

## FCBGA의 솔더조인트 신뢰성 보증을 위한 정량적인 시험법 (A quantitative test method for assessing solder joint reliability of FCBGA packages)

고병각·박부희·김강동·장중순  
아주대학교 산업공학과

### Abstract

FCBGA가 마더보드에 실장된 후 솔더 조인트에 균열이 생기면 단선이 발생한다. 솔더 조인트의 신뢰성을 평가하기 위한 방법 중 전단강도시험(shear test)은 약한 솔더 조인트를 판별하기 어려워 양품 로트와 불량 로트를 구별할 수 없으며, 인장강도시험(pull test)은 솔더 볼의 위치별 산포가 크고, peel test는 품질을 정량적으로 나타낼 수 없는 등의 문제가 있다. 새로운 시험 방법은 Area Pull Test(이하 APT)라 명명했으며 peel test와 pull test를 합한 개념으로서, 시험 샘플을 만드는 과정은 peel test와 동일하다. 솔더 조인트의 인장강도 측정은 지그를 만들어서 FCBGA 전체를 당겨서 측정하였다. 샘플은 Ni 도금 두께를 3, 5, 8  $\mu\text{m}$ 로 제작하여 불량(3 $\mu\text{m}$ ), 양품으로 구분하였고, 양품 또한 품질 수준을 두가지(5, 8 $\mu\text{m}$ )로 나누었다.

그 결과 peel test 기준에 의거한 불량, 양품을 정량적인 수치(인장강도)로 판별할 수 있었으며, 솔더 조인트의 파괴모드별 인장강도를 구분 할 수 있었다.

*keyword* : FCBGA, peel test, pull test, solder joint reliability

### 1. 서론

BGA(Ball Grid Array)는 프린트 배선기판의 뒷면에 구형의 납땀을 어레이상으로 줄지어 배열어 리드를 대신하는 표면 실장형 패키지의 한가지이다. 이것은 더 적은 면적에 더 많은 핀수를 제공하여 소형화, 경량화, 고기능화의 특징을 가지고 있다. FCBGA(Flip Chip BGA)는 BGA의 일종으로써, 뒷면은 마더보드등에 실장되고 앞면에는

다이와 범프로 연결된다.

FCBGA는 무전해 방법으로 Cu 위에 Ni를 도금하고 산화방지와 리플로우시 납땀이 잘 되도록 그위에 Au가 얇게 도금된다. 이러한 방법을 Electroless nickel/immersion gold(ENIG)라 하고 이러한 Cu/Ni/Au가 도금된 각 패드위에 리플로우 공정을 통해서 솔더볼 납땀이 이루어진다. 이때 FCBGA와 솔더볼 계면에 형성되는 합금층에 따라서 FCBGA 패키지의 품질을 좌우하는 접합강도가 달라지게 되며 이 접합강도는 FCBGA의 Ni/Au 층의 도금품질에 따라 가장 크게 좌우되게 되는 것이다. 즉, Ni/Au도금 불량은 합금층에 영향을 미치게 되는데 그 이유로는, Ni-P층의 경우 P의 함량이 6~8%가 가장 좋으나 P가 과다하면 void와 crack이 취성파괴를 야기하고[1,3], 이러한 인-과다 현상은 Ni-Sn층 형성과 Au 도금시 공정의 문제에 의하여 일어난다[2]. Au 도금시 Ni층의 산화에 의해서 흑점이 발생하여 도금이 잘못 되기도 하며[8] 황(S) 또한 표면층에 50~100ppm의 존재하는데 함유량이 많아지면 부식성이 강해지게 된다. 그러나 현실적으로 인, 황 등을 측정하기는 시간과 비용이 과다하게 소요되므로 파괴시험을 통해 도금품질을 측정하는 간접적인 방법이 많이 사용되고 있다.

### 2. 기존 BGA 접합강도 시험법

기존에 BGA의 접합강도를 시험하는 방법중 대표적인 것으로는 3, 4-point bending test, 전단강도시험, 인장강도시험, peel test 등이 있다.

