

자동차 전장부품 QFP 무연솔더 접합부의 인장특성에 관한 연구 A Study on Tensile Characteristic of QFP Lead-free Joint for Automotive Electrical Parts

*손선익¹, #신영의¹, 전유재¹

*S. I. Son¹, #Y. E. Shin(Shinyoun@cau.ac.kr)¹, Y. J. Jeon¹

¹중앙대학교 기계공학부

Key words : Thermal shock, Lead-free, Pull test, QFP, Automotive

1. 서론

자동차 산업은 20세기 갖고 있던 단순교통수단이 아닌 21세기에 들어 고기능화, 고급차량 중심의 안전성 및 편의성을 가진 기술을 적용함에 따라 자동차에 전기, 전자 및 초고속 정보통신 기술을 융합한 전장 부품이 탑재되고 있어, 현재 전자화된 지능형 자동차의 전장부품은 다기능화, 고집적화, 경박 단소화 되어가고 있다. 이런 추세에 따라 지금까지 크게 문제되지 않았던 기계적인 신뢰성에 대한 문제점들이 많이 발생되고 있다.

특히 자동차 전장 부품의 경우 다른 전기, 전자 제품에 비해 훨씬 가혹한 환경에 노출되어 있기 때문에 신뢰성시험 또한 다른 제품들보다 가혹한 조건이 요구된다. 대표적인 환경 시험법, 예를 들어 온도 사이클 시험(temperature cycling test), 열충격 시험(thermal shock test) 및 진동 시험(vibration test) 등은 이미 대다수 국제규격에 그 스펙이 명시되어 있고 대부분의 부품업체 및 완성품 업체에서 자체 시험법 및 규격을 가지고 자사 제품의 신뢰성 확보를 위해 상당한 노력을 기울이고 있다¹⁾. 이와 같은 기계적인 신뢰성의 중요성은 자동차 산업에서 아직 확실한 문제의 원인이 밝혀지지 않은 급발진에도 기인할 수 있는 문제이며, 이는 생명의 안전성과 직접적인 관계가 있어 많은 관심을 가지고 연구되어 왔다.

하지만, 자동차 전장부품 실장용 재료로서 기존에 주로 사용되던 Sn-Pb계는 Pb(납)성분의 유해성 때문에 국제 사회적으로 사용 금지가 대두되면서 규제 법안(RoHS/WEEE)이 제정되어 Pb뿐만 아니라, Hg(수은)등의 특정유해 물질의 사용이 제한되고 있다. 이에 따라 자동차 전장부품 실장용 재료로서 무연솔더(Lead-Free)의 연구가 활발히 진행되고 있다.

무연솔더는 용점에 따라 크게 고온계, 중온계, 저온계로 구분된다. 특히, Sn-3Ag-0.5Cu 솔더는 중온계 솔더중에 Sn-Pb계 대비 우수한 작업특성을 가지고 있어 유력한 양산후보 합금으로 평가 받고 있다.²⁾

따라서 본 연구에서는 Sn-3Ag-0.5Cu 솔더를 이용하여 자동차 전장부품 중에 CPU역할을 하는 가장 핵심적인 부품인 QFP를 선정하여 접합한 후 열충격 시험을 통해 솔더 접합부의 인장특성을 평가하였다.

2. 실험방법

2.1 시편선정

본 실험에서는 Sn-3Ag-0.5Cu솔더를 이용해 접합된 실제 차량에 삽입하는 전장부품인 QFP(Quad Flat Package)를 시편으로 사용 하였다. 시편의 리플로우(Reflow) 공정은 220℃에서 30~60초 동안 리플로우를 실시하였다. Fig. 1에 본 실험에서 사용한 시편의 형상과 사이즈를 나타내었다.

2.2 열충격 시험

대표적인 환경 시험법인 열충격 시험(thermal shock test)을 이용하여 열충격에 따른 솔더 접합부의 인장특성을 평가하기 위해 -35~80℃의 온도조건으로 저온구간 -35℃와 고온구간 80℃에서 각각 25분씩을 유지시켰으며, 램핑(Ramping) 시간은 10분으로 하였다. 이러한 열사이클을 432사이클의 열충격 시험을 수행한 후 접합강도에 영향을 미치는 보이드, 초기균열 및 접합부의 형상을 Optical Microscope(Keyence社 VHX-100) 통해 관찰 하였다.

Fig. 2는 열충격 시험 전후의 접합부 단면을 비교하였다.

