

사용 조건하에서의 자동차용 커넥터 신뢰성 분석

- Reliability Analysis of Auto-Connector in Use-condition -

김 종 결 *, 김 진 환 **

Abstract

Environmental factors for automotive consist of temperature, humidity, vibration(sine & random), gas, an electrical load and so on. These environmental factors are impressed in a automotive. Dependability is essential requirement in many electronic parts. Among components of automotive, the connector connecting electrical signals is one of the most important parts. Automotive -connector is inspected according to each manufacturer's test standard in which dependability should be considered.

This paper aims to verify that current test standard is suitable for dependability, and present an inductive life test for automotive connector based on the field data in use-condition.

Key Words : reliability analysis, ALT, connector

1. 서 론

현재 생산되는 자동차 부품은 기능별로 수많은 종류가 있고, 각각의 기능을 검증하기 위한 많은 시험규격이 있으며, 부품 제조업체는 정해진 시험규격에 준한 시험을 통해 품질을 검증하고 있다. 그러나 이러한 시험규격이 자동차 환경의 가혹한 조건을 보증 할만한 시간종속성에 대한 고려가 되었는가에 대한 의문은 존재하며, 실제 자동차에서 보증기간 내에 발생하는 원인 불명의 불량 중에는 자동차의 전장 시스템이 일부를 차지하고 있는 것은 사실이다. 그러므로 현재 적용하고 있는 자동차용 커넥터 시험규격이 시간종속성 시험으로 적합한지에 대한 검증이 필요 하고, 또한 가혹한 자동차 환경을 시뮬레이션 할 수 있는 새로운 가속시험법의 개발이 필요하다. 따라서 본 논문은 실차 상태의 커넥터 품질 특성을 통해 시간종속성에 대한 검증을 하고자 한다.

* 성균관대학교 시스템경영공학부

** 한국 물렉스 (주)

2. 시험시료 및 시험방법에 대한 정의

2.1 시험시료

시험시료는 실제 자동차 운행 조건으로 사용되었던 자동차용 커넥터이며, 이러한 커넥터의 주요 기능은 자동차의 전기적 신호를 최소의 손실로 연결하는 부품으로 자동차 엔진부 및 실내의 모든 부분에 적용되는 부품이다. 시험시료의 수집은 자동차 폐차장에서 랜덤하게 각 주행거리에 따라 수집하였으며 아래와 같다.

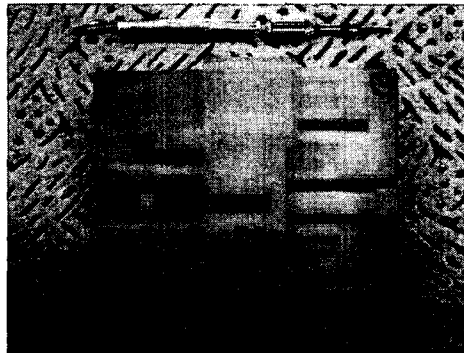
2.1.1 자동차 종류

- 1) 주행거리 72,834 km [D사 ES Model]
- 2) 주행거리 106,240 km [K사 PO Model]
- 3) 주행거리 109,125 km [K사 AB Model]
- 4) 주행거리 146,237 km [H사 EL Model]
- 5) 주행거리 172,471 km [H사 EX Model]
- 6) 주행거리 291,235 km [H사 SO Model]

2.1.2 커넥터 종류

- 1) 060 Type Connector [A사/P사]
- 2) 070 Type Connector [A사/K사]
- 3) 090 Type Connector [A사/K사]
- 4) 118 Type Connector [A사/K사]
- 5) 250 Type Connector [A사/K사]
- 6) 312 Type Connector [K사]

본 논문에서는 시료에 대한 관측구간 및 시험 관측 자료의 수를 고려하여 K사의 090 Type Connector를 중심으로 검증을 하기로 한다. <그림 1> 참조



