

초가속수명시험(HALT) 및 고장분석을 이용한 실장기관의 신뢰성 향상방안

송병석, *조재립

전자부품연 신뢰성평가센터

*경희대학교 산업공학과

PCB Reliability Improvement Through HALT Test and Failure Analysis

Byeong-Suk Song, *Jai-Rip Cho

Reliability & Failure Analysis Center, KETI,

**Dept. of Industrial Engineering, Kyung-Hee University*

ABSTRACT

HALT (Highly Accelerated Life Test) was performed to improve the reliability by removing the potential failure for newly developing PCB used for the vibration condition from 20Hz to 200Hz. During HALT, it is found that the lead of Al

electrolytic capacitor of SMD type is detached from PCB. As the result for the failure analysis and FEM(Finite Element Method), it is clarified that the root cause for this failure is the improper attachment of an Al electrolytic capacitor on PCB by the mistake of a PCB design. HALT was performed in previous condition to verify the failure analysis after molding an epoxy resin to overcome the PCB design mistake and it is not observed the same failure. Therefore, it is assumed that the same failure in field will be not occurred by the proper implementation.

1. 서 론

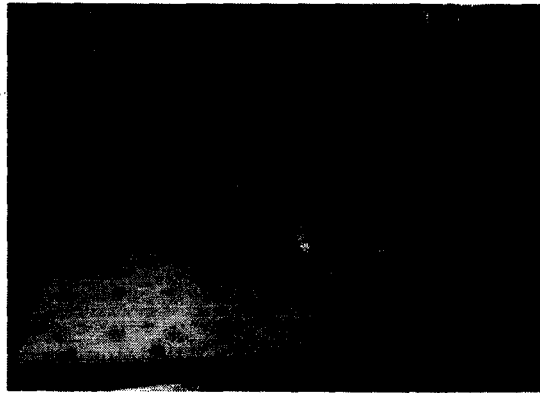
신뢰성은 "기기, 부품, 재료 등 시스템이 규정된 조건하에서, 의도하는 기간동안 규정된 기능을 고장 없이 수행할 수 있는 성질"로 규정된다. 이러한 정의를 바탕으로 한 높은 신뢰성을 확보하기 위한 제품의 신뢰성 시험은 많은 시간과 비용이 소모되기 때문에 현대의 빠른 시장 흐름에 따라가지 못하고 있는 것도 현실이다. 또한 Gregg K. Hobbs 박사에 의해 제안된 초가속 시험(HALT)이 각광을 받고 있는 이유도 여기에 있다. 초가속 시험(HALT)은 제품 설계 단계에서의 가속 시험으로써 강건한 설계를 하기 위해 소수의 샘플 시료를 사용하여 빠른 시간내에 설계 및 제조 공정의 약점을 찾아 낼 수 있다[1, 2]. 이러한 결과를 도출하기 위해, 제품의 사용 조건보다 가혹한 스트레스를 계단형으로 인가하며 필드 환경을 모의실험할 필요는 없다. 이 실험은 고장 모드와 메커니즘을 발견하는 것으로 충분하며, 사용된 스트레스와 필드 환경과의 관계는 고려되지 않는다[3].

본 연구에서는 양산 전, 에어컨 컨트롤러에 사용되는 보드 신제품에 대한 신뢰성 확보의 방안으로 초가속 시험(HALT)을 시행하였다. 시제품의 작동한계를 온도, 진동, 열충격, 복합진동으로 확인한 후 고장현상을 파악하고 이에 대한 적절한 분석을 통해 대안을 제시함으로써 예측되는 고장현상을 줄여 보드의 신뢰성을 높이고자 하였다.

2. 초가속 시험(HALT)

2.1 시험 절차

초가속 시험에 사용된 장비는 UHS-1400T / ACS (ITALY) 로써 장비 내부에 <그림 1>과 같이 시험용 보드를 장착하였다. 또한 보드의 고장 유무를 확인하기 위해, <그림 2>와 같이 장비 외부에서 팬의 동작 유무와 각 기능 버튼별 동작 유무를 관찰하였다.



