

BGA Type 유 · 무연 솔더의 기계적 충격에 대한 보드레벨 신뢰성 평가

임지연¹ · 장동영² · 안효석*

¹서울산업대학교 에너지환경대학원 나노아이티공학과, ²서울산업대학교 산업정보시스템공학과
서울산업대학교 NID융합기술대학원 나노IT융합프로그램

Experimental and Numerical Study on Board Level Impact Test of SnPb and SnAgCu BGA Assembly Packaging

Ji-Yeon Lim¹, Dong-Young Jang², and Hyo-Sok Ahn*

¹Department of Nano/IT, Seoul National Univ. of Technology, Seoul 139-743, Korea

²Industrial & Information Systems Engineering, Seoul National Univ. of Technology, Seoul 139-743, Korea
Graduate School of NID Fusion Technology, Seoul National Univ. of Technology, Seoul 139-743, Korea

초 록: 본 연구에서는 유연솔더인 63Sn37Pb와 무연 솔더인 95.5Sn4.0Ag0.5Cu와97Sn2.5Ag0.5Cu BGA(Ball Grid Array) 패키지를 인쇄회로기판(Printed Circuit Board, PCB)에 위치에 따라 장착하고 보드레벨의 낙하시험(Board Level Drop Test)을 실시하여 충격에 대한 유 · 무연 솔더의 특성을 분석하였고 4점굽힘시험(board Level 4-point Bending Test)을 실시하여 굽힘에 대한 솔더볼의 기계적 저항특성을 분석하였다. 또한 유한요소법(Finite Element Modeling, FEM)을 이용해 낙하시험과 4점굽힘시험에서 솔더 조인트에 미치는 응력과 변형률을 해석하였으며, 시험 설계 시에 솔더 조인트의 응력변화에 영향을 미칠 수 있는 변수를 고려하여 해석하고 결과를 비교 분석하였다. 낙하시험과 4점굽힘시험에서 모두 무연솔더는 유연솔더보다 2배 이상 높은 신뢰성을 보였으며, PCB의 중앙에 위치한 패키지는 외각에 위치한 패키지 보다 매우 낮은 신뢰성을 보였다. 유한요소법을 통해 해석한 결과 최외각 솔더에서 가장 큰 응력이 발생하였고, 솔더의 조성과, 시험설계변수에 의해 응력의 발생 정도가 다름을 나타내었다.

Abstract: The reliability of leaded and lead-free solders of BGA type packages on a printed circuit board was investigated by employing the standard drop test and 4-point bending test. Tested solder joints were examined by optical microscopy to identify associated failure mode. Three-dimensional finite element analysis(FEM) with ANSYS Workbench v.11 was carried out to understand the mechanical behavior of solder joints under the influence of bending or drop impact. The results of numerical analysis are in good agreement with those obtained by experiments. Packages in the center of the PCB experienced higher stress than those in the perimeter of the PCB. The solder joints located in the outermost corner of the package suffered from higher stress than those located in center region. In both drop and bending impact tests, the lead-free solder showed better performances than the leaded solders. The numerical analysis results indicated that stress and strain behavior of solder joint were dependent on various effective parameters.

Keywords: BGA, solder joint, drop test, 4-point bending test, Pb-free solder, FEM

*Corresponding author
E-mail: hsahn@snut.ac.kr

1. 서 론

솔더 조인트의 신뢰성은 전자 기기의 수명을 결정하는 중요한 요소로 파손의 규명과 신뢰성 데이터 확보가 중요한 과제이다. 과거에는 전자제품의 열적 스트레스로 인한 솔더 조인트의 신뢰성이 가장 큰 문제로 지적되어 왔으며 이에 대한 연구도 활발히 진행되어왔다. 그러나 최근에는 노트북, 휴대폰, 전자사전, PDA, 카메라, 캠코더, MP3 등의 휴대기기의 사용이 폭발적으로 증가하고 있으며, BGA(Ball-GridArray)나 CSP(Chip-Scale Package)와 같은 고집적 패키지의 발전으로 전자제품이 경량화 되면서 열적·기계적 스트레스에 더욱 민감해졌다. 이로 인해 사용 시 반복적으로 발생하는 기계적 스트레스 또는 사용 부주의로 인한 기계적 충격 등 휴대환경에서 일어날 수 있는 다양한 기계적 충격에 대한 신뢰성 확보가 더욱 중요한 문제로 대두되고 있다.

