

# 가속수명 시험을 이용한 자동차용 커넥터의 신뢰성 분석

## Reliability Analysis of Auto-Connector based on Accelerated Life Test

\*김종걸, \*\*김진환

\*성균관대학교 시스템경영공학부

\*\*한국 모렉스 (주)

\*Jong-Gurl, Kim, \*\*Jin-Hawn, Kim

\*School of Systems Management Engineering, Sung Kyun Kwan University

\*\*Molex Korea Inc.

### Abstract

As a car is a combination of a lot of components, it is necessary to consider safety and durability. Even there are lots of components for a car, the connector is one of the most important one since it connects functional electric signal.

Usually automotive connector is tested under each car maker's test specification, which should have dependability characteristic. In this paper, we aim to review the current test specifications in view of dependability, and propose an accelerated life test for the automotive connector.

### 1. 서론

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 시간중속성에 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 시간중속성 시험으로 적

합한지에 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 시간중속성에 대한 검증을 하고자 한다.

### 2. 시험시료 및 시험방법에 대한 정의

#### 2.1 시험시료

시험시료는 실제 자동차 운행 조건으로 사용 되었던 자동차용 커넥터이며, 이러한 커넥터의 주요 기능은 자동차의 전기적 신호를 최소의 손실로 연결하는 부품이며, 자동차 엔진부 및 실내의 모든 부분에 적용되는 부품이다.

시험시료의 수집은 자동차 폐차장에서 랜덤하게 각 주행거리에 따라 수집하였으며 아래와 같다.

#### 2.1.1 자동차 종류

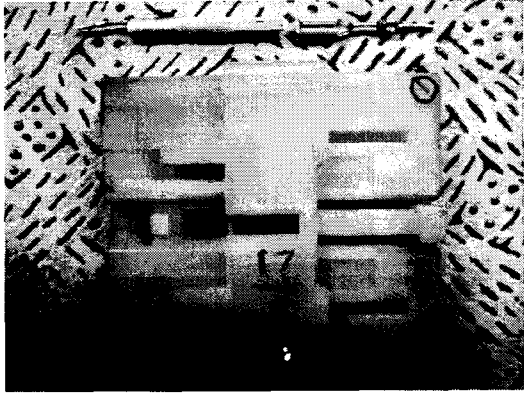
- 1) 주행거리 72,834 km [D사 ES Model]
- 2) 주행거리 106,240 km [K사 PO Model]
- 3) 주행거리 109,125 km [K사 AB Model]
- 4) 주행거리 146,237 km [H사 EL Model]
- 5) 주행거리 172,471 km [H사 EX Model]
- 6) 주행거리 291,235 km [H사 SO Model]

#### 2.1.2 커넥터 종류

- 1) 060 Type Connector [A사/P사]
- 2) 070 Type Connector [A사/K사/M사]
- 3) 090 Type Connector [A사/K사]

- 4) 118 Type Connector [A사/K사]
- 5) 250 Type Connector [A사/K사/M사]
- 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 증가 시키는 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 2와 같은 방법으로 측정한다.[2] 저항을 측정 후 전선 저항을 제외한 저항을 접촉저항으로 한다.



<그림 2> 접촉저항 측정

시험에서 접촉저항을 측정하기 위해 사용한 계측기는 마이크로 오hm 메타 [580Micro-Ohm Meter/ KEITHLY/ USA]이다.

### 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. 시간종속성에 대한 검증

### 3.1 시험 데이터

시험 데이터는 주행거리[km]에 따른 임의 관측중단 자료이며, 측정 결과는 아래와 같이 관측 되었다.<표 1> 참조

<표 1> 회사별 컨넥터 비교표

(데이터 단위 : mV/A)

No.	주행거리[km]				
	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
2	6.70	4.23	36.14	8.25	7.74
3	6.53	5.05	5.95	16.68	3.74
4	7.50	4.81	10.52	17.27	6.56
5	8.32	6.77	12.27	45.38	7.55
6	7.83	3.08	7.64	6.07	4.91
7	8.39	5.48	5.79	5.81	3.95
8	6.10	3.81	8.52	5.79	
9	5.69	11.04	11.43	16.18	
10	6.20	5.75	8.43	51.83	
11	8.95	21.28	13.68	43.34	
12	7.80	10.54	14.28	14.44	
13	7.40	9.74	10.86		
14	4.19	15.28	25.38		
15	3.98	9.07	18.90		
16	4.44	9.57	4.43		
17	4.65	9.95	16.92		
18	3.85	8.15	100.75		
19	4.06	11.57	48.84		
20	4.68	11.28	27.98		
:	:	:	:		
n					

