

# 스로틀 바디 제어신호 전달용 커넥터의 이상전압 강하 현상 원인 규명

조영진\* · 장석원†

## Root cause analysis on the phenomenon of voltage drop of connector used in the automotive throttle body control

YoungJin Cho, SeogWeon Chang

**Key Words:** Connector(커넥터), Contact resistance(접촉저항), Voltage drop (전압강하), Failure mechanism(고장 메커니즘), Automotive throttle body(자동차 스로틀바디)

### Abstract

This paper try to find root-cause of failure in a connector used in transmitting signals for throttle body control in automotives by analyzing possible failure causes and performing experiments to simulate the cable failure in field. The connector comprises fins, wires, and case moldings. The failure is due to degradation of initial clamping force required fixing fins and wires in the connector. Expansion and compression of the case molding material surrounding fins would cause the degradation. Investigations of strict initial clamping force and control of thermal expansion property of the molding are required to prevent the failure.

### 1. 서 론

최근 자동차는 기계제품이 아니라 전자제품이라고 할 정도로 많은 전기/전자 부품들로 채워지고 있다. 이러한 자동차시스템의 복잡성 증가에 의해 커넥터의 수가 증가되었으며, 설치 공간을 감소시키라는 요구도 커지고 있다. 고수준의 차량에는 약 3,000개의 개별 단자와 400개 이상의 커넥터가 있다<sup>(1)</sup>. 실제 소비자들의 자동차 고장 데이터를 분석한 결과, 전기 고장의 30-60%가 커넥터 문제<sup>(2),(3)</sup>이며, 커넥터 고장의 전형은 접촉 저항 과다 또는 간헐적인 접촉 저항 불량이다

<sup>(4),(5)</sup>. 따라서 커넥터는 신뢰도 면에서 급진적으로 전자화되어가고 있는 자동차의 큰 취약점이라 할 수 있다.

이러한 중요성 증가에 따라 높은 접촉 저항을 야기하는 열화 과정에 대해 수 년에 걸쳐 연구가 진행되어 커넥터 설계와 성능 확인을 위한 촉진 모의시험도 수행 되었다<sup>(6-11)</sup>. 최근의 연구결과에서는 단순한 과정별 영향이 아닌 열화 과정들간의 상승 작용으로 인해 이전에 예상했던 것보다 더 복잡한 고장 상황을 유발 할 수 있음을 보이기도 하였다<sup>(2)</sup>. 다만 이러한 연구결과들은 대부분 커넥터가 기계적으로 접촉된 상황을 모델링하여 하나나 다수의 단자를 중심으로 고장재현과 신뢰성 시험 및 수명예측한 것일뿐, 실제 단품커넥터에서 발생하는 이상현상의 규명 자료에 참고하기는 매우 어려웠다.

따라서 본 연구에서는 스로틀 바디의 제어를 위한 신호 전달용 커넥터에서 발생하는 이상 전

---

† 한양대학교 신뢰성분석연구센터

E-mail : hololab@kebi.com

TEL : (02)2282-1687 FAX : (02)2220-0218

\* 한양대학교 신뢰성분석연구센터

압 강하 현상에 대한 원인을 제품단위에서 규명하고자 하였다. 이상 전압 강하현상에 대한 Fault Tree 분석과 고장현상 재현시험을 수행하여 고장현상을 일으키는 원인과 메커니즘을 규명하였으며, 이를 방지하기 위한 대책안도 제시하였다.

## 2. 분석 대상 및 고장 현상

본 연구의 대상품은 자동차 스로틀 바디를 제어하기 위한 신호 전달용 7핀 커넥터로서 자세현상 및 내부 전기 배선도를 각각 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다. 커넥터에는 7개의 단자가 있으며 스로틀밸브가 작동하기 위해서는 당연히 연구대상 커넥터와 연결된 상대 커넥터가 있어야 하겠지만 조사를 통해 고장현상이 현 어셈이 자체에 있음을 사전에 파악하였다.

