

자동차용 전자부품의 유한요소 해석을 통한 고장메커니즘 분석

Through finite element analysis failure mechanism analysis of electronic parts

김태환* · 정재은* · 양인형* · 이정윤** 오재웅†

Tae-Hwan Kim, Jae-Eun Jung, In-Hyung Yang, Jung-Yoon Lee and Jae-Eung Oh

1. 서론

자동차의 편의성과 안정성을 위해 자동차에 전기, 전자 및 정보통신 기술이 융합된 전자부품의 채용이 가속화 되고 있다. 그러나 이런 전자부품들의 양적 증가와 함께 새로 개발되는 부품들에 지금까지 크게 문제되지 않았던 기계적인 신뢰성 문제들이 많이 발생하고 있다. 이에 최근에 빠른 시간 내에 제품의 신뢰성을 평가하고 소재나 설계 변경에 빠르게 대처함으로써 제품의 개발 기간의 단축 및 비용을 절감할 수 있는 시뮬레이션 기법에 대한 연구의 필요성이 인식되고 있다.

이에 이번 연구에서는 유한요소 모델을 통해 랜덤/하모닉의 가진조건을 적용하여 자동차용 공조제어 장치의 고장 메커니즘을 규명한다.

2. 랜덤/하모닉 진동해석

2.1 하모닉 진동 해석

직선로 주행 시험을 유한요소 모델을 통해 재현 해석하기 위해 0~1000Hz 까지 5Hz 간격으로 Base excitation 조건을 입력하여 하모닉 해석을 수행하였다. 그 결과 직선로 시험 중 가속도계가 부착된 위치 node no. 37178 에서의 z 방향 주파수별 가속도값의 결과 Fig. 2 에서 보듯이 280Hz 에서 피크를 보이며 이는 직선로 주행 시험의 285.5Hz 와 0.02%의 오차를 가지며 해석되었다.

2.2 랜덤 진동 해석

유한요소 모델의 PSD 해석에서는 Fig. 3 에서 보듯이 빨래판로 60km/h 주행 시 Main PCB 를 고정하는 case 에서 측정된 PSD 를 case 에 의해 경계조건으로 지정된 노드의 z(상하)방향으로 입력하였다.

Fig. 4,5 의 결과를 보면 PSD 해석 결과 가속도

계가 부착된 위치의 노드(no. 37178)에서 z 방향 가속도 값이 16.06 m/s^2 로 실차 시험을 통해 얻은 가속도 값의 15.82 m/s^2 와 오차율 1.5%의 차이를 보였으며, 변형률 또한 스트레인 게이지가 부착된 위치의 요소(no. 42211)에서의 변형률 값이 $6.68 \mu\epsilon$ 으로 시험에서 얻은 $6.74 \mu\epsilon$ 과 오차율 0.9%의 차이를 보였다.

이때 요소(no. 42211)의 크기는 스트레인 게이지 크기와 같도록 모델링 하였으며, 요소의 변형률 값은 Fig. 6 에서와 같이 해당 요소의 4 개의 가우시안 점에서의 x 방향 변형률 값들의 합으로 계산하였다.

3. 고장 메커니즘 분석

유한요소 모델에 Fig. 7 과 같이 초가속수명시험에서의 10~5000Hz, total 50Grms 의 랜덤 진동을 인가하였다. 방법은 앞서와 마찬가지로 case 에 의해 경계조건으로 지정된 노드의 z(상하)방향으로 입력하였다.

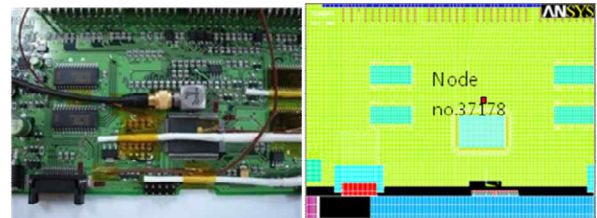


Fig.1 Attached accelerometer on the Main PCB

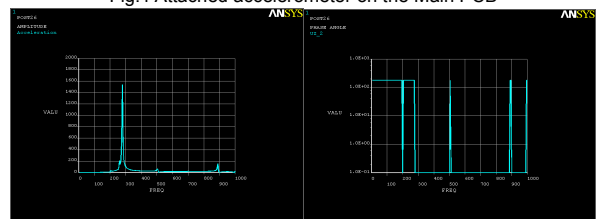


Fig.2 Acceleration responses at node no. 37178

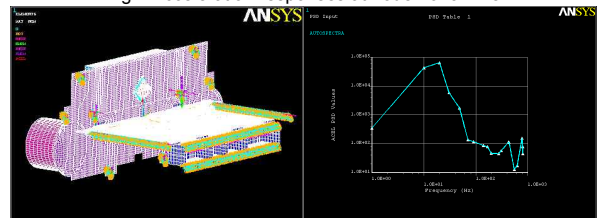


Fig.3 Vibration excitation profile for washboard road test (v=60km/h)

† 오재웅; 한양대학교 기계공학부
E-mail : jeoh@hanyang.ac.kr
Tel : (02) 2294-8294, Fax : (02) 2299-3153
* 한양대학교 대학원 기계공학과
** 경기대학교 기계공학부