이중에서 4-point bending test는 그림1과 같은 장비를 이용하여 시험을 한다. 이 시험은 PCB에 BGA를 솔더볼 납땀을 통해서 실장해야 하고, PCB를 시험에 맞게 적절하게 잘라야 하기 때문에 시간과 비용이 많이 소요되는 제한적인 시험이다. [1,8]

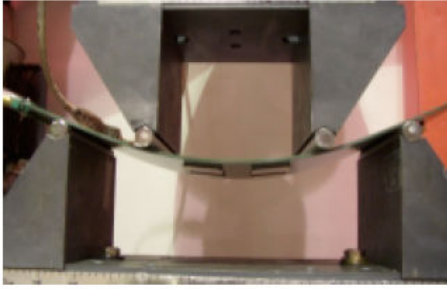


그림1. 4-point bending test[8]

전단강도시험은 shear probe를 이용하여 납땜이 된 솔더 볼 각각을 수평 방향으로 밀어서 솔더 볼 파괴시 강도를 측정하는 방법이다[4-5]. 하지만 파괴가 주로 볼에서 일어나기 때문에 흑점 등을 발견하기 어렵고[8] 솔더 조인트의 취성을 시험하기가 어렵다. 또한 약한 솔더 조인트를 구별해내지 못하여 품질이 좋은 로트와 그렇지 못한 로트간에 통계적인 차이가 없는 문제점이 있다.[1]

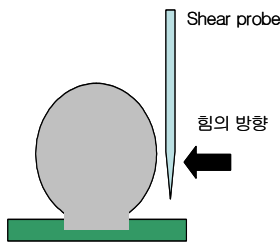


그림2. 전단강도시험

인장강도시험은 전단강도시험과는 달리 수직방향으로 볼을 밀어서 솔더 조인트의 강도를 측정하는 방법이다.[4] 이 시험법은 BGA 보드의 유연성 때문에 솔더 볼이 납땜된 패드 위치에 따라서 측정되는 솔더 조인트 강도가 달라져[10] 산포가 크게 존재하는 단점이 있다.

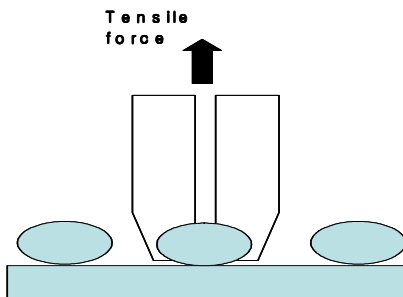


그림3. 인장강도시험

마지막으로 Peel test는 인텔에서 고안된 것으로서 FCBGA에 솔더 볼을 모두 납땜한 후 다시 HASL 처리된 쿠폰과 접합한다. 쿠폰과의 접합은 마더보드에 FCBGA

가 실장되는 것을 재현하고자 하는 것이다. 시험 방법은 작업자가 직접 네 모서리를 각각 수직방향으로 분리한 후 파괴된 계면을 보고 양/불량을 판단하게 된다.[1]

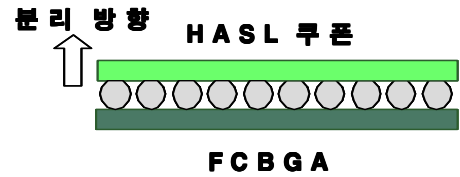


그림4. Peel test

파괴되는 모드는 그림5와 같이 5가지로 관찰되어 지며 이중 Ni층-솔더볼간 계면 파괴가 일어나는 3번만이 불량으로 간주되고, 총 볼 개수 중 20%이상이 3번 불량일 경우 전체 로트는 불량 판정을 받게 된다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$Good\ joint\ (\%) = \left(1 - \frac{\#of\ no.3}{\#of\ balls}\right) \times 100$$

즉, Good joint가 80%이상일 때만 로트 합격 판정을 내리게 되는 것이다.[1]

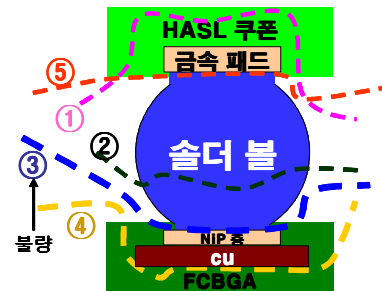


그림5. peel test 파괴 모드

### 3. APT 방법

APT는 인장강도시험과 peel test의 개념을 동시에 도입한 것이다. 시험 샘플은 peel test와 동일한 과정을 거쳐 만들어지고, 제작된 시험 샘플을 APT 장비를 사용하여 평가하였다. APT는 peel test와는 달리 솔더 조인트 강도를 정량적으로 측정할 수 있으며, FCBGA 전체의 솔더 조인트 강도를 측정하므로써 개개의 솔더 조인트 강도를 측정하는 인장강도시험보다는 필드에서 사용환경을 고려한 현실적인 시험방법이라 할 수 있다. 왜냐하면 FCBGA는 PCB에 실장되어 사용되어 지고 볼 개개가 아닌 FCBGA 전체에 스트레스가 가해져서 이 중에서 약한 솔더 조인트가 파괴될 것이기 때문이다.