Fig.3에 고장재현 시험을 통하여 시간 및 온도 변화에 따른 전압의 이상변화를 나타내었다. 연구대상에서 발생하는 고장현상은 스로틀 밸브의 작동없이 기동 전후 특정 시간과 온도에서 TP(Throttle Position) 신호와 SP(Servo Position) 신호가 변동(기준전압을 일으켜 차량에서 공기량 상승 없이 TP 신호가 상승되어 단자간 전압이 기준



Fig. 1. Connector used in the automotive throttle body control

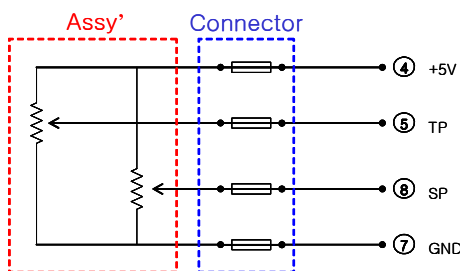


Fig. 2. Schematic diagram of Ass'y wiring

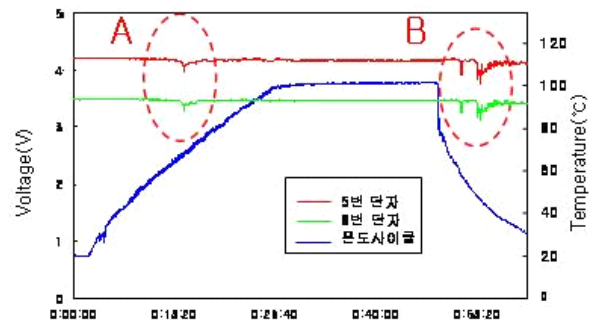


Fig.3 Failure phenomena of voltage drop

전압보다 0.2V이상 강하됨(4.2V→3.5V)으로 인해 연료공급이 과다해져 엔진 Stall 현상이 발생하는 것이다.

## 3. 전압 강하 현상 검정

본 연구에서는 고장분석을 위해 먼저 고장요인도를 작성하고 여기서 언급된 각각의 인자들을 여러 분석기법을 이용하여 검토하였다.

Fig.4에 보이는 바와 같이 물당재의 충전불량, 커넥터의 구조적인 불량, 제조 공정상의 불량 등으로 인한 단자간 short, 누설 전류의 발생, 연결단이나 접촉단의 저항증가가 주요원인일 수가 있고, 커넥터와는 상관없이 입력되는 Sensor 신호 및 전원 공급으로 인한 신호가 불량하여 출력되

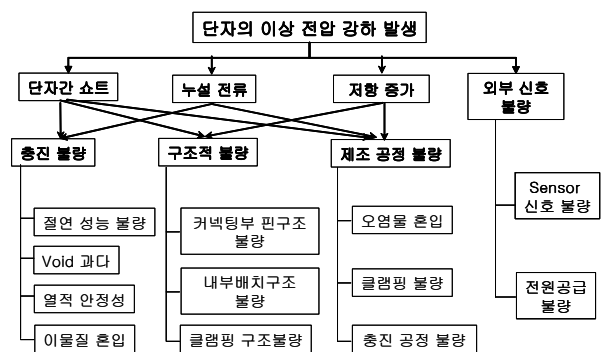


Fig. 4. Logic tree for failure analysis

는 신호가 이상이 발생하는 등의 다양한 원인으로 인해 고장이 발생할 수 있다.

비파괴 검사에서 파괴검사로 검사방법을 바뀌어 가며 각 요인과 고장현상의 관계성 여부를 점검하였다.

### 3.1 단자간 물리적 short

고장원인을 점검하기 위해 우선 커넥터의 내외

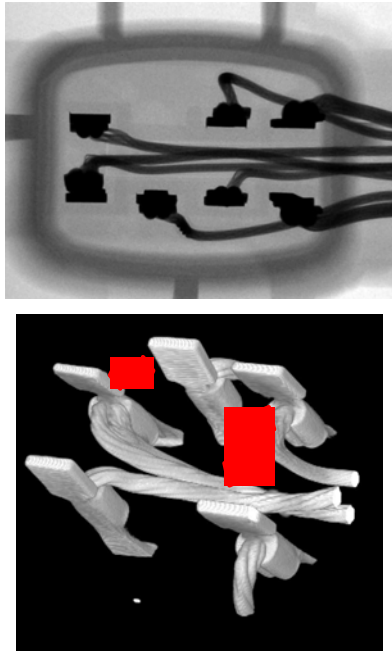


Fig. 5. X-ray CT image of connector

부에 손상을 주지 않고 비파괴 적인 방법으로 고장원인 여부를 파악할 수 있는 X-ray CT 장비를 활용하였다.

