

솔더접합부의 신뢰성 평가(II)

- 검사 및 결함의 종류 -

박재현·김영섭·정재필

Reliability Tests of Solder Joints

Jaihyun Park, Youngsub Kim and Jaephil Jung

1. 서 론¹⁾

솔더링이 적용되는 전자부품 및 기기의 기능상 고장은 제품의 종류와 사용조건, 환경조건 등에 의해 크게 달라지지만 신뢰성공학 이론에서 일반적으로 언급되는 초기 고장단계, 우발 고장단계, 마모 고장단계 등 3개의 고장단계(Bath curve라 불림)등으로 구별할 수 있다.

솔더 접합부의 시험검사는 초기 고장단계중 제품의 사용 시작 단계까지의 설계착오나 제조상 과오, 제품의 불량 혹은 작업상 과오에 의한 불량 등을 검사한다. 여기에서 중요한 점은 외관을 관찰함으로써, 초기 고장단계 이후의 품질까지 보증하여 전자장치의 기능을 충분히 발휘할 수 있게 하는 검사이기도 하다. 따라서 시험 및 검사는 솔더 접합부의 일시적인 양부를 판정하는 것만 아니라 배선작업이나 부품실장에 필요한 주변작업을 포함해서 실시해야 한다.

한편, 기기 납품 후에도 환경적인 스트레스나 사용중의 스트레스에 의해 발생하는 열화 메카니즘에도 대응할 수 있도록 각종 시험을 수행해야 하며 본 내용에서는 솔더접합부의 신뢰성을 보증하기 위한 평가에 있어 솔더볼이 적용되는 접합부에 대해 검사를 함에 있어 검사방법 및 검사시 관찰되는 각종 결함의 종류 등에 대해 주로 언급한다.

2. 외관평가시험

솔더 접합부의 외관시험 항목과 그 내용을 Table 1에 내었다. Table 1에서 알 수 있듯이 외관상 양호한 솔더란 기본적으로 Table 1 중의 4가지 항목을 만족시켜야 한다. Table 1에서 ①은 솔더의 젖음상태를 나타내고, 금속표면의 청정도와 가열온도와 관련되는 항목이며, ②는 확산이나 합금의 진행상황으로 가열온도

Table 1 Visual test items for solder joint

현 상	시험요구사항
① 솔더가 잘 흐르며 원하는 형상을 하고 있는가	젖음성, 솔더의 양(청정상태, 가열)
② 광택이 있으며 매끄러운가	화합물(합금), 확산(가열, 시간)
③ 솔더의 두께가 얇으며 리드선이 잘 나타나 있는가	솔더의 양, 젖음성(청정상태, 가열)
④ 균열이나 편홀 등이 결함이 있는가	외관상의 이상(응력, 청정상태, 열용량)

와 가열시간과 관련되는 항목이다. ③은 솔더의 양으로 이것도 금속표면의 청정도, 가열온도와 가열시간이 관련되는 항목이며, ④는 접합면의 외관형상의 불량을 나타내고, 잔류응력, 온도상승의 불균형, 청정도 등이 주요원인으로 알려져 있다.

3. 내부평가시험

3.1 비파괴시험

접합부의 외관은 대부분 10배 이하의 저배율 확대경 혹은 육안으로 가능하지만 BGA나 CSP등과 같은 표면실장 부품들의 솔더접합부와 같이 육안으로 관찰하기 힘든 내부 부위의 브릿지(bridge), 균열(crack), 기공(void), 혹은 기타 불량 등은 비파괴적인 수단으로 주로 관찰한다. 비파괴적인 관찰로서 가장 일반적으로 사용되고 있는 것은 X-ray, 초음파 등이며 Fig. 1은 X-ray를 이용한 비파괴 검사장비를 나타낸 것이다. 이러한 장비의 분해능은 $1\mu\text{m}$ 이하까지 가능하며 Fig. 2는 이러한 장비를 이용해 기판에 접합된 BGA 솔더볼의 내부기공을 관찰한 결과를 나타내고 있다²⁾. 솔더볼과 패드의 박리나 접합부 균열등의 경우는 2차원보다는