또한 2006년 7월부터 시행된 Rohs(Restriction of the use of certain hazardous substance in electronic equipment)법, 2007년부터 시행된 WEEE(Waste Electronics and Electric Equipment)법 등 유럽연합을 중심으로 전자제품에서 인체에 유해한 납의 사용을 법으로 규제하는 움직임이 전세계로 확산되고 있다. 일본의 경우도 1998년 세계최초로 무연솔더 제품을 출시하며(Matsushita 社) 전자제품의 무연솔더화를 빠르게 진행하고 있다. 현재 무연솔더를 대체하기 위한 솔더 조성으로 Sn-Ag-Cu계를 중심으로 활발한 연구가 진행중이며, Sn-Ag-Cu-Bi계, Sn-Zn-Bi계의 중·저온계 솔더 조성도 연구가 활성화 되고 있는 추세이다.¹⁾

본 연구에서는 무연솔더와 현재 유력한 무연솔더 대체조성인 SnAgCu계열 BGA 타입의 패키지를 PCB에 부착하였으며 신뢰성 시험 표준기관인 JEDEC(Joint Electron Device Engineering Council)에서 명시한 시험 방법에 따라 낙하시험과 4점굽힘 시험을 실시하여 유·무연 솔더의 기계적 충격 특성을 비교분석하였다. 또한 유한요소 해석 소프트웨어인 ANSYS Workbench v.11/Flexible Dynamic and Static Structural을 이용해 낙하시험과 4점굽힘 시험을 묘사하고 충격 발생 시 발생하는 응력 거동을 파악하였으며, 실험 설계에 대한 조건을 달리하여 응력과 변형률의 발생을 분석하였다.

2. 실험 및 해석

2.1. 실험 방법

실험은 JEDEC에서 명시한 낙하시험(JEDEC, JESD22-B111)²⁾ 4반복굽힘시험(JEDEC, JESD22-B113)³⁾의 시험조건을 따랐으며 PCB의 규격 및 패키지 시편의 규격도 JEDEC기준을 따라 설계하였다. 실험에 사용된 시편은 8 mm×8 mm 규격의 BGA 패키지로 BT(Bismaleimide-Triazine)재질의 substrate에 8×8 배열로 0.45 mm의 솔더볼이 0.8 pitch 간격으로 배치되어 있다. 64개의 솔더는 하나의 데이지 체인으로 연결되어 저항 측정 시 한 개의 솔더볼이라도 파손되면 실험을 중단하도록 설계하였다.

유연솔더의 조성은 63Sn37Pb이고 무연솔더의 조성은 97Sn2.5Ag0.5Cu와 95.5Sn4.0Ag0.5Cu가 사용되었다. 패키지는 세 가지 조성 모두 Ni/Au 무전해 도금을 사용하였다. PCB는 구리패드 위에 96.5Sn3.0Ag0.5Cu 페이스트를 사용하였으며 각각의 패키지를 PCB에 리플로우(reflow)하였다. PCB에 각각 5개의 패키지를 부착하였으며, 이를 Fig. 1에 나타내었다. PCB는 FR4 재질로 1.0 mm의 두께를 가지고 있다.

낙하시험 조건은 JEDEC기준을 따라 충격가속도(impact acceleration)를 1500 G로 가하였으며 충격 지속시간(duration time)은 0.5 ms이다. 저항이 100 Ω이상이면 파손된 것으로 간주하였으며 수명

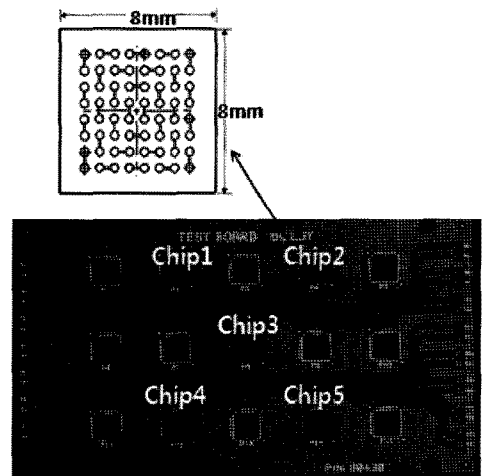


Fig. 1. Layout of the board assembly.

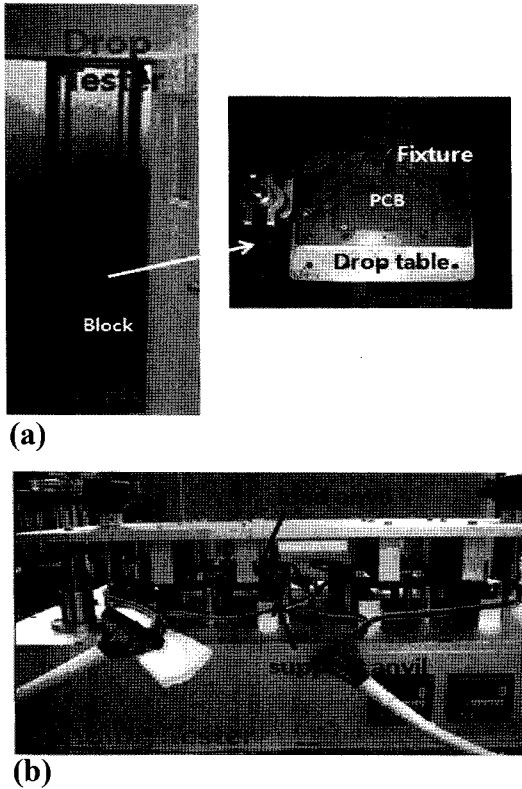


Fig. 2. Test setup: (a) Drop tester and test board located on the drop table, (b) 4-point bending tester and test board between support and load anvil.