관찰된 X-ray 3차원 이미지를 Fig. 5에 나타내었다. 비파괴 검사 결과 단자간 절연거리는 충분한 것으로 보이며 온도 사이클하에서 내전압 테스트(1000V, 30sec인가)를 수행한 결과 역시 이상 없는 것으로 드러났다.

### 3.2. 누설 전류

누설 전류의 유무를 확인하기 위하여 단자간 전압 및 저항을 측정하였다. Fig. 6은 온도 사이클하에서 단자간 전압(GND와 3번 단자)을 측정한 것으로 서로 다른 단자간 전압이 발생했음을 알 수 있다. 그리고 단자간 저항을 멀티미터로 측정한 결과  $\infty \sim$  수M $\Omega$  단위의 절연특성을 보인다. 앞서 측정한 전압과 옴의 법칙을 이용하면 0 ~ 수  $\mu$ A의 누설 전류가 발생하는 것을 계산해 낼 수 있다. 이 정도의 누설 전류라면, 누설전류로 인한 전압 강하의 발생은 어려울 것으로 사료된다. 그러나 향후 커넥터의 신뢰성에 영향을 미칠 여지가 있는 것으로 판단되며 이를 방지하기 위하여 절연특성이 더 뛰어난 충전재를 사용할 것이 추천된다.

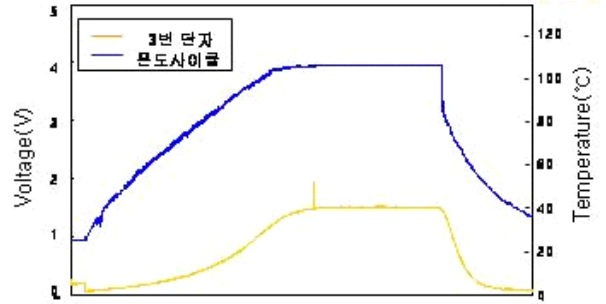


Fig. 6 Voltage changes at 3rd fin during the thermal cycling

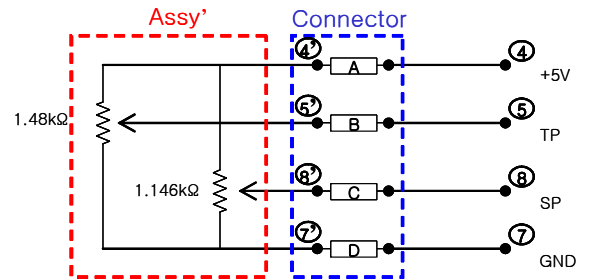


Fig. 7 Wiring diagram for checking the voltage drop

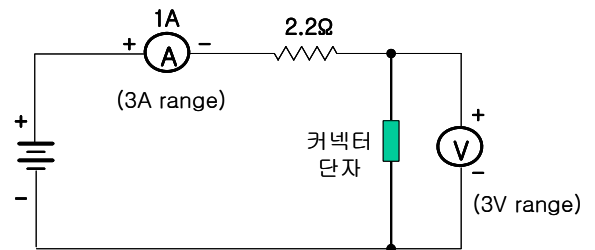


Fig. 8 Schematic diagram for measuring the contact resistance

### 3.3. 저항 증가

#### 3.3.1 단자 저항치와 전압 강하와의 관계

단자에서의 불명확한 저항증가로 인한 전압 강하 여부를 확인하기 위해 접촉 단자에 Fig. 7과 같이 A~D부에 470 $\Omega$ 의 저항을 연결하여 저항치 증가에 따른 전압의 강하를 확인하였다. 이 결과 5,8번 단자의 저항 증가는 전압 강하를 나타내지 않는 반면, 7번 단자에서의 저항 증가는 오히려 전압 상승효과를 가져왔으며 4번, 7번의 저항이 함께 증가할 경우 그 차이만큼의 전압 강하가 발생할 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 전압 강하는 4번 단자의 저항 증가로부터 유발될 수 있음을 알 수 있었다.