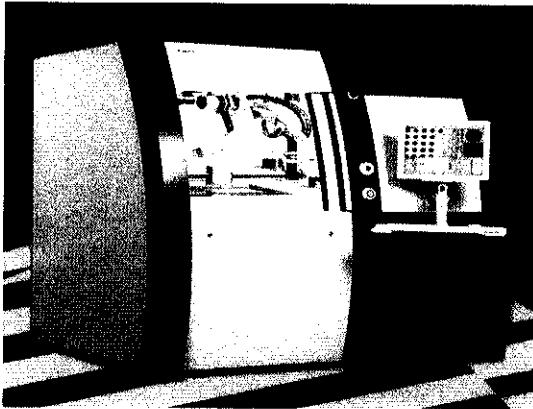


Fig. 1 Micro X-ray equipment

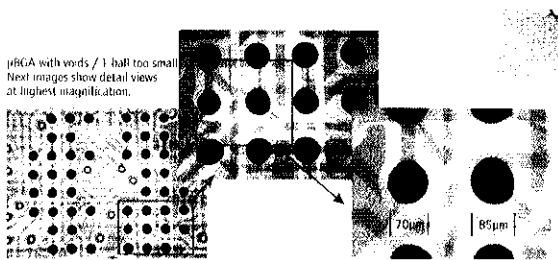


Fig. 2 X-ray images of BGA solder joints

3차원적으로 관찰하는 것이 바람직하며 최근에는 이러한 목적으로 비교적 고가이나 CT X-ray를 이용한 결함검출을 하기도 한다. Fig. 3은 솔더접합부 균열발생을 3차원적으로 관찰한 결과를 나타내고 있다.

3.2 현미경조직시험

접합부 내부의 균열이나 기공등 결함이나 기타 접합 불량 및 장시간 고온에서의 노출에 의한 접합부계면에서의 금속간화합물 성장에 따른 열화등이 의심되는 부위에 대해 파괴적인 수단을 이용, 저가의 비용으로 결함을 손쉽게 확인할 수 있는 방법이다.

시료의 준비는 시편을 휠컷터등을 이용 원하는 부위



Fig. 3 CT X-ray image of solder joints

를 절단후 금속학적 현미경관찰시료의 준비방법³⁾에 준하여 시험한다. 관찰하고자 하는 부위의 면적에 따라 500배 이하이면 광학현미경을 500배 이상이면 SEM (Scanning Electron Microscope)을 이용한다. Fig. 4 및 5는 SEM 관찰에 의한 솔더 접합부의 관찰사진을 나타낸 것으로 솔더볼 내부에 기공이 존재함을 알수 있으며 접합계면에서는 강도에 악영향을 미칠 수 있는 금속간 화합물이 일정두께 존재함을 볼 수 있다.

4. 제조결함의 종류⁴⁾

솔더접합부를 제조하는 과정에서 발생하는 결함을 찾아내고 원인을 분석하며 나름대로의 결함기준을 제정하는 것은 접합부 신뢰성을 위해 매우 중요하다. 다음에서는 BGA나 CSP등 솔더볼을 사용한 솔더링 접합중에 발생할 수 있는 결함의 예를 열거하고 발생원인에 대해 알아본다.

4.1 Self-alignment 불량

PCB와 BGA가 Fig. 6과 같이 솔더링공정중 일치하



Fig. 4 Cross section of BGA solder joint showing the presence of a void

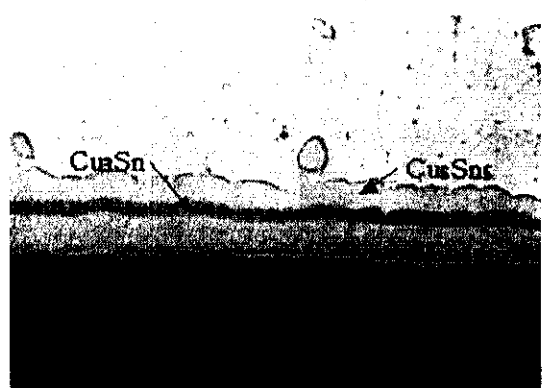


Fig. 5 Cross section of solder joint showing the presence of an intermetallic compound