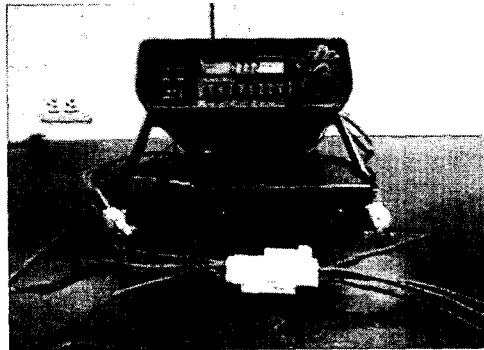
<그림 1> 컨넥터

2.2 시험방법

자동차용 커넥터는 실제 운행 조건하에서 다양한 환경적 영향 즉 온도, 습도, 진동, 가스, 전기적 부하 등에 의해서 접촉면이 산화된 상태이며 이러한 산화피막의 두께는 매우 얇게 생성된다.[1] 산화피막은 접촉저항을 증가시키는 주요 원인이며, 전류의 세기에 의해서 파괴 될 수 있으므로 접촉부의 저항을 측정하기 위해서는 세심한 주위가 필요하다.

2.2.1 접촉저항 측정

산화피막에 의한 접촉저항을 측정하기 위해서는 저전류 측정법 (Dry Circuit Method : Test Current 10 mA/Open Voltage 20 mV)을 사용 하여야 하며, 접촉저항 측정은 <그림 2>와 같은 방법으로 측정한다.[2] 저항을 측정 후 전선 저항을 제외한 저항을 접촉저항으로 한다.



<그림 2> 접촉저항 측정

시험에서 접촉저항을 측정하기 위해 사용한 계측기는 마이크로 오옴메타 이다. [580Micro-OhmMeter/ KEITHLY/ USA].

2.2.2 수명 데이터

국내 자동차 제조사에서 내구시험 후 요구하는 접촉저항 값은 제조사별로 기준이 다소 차이가 있으므로 본 논문에서는 H사의 시험규격을 따라 10mV/A이하로 하며, 시험에서 10mV/A 이상의 접촉저항 값을 수명 데이터로 적용한다. [3]

3. 시험 데이터 및 분포 적합성 검증

3.1 시험 데이터

시험 데이터는 주행거리[km]에 따르는 접촉저항(Contact Resistance)값이며, 측정 결과는 아래와 같이 관측 되었다. <표 1> 참조

<표 1> 주행거리별 접촉저항 측정값 / (데이터 단위 : mV/A)

No.	주행거리[km]					No.	주행거리[km]				
	72,834 (D사/ES)	109,125 (K사/AB)	146,237 (H사/EL)	172,471 (H사/EX)	291,235 (H사/SO)		72,834 (D사/ES)	109,125 (K사/AB)	146,237 (H사/EL)	172,471 (H사/EX)	291,235 (H사/SO)
1	6.26	4.82	12.91	7.18	17.16	12	7.80	10.54	14.28	14.44	
2	6.70	4.23	36.14	8.25	7.74	13	7.40	9.74	10.86		
3	6.53	5.05	5.95	16.68	3.74	14	4.19	15.28	25.38		
4	7.50	4.81	10.52	17.27	6.56	15	3.98	9.07	18.90		
5	8.32	6.77	12.27	45.38	7.55	16	4.44	9.57	4.43		
6	7.83	3.08	7.64	6.07	4.91	17	4.65	9.95	16.92		
7	8.39	5.48	5.79	5.81	3.95	18	3.85	8.15	100.75		
8	6.10	3.81	8.52	5.79		19	4.06	11.57	48.84		
9	5.69	11.04	11.43	16.18		20	4.68	11.28	27.98		
10	6.20	5.75	8.43	51.83		:	:	:	:		
11	8.95	21.28	13.68	43.34		n					

- 비고 : 시험 시료는 K사 090 Type Connector

3.2 시험 데이터에 대한 분포 적합성 검토

3.2.1 가정

각 시험 데이터는 주행거리[km]에 따르는 측정 자료이며, 시료는 생산 Lot가 다르고, 또한 시료는 적용 차종마다 다른 환경에서 사용된 것은 사실이다. 이렇게 조건이 다른 사실에 일관성을 부여하기 위해 다음과 같은 가정을 한다.