이 200 Drop 이상인 패키지는 신뢰성이 좋다고 판단하여 시험을 중단하였다. 낙하시험에 사용된 시험장비는 Fig. 2(a)에 나타내었다.

4점굽힘시험은 Lee⁴⁾가 개발한 4점굽힘시험기를 이용하여 시험하였으며, 낙하시험에서와 같은 시편을 사용하였다. JEDEC 시험조건에 따라서 서포트 앤빌(support anvil)의 간격은 110 mm, 로드 앤빌(load anvil) 사이의 간격은 75 mm가 되도록 하였으며, 로드 앤빌에 2 mm의 수직변위를 주어 하중을 가하였다. 10회 주기로 변위를 준 뒤 저항을 측정하여 저항이 1000 Ω 이상이면 파손으로 간주하여 시험을 중단하였다. 4점굽힘시험에 사용된 시험기는 Fig. 2(b)에 나타내었다.

2.2. 유한요소법 해석

유한요소법 해석은 ANSYS Workbench v.11을 사용하였다. 모델링은 PCB, 실리콘 칩, 솔더, 구리

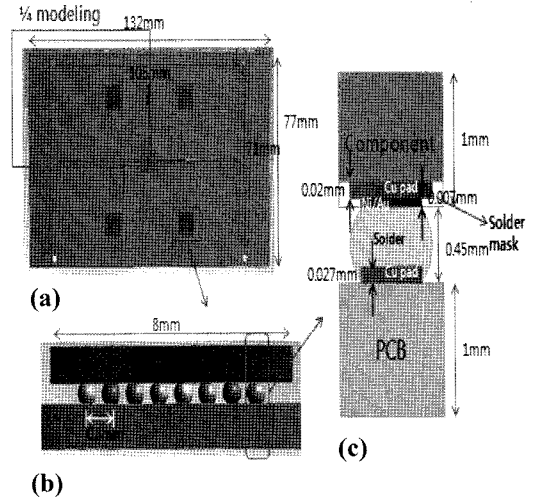


Fig. 3. Schematic diagram of modeling.

패드, 전도층(Ni/Au)을 3차원으로 묘사하였으며, 전체를 모델링한 후 XY평면과 YZ평면에 대칭 경계조건을 부여하여 1/4부분만을 해석하였다. 또한 관심영역인 솔더 조인트 부분의 요소를 조밀하게 하여 해석시간을 단축하고 정확도를 높이려 하였다. 모델의 치수는 Fig. 3에 나타내었으며, 해석에 사용된 물성치는 문헌을 참고하여 Table 1에 나타내었다.^{5),6),7)} 전도층(Ni/Au)은 물성치를 알 수 없었으므로 니켈(Ni)의 물성치를 사용하였다.

Tong Yan Tee⁸⁾은 낙하시험에 대한 유한요소해석을 자유낙하해석(free-fall) 방식과 충격가속도 입력 해석법(Input-G) 방식의 두 가지로 해석하여 비교하였는데 전자는 실제 시험 환경과 최대한 유사하게 모델링하여 해석하는 방법으로 모델구현이 복잡하고 수렴이 어려운 반면, 후자는 시험기관만

Table 1. Material properties.

Material	Elastic Modulus (MPa)	Density (g/cm ³)	Poisson's Ratio
PCB (FR4)	27924	2.0	0.39
Chip (silicon)	162176	0.33	0.28
Core (BT)	2600	1.9	0.2
Cu	12892	8.96	0.34
Sn4.0Ag0.5Cu	5300	8.48	0.4
Sn37Pb	31900	8.48	0.4
Ni/Au	200000	-	0.31

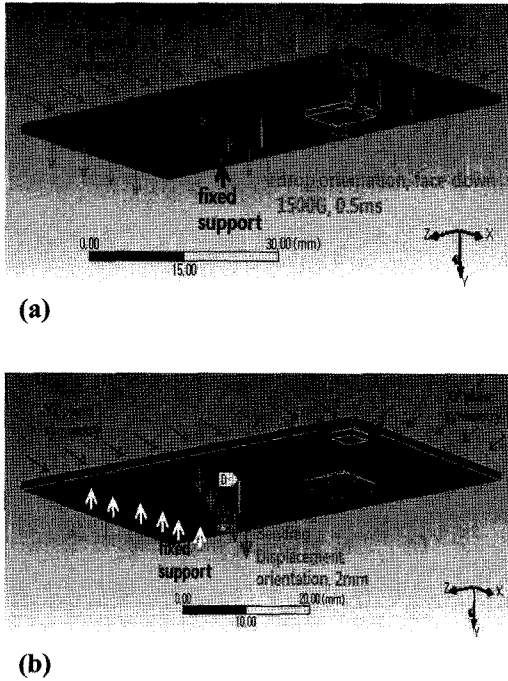


Fig. 4. Finite element model and condition: (a) Drop test model, (b) 4-point bending test model.