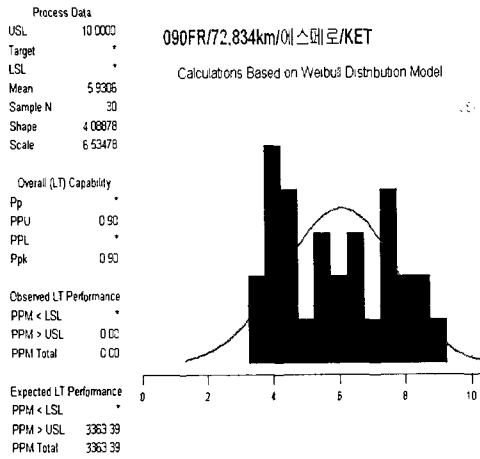
비고 : 시험 시료는 K사 090 Type Connector

### 3.2 시험 결과의 분포 특성 분석

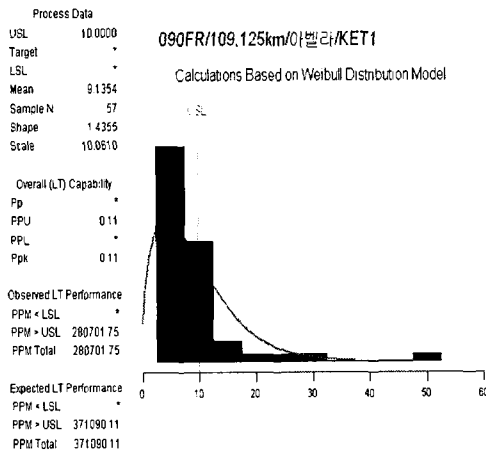
시험결과에서 알 수 있듯이 임의 관측 중단하여 측정된 접촉저항 값들 중에는 H사의 규격인 10 mV/A 이하 값을 만족하지

못하는 관측 자료가 상당수 존재한다. 측정 데이터가 와이블 분포라고 가정하고, 각 주행거리에서의 불량 분포를 확인하면 아래와 같다.

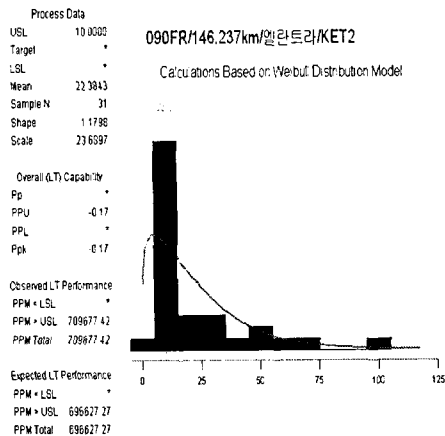
### 1) 주행거리 72,834 km



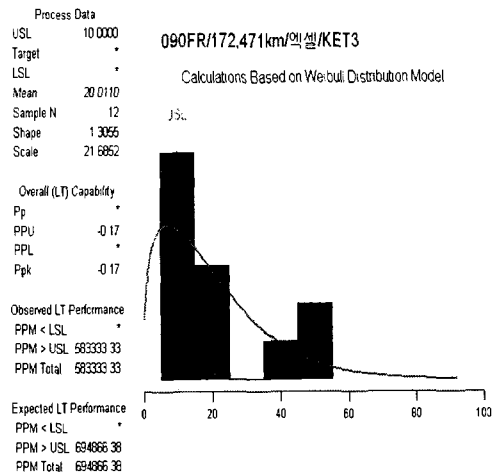
### 2) 주행거리 109,125 km



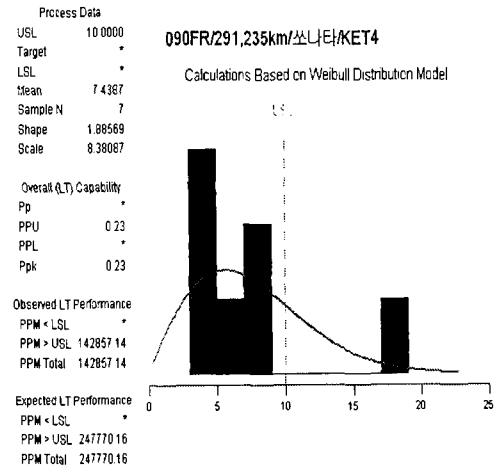
### 3) 주행거리 146,237 km



### 4) 주행거리 172,471 km



### 5) 주행거리 291,235 km



## 3.3 생존함수 분석

### 3.3.1 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 임의 관측중단 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 환경에 속한다.

가정 1,2,3에 따라 시험자료는 동일한 자동차 환경조건에서 0 km부터 291,235 km

까지 시험 중 각 구간에서 임의 관측중단 수명 자료이다.

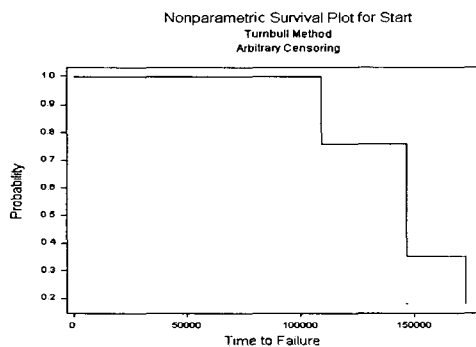
### 3.3.2 분석

시험 자료에 따르는 수명자료 분석은 미니탭을 활용하여 검증 하며, 분석 시 고려되는 사항은 적용 수명시험의 형태, 수집된 수명자료의 유형, 적용 통계적 방법을 선정 하여야 한다. 분포선택 및 통계적 분석은 완전/우측관측중단(Right Cens.)일 경우 모수적 방법은 Distribution ID Plot/ Distribution Overview Plot/ Parametric Dist. Analysis로 분석하고, 비모수적 방법은 Nonparametric Dist. Analysis(Kaplan-Meier estimate/ Actuarial estimate)로 분석한다.