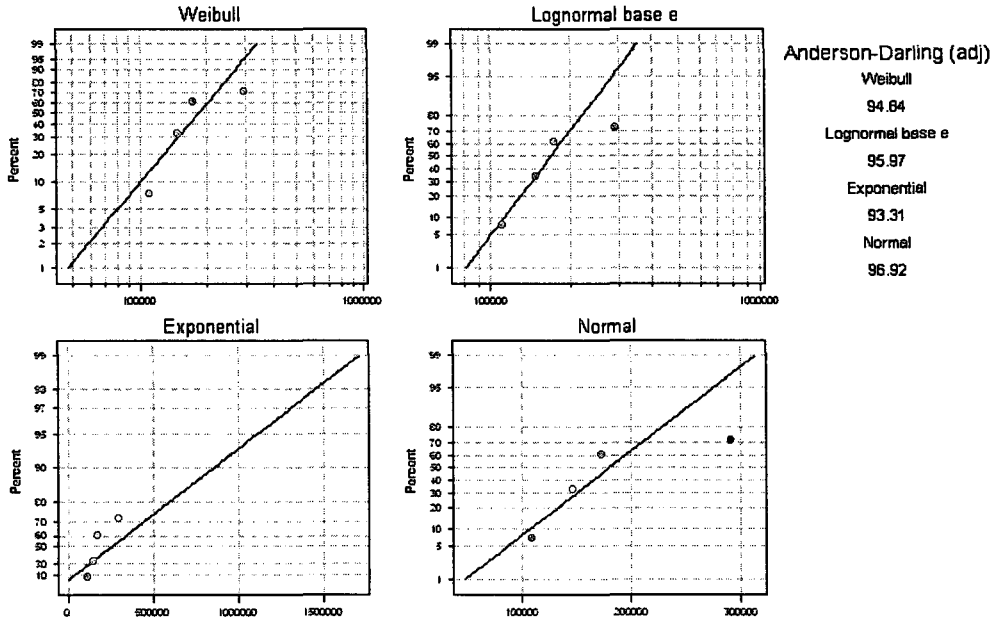
- 가정 1 : 주행거리에 따르는 측정 자료는 다중 중도절단(Multiply censored) 자료이다.
- 가정 2 : 각 시료는 생산 Lot는 다르나 주행거리 “0” km부터 시험된 시료이다.
- 가정 3 : 각 시료는 각각 다른 차종의 환경이지만 넓은 범위에서 동일한 자동차 환경의 시료이다.

가정 1,2,3에 따라 시험자료는 동일한 자동차 환경조건에서 0 km부터 291,235 km까지 시험 중 각 구간에서 다중 중도절단(Multiply censored)된 수명 자료이다.

3.2.2 분포 적합성 검증

획득된 시험 데이터가 어떠한 수명분포에 적합 되는지를 판정하기 위하여 소프트웨어(MINITAB)를 활용하여 검증한다. MINITAB에서는 자료를 분포에 적합 시킬 때 적합여부에 관한 검정 통계량 값으로 Anderson-Darling(A-D)값 또는 한정된 경우에 P-Value값으로 적합성을 검증한다. 획득된 시험데이터는 관측중단 자료이며, 검증 결과는 아래와 같다. [4]

Four-way Probability Plot for km ML Estimates - Censoring Column in status



적합성의 판정 기준은 후보 분포 중에서 A-D 통계량 값이 적을수록 분포에 잘 적합되는 것을 의미하며, 또한 직선에 일치 되어야 분포에 적합하다고 판정한다.

이러한 기준으로 판단 할 때 획득된 시험 데이터는 모수적 방법에 의한 분석은 적합하지 않은 것으로 판단된다.