을 모델링하여 직접적으로 충격가속도를 적용하므로 모델이 간단하고 해석시간이 단축되어 빠른 결과를 도출할 수 있다는 장점이 있다. 본 연구에서는 충격가속도 입력 해석법을 응용하였으며, 동적해석이 가능한 Workbench/Flexible Dynamic을 이용하여 낙하 해석을 시행하였다. 전체 모델의 요소 수는 73,735개이고 노드 수 120,627개이다. Fig. 4(a)에 낙하시험에 부여한 해석 조건을 나타내었다. 4점굽힘시험의 경우 Workbench/Static structural을 이용하여 해석을 실시하였다. 기판부분만을 모델링하고 서포트 엔빌과 로드 엔빌을 선 접촉으로 묘사하여 간단하고 정확한 해석이 되도록 하였다. 전체 모델의 요소수는 103,306개이며 노드 수는 178,870개이다. Fig. 4(b)에 4점굽힘시험에 부여한 해석조건을 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 실험 결과

낙하시험에 있어서 솔더 조인트의 파손은 충격으로부터 생기는 관성력에 의해 발생하는 PCB의

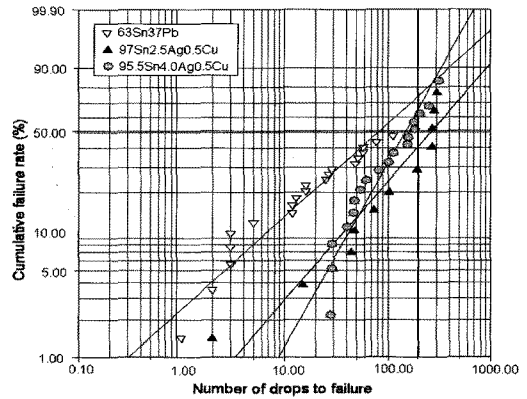


Fig. 5. Relationship between number of drop cycles to failure and cumulative failure rate.

휨과 굽힘응력에 의한 영향에 기인하는 것으로 보고되고 있다.⁹⁾ 또한 낙하시험은 짧은 시간에 강한 충격을 가함으로서 크리프(Creep)에 의한 파손보다는 주로 소성변형의 영향을 받으며 솔더 bulk영역보다 취성 성질을 가진 솔더 조인트의 IMC영역에서 파손이 발생하는 것으로 보고 있다.¹⁰⁾ Fig. 5는 Weibull++ 소프트웨어를 이용하여 분석한 낙하시험의 결과를 보여주고 있다. 63Sn37Pb 유연솔더는 95%의 패키지가 100 drop 이하에서 파단되었으며 50%이하의 낮은 신뢰도를 보였다. Sn-Ag-Cu 계열의 무연솔더의 경우는 35%의 패키지만이 100 drop 이하에서 파단되는 결과를 보였으며 200 drop 이상에서도 파단되지 않는 패키지가 45% 이상으로 높은 신뢰성을 보였다. 형상모수와 척도모수 값은 식 (1)을 사용해 구했다.¹¹⁾

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right] \quad (1)$$

where, $F(t)$ = cumulative density distribution

η = scale parameter

β = shape parameter

t = number of cycles to failure

Table 2는 Weibull 프로그램으로 계산된 낙하시험의 형상모수와 척도모수 값을 나타내며, 97Sn2.5Ag0.5Cu의 척도모수 값이 가장 큰 값을 나타내고 있으므로 신뢰성이 가장 우수함을 예측할 수 있다.

PCB의 중간에 위치한 패키지는 Fig. 6에 나타낸 바와 같이 PCB의 외각에 위치한 패키지보다 훨씬

Table 2. Weibull ++ analysis of the drop test results.

Solder Material	shape parameter (β)	scale parameter (η)
63Sn37Pb	0.7579	132.5529
97Sn2.5Ag0.5Cu	0.9633	390.15
95.5Sn4.0Ag0.5Cu	1.4988	191.5818

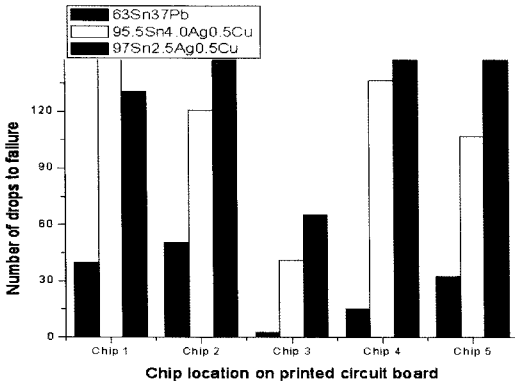


Fig. 6. Average number of drops to failure at five locations.