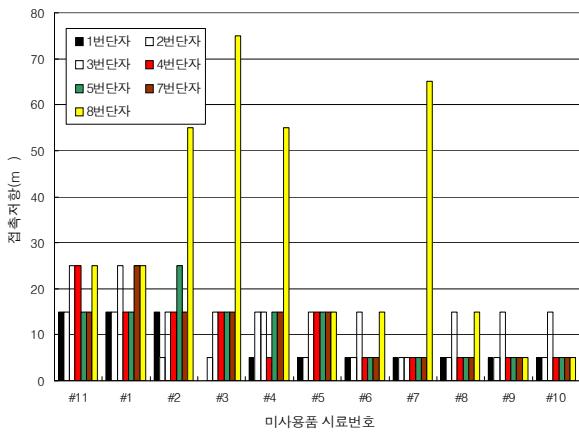


Fig. 9 Contact resistance of unused connectors

### 3.2 제조공정상의 불량(클램핑 불량)

Fig. 9에 간이 접촉저항 측정장치를 이용하여 미사용품 10개에 대한 접촉 저항을 측정한 결과를 나타내었다. 대부분 30mΩ 미만의 양호한 접촉저항을 보이고 있으나 일부 단자에서 50mΩ 이상의 접촉저항을 보이는 제품도 4개나 있음을 알 수 있다.

제품 검사상 온습 사이클링에서 단자의 접촉저항은 10mΩ이하이어야 하나 본 측정장비가 간이적 시험장비임을 고려하여 30mΩ 미만의 제품까지는 양품이라 간주할수 있으나 50mΩ이상의 단자는 양품이라 간주하기 어렵다. 이와 같은 클램핑 불량은 일반적으로 작업공정 자체의 문제이거나 치구가 마모되거나 변형되었을 경우 발생되기 쉽다. 따라서 제조공정에서 클램핑 기구 및 작업 환경에 대한 철저한 관리가 필요할 것이라 생각된다.

### 3.3.3 제조공정상의 불량(충진 불량)

제품상태의 핀에서 접촉저항이 변화될 수 있는 요인 중, 다른 하나는 충진과정 불량으로 인하여 충진재 내부에 기포가 형성되거나 함몰되는 것이다. 이러한 충진불량 요인을 살펴보기 위하여 커넥터의 외피를 제거하고 내부 충진재부만을 살펴 보았다. Fig. 10에서 알 수 있듯이 고장품의 경우, 다수의 void와 이로 인한 충진재의 함몰 부위가 존재함을 볼 수 있다.

이러한 불량은 차량운행에 따라 커넥터가 가열 및 냉각되며 수축과 팽창되게 될때 접촉 상태가 불량한 단자부의 Wire에 과도한 기계적 인장 및

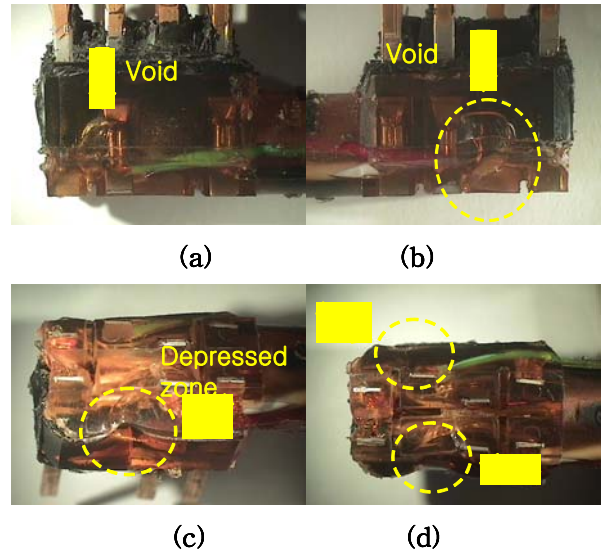


Fig.10 Voids and Depressed zones in connectors

압축응력을 부가하게 되어 단자부 접촉성능 열화를 가속시킬 것으로 우려된다.