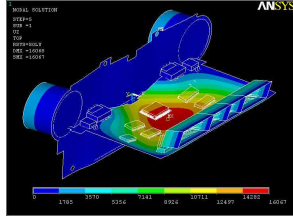


Fig.4 Contour plot of the 1σ accelerations

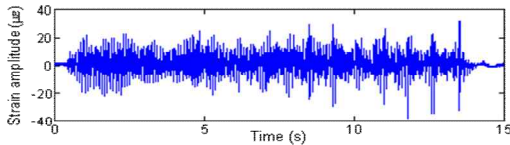


Fig.5 Measured strain signal of the main PCB during washboard road driving test ($v=60\text{km/h}$)

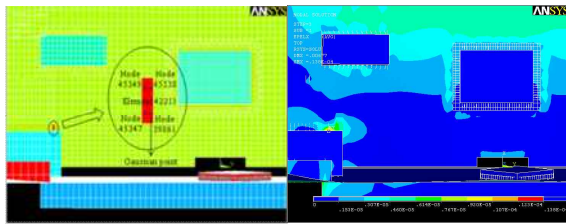


Fig.6 Gaussian points for element strain and contour plot of the nodal solution

해석결과 Fig. 8 에서와 같이 Front PCB 와 Main PCB 를 연결하는 커넥터의 리드 중 가장 안쪽에 위치한 리드(14 번)와 PCB 와의 접합부에서 최대 응력이 발생하였다. 그러므로 고장 메커니즘은 진동 하중에 의한 Main PCB 의 굽힘 변형으로 인한 커넥터 솔더 조인트의 피로파괴임이 규명되었으며 14 번 리드에서 1 번 리드 방향으로 단락이 진행되었음을 알 수 있다.

변형률 또한 스트레인 게이지가 부착된 위치의 요소 (no. 42211)에서의 변형률 값이 $51.8593 \mu\epsilon$ 으로 초가속 수명시험에서 얻은 $51.5968 \mu\epsilon$ 과 오차율 0.5%의 차이를 보였다.

4. 결 론

실차 주행시험 중 하중 이력의 측정결과 주요 도로별 가속도, 변형률 값은 다음표와 같으며 빨래판로를 60km/h 로 주행시 가속도 값은 $\text{Max. amp}=61.1 \text{ m/s}^2$, $\text{RMS}=6.3 \text{ m/s}^2$, 변형률 값은 $\text{Max. amp}=39.2 \mu\epsilon$, $\text{RMS}=6.91 \mu\epsilon$ 로 가장 크게 측정되었다.

초가속수명시험 결과 고장 모드(failure mode)는 Front PCB 와 Main PCB 를 연결하는 커넥터의 접

합부(soldering site)의 파손으로 규명되었다.

유한요소의 해석결과 취약부위는 커넥터와 Main PCB 의 솔더링부위로 초가속 수명시험의 고장부위와 일치하였으며, 고장 메커니즘(failure mechanism)은 진동 하중에 의한 Main PCB 기판의 굽힘변형으로 인한 Main PCB 에 표면 실장된 커넥터 솔더 조인트의 피로파괴임이 규명되었다.

직선로 주행시험을 재현한 harmonic 해석에서 Main PCB 의 공진점은 280Hz 로 직선로 주행시험의 결과(285.5Hz)와 0.02%의 오차를 보였다.

PSD 해석 결과 다음과 같이 시험으로부터 얻은 가속도, 변형률 값과 작은 오차의 결과값을 얻었다.

Table 1 Comparison of the results for Test and FEA

Mode	Input	Object	Test result	FEA result	Error(%)
Washboard 60km/h	0-800Hz	1σ acceleration	15.8235 m/s^2	16.0670 m/s^2	1.5
	PSD	1σ strain	$6.7380 \mu\epsilon$	$6.6848 \mu\epsilon$	0.9
HALT	10-5000Hz Total 50Grms	1σ strain	$51.5968 \mu\epsilon$	$51.8593 \mu\epsilon$	0.5

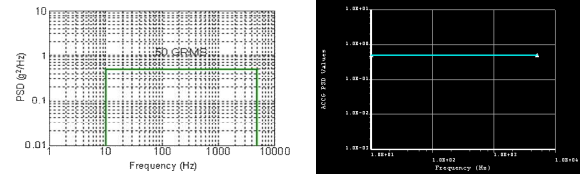


Fig.7 Vibration excitation profile used in FEA simulation (HALT)

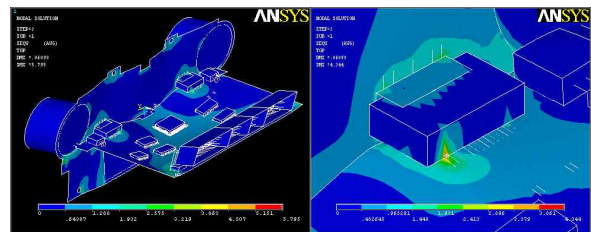


Fig.8 The Von Mises stress distributions

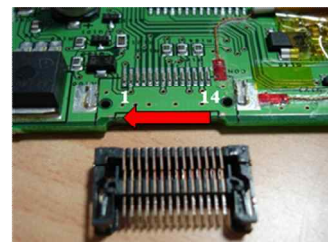


Fig.9 Failure mechanism of the ATC