낮은 수명을 보였는데, 이는 PCB 설계 시 PCB 양쪽 끝만을 나사로 고정시킴으로써 충격 후 PCB의 가운데 부분의 변형이 가장 심하게 일어나기 때문인 것으로 사료된다.

4점굽힘시험은 PCB의 길이 방향으로 양쪽 끝에서 동일한 하중변위를 가함으로써 패키지에 스트레스를 가하는 시험이다. 4점굽힘시험의 경우도 크리프에 의한 변형보다는 주로 소성변형이 솔더 조인트의 파손에 직접적인 작용을 하는 것으로 보고되고 있다.¹²⁾ Sn-Ag-Cu계 무연솔더는 굽힘시험에서도 유연솔더보다 우수한 특성을 보였다. Fig. 7에 4점굽힘시험 결과에 대한 Weibull plot을 나타내었으며, Weibull 해석 결과는 Table 3에 제시하였다. Sn-Ag-Cu계 무연솔더는 63Sn37Pb 유연솔더보다 2배 이상 높은 수명을 보였으며, 척도모수 값을 비교한 결과 95.5Sn4.0Ag0.5Cu 솔더의 신뢰성이 가장 우수한 것으로 나타났다. 한편 은의 함량에 따른 낙하시험과 4점굽힘시험의 결과는 반대 양상을 보였다. 낙하시험에서 97Sn2.5Ag0.5Cu 솔더는 95.5Sn4.0Ag0.5Cu 솔더보다 높은 신뢰성을 보였으나 4점굽힘시험에서는 95.5Sn4.0Ag0.5Cu 솔더의 신뢰성이 97Sn2.5Ag0.5Cu 솔더의 신뢰성

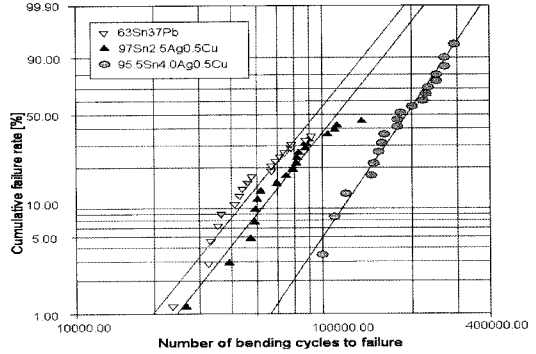


Fig. 7. Relationship between number of bending cycles to failure and cumulative failure rate.

Table 3. Weibull ++ analysis of the 4-point bending test results.

Solder Material	shape parameter (β)	scale parameter (η)
63Sn37Pb	2.9473	94979
97Sn2.5Ag0.5Cu	3.0023	115620
95.5Sn4.0Ag0.5Cu	3.8530	212660

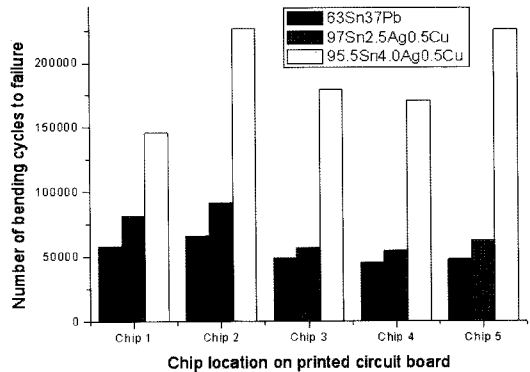


Fig. 8. Average number of bending cycles to failure at five locations.

보다 높게 나타났다. 따라서 Ag성분과 Sn성분 함량의 변화가 솔더조인트 IMC의 형성에 미치는 영향과 솔더의 충격 특성에 미치는 영향에 대한 추가적인 연구가 필요하다. Fig. 8은 굽힘시험에서 PCB에 배치된 칩의 위치에 따른 파손수명의 변화를 보여주고 있으며, PCB의 중간에 위치한 칩이 PCB의 외각에 위치한 칩보다 대체적으로 낮은 수명을 보이고 있음을 알 수 있다.

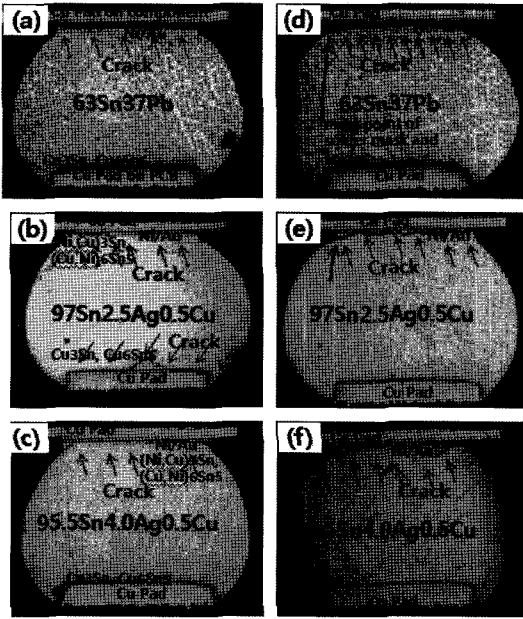


Fig. 9. Cross-section images of critical solder joints for drop test: ((a)-(c)), images of critical solder joints for 4-point bending test: ((d)-(f)).