### 3.3.4 환경스트레스(몰딩재의 반복적 수축팽창)

커넥터는 결합부의 방습과 형상유지를 위하여 케이스 내부를 몰딩재우는 형태로 제조된다. 따라서 외부의 주기적인 영향속에서 몰딩재와 금속재는 서로다른 팽창율을 가지고 팽창과 수축을 반복하게 된다. 이때 금속재와 몰딩재의 팽창율이 과도하게 차이가 날 경우, 클램핑 불량이나 충전불량이 없더라도 쉽게 접촉성능이 열화되어 버리게 된다. 몰딩재의 반복적 수축팽창으로 인한 영향을 평가하기 위하여 열 충격 시험을 다음과 같은 조건으로 70cycle 실시하였다.

$$+140^{\circ}\text{C} / 40\text{분} \leftrightarrow -40^{\circ}\text{C} / 20\text{분}$$

열충격 사이클 시험에 따른 단자간 접촉저항의 변화를 Fig.11에 나타내었다. 그림에서 미사용품의 초기 접촉저항 불량이 5%정도인 반면, 열충격시험 후에는 44%로 증가하는 것을 볼 수 있다. 이러한 단자부의 저항치 증가는 단자부의 출력전압을 저하시키는 원인이 된다. 그러므로 커넥터에 부가되는 반복적인 온도변화로 인한 커넥터 내부 몰딩재의 수축팽창 스트레스도 커넥터의 전압강하의 주 요인이라 간주할 수 있을 것이라 생각된다.

또한 Fig. 12에 보여진 바처럼 “ㄱ”자로 꺾여진 현재의 조립방식도 접촉성능의 열화를 유발하고 있는 것으로 판단된다. 커넥터 내부의 단자 배치 구조와 단자 절연 몰딩재의 영향으로 인하여 반복 열 스트레스하에서 몰딩재의 팽창으로 발생하는 기계적응력은 Wire에 가해져 단자부에 체결된 Wire를 당기게 되며 클램핑부의 접촉저항 변화를 야기시킨다. 커넥터를 설계함에 있어 열팽창 수축에 의한 내부에 발생하는 기계적응력은 필연적인 것이다. 따라서 설계시에는 이러한 기계적 응력의 영향을 직접적으로 받지 않도록 구조를 배치해야하며 열변형 역시 최소화시키게 하기 위한 노력이 필요하다. 그러나 현재의 배치구조는 몰

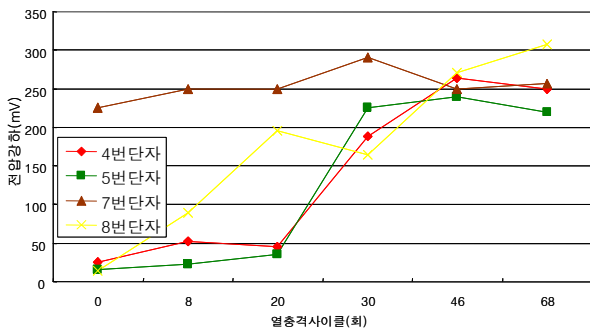


Fig. 11 Voltage drops during the thermal cycling test

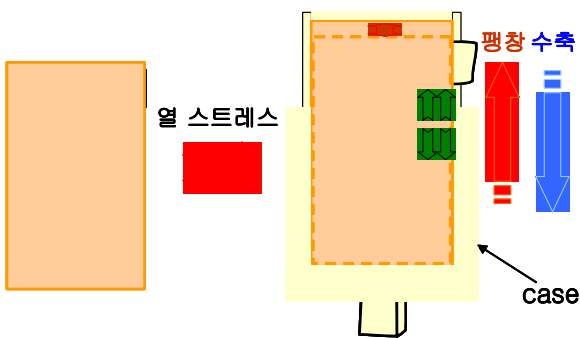


Fig. 12 Thermal behavior of connector caused by thermal stress

딩재의 팽창, 수축에 의한 기계적 응력이 단자부에 직접적으로 전달되게 설계되어있어 취약한 것으로 여겨진다. 따라서 단자와 배선부의 구조 개선이 시급하다고 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 자동차 스톱타바디 신호전달용

커넥터에서 발생하는 이상전압강하 현상의 원인을 규명하고자 하였다. 이를 위하여 고장요인도를 작성하고 각각의 예상고장 요인들을 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 비파괴 검사와 누설전류 검사를 통하여 본 커넥터에서는 이상 전압강하 현상을 유발할 수 있는 단자간의 물리적 단락이나 이상 누설전류는 발견되지 않았다.