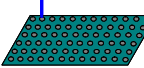
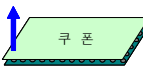
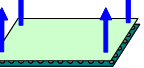
|   |   |  |
|---|---|--|
| <p>불 각각의 Tensile force 측정</p>  <p><b>Pull test</b><br/>FCBGA</p> | <p>한 모서리씩 힘을 가하여 전체 불 납땜 강도 측정</p>  <p><b>Peel test</b><br/>쿠폰</p> | <p>일시에 힘을 가하여 전체 불 납땜 강도 측정</p>  <p><b>Area Pull test</b></p> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• 장점 : 불 납땜 강도의 정량적 측정</li> <li>• 단점 : 불 위치별 산포 大</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 장점 : FCB 전체 불 납땜 강도 측정 가능</li> <li>• 단점 : 비 정량적 측정</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 기대효과 : 양품 및 불량량의 정량적 판단</li> <li>• Pull / Peel test 상호 보완</li> </ul>                                  |

표1. 인장강도시험, peel test, APT 비교표

표1에서 보는 것과 같이 Peel test와 APT는 시험샘플이 동일한 절차를 통해서 만들어진다. 즉 플럭스를 FCBGA에 도포후 솔더볼을 붙이고 1차 리플로우를 통해 솔더 볼을 납땜한 후 솔더 페이스트를 도포하여 2차 리플로우를 거쳐 쿠폰과 접합하게 된다.



그림6. 시험 샘플 제작 과정

본 시험에서는 불량품 제작을 위하여 Ni층 도금 두께를 제어하였다. Ni층 도금 두께가 낮을 수록 불량정도는 심해진다. 보통 5 $\mu$ m 이상이면 양품으로 분류하나, 현장에서는 8 $\mu$ m로 품질 관리를 하고 있다. 이에 불량 3 $\mu$ m, 보통 양품 5 $\mu$ m, 우수한 양품 8 $\mu$ m의 3가지 품질 수준으로 시험의 검출력을 파악하였다.

시험 샘플의 솔더 조인트 품질은 균일해야 하기 때문에 샘플 제작과정에서 주의가 요구된다. 플럭스 양이 너무 많으면 솔더 브릿징이 발생하고, 반대로 적게 되면 젖음성이 나빠져 납땜이 잘 안될 수가 있다.[1] 또한 솔더 페이스트는 점도가 낮으면 리플로우 후에 다공율이 낮아져 솔더 조인트 강도가 좋아지고, 반대이면 강도가 낮아진다.[9] 플럭스와 페이스트 도포시 사용되는 스텐실은 노후화된 것은 교체를 통해서 과다 도포나 인쇄 정렬이 잘 못되는 것을 방지해야 한다.

또한, 사용되는 쿠폰의 품질은 시험에 지대한 영향을 끼칠 수 있으므로 관리가 이루어져야 하며 리플로우 온도 프로파일은 JEDEC등에서 권고하는 범위 안에서 실험

을 통하여 결정되어야 한다.

#### 4. APT 수행 및 결과

APT 지그는 그림 7과 같이 제작되었다.

이 시험은 파괴시험으로써 FCBGA를 원안에 놓고 사면을 지그로 조인 후에 수직방향으로 힘을 가하여 떨어뜨리고, 떨어지기까지의 최대 인장강도를 측정하게 된다. 수직방향 인장력은 그 속도를 조절할 수가 있다. 시험 후 FCBGA의 Good joint 율을 구하여 측정된 인장강도와 상관을 분석함으로써 peel test의 판정기준 80%를 보증하는 인장강도를 정량적으로 계산할 수 있었다.