4. 시험 데이터의 신뢰성 분석

4.1 생존함수 분석

획득된 시험 데이터는 비모수적 방법에 의해서 분석하며, 가장 사용 빈도가 많은 Kaplan-Meier 추정법을 사용하여 분석한다. Kaplan-Meier 추정법은 우측 관측중단 자료를 포함하는 다중 중단자료에 유용한 방법으로 신뢰도 함수와 고장률 함수의 추정량 식은 아래와 같다.[5][6][7]

$$\hat{R}(t) = \prod_{j \in t_i < t} (1 - \hat{h}_j(t)) = \prod_{j \in t_i < t} (1 - \frac{d_j}{n_j})$$

$$\hat{h}_j(t) = \frac{d_j}{n_j}$$

단, n : 시험단위 수

$$n_j = n - \sum_{i=1}^{j-1} d_i - \sum_{i=1}^{j-1} w_j, j=1, \dots, m$$

- t_j : 오름차순으로 정렬하여 j 번째 고장 나거나 관측 중단된 시점
- d_j : j 번째 t_j 에 고장 발생한 시험단위 수
- w_j : t_j 에 우측 관측 중단된 시험단위 수
- m : 고장나거나 관측 중단된 시점의 수

신뢰도 함수의 신뢰구간을 계산하기 위해서 $R(t)$ 의 표준오차($SE(R(t))$)를 구해야 되는데 관측중단 자료를 포함하는 경우에는 표준오차를 추정하는 과정이 복잡하므로 다음 식과 같이 근사적으로 표준오차 또는 분산($Var(R(t))$)을 구하는 Greenwood의 공식이 주로 사용된다. 또한 관측중단 자료를 포함하는 경우의 신뢰도 함수 $R(t)$ 의 근사 신뢰구간은 정규분포를 이용한 근사 방법에 의해 아래의 식과 같이 나타 낼 수 있다. [6]

$$SE(\hat{R}(t)) = \sqrt{Var(\hat{R}(t))} = \sqrt{[\hat{R}(t)]^2 \sum_{j \in I_t} \frac{d_j}{n_j(n_j - d_j)}}$$

$$\hat{R}(t) - Z_{\alpha/2} \sqrt{Var(\hat{R}(t))} < R(t) < \hat{R}(t) + Z_{\alpha/2} \sqrt{Var(\hat{R}(t))}$$

단, $Z_{\alpha/2}$: 표준정규확률분포의 $(1 - \alpha/2) \times 100\%$ 분위수

획득된 시험 데이터의 Kaplan-Meier 추정방법에 의한 계산 값과 MINITAB를 활용한 계산 값은 아래와 같다. [8]

1) 계산값

i	T_i	d_i/n_i	$R'_i=1-(d_i/n_i)$	$R_i=R'_i \cdot R_{i-1}(R_0=1)$	$F_i=1-R_i$	95% 신뢰구간
1	109125	0.1495327	0.85046729	0.85046729	0.14953271	$\pm 6.75\%$
2	146237	0.44	0.56	0.476261682	0.523738318	$\pm 12.29\%$
3	172471	0.3684211	0.63157895	0.300796852	0.699203148	$\pm 12.92\%$
4	291235	0.1428571	0.85714286	0.257825873	0.742174127	$\pm 13.54\%$