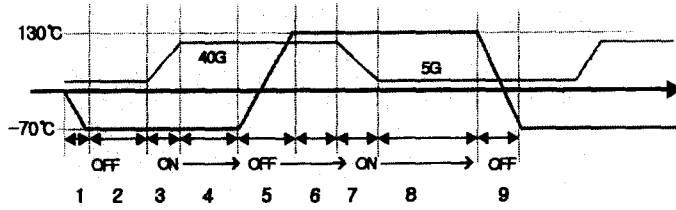
<그림 1> 시험 보드의 셋팅



< 그림 2 > 시험 보드의 측정

초가속 시험(HALT)의 동작 한계를 도출하기 위해, 저온스텝, 고온 스텝, 진동 스텝, 열 충격 등을 시행하였으며, 각각의 도출된 한계값을 결합한 조건으로 <그림 3>과 같이 초가속 시험(HALT)을 시행하였다.





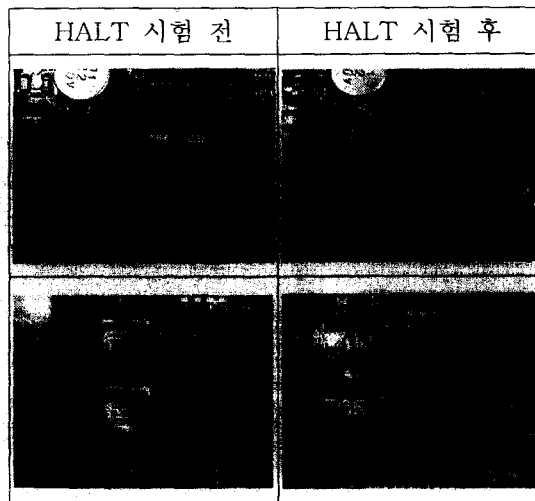
1. Ramp Rate 40°C/min	6. Dwell 6minutes
2. Dwell 6minutes	7. Ramp Rate 8.3G/min
3. Ramp Rate 8.3G/min	8. Dwell 6minutes
4. Dwell 6minutes	9. Ramp Rate 40°C/min
5. Ramp Rate 40°C/min	

< 그림 3 > 초가속 시험(HALT)

3. 고장 분석

3.1 고장 현황

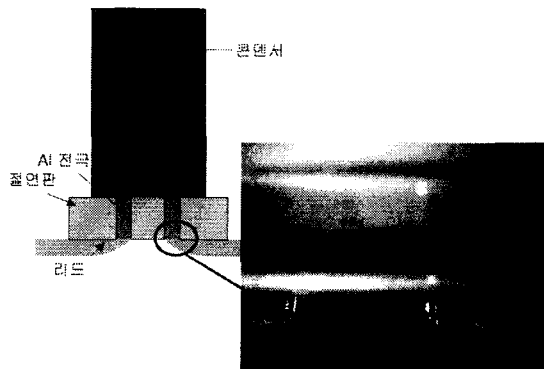
<그림 4>와 같이, 에어컨 컨트롤러에 사용되는 보드 신제품에 대한 초가속 시험(HALT)을 진행 도중 네 번째 사이클에서 보드 내 실장 부품인 AI 전해 콘덴서 리드의 단선이 발생되어 보드의 전원이 꺼지는 현상이 나타났다.