3.2. 접합부 관찰

Fig. 9는 광학현미경을 이용하여 솔더조인트의 파손 경향을 관찰한 것이며 가장 큰 균열을 보인 패키지의 최외각에 위치한 솔더를 나타낸 것이다. 낙하시험의 경우 관성력과 굽힘응력에 의해 Fig. 10에서처럼 인장응력(tensile Stress)과 압축응력(compressive Stress)을 받게 되며 소성변형을 일으킨다.¹³⁾ Ni/Au 무연해니켈도금을 한 무연솔더볼과 PCB기판 사이에서는 Cu₃Sn층 또는 Cu₆Sn₅층을

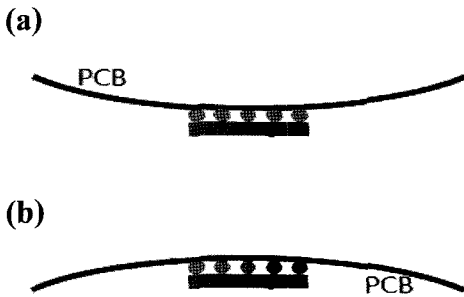


Fig. 10. Board bending mode: (a) Downward bending, (b) Upward bending.

가진 IMC 영역이 생성되며 솔더볼과 패키지 사이의 계면에서는 (Cu,Ni)₆Sn₅층과 (Ni,Cu)₃Sn층을 가진 IMC가 생성된다. 이러한 IMC영역은 솔더보다 높은 취성의 성질을 갖고 있으며 짧은 시간 동안의 강한 충격은 이러한 취성영역에 집중되어 소성변형을 일으킨다.¹⁴⁾ Fig. 9(a)-(c)는 낙하시험의 시편이며 패키지부의 IMC경계 영역에서 취성균열이 관찰되었다. Fig. 11에서 보듯이 패키지와 솔더 사이에 생성된 (Cu,Ni)₆Sn₅, (Ni,Cu)₃Sn층은 PCB와 솔더 사이에 형성된 Cu₃Sn 또는 Cu₆Sn₅성분에 비해 높은 탄성률을 가진다.¹⁵⁾ 이러한 사실로부터 같은 양의 충격을 받았을 때 패키지 부의 변형이 PCB부보다 더 클 것이라 생각된다.¹⁶⁾ 또한, Fig. 12에서는 IMC영역을 SEM(Scanning Electron Microscopy)로 분석한 결과를 보이고 있다. IMC는 63Sn37Pb > 97Sn2.5Ag0.5Cu > 95.5Sn4.0Ag0.5Cu의 순으로 두껍게 관찰되었으며, IMC가 얇을수록 신뢰성이 우수하였다. 한편, Fig. 9(d)-(f)에 의하면 4점굽힘시험의 시편은 솔더 마스크(solder mask)와 솔더 bulk의 접점에서 부터 균열이 시작되었으며 균열의 성장은 솔더의 안쪽으로 진행되었음을 알 수 있다.

시편이 한쪽방향으로 지속적인 굽힘응력을 받으면서 솔더 마스크와 솔더의 접점에 응력이 집중하여 균열이 성장하였고 균열의 진전모습으로 보아 연성파괴가 진행되었음을 알 수 있다. 4점굽힘 시험은 낙하시험과는 달리 작은 힘이 반복적으로 작용하므로 지속적으로 적은 양의 소성변형을 축적하며 균열을 성장시키는 것으로 볼 수 있다. 그러므로 굽힘시험에서는 솔더의 강도가 높을수록 신뢰성이 좋을 것이라 사료된다.

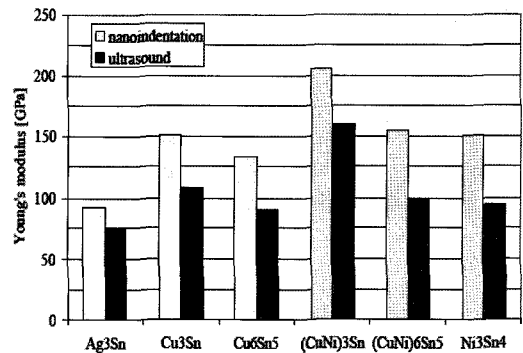


Fig. 11. Young's moduli for pure phase specimens.