2) MINITAB 활용

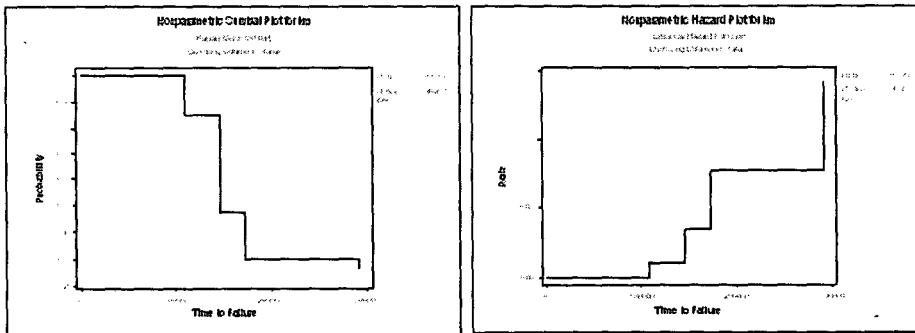
Distribution Analysis: km

Variable: km
 Frequency: count
 Censoring Information Count
 Uncensored value 46
 Right censored value 91
 Censoring value: status = 0
 Nonparametric Estimates
 Characteristics of Variable
 Standard 95.0% Normal CI
 Mean(MTTF) Error Lower Upper
 188905.6 9385.671 170510.1 207301.2
 Median = 146237.0
 IQR = * Q1 = 146237.0 Q3 = *

Kaplan-Meier Estimates

Time	Number at Risk	Number Failed	Survival Probability	Standard Error	95.0% Normal CI Lower	95.0% Normal CI Upper
109125.0	107	16	0.8505	0.0345	0.7829	0.9180
146237.0	50	22	0.4763	0.0627	0.3533	0.5992
172471.0	19	7	0.3008	0.0659	0.1716	0.4300
291235.0	7	1	0.2578	0.0691	0.1224	0.3933

3) 신뢰도 함수 및 고장률 함수



4.2 시간종속성에 대한 유효성 검토

시험의 대상이 되었던 K사(커넥터 제조업체)의 090 Type Connector는 개발시험 또는 정기시험에서 기존의 시험규격에 만족하는 결과를 확보 하였을 것으로 생각된다. 하지만, 분석 결과에서 알 수 있듯이 실제 자동차 환경에서 사용되었던 자동차용 커넥터의 품질상태는 매우 불량률이 높고, 또한 시간경과(주행거리[km])에 따라 생존율도 현저하게 낮아지는 것을 확인 하였다. 자동차 제조업체인 H사의 품질보증 기간인 10년, 100,000mile과 비교하여 생각하면, 현재의 시험규격은 시간종속성에 대한 품질보증을 하기위한 규격으로 유효성이 없는 것으로 판단된다.

5. 결론 및 추후 연구과제

본 논문에서는 자동차용 커넥터의 접촉저항을 통해 기존 시험규격이 시간종속적인 품질 검증의 방법으로써 실효성이 크지 않음을 검증하였고, 시험규격과 실제 자동차 환경의 차이가 크다는 것을 확인하였다.

또한 품질검증을 위해서는 단일 조건의 시험법 보다는 자동차 사용조건에 근접할 수 있는 복합적인 시험조건이 필요하다는 것을 제시하였다. 향후 연구 과제로는 커넥터 접촉부의 고장 매카니즘을 물리적/화학적인 방법으로 해석하여 시간종속성을 검증할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하고, 복합적인 시험조건에서의 가속수명시험 개발을 위한 귀납적 접근 방법에 대한 연구도 검토 되어야 한다.

6. 참고 문헌

- [1] Robert S. Mroczkowski, 「ELECTRONIC CONNECTOR HANDBOOK」, McGRAW-HILL 1998, pp.2.1~2.21
- [2] JIS C 5402 5.4항, 「저전류에 의한 저항측정 방법」, 1991, pp.1~10
- [3] 현대자동차, 「자동차용 커넥터 시험 표준 91500-00」, 2001, pp.2~4
- [4] 서순근, 「MINITAB 신뢰성 분석」, (주)이레테크, 2002, pp.124, pp.340~341, pp.119~128
- [5] 윤상운, 「가속화 신뢰도 분석」, 자유아카데미, 1993, pp.137~150
- [6] 서순근, 「MINITAB 신뢰성 분석」, (주)이레테크, 2002, pp.194~200
- [7] 김종걸, 「성시성비 실험법 1,2」, 성균관대학교 Q&D 연구실 · 큐알테크, 2004, pp.10~12, pp.109~114
- [8] MINITAB. Inc., 「MINITAB user's guide 2 : Data Analysis & Quality Tools」, 2000, pp.15.1~15.68