<그림 4> 초가속 시험(HALT) 시험 전, 후의 보드 내 AI 전해 콘덴서

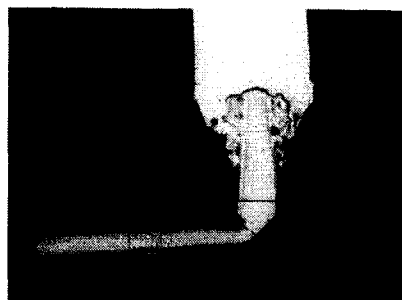
3.2 양품 AI 전해 콘덴서 구조 및 단면 분석

리드 단선이 일어난 AI 전해 콘덴서를 분석하기 위해 보드 내 실장된 양품 AI 전해 콘덴서의 구조 및 단면 분석을 시행하였다. 일반적인 AI 전해 콘덴서와는 달리 실장된 전해 콘덴서의 리드 부분 구조는 <그림 5>와 같이 리드 중앙에 절열판을 넣고 리드를 굽혀 보드에 표면 실장한 형태인 것을 알 수 있다. 또한 광학 현미경 분석 결과 굽혀진 리드 부위가 다른 부위에 비해 두께가 얇은 것도 알 수 있었다.

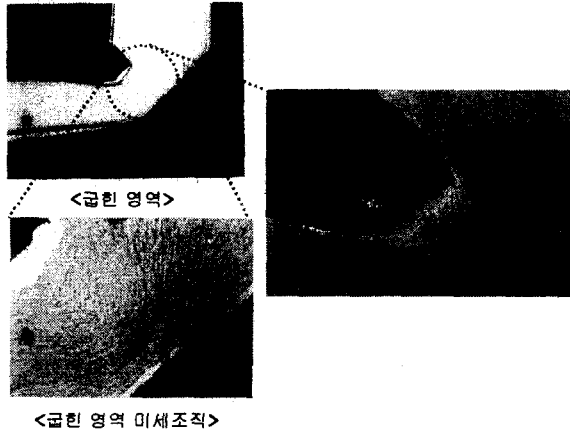


<그림 5> 양품 AI 전해 콘덴서의 구조

AI 전해 콘덴서에서 리드 부위를 분리한 후, 리드 부분을 연마하여, AI 전해 콘덴서의 굽혀진 리드 부위의 단면 관찰과 치수 측정을 시행하였다. 광학 현미경 관찰에서도 나타났듯이 리드 실장 부위의 리드 두께는 0.325mm것에 반해, 굽힘부 두께는 0.240mm로써 얇은 것을 알 수 있다.(<그림 6> 참조) 또한 <그림 7>에서 나타나듯이, 리드 굽힘부 안쪽에 미세 균열을 관찰하였다.

