우 가속되는 것을 확인하였다.

##### 2.2. 가속수명시험설계

가속수명시험의 온·습도 조건 설정을 위하여, 나일론 66의 유리전이 온도(50°C 근방)이상인 60~140°C에서 장시간 처리한 후 인장강도 변화를 관찰하였는데, 90°C이상의 온도에서는 습도의 정확한 조절이 불가능하므로 상대습도 95% 이상에서 시험을 수행하였다. 온도 80°C 이하에서는 672시간 처리한 후 유의한 인장강도 변화가 관찰 되지 않았고, 100, 120, 140°C에서는 336시간 처리한 후 인장강도의 감소는 90% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 결과를 보였다. 특히 온도 120°C까지는 10% 이

내의 감소를 나타내었고, 140°C에서는 초기 인장강도보다 약 40%의 감소를 나타내었다(Figure 2). 이는 120°C까지의 온도 범위와 140°C에서의 인장강도 감소 메커니즘이 상이한 것으로 추정되었다. 이 결과를 바탕으로 온도 100, 120, 130°C, 상대습도 95% 이상을 시험조건으로 하는 가속수명시험을 설계하였다.

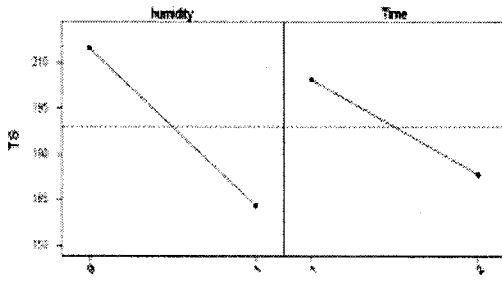


Figure 1. Effects of humidity and testing times on tensile strengths of air bag fabrics

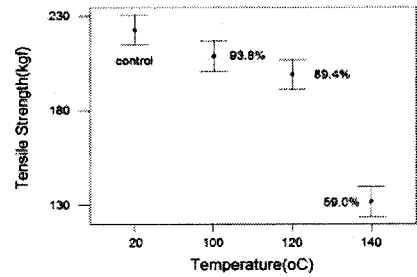


Figure 2. Effects of temperature on tensile strengths of air bag fabrics

### 3. 국내의 에어백용 원단의 수명예측

자동차 에어백은 그림 3과 같이 에어백 모듈 속에 접혀져서 장기간 동안 환경조건에 노출된다. 그러므로 이러한 구속을 재현하기 위하여 Figure 3과 같이 동일한 구조변수(원사섬도 및 밀도)의 국내의 에어백용 원단 4종(코팅 2종, 비코팅 2종)을 시험틀에 고정시킨 후, 가속수명시험법을 적용하여 500시간동안 처리하였다. 처리된 시험편을 1, 24, 72, 168, 336, 500시간에서 인장강도를 측정하여 시간-인장강도의 회귀분석식을 구하고, 회귀분석식을 이용한 외삽에 의해 초기 인장강도의 80% 미만이 되는 시점을 구하였다. 가속조건에서의 수명을 실사용 조건으로 전환하기 위하여, 와이블 수명분포와 수명-스트레스 관계식을 적용하여 사용온도 40°C에서의 신뢰수준 90%에서 수명을 예측하였다. 그 결과, 국내 원단은 90% 신뢰수준에서 B<sub>5</sub> 수명이 6~379년, 국외원단의 수명은 0.2~2.4년으로 예측되었다. 국내·외 원단을 비교하면, 초기 품질특성에서는 인장강도(국내: 213kgf, 국외: 209kgf)는 거의 유사하나, 신뢰성 측면에서 국외의 에어백용 원단에 비하여 국내 에어백 원단이 우수함을 확인할 수 있었다. 이러한 가속수명시험법 개발을 통하여 국내에서 개발된 우수한 원단과 저가의 수입원단과의 신뢰성 차별화가 가능할 것으로 기대된다.

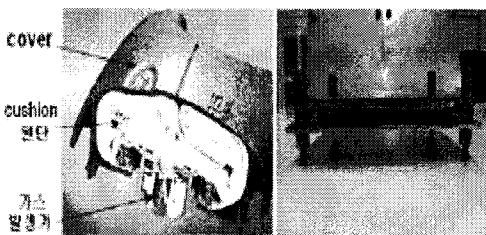


Figure 3. Specimen frame confining airbag fabrics

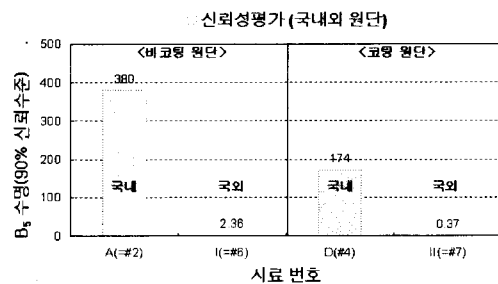


Figure 4. Lifetime prediction results between domestic and foreign air bag fabrics

감사의 글: 본 연구는 한국부품소재산업진흥원의 부품·소재신뢰성기술훈산사업(과제명: 자동차 에어백용 원단의 가속수명시험법 개발 및 신뢰성 차별화)에 의하여 지원되었습니다.