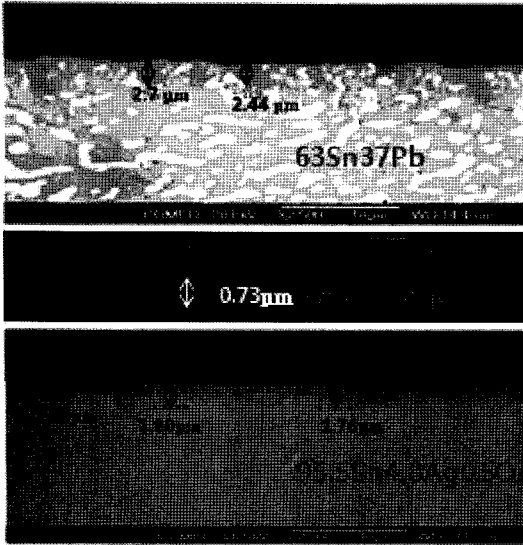


Fig. 12. SEM analysis for solders on NiAu.

3.3. 유한요소 해석결과

Fig. 11은 낙하시험에 대한 동적해석을 수행한 결과 발생하는 응력의 분포를 나타낸 것이다. 낙하시험에서 PCB의 중앙에 위치한 칩의 외각에 응력이 가장 많이 분포하였으며 이는 시험에서 중앙의 칩이 수명이 좋지 않았던 결과와 일치한다. 낙하시험에서 유연과 무연 솔더의 파단은 모두 IMC의 취성파괴를 보였다. 그러나 유한요소법으로는 IMC층을 묘사하는데 어려움이 있으므로 여기서는 솔더의 특성에 따른 신뢰성을 비교하였다. Fig.

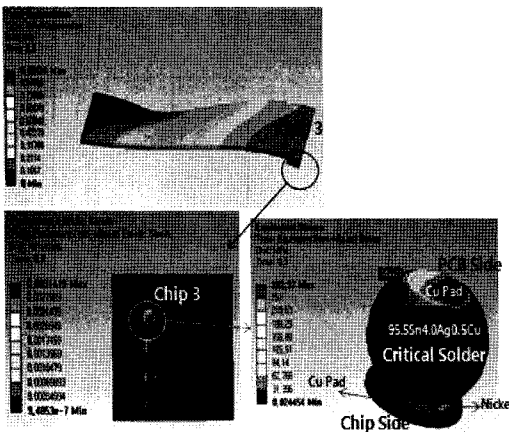


Fig. 13. Equivalent stress distribution (MPa) on lead-free solder joints at the PCB side for drop test.

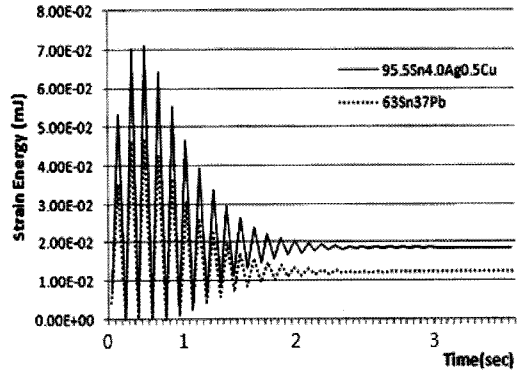


Fig. 14. Strain energy (mJ) profile on critical solder of leaded and lead-free solder.

14는 무연솔더(95.5-Sn4.0Ag0.5Cu)와 유연솔더(63Sn37Pb)의 탄성에너지(strain energy)를 비교한 결과이다. 변형에너지(strain energy)는 물체에 외력이 가해지면 이 힘에 대한 일이 물체에 흡수되는 것을 의미하며 더 많은 변형에너지를 흡수함은 솔더조인트의 IMC영역으로 전해지는 힘은 더 줄어들음을 의미한다.^{17),18)} 유연과 무연솔더에 같은 크기의 충격을 가했을 때 무연솔더가 더 많은 에너지를 흡수하고 있으므로 신뢰성이 상대적으로 좋을 것이라 판단된다. Fig. 15(a)는 충격가속도를 500 G, 1500 G, 2900 G로 변화를 주어 임계 솔더 볼(critical-solder)의 패키지부 조인트 면에서의 최대응력을 해석한 결과이며 충격가속도에 비례하여 응력이 커지는 것을 확인할 수 있다. 또한 Fig. 15(b)에서는 PCB를 고정시키는 나사 수를 많이 하여 해석을 수행하였는데 이 경우 최대응력을 감소시키는 결과를 얻었다. 4점굽힘시험에 대한 유한요소해석에서 두 개의 로드 엔빌에 같은 크기의 수직변위 하중을 가할 경우 Fig. 16에 나타난 바와 같이 PCB의 중앙에서 가장 큰 변형을 보이고 있음을 알 수 있다. 또한 패키지 내부에서는 응력의 재분배로 인해 최외각 솔더에 응력이 집중된 것을 볼 수 있다. 접합부 관찰에서 굽힘시험의 시편은 솔더 bulk영역에서 균열이 성장하면서 파단이 일어났는데 이로부터 4점굽힘시험은 솔더의 전단강도가 신뢰성에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다. 그러므로 굽힘시험에서는 솔더의 전단 변형률(shear strain)을 해석하여 솔더의 신뢰성을 비교하였다. 유·무연 솔더의 임계 솔더 볼을 비교한 결과 Table