지 않는 경우이다. 이런 불일치의 경우는 플립칩(flip chip)의 경우 60% 범위까지 발생하는 것으로 보고되고 있다. 원인은 placement 설비(BGA와 PCB의 위치를 정렬해주는 장비)의 오류, 솔더 페이스트가 불충분한 경우, 퍼짐성불량, 산화분위기 등으로 인한 솔더의 표면장력 감소, 솔더 범핑(bumping)에서의 고온작업에 의한 솔더조성변화 등을 들 수 있으며 개선을 위해서는 placement의 정밀도향상, 가해지는 솔더 페이스트의 양 증가, 패드나 볼의 솔더링성 향상, 고활성 플럭스의 사용, 분위기 가스의 사용, 솔더 범핑시의 최적온도에서의 작업등을 들 수 있다.

4.2 젖음(wetting) 불량

펌프 표면등이 산화되어 있거나 플럭스의 부적절 등으로 발생한다. 불량방지를 위해서는 우선공급된 솔더 볼부터 사용함(First come, first go)으로서 솔더볼이 장기보관 등에 의해 산화될 가능성을 줄이며 고활성 플럭스의 사용도 한 방법이다.

4.3 기공형성(voiding)

리드(lead)형 표면실장이나 쓰루홀(through hole)의 경우 육안으로 기공을 찾아내기가 쉽지만 BGA의 경우 접합부가 패키지아래에 숨겨져 있으므로 육안관찰이 불가능하여 비파괴적인 기법등을 사용함을 언급한바 있다. 이러한 내부 기공등은 문제가 되므로 IPC-7075 등에서도 언급하고 있다.⁵⁾

4.3.1 유해판정기준

기공내에 함유된 가스가 열회유(heat cursion)중에 수축, 팽창하면서 응력이 높아질 수 있으며 이는 균열발생의 가능성이 큼을 시사한다. 게다가 기공은 단면적을 줄이므로 강도, 연성, 크립, 피로수명등의 기계적 강도를 저하시키므로 신뢰성에 문제를 가져온다. 하지만 아직까지도 기공의 합격기준에 대해서는 업계마다 차이가 나고 논란의 소지를 가지고 있다. IPC-7075의 의하면 BGA와 PCB사이의 솔더 접합부에서의 기공에 대해 위치와 크기를 언급하면서 솔더볼 자체내에 있는

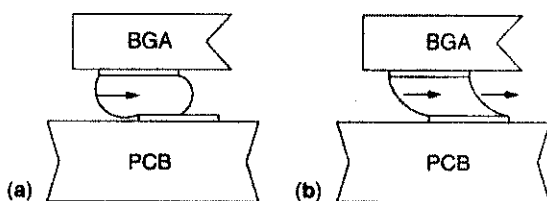


Fig. 6 A poor self aligned BGA solder joint

기공이 아닌 계면에 존재하는 작은 기공은 허용하고 있다. Table 2⁴⁾는 각 제조사에서 정한 허용기공의 단면적이다. 이상의 결과를 종합하면 15-25% 정도의 일정 기공은 허용되는 것으로 보인다.

4.3.2 기공의 근원

자료에 의하면 BGA 패키지(package)의 기공은 솔더볼이나 BGA를 만드는 공정에서 보다는 BGA 패키지(package)를 만드는 최종 공정에서 주로 발생하는 것으로 보고되고 있다.⁶⁾

(1) 솔벤트의 기화점

솔더 페이스트나 플럭스의 기화점이 낮으면 기공의 면적이 증가하며 이는 Fig. 7로부터 잘 알 수 있다.