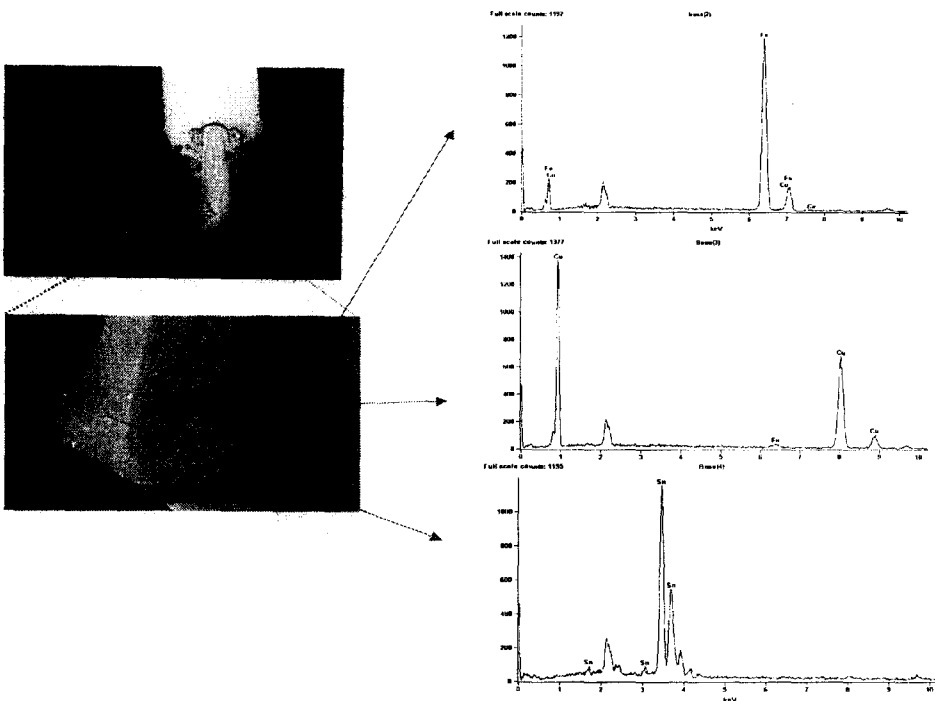


<그림 6> AI 전해 콘덴서 리드 부위 치수



<그림 7> Al 전해 콘덴서 리드 굽힘부 단면

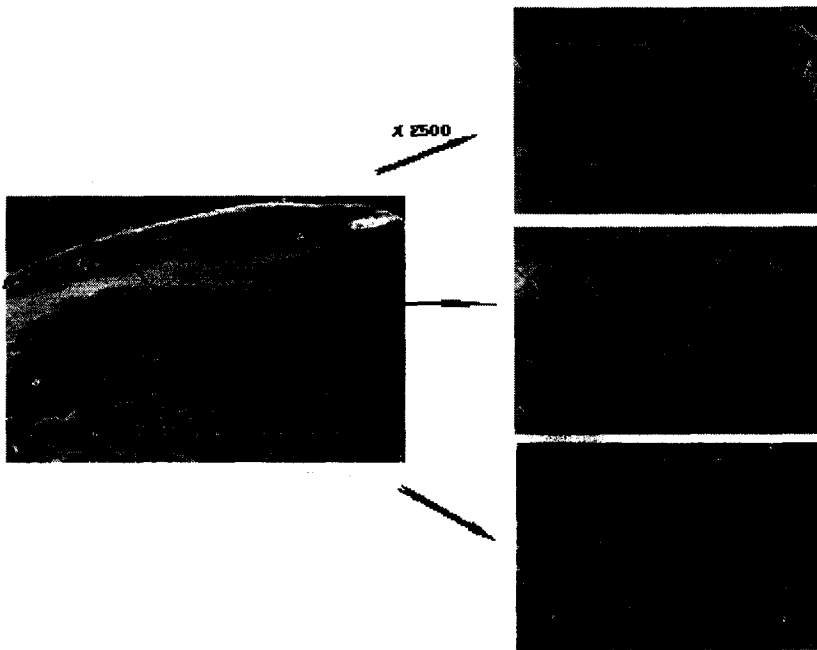
또한 리드의 성분을 알기 위해, EDX 분석을 시행하였으며, <그림 8>과 같이 Fe를 주성분으로 하는 리드 중앙 부위에 Cu과 Sn이 도금되어져 있는 것을 알 수 있다.



<그림 8> Al 전해 콘덴서 리드 성분 분석

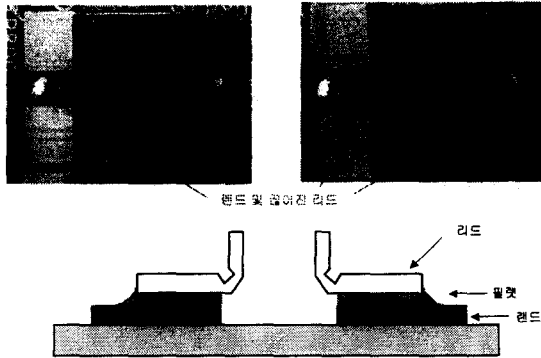
3.3 단선된 AI 전해 콘덴서 분석

단선된 AI 전해 콘덴서 리드 파단면을 주사 전자 현미경(SEM)으로 관찰한 결과, <그림 9>와 같이 리드 안쪽 영역은 크랙이 야기된 부분(<그림 9> B영역)으로 입계 파면, 굽힘부 바깥쪽 영역(<그림 9> A영역)은 취성 파괴인 벽개 파면이 관찰된다. 또한 중심부에서는 일부 연성과 취성 파괴가 혼합된 파면이 관찰됨에 따라 반복적인 스트레스로 인해 파괴가 일어날 땐 초기 균열 부위는 입계 파괴가 일어 나고, 마지막 부위에서는 취성 파괴가 일어난다고 보고 있다.



