

자동차용 전자부품의 신뢰성 평가 기법

A Methodology for Reliability Assessment of Automotive Electronic Components

*이해진¹, 이정윤², #오재응³

*H. J. Lee¹, J. Y. Lee², #J. E. Oh(jeoh@hanyang.ac.kr)³

¹ 한양대학교 대학원 기계공학과, ² 경기대 기계시스템디자인공학과, ³ 한양대학교 기계공학부

Key words : Reliability, Physics of failure, Virtual qualification, Failure mechanism, Accelerated life test

1. 서론

자동차의 편의성과 안정성을 위해 자동차에 전기, 전자 및 정보통신 기술이 융합된 전자부품의 채용이 급격히 가속화 되고 있다. 그러나 이런 전자부품들의 양적 증가와 함께 새로 개발되는 부품들에 지금까지 크게 문제되지 않았던 기계적인 신뢰성 문제들이 많이 발생하고 있다.¹⁾ 이는 여타 가전제품 등에 비해 가혹한 환경 조건에서 사용되는 자동차 전자부품으로서의 신뢰성 검증 기술의 부재에 기인한다. 이에 최근에 시뮬레이션 기법을 이용하여 빠른 시간 내에 제품의 신뢰성을 평가하고 소재나 설계 변경에 빠르게 대처함으로써 제품 개발 기간의 단축 및 비용을 절감할 수 있는 Virtual Qualification 에 관한 연구의 필요성이 인식되고 있다.

2. 고장 메커니즘

부품의 Modal Testing 을 통해 얻어진 모드매개변수들을 특성치로 선정하고, 실험계획법을 이용하여 대상 전자부품의 검증된 유한요소모델을 구현하였다. 시뮬레이션을 통해 Front PCB 와 Main PCB 를 연결하는 커넥터의 솔더 접합부가 취약부위로 예상되었으며(Fig. 1-(a)), 초가속수명 시험(HALT) 결과에서도 Fig. 1-(b) 와 같이 예상 커넥터가 분리되는 현상이 발생하였다.

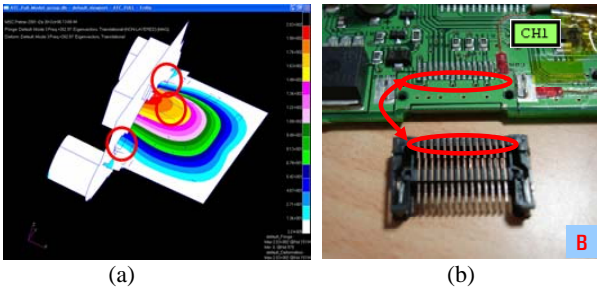


Fig. 1 (a) Weakness points (b) Result of HALT

따라서, 고장 메커니즘은 진동에 의한 PCB 기판의 굽힘 변형으로 반복 하중을 받는 커넥터 솔더 접합부의 피로 파손으로 규명되었다.

3. 실차 주행 시험을 통한 하중 이력 측정

규명된 취약 부위에 센서(stain gages, thermal couples, and accelerometers)를 부착하고, 특수로 주행 시험과 국내 도로 주행 시험을 통해 실제 부품의 하중이력을 측정하였다.

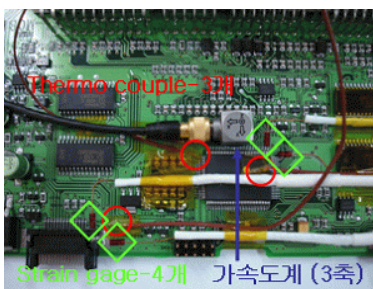
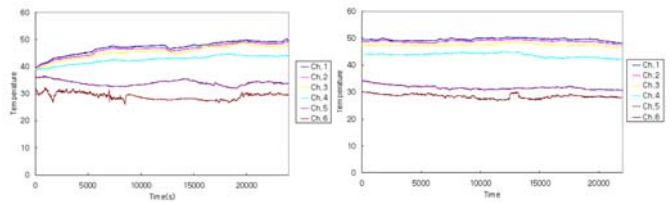


Fig. 2 Location of sensors

Fig. 3 은 국내 시내도로 주행과 고속도로 주행 시의 온

도 측정 결과를 나타내고 있다. 차량 주행 중 장치 내부에 부착된 센서(Ch.1 ~ Ch.3)의 온도 차이는 거의 없었으며, 플라스틱 케이스(Ch.4)와는 약 2~3℃ 정도의 차이가 발생하였다. 내부 온도가 차량의 운전 조건에 따라 온도가 거의 변화하지 않는 것은 대상 부품의 장착 위치가 엔진 열이나 외기의 온도에 영향을 덜 받는 인스트루먼트 판넬 내부에 위치하기 때문이다.