(2) 리플로우 프로파일의 영향

Fig. 8과 같이 전형적인 리플로우 프로파일 온도보다 낮은 온도로 솔더링 작업시 기포의 발생이 적다. 이는 온도가 낮으면 건조되는 솔벤트의 기화가 전형적인 온도조건(높은온도) 보다 낮아, 상대적으로 잔류플럭스의 점도가 낮아져 솔더내에서의 플럭스가 빠져나갈 기회가 많기 때문이다.

Table 2 Allowable voiding extent for various electronic companies⁶⁾

Company	Allowable voiding extent(%)
IBM	15
Sollectron	25
Delco	16(혹은 3-4개의 기공)
HP	a small amount
Motorora	24
General instrument	15

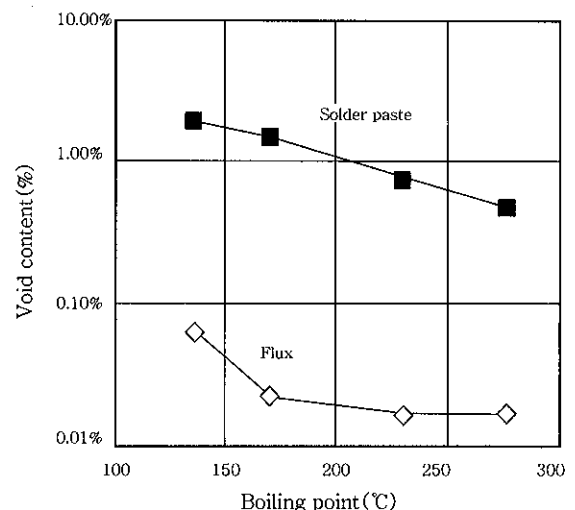


Fig. 7 Effect of solvent boiling point on the voiding of BGA joint(Sn-37Pb)

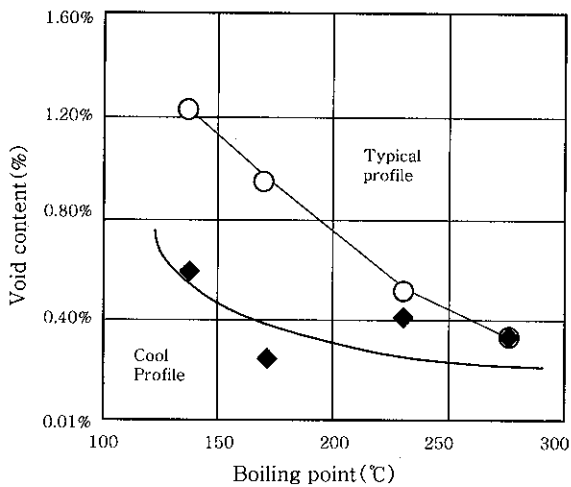


Fig. 8 Effect of reflow temperature on the voiding of BGA joint (Sn-37Pb)

(3) 금속성분의 양의 영향

솔더페이스트 중의 금속분말의 양이 많으면 산화층이 많아 반응에 의한 탈개스가능성이 높고 금속분말 충전이 높아 탈개스가 용이하지 않아 Fig. 9와 같이 기공의 양이 증가한다.

(4) 기판패드(pad) 설계의 영향

보다높은 I/O 밀도설계를 위해 via-in-pad 설계시 솔더접합부에 반드시 기공이 발생한다. 즉 패드아래 프러그된 비아에서 공기를 확장하면 용융볼에 보이드가 생기는 것이다.(Fig. 10)

이외에도 솔더페이스트 분말의 입도나, 리플로우 분위기, 패드의 표면상태(도금이 잘못되거나 오염시), 페이스트의 노출시간등에 의해 기공이 영향을 받는다.