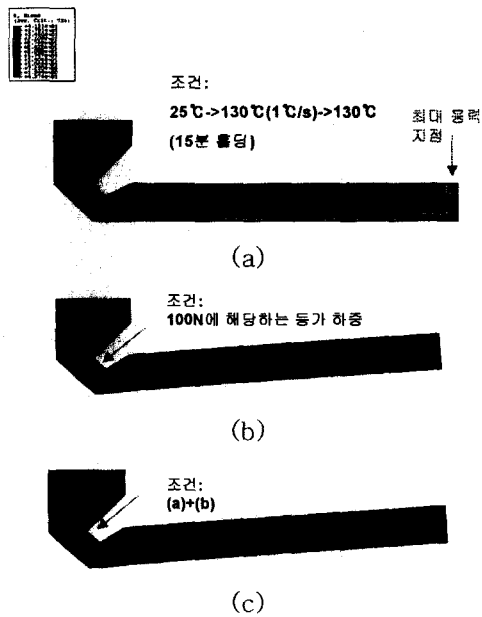
<그림 9> 단선된 AI 전해 콘덴서 리드 파단면

단선된 AI 전해 콘덴서의 실장 상태를 <그림 9>와 같이 분석하였을 때, 솔더링 될 부품 리드면이 기관 랜드면과 일치하지 않는 것을 알 수 있다. 이것은 AI 전해 콘덴서 리드 간격과 기관 패드 간격 불일치로 인해 발생한 것을 알 수 있다. 이러한 불일치로 인해 리드 굽힘부에서 필렛(fillet) 형성이 이루어지지 않았으며, 이로 인해 리드 굽힘부가 취약하게 실장되어 있는 것을 알 수 있다. AI 전해 콘덴서 리드가 기관 랜드에서 벗어나면, 리드 접합부 강도가 정상적으로 필렛이 형성되었을 때보다 감소하고, 균열(Crack)이 야기될 수 있다고 보고 되어 있다.



<그림 10> Al 전해 콘덴서 실장 형태

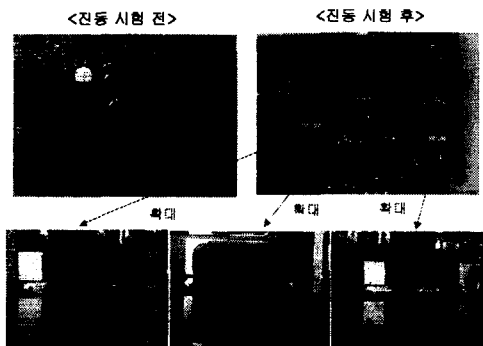
Al 전해 콘덴서 리드 부위를 모델링한 후 열, 진동, 복합 실험 각각에 대해 유한 요소 해석(FEM)한 결과, <그림 11>와 같이 열응력만이 주어지는 환경에서는 최대 응력 집중이 리드의 끝부분에 나타나지만, 진동 또는 열과 진동 복합 실험에서는 리드의 굽힘부(<그림 11> (b), (c)의 화살표)에서 최대 응력이 나타나는 것을 볼 수 있다.



<그림 11> 리드 부위의 유한 요소해석 결과
(a) 열해석, (b) 진동해석, (c) 열과 진동 해석

4. 재현 실험

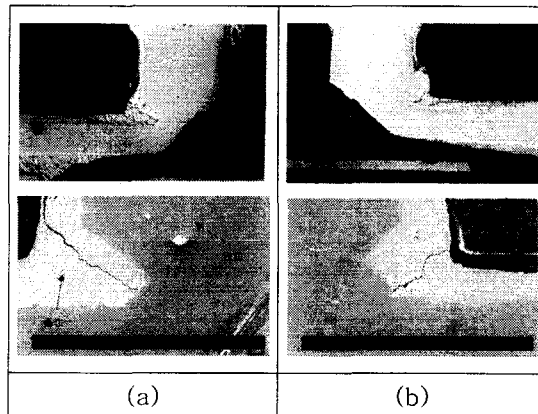
단선된 리드 단면 분석과 유한 요소 해석 결과를 바탕으로 초가속 시험(HALT)에서 열 응력을 배제하고 진동 응력만을 주어 실험을 시행하였다. 진동 응력만을 준 경우에서도 AI 전해 콘덴서 리드의 단선이 일어난 것을 관찰할 수 있다.