(a) City driving (b) Highway driving
Fig. 3 Temperature profile

변형률은 차량의 진동으로 인해 PCB 의 굽힘 변형에 의한 것으로 가속도 측정 결과와 유사한 경향을 보이고 있다. 즉, 도로의 가혹도가 클수록, 차량의 속도가 빠를수록 변형률은 크게 나타났으며 Main PCB 위에 붙인 4 개의 스트레인 게이지 중 1 번 채널에서 가장 크게 나타났다. 이것은 앞에서 규명한 취약 부위인 커넥터의 결합부에서 가장 큰 변형이 일어나며, 특히 상하 방향으로 더 큰 변형이 일어난다는 것을 나타낸다.

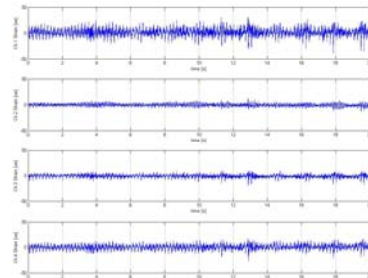


Fig. 4 Deformation history

4. 데미지 해석 및 수명 평가

열 응력 해석에 실차 주행 시험으로부터 얻은 내부 평균 온도 50℃를 경계조건으로 사용함으로써 Fig. 5 와 같은 해석 결과를 얻었다. 해석 결과, 열팽창 계수의 차가 급격하게 변하는 지점인 솔더 접합부의 끝에서 가장 큰 68.7 MPa 의 잔류 평균 응력이 존재하였다.

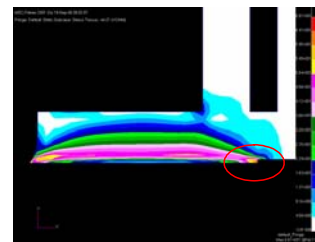
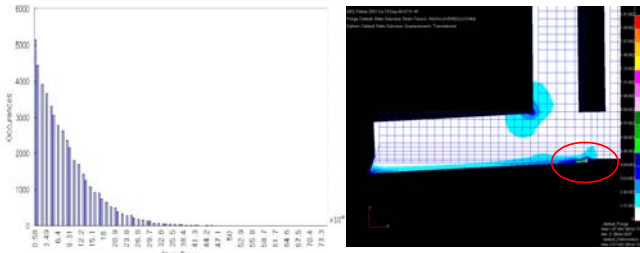


Fig. 5 Thermo-mechanical stress analysis

진동 응력 해석을 수행하기 위해 커넥터 솔더 접합부에 부착한 스트레인 게이지에서 얻은 하중이력을 사이클 카운

팅을 통해 변형률 구간 당 작용 횟수로 산정하여 히스토그램으로 나타내었으며(Fig. 6-(a)), PCB의 변형률을 유한요소모델에서 curvature로 재현하여 솔더 접합부의 스트레인 값을 구하였다.



(a) Strain range distribution (b) Solder joint strain
Fig. 6 Vibration strain analysis

온도의 영향을 고려한 진동 환경 조건에서의 솔더 접합부의 피로 수명은 다음의 Modified Coffin-Manson model (1)과 Palmgren-Miner's hypothesis (2)을 이용하여 예측할 수 있다.

$$\Delta \epsilon / 2 = ((\sigma_f' - \sigma_0) / E)(2N_f)^b + \epsilon_f (2N_f)^c \quad (1)$$

$$D_v = \sum \frac{n_i}{N_{fi}}, \quad N_v = \frac{1}{D_v} \quad (2)$$

솔더 접합부의 변형률 구간 당 연산된 데미지의 히스토그램을 Fig. 7에 나타내었다.

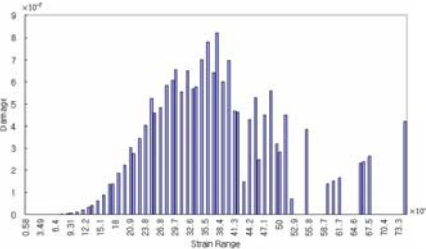


Fig. 7 Damage as a function of strain range

Fig. 8은 진동 하중에 따른 취약 부위 솔더 접합부의 피로 수명을 나타낸 것이다. 또한 부품의 열 하중에 의한 잔류 평균 응력을 고려하지 않았을 경우 피로 수명이 어떻게 변하는지 함께 나타내었다.