4.4. 브릿지(bridging)현상

BGA의 전형적인 결함중의 하나로서 솔더불끼리 연

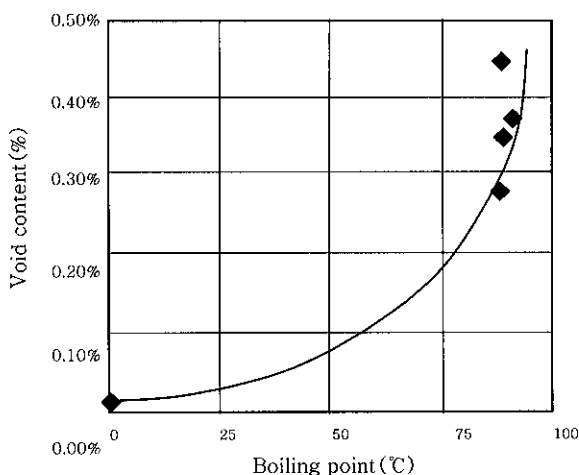


Fig. 9 Effect of metal content on the voiding of BGA joint (Sn-37Pb)

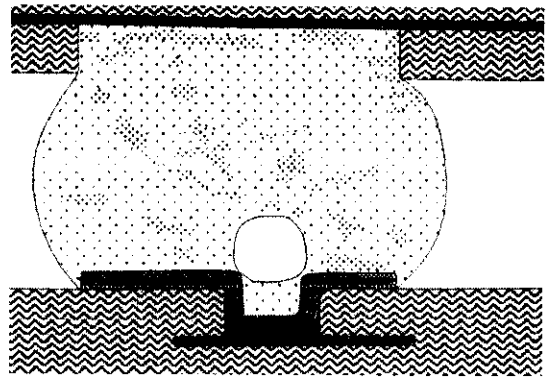


Fig. 10 Example of BGA solder joints on microvia with void formed

결되는 현상이다. 컴포넌트(component)의 위치잘못, 솔더페이스트의 과잉등 여러 가지 원인에 의해 발생하며 Fig. 11에 전형적인 브릿지 현상을 나타내었다.

4.5. 오픈(open)

솔더량이 부족하거나 솔더링성이 나쁜 경우, 위치불량(misregistration at placement), 솔더 마스크 밑에서의 탈개스 발생등에 의해 Fig. 12와 같은 현상이 발생하는 것을 말한다.

이외에도 결함으로 접합부 편평도 불량, 솔더 webbing,



Fig. 11 X-ray image of solder joint with bridges

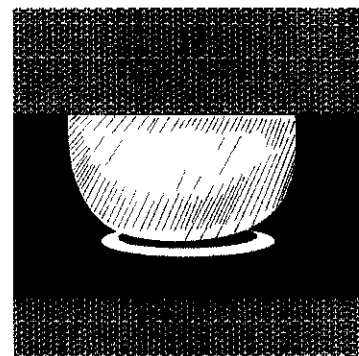


Fig. 12 Cross section of CBGA solder joints showing opens

솔더 페이스트의 솔더불화 현상, 수분흡수등에 의한 팽
 콘 혹은 박리(delamination) 현상등이 있다.

참 고 문 헌

1. 대한용접학회, "용접접합편람", 1988, pp.638.
2. Feinfous 카탈로그.
3. 대한금속학회, "금속공학실험", 1983, pp.252.
4. Ning-Cheng Lee, "Reflow soldering processes and troubleshooting SMT, BGA, CSP and Flip chip technologies", 2002, pp.197.
5. IPC - Association Connecting Electronics Industries, IPC-7075, "Design and assembly process implementation for BGAs", 2000.
6. W. O'Hara and N.C. Lee, "Voiding mechanism in BGA Assembly", ISHM, 1995.



- 박재현(朴宰顯)
- 1963년생
- 포항산업과학연구원 신뢰성평가2팀
- 솔더링/브레이징 신뢰성평가
- e-mail: pjhyun@rist.re.kr



- 김영섭(金榮燮)
- 1953년생
- 포항산업과학연구원 신뢰성평가2팀장
- 용접재료 신뢰성평가
- e-mail: youngsk@rist.re.kr



- 정재필(鄭在弼)
- 1959년생
- 서울시립대학교 신소재공학과
- 솔더링, 브레이징, 마이크로 조이닝
- e-mail: jpjung@uoscc.uos.ac.kr