또한 임의 관측중단(Arbitrary Cens.)일 경우 모수적 방법은 Distribution ID Plot/ Distribution Overview Plot/ Parametric Dist. Analysis로 분석하고, 비모수적 방법은 Nonparametric Dist. Analysis(Turnbull estimate/ Actuarial estimate)로 분석 한다. [4][5]

본 논문의 시험자료 분석은 Turnbull 추정법을 사용하여 분석한다. Turnbull 추정법은 임의 관측중단일 경우에 주로 적용되고, 생명표 방법에 비해 구간이 중복되더라도 적용할 수 있는 장점은 있지만 고장률과 확률밀도함수를 추정할 수 없는 단점이 있다.

Turnbull 추정법을 개괄적으로 설명하면, 먼저 정확한 고장시간을 알 경우와 관측중단 자료 중 구간자료, 우측 관측중단, 좌측 관측중단일 경우로 구분하여 각 경우에 대하여 적절한 우도함수를 정식화 한다. 이에 따라 구성된 우도함수를 이용하여 최우추정법에 의해 신뢰도 등을 추정할 수 있으며, 각 구간의 고장확률과 표준오차 그리고 각 고장시점 또는 구간경계에서의 신뢰도와 이의 표준오차 등을 추정할 수 있다.



<그림 3> 수명데이터를 추정한 신뢰도 함수

<그림 3>은 <표 1>의 수명 데이터를 Turnbull 추정법으로 추정한 신뢰도 함수를 나타내고 있다. 또한 <표 1>의 수명자료를 Turnbull 추정법으로 추정한 결과는 아래와 같다.

Distribution Analysis, Start = Start and End = End

9 cases were used  
1 cases contained missing values  
or was a case with zero frequency.

Variable  
Start: Start End: End  
Frequency: Frequency

Censoring Information	Count
Right censored value	101
Interval censored value	46

Turnbull Estimates

Interval	Probability	Standard Error
Lower Upper	of Failure	
90979.00 109125.0	0.2424	0.0528
127681.0 146237.0	0.4065	0.0654
159354.0 172471.0	0.1755	0.0567
231853.0 291235.0	0.1755	*

Survival km	Standard Probability	95.0% Normal CI Error Lower Upper
109125.0	0.7576	0.0528 0.6542 0.8610
146237.0	0.3511	0.0639 0.2259 0.4762
172471.0	0.1755	0.0567 0.0643 0.2868

### 3.4 시간중속성에 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 사용 되었던 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 시간중속성에 대한 품질보증을 하기위한 규격으로 유효성이 없는 것으로 판단된다.

### 4. 가속수명 시험 연구에 대한 제안

현재까지 본 논문에서 확인된 결과로 추정해 볼 때 실제 자동차 조건에 근접할 수 있는 가속수명 시험 방법에 대한 검토는 타당한 것으로 판단되며, 아래의 내용과 같이 가속수명 시험을 위한 방향을 제안 한다.

자동차에 적용되는 커넥터를 수년간 시험해 본 경험으로 비추어 볼 때 기존 시험규격의 단일 시험조건 하에서 1500 시간 노

화 시험을 하여도 수명 데이터는 발생되지 않는다. 그래서 수명 데이터를 얻기 위해서는 단일 시험 조건들을 복합적으로 적용하는 것이 유효할 것으로 생각 된다. 왜냐하면 자동차의 실제 사용 환경이 진동, 온도, 습도, 가스, 전기부하 등의 복합적 영향을 받기 때문이다. 그러므로 단일 조건들의 조합된 인가는 보다 자동차 환경에 근접할 수 있다. 이렇게 해서 얻어진 시험 데이터를 통해 가속수명 시험 개발에 귀납적 접근이 필요하다고 생각되며, 실제 자동차 환경의 데이터와의 관계를 해석함으로써 자동차용 커넥터의 시간종속적인 품질 검증은 이루어질 것이다.

## 5. 결론 및 추후 연구과제

본 논문에서는 자동차용 커넥터의 접촉 저항을 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 메카니즘을 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.

## 참고문헌

- [1] Robert S. Mroczkowski, 「ELECTRONIC CONNECTOR HANDBOOK」, McGRAW-HILL 1998, pp.51~60
- [2] JIS C 5402 5.4항, 「저전류에 의한 저항 측정 방법」, 1991, pp.1~10
- [3] 현대자동차, 「자동차용 커넥터 시험 표준 91500-00」, 2001, pp.2~4
- [4] MINITAB. Inc., 「MINITAB user guide 2 : Data Analysis & Quality Tools」, 2000, pp.8~61
- [5] Turnbull, B. W, "The Empirical Distribution Function with Arbitrary Grouped, Censored and Truncated Data", Journal of Royal Statistical Society Series B, Vol. 38, 1976, pp.290~95,