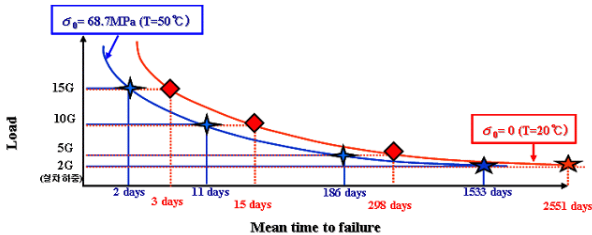


Fig. 8 Load-life curve(Virtual Qualification)

4. 가속수명시험

Fig. 8과 같이 예측된 Virtual Qualification에 의한 하중-수명 곡선을 검증하기 위해 가속수명시험을 수행하였다. 취약부위로 규명된 Main PCB와 Front PCB의 커넥터에 동일 고장 메커니즘에 의한 고장이 발생할 때까지 가속수명시험을 수행하였다. 실차 주행 시험 중 플라스틱 케이스에서의 측정 온도인 45°C로 주위 온도가 유지되도록 열하중을 인가하였다. 진동 프로파일은 각 도로별 특성을 나타낼 수 있도록 특수도로와 국내 도로 주행 시험에서 측정된 가속도 값을 평균하여 PSD(Power Spectral Density) 선도를 산출하였다. 또한 가속수명시험 중 대상 부품의 작동 상태를 확인하기 위해 차량의 전원과 같은 DC 12V로 전원을 인가

하였으며, 시험 중 연결부위의 단락 시점을 정확히 모니터링 하기 위해 다음과 같이 노트북과 데이터수집 장치를 설치하였다. 가속수명시험 결과 B 커넥터에 대한 전압의 변화가 다음과 같이 나타났다.



Fig. 9 Failure monitoring system

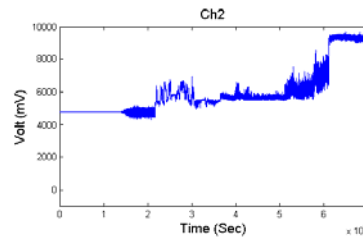


Fig. 10 Voltage signature

B 커넥터에 대한 측정점을 모니터링 한 결과 초기 전압 값인 5V에서 약 61000초의 시간이 경과한 후 9V로 급격히 전압값이 증가하는 현상이 나타났다. 이에 시험을 중단하고 시험기 안의 시료를 확인한 결과, 공조제어장치의 LCD 화면이 꺼져있었으며 B 커넥터가 Main PCB에서 분리되어 있었다. 이는 앞서 수행했던 초가속수명시험과 유한요소해석에 의한 고장메커니즘과 일치하며, Fig. 8의 VQ에 의해 예측된 수명값이 가속시험수명시험 결과값과 매우 근사함을 알 수 있다. 또한 가속수명시험을 통한 10Grms의 수명값을 통해 VQ 곡선의 경향을 따라 Fig. 11에서와 같이 가속수명시험에 의한 하중-수명 곡선(ALT Curve)을 추정할 수 있으며 이는 다음과 같다.

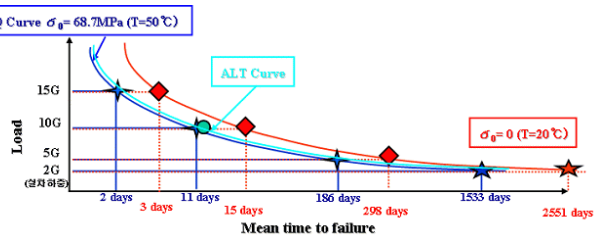


Fig. 11 Modified Load-Life curve

5. 결론

본 논문에서는 자동차용 전장 부품을 대상으로 Virtual Qualification을 적용하여 고장 메커니즘을 규명하였으며, 열과 진동의 복합 하중 하에서 취약부위의 수명을 예측하였고, 이의 타당성을 가속수명시험으로 검증했다.

참고문헌

1. James McLeish, Sanjay Tiku, Michael Pecht, "Risk Factors in Automotive Electronics Compared to Other Electronics Industries," CALCE EPSC, University of Maryland.
2. Upadhyayula, Kumar, and Abhjit Dasgupta, "An Incremental Damage Superposition Approach for Reliability of Electronic Interconnects Under Combined Acceleration Stresses," Presented at the ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition, Dallas, Texas, Nov., 97-WA/EEP-13, 1997.