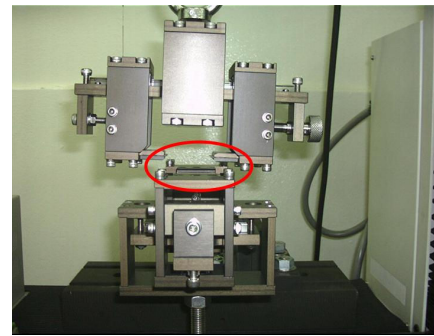


그림7. APT 지그

시험은 예비시험 포함 총 4회에 걸쳐 이루어 졌으며 시험 결과는 다음과 같다.

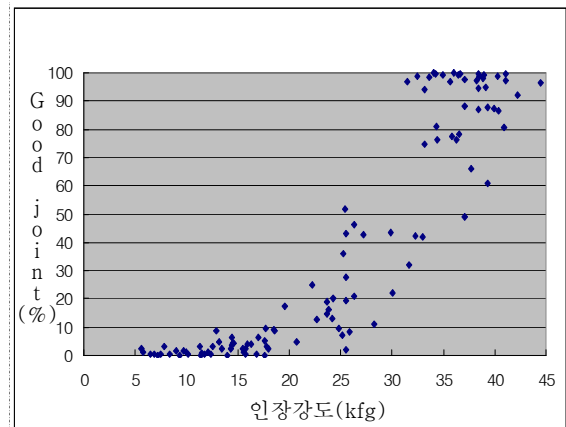


그림 8. APT 결과 산점도

X축은 측정된 인장강도이고, Y축은 good joint 율이다. 이 시험 결과를 분석하기 위하여 로지스틱 회귀모형을 이용하여 분석을 실시 하였다.

로지스틱 회귀모형 :

$$\ln \frac{p}{1-p} = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad (1)$$

P : Good joint 율

x : 인장 강도

측정한 데이터를 이용하여  $\beta_0, \beta_1$ 을 구하면,

$$\ln \frac{p}{1-p} = -7.82 + 0.28x \quad (2)$$

이 구해지고 p-value는 0, R-square는 80.7%를 가진다. 이것을 P에 대해 풀면,

$$p = 1 - \frac{1}{1 + e^{-7.82 + 0.28x}} \quad (3)$$

과 같다. 이 식에서 P가 0 또는 1일 경우 다음과 같이 큰 수를 주었다.

P=0 일 경우  $\ln(p/1-p) = -7$

P=1 일 경우  $\ln(p/1-p) = 7$

Peel test에서는 양/불량의 판정기준이 P=80%이었으므로, APT에서도 똑같은 기준을 적용하여 P가 80%일 경우를 양품 판정의 기준으로 하였고, 그 때의 x값은 32.88 kfg로 계산되었다. 이 x값의 95% 신뢰구간은 31.64~34.05kfg이다. 따라서 peel test 80%를 보증하는 양품 판정기준은 로지스틱 회귀모형을 이용하면 APT 31.64kfg임을 알 수 있다.

그림8은 측정된 인장강도 별로 그림5에 나타난 1~5까지의 파괴모드의 수를 나타낸 것이다. x축은 측정된 인장강도이며 Y축은 시험 후 양호한 솔더 조인트의 개수를 나타낸다. 산점도를 보면 불량인 3번 모드가 많을수록 인장강도가 낮게 측정되므로 APT가 불량을 검출할 수 있음을 알 수 있다. 그런데 산점도에 나타난 4가지 모드 중에서 쿠폰 쪽이 떨어지는 1번 모드는 3번 모드와 가장 작은 인장강도 차이를 나타내므로 -약 15kfg 이상에서부터 나타남- 쿠폰관리나 샘플 제조시 잘 못 만들어진다면 불량인 3번 모드와 인장강도 차이가 상쇄될 수 있으므로 쿠폰의 관리와 솔더 페이스트의 점성이 낮도록 교반을 적절히 하여야 시험이 잘 될 수 있을 것이다.