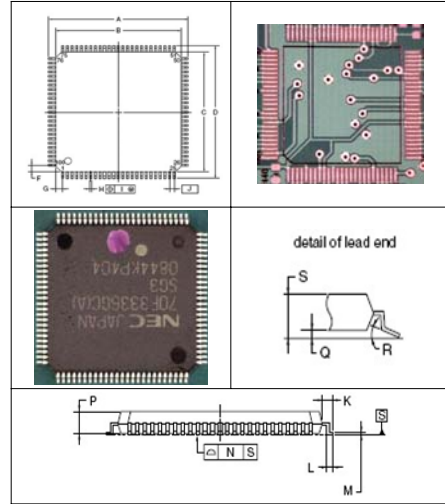


Fig. 1 Schematic diagram and image a QFP specimen

Table 1 Design conditions of the Pull test for QFP

Item	mm	Item	mm
A	16.00 ± 0.20	K	1.00 ± 0.20
B	14.00 ± 0.20	L	0.50 ± 0.20
C	14.00 ± 0.20	M	0.17 ± 0.05
D	16.00 ± 0.20	N	0.08
F	1.00	P	1.40 ± 1.40
G	1.00	Q	0.10 ± 0.05
H	0.22 ± 0.045	R	3° ± 5°
I	0.08	S	1.60 MAX
J	0.50(T. P.)		

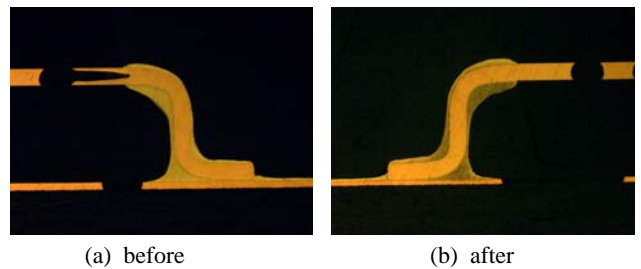


Fig. 2 Cross Section of QFP solder joints

2.2 인장 시험

솔더 접합부의 기계적 강도를 측정하기 위해 인장시험을 실시 하였다. 인장시험은 QFP를 45°로 고정시킨 뒤 리드를 훅(Hook)에 건 뒤 당겨서 접합부의 인장강도를 측정하는 시험이다. 인장시험 속도는 국외규격(JIS-Z-3198-6)에 준한 167μm/s로 설정³⁾하여 인장

시험을 수행하였다. Fig.3은 열충격 시험 유무에 따른 각각 시편 6개를 선정하여 인장강도의 변동값을 나타낸 것이다. 또한 Fig. 4는 솔더 접합부의 인장 시험 전후의 접합부의 형상과 파단면을 관찰하여 인장강도와 파단면의 상관관계를 비교, 검토한 것이다.

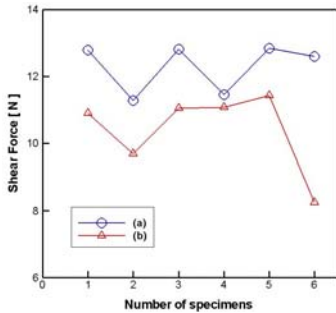


Fig. 3 Variations of the shear force (a)before and (b)after specimens of thermal shock test

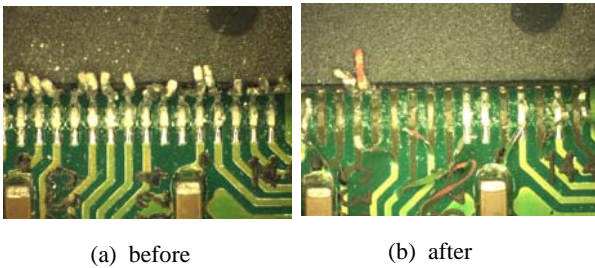


Fig. 4 Configuration of QFP lead on Cu Land: (a)before and (b)after the pull test

3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 열충격 시험전과 시험후의 솔더 접합부의 단면 형상을 관찰한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 432사이클의 열충격 시험 후에도 미세 균열은 발생하지 않았으며, 접합부의 형상도 열충격 시험후 시험편의 변화가 없는 것을 확인 할 수 있었다. 하지만 Fig. 2에서 보여 지는 것과 같이 외형상에는 변화가 없었지만, Fig. 3의 각 시편에는 인장강도의 변동 폭이 있다는 것을 확인할 수 있다. 즉, 열충격 시험전의 시편 인장강도가 열충격 시험후의 인장강도보다 최소 0.4N에서 최고 4.4N의 상대적으로 강도값이 크게 나타난 것을 알 수 있다. 이는 열충격을 가하면서 이종재료간의 열팽창계수 차이로 인하여 접합계면부근에 열응력이 발생하여 열응력이 Cu 랜드(Land)와 PCB간의 접합력 보다 큰 경우에는 강도 변동 폭이 크게 나타난 것으로 판단되며, 이것이 접합부의 인장 강도 값에 영향을 준 것으로 판단된다.