<그림 12> 단선된 AI 전해 콘덴서 리드 파단면

<그림 12>에서도 알 수 있듯이, AI 전해 콘덴서가 단선된 기관 부위를 관찰하면, AI 전해 콘덴서 리드 간격과 기관 랜드 간격의 불일치로 인해 리드 굽힘부 안에서 필렛이 형성되지 않은 것을 알 수 있다. 또한 HALT 진동 시험의 네 사이클 도중 단락이 일어나지 않은 콘덴서의 리드에 대해 <그림 13>과 같이 단면 관찰을 한 결과 리드면의 균열을 확인할 수 있었다.

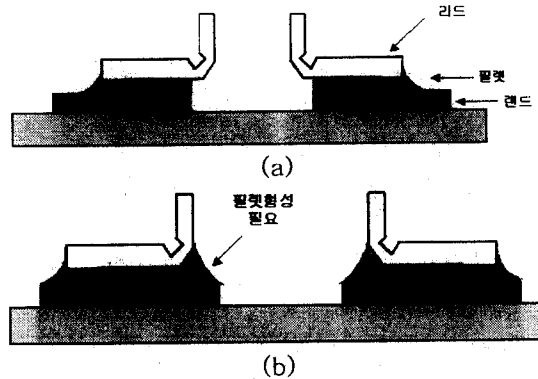
<그림 13>에서 나타나듯이, 균열은 리드의 안쪽 부위에서 시작되고, 바깥쪽으로 진행되는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 <그림 11>의 유한 요소 해석 결과와 일치한다.



<그림 13> (a) 왼쪽 리드 단면, (b) 오른쪽 리드 단면

5. 신뢰성 향상 방안

보드에 대한 신뢰성을 높이기 위한 방안으로 <그림 14>와 같이, AI 전해 콘덴서 리드 굽힘부 안쪽 영역의 응력 집중을 완화시키기 위해 콘덴서 리드 간격에 맞게 PCB 패드의 랜드 부위 설계 변경을 제시하였다.



<그림 15> (a) 현재 콘덴서 리드와 보드 실장 위치, (b) 제안된 콘덴서 리드와 보드 실장 위치.

6. 결 론

양산 전, 에어컨 컨트롤러에 사용되는 보드 신제품에 대한 신뢰성 확보의 방안으로 초고속 시험(HALT)을 시행하였으며, 시험 중 보드 내 실장 부품인 AI 전해 콘덴서 리드의 단선이 발생되었다. 전해 콘덴서 리드 단면 분석을 통해, 리드의 구조, 파단면 및 성분 등을 확인하였으며 유한 요소 해석을 통해 진동 응력이 주요한 원인으로 파악되었다. 진동 응력만이 주어지는 재현 실험에서도 기존과 같은 현상을 볼 수 있었으며, 크랙의 발생도 관찰하였다. 보다 높은 신뢰성을 확보하기 위한 방안으로 AI 전해 콘덴서 리드 굽힘부 안쪽 영역의 응력 집중을 완화시키기 위해 콘덴서 리드 간격에 맞게 PCB 패드의 랜드 부위 설계 변경을 제시하였다.

참 고 문 헌

- [1] G. K. Hobbs(2000), *Accelerated Reliability Engineering, HALT and HASS*, Wiley, New York, 2000.
- [2] G. K. Hobbs(2000), *Mastering HALT and HASS*, Hobbs Engineering Corp.
- [3] Harry W. McLean(2000), *HALT, HASS, and HASA Explained*, ASQ Quality Press, Milwaukee, Wisconsin.