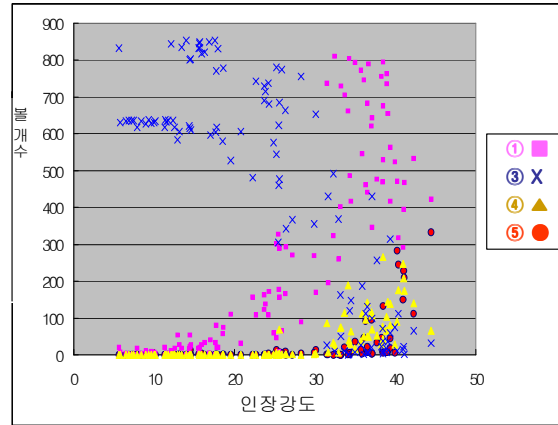


그림9. 인장강도별 파괴모드

파괴모드 4,5는 인장강도가 30kfg 이상에서 많이 나타나므로 우수한 인장강도를 가지고 있음을 알 수 있고, 솔더 볼이 끊어지는 파괴모드 2는 시험시 발견되지 않았기 때문에 가장 큰 접합력을 가지고 있다고 판단할 수 있다. 이것으로 미루어 기존에 볼이 끊어지는 파괴모드가 많았던 전단강도시험은 솔더 조인트 시험에 대해 적합하지 않음을 알 수 있다.

### 5. 결론 및 향후 보완 사항

실험 결과 APT는 FCBGA의 ENIG 도금 불량에 따른 솔더 조인트의 불량을 검출할 수 있었다. 또한 로지스틱 회귀모형으로 분석결과 peel test에서 양품 판정기준인 good joint 율 80%를 보증하는 정량적인 기준을 제시하였다. 하지만 시험결과와 산포를 줄이고 모형에 더욱 적합 시키기 위해서는 시험 샘플 제조시 다음과 같은 것들이 중요한 요소로서 관리되어야 할 것이다.

- 샘플 제조 프로세스 표준화
- 양품 쿠폰 사용 및 표면 이물질 제거 (공기 세척)
- 솔더 볼 위에 정확한 솔더 페이스트 도포
- 교반을 통해 솔더 페이스트의 점성을 낮게 유지
- 리플로우 온도 프로파일 관리

### 6. 참고 문헌

[1] Jinlin Wang et al., "A testing method for assessing solder joint reliability of FCBGA packages", Microelectronics Reliability, Vol.44(2004), pp.833-840.  
 [2] Ali Eslambolchi, Pat Johnson, Matt Kaufmann, and Zequn Mei, "Electroless Ni/Immersion Au Evaluation - Final Program Report", Hewlett-Packard EADC, 1998, 11-20  
 [3] Goyal D, Lane T, Kinzie P, Panichas C, Chong, KM, Villalobos O. "Solder joint fracture failure mechanism in the

2005 한국경영과학회/대한산업공학회 춘계공동학술대회  
2005년 5월 13일~14일, 충북대학교

presence of electroless nickel immersion gold plating.  
In:ECTC Proceeding", 2002. p. 732.39.

[4] Richard J. Coyle, Anthony J. Serafino, "Ball shear versus ball pull test methods for evaluating interfacial failures in area array packages", SEMI/IEEE IEMT(2002), pp.200-205.

[5] Robert Erich, "Shear Testing and Failure Mode Analysis for Evaluation of BGA Ball Attachment", IEEVCPMT Int'l Electronics Manufacturing Technology Symposium, 1999, 16-22

[6] Deepak Gotal, Tim Lane, Patrick Kinzie, Chris Panichas et al. "Failure mechanism of brittle solder joint fracture in the presence of Electroless Nickel Immersion Gold(ENIG) Interface", Electronic Component and Technology Conference, 2002 IEEE, 732-739

[7] K. Yokomine, N. Shimizu, Y. Miyamoto, Y. Iwata, D. Love and K. Newman," Development of Electroless Ni/Au Plated Build-Up Flip Chip Package with Highly Reliable Solder Joints", Proc. of Engineering Components Technology Conf. (ECTC), 2001.

[8] Anurag Bansal, Sam Yoon, and Vadali Mahadev, "FLEXURAL STRENGTH OF BGA SOLDER JOINTS WITH ENIG SUBSTRATE FINISH USING 4-POINT BEND TEST", SMTA Pan Pacific Microelectronics Symposium, Kauai, SMTA, 2005

[9] Y. Tian, Yan C. Chan, J. K. L. Lai, and Sally T. F. Pak, "The Effect of Solder Paste Viscosity on Porosity and Mechanical Properties of Surface Mount Solder Joints", IEEE TRANSACTIONS ON COMPONENTS, PACKAGING, AND MANUFACTURING TECHNOLOGY-PART B, VOL. 20, NO. 2, 1997, pp 146-151

[10] Y.C. Lin , X. Chen , Xingsheng Liu ,Guo-Quan Lu, "Effect of substrate flexibility on solder joint reliability.Part II: finite element modeling", Microelectronics Reliability, 45 (2005),pp 143-154