Fig. 4는 열충격 시험을 하기전의 시편과 열충격 시험을 한 시편을 인장시험을 하고 난후 파단면을 관찰한 것이다.

그림중의 열충격 시험을 한 그림(b)에서 알 수 있듯이 랜드 접합부위가 들리거나 파손된 부분이 관찰 되었다. 이것은, 열충격에 의해 발생하는 열응력에 의해 Cu 랜드부와 솔더 접합부의 접합력이 열악해진 결과라고 판단된다.

또한, 열충격 시험 후 랜드 부위가 들리지 않은 시편의 솔더 접합강도를 비교 검토한 결과, 열충격 시험을 하지 않은 시편의 접합력과 큰 차이가 없는 것으로 확인 하였다. 이는 Fig. 3에서 보는 것과 같이 열충격 시험을 한 시편의 접합력이 열충격 시험을 하지 않은 시편에 비해 접합강도가 작은 현상을 나타내지만, 랜드 접합부가 파손되거나 들리지 않은 솔더에 대해서는 열충격을 하지 않은 솔더의 접합력과 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 솔더 접합부의 접합력에 대한 검토는 모재인 PCB와 Cu 랜드간의 리플로 가열전의 접합력과 가열후의 이종재료간의 접합강도를 비교 검토하여 열팽창계수의 차이를 감소시키거나

열응력을 감소시키는 가열온도의 저온화 등의 검토가 필요하다는 것을 실험을 통하여 확인 할 수 있었다. 한편, 이와 유사한 결과를 갖는 선형연구인 진단 시험의 경우 파단 부분이 금속간 화합물이 아니라 접합부 전체가 파단이 일어난 경우도 발생하기 때문에 금속간 화합물 층이 접합부 신뢰성의 영향 여부를 확실히 확인할 수 없다는 연구결과⁴⁾도 알려져 있다.

가열에 의한 금속간 화합물 성장은 신뢰성에 많은 문제점을 가지고 있지만, 그것을 단지 솔더의 접합 강도에 국한 되는 것이 아니라 주변 환경에 따른 금속간 화합물의 종류 및 두께, 파단 부위의 위치 및 특성 등을 고려하여 새로운 접합강도 비교 기준을 정립할 필요가 있다고 판단된다.

3. 결론

본 연구에서는 자동차 전장부품에 무연솔더를 적용하여 열충격 및 인장강도를 통한 신뢰성 시험에 대해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 432사이클의 열충격이 실시되는 동안 외형적인 변형인 미세 균열 및 접합부의 형상에는 아무런 변형이 없는 것을 확인할 수 있었다.
- 2) 열충격 시험 전과 시험 후의 인장 강도 값의 변화는 0.4N에서 4.4N의 차이를 나타내었다.
- 3) 열 충격 실험 후 랜드 접합부위가 들리거나 파손된 인장 강도 값은 열충격 시험을 하지 않은 인장 강도 값보다 낮은 수치를 보였지만, 랜드 접합부가 들리거나 파손되지 않은 솔더 접합부의 인장강도 값은 열충격 시험 전의 인장강도 값과 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.
- 4) 인장 시험결과 솔더 접합부에서의 파단 보다, 랜드 접합부에서의 파단이 대부분이었다. 이는 솔더의 접합부 보다 랜드 접합부가 열에 대한 내구성이 솔더 접합부 보다 더욱 취약하다는 것을 알 수 있었다. 이는 랜드 접합부의 열적 취약성이 솔더 접합부의 신뢰성 결과에 대해 크게 영향을 줄 수 있고 차량의 주요 문제점의 원인을 유발 할 수도 있다고 판단된다.
- 5) 자동차 전장부품의 신뢰성 평가 시 솔더 접합부의 이상 유무외에 랜드 접합부 및 모재인 이종재료간의 접합상태도 고려하여 신뢰성평가를 수행해야한다.

후기

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R01-2007-000-20811-0)

참고문헌

1. 하상수, 김중용, 채중혁, 문원철, 홍태환, 유충식, 문정훈, 정승부 "무연솔더가 적용된 자동차 전장부품 접합부의 열적·기계적 신뢰성 평가," 한국 정밀공학회지, 24, 457-463, 2006.
2. 조윤성, 한성원, 김중민, 최명기, 박재현, 신영의 "Sn-3Ag-0.5Cu을 적용한 QFP 솔더 접합부의 크립특성에 관한 연구," KWS 2006-Autumn, 184-186, 2006.
3. Jis Z 3198-6 : Test Method of lead-free solders- part6 : Methods for 45' pull test of solder joints on QFP lead
4. 박진석, 양경천, 한성원, 신영의 "리플로우 횡수에 따른 플립칩 접합부의 기계적 특성평가," KWJS 2007-Autumn, 254-256, 2007.