2. 단자 저항치와 전압강하와의 관계분석을 통하여 이상전압강하 현상이 단자의 저항증가로 인해 발생된 것으로 판명되었다.

3. 열충격 사이클 시험 결과, 단자의 저항이 증가되는 요인은 팽창계수가 서로 다른 몰딩재와 금속재가 계속되는 열 사이클링에 따른 수축팽창되며 클램핑부 접촉성능 열화되기 때문이라 사료된다.

4. 이상전압강하 현상은 초기 클램핑이 불량하고 충전불량으로 접촉성능의 열화가 크게 촉진될 수 있는 형태로 제조된 커넥터에 온도변화에 따라 클램핑 부에 기계적응력이 인가되고, 이로 인해 접촉저항이 증가됨으로서 단자별 전압변동현상이 발생되어 고장현상에 이르게 되는 것으로 밝혀졌다.

5. 따라서 커넥터의 불량감소를 위해서는 초기 품질개선 보다는 반복 열응력에 취약한 현재 커넥터 핀 조립구조의 개선이 가장 시급하다. 또한, 미 사용품에서도 접촉저항이 과다한 단자(50mΩ 이상)가 존재하므로 클램핑 및 충전 공정의 엄격한 관리가 요구된다.

#### 후 기

본 연구는 과학기술부 특정연구개발과제“전자 부품신뢰성 설계기술 개발사업[2004-04396]”의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- (1) G. Bolger, "The selection of automotive connectors," Senior thesis, Coventry Univ., U.K., 1997.
- (2) J. Swingler and J. W. McBride, "The synergistic relationship of stresses in the automotive connector," in *Proc. 19th Int. Conf.*

*Electric Contact Phenom.*, Nuremburg, Germany, 1998, pp. 141-145

(3) I. O. Wallinder and P. Eriksson, "Characterization of the corrosivity of an automotive environment," in *Proc. 19th Int. Conf. Electric Contact Phenom.*, Nuremburg, Germany, 1998, pp. 157-161.

(4) W. H. Abbott, "Time distribution of intermittents versus contact resistance for tin-tin connector interfaces during low amplitude motion," *IEEE Trans. Comp., Hybrids, Manufact. Technol.*, vol. CHMT-7, pp. 107-111, Jan. 1984.

(5) S. R. Murrel and S. L. McCarthy, "Intermittence detection in fretting corrosion studies of electrical contacts," in *Proc. IEEE 43rd Hom Conf. Electrical Contacts*, 1997, pp. 1-6.

(6) J. Swingler, "Degradation of electrical contacts under low frequency fretting conditions," Ph.D. dissertation, Loughborough Univ., U.K., 1994.

(7) W. H. Abbott, "Materials, environment, motion and electrical contacts," in *Proc. IEEE Conf. Electrical Contacts*, 1989, pp. 3-11.

(8) W. Abbott, "Effects of test procedures and sequences on the performance of tin-plated connectors," in *Proc. IEEE 39th Holm Conf. Electrical Contacts*, 1993, pp. 191-204.

(9) R. D. Maucci, "Accelerated testing of tin plated copper alloy contacts," in *Proc. IEEE Holm Conf. Electrical Contacts*, 1997, pp. 138-151.

(10) R. S. Mroczkowski, "Concerning reliability modeling of connectors," in *Proc. IEEE Holm Conf. Electrical Contacts*, 1998, pp. 57-68.

(11) R. S. Mroczkowski, "Concerning estimating connector reliability: Laboratory simulations and reliability modeling," in *19th Int. Conf. Electric Contact Phenom.*, Nuremburg, Germany, 1998, pp. 135-159.