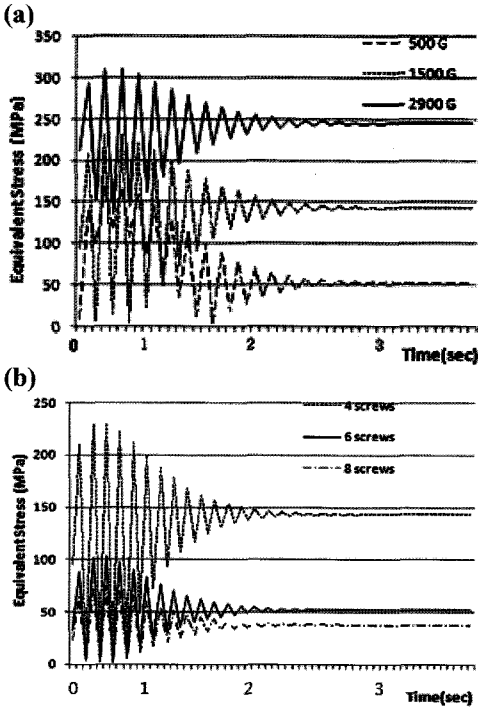


Fig. 15. (a) Comparison of equivalent stress on lead-free solder for different impact acceleration. (b) Comparison of equivalent stress on the lead-free solder for different number of screws.

4에 보인 바와 같이 무연솔더에 더 큰 응력이 집중하였다. 그러나 임계솔더볼의 균열진전방향으로의

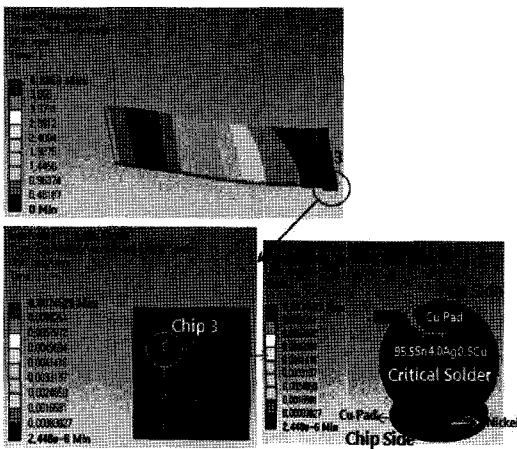


Fig. 16. Equivalent stress distribution (MPa) on the solder joints at the PCB side for 4-point bending test.

Table 4. Equivalent stress and shear strain on critical solder of leaded(63Sn37Pb) and lead-free(95.5Sn-4.0Ag0.5Cu) solder.

	Maximum Equivalent Stress on solder (MP a)	Maximum Shear strain of solder (mm/mm)
63Sn37Pb	301.7	0.0045833
95.5Sn4.0Ag0.5Cu	384.76	0.0030801

Table 5. Equivalent stress and shear strain on critical solder of lead-free solder(95.5Sn4.0Ag0.5Cu) solder for different displacement load levels.

Displacement Loads(mm)	Maximum Equivalent Stress on solder (MP a)	Maximum Shear strain of solder (mm/mm)
1 mm	192.38	0.00154
2 mm	384.76	0.0030801
4 mm	769.52	0.0061601

Table 6. Equivalent stress and shear strain on critical solder of lead-free solder(95.5Sn4.0Ag0.5Cu) solder for different interval of load anvils.

Interval of Load anvils (mm)	Maximum Equivalent Stress on solder (MP a)	Maximum Shear strain of solder (mm/mm)
60 mm	240.16	0.0024699
75 mm	384.76	0.0030801
90 mm	266.28	0.0031412

전단 변형률을 계산한 결과에서 무연솔더의 전단 변형률이 유연솔더보다 작으므로 신뢰성이 더 우수함을 예측할 수 있다. 무연솔더 모델의 하중 변위를 1 mm, 2 mm, 4 mm로 변화시켰을 때 하중 변위(하중변화)가 클수록 임계 솔더 볼은 큰 응력을 받게 되고 전단변형률도 증가하였다(Table 5). 로드 앤빌 사이의 거리를 60 mm, 75 mm, 90 mm로 변화시켰을 때에는 로드 앤빌의 거리가 작을수록 신뢰성을 개선시킬 수 있음을 알 수 있었다 (Table 6).

4. 결 론

참고문헌

본 연구에서는 휴대기기의 충격에 대한 신뢰성 평가를 위해 보드레벨에서 유 · 무연솔더(63Sn-37Pb, 97Sn2.5Ag0.5Cu, 95.5Sn4.0Ag0.5Cu)의 BGA 타입 패키지의 낙하시험과 4점굽힘시험을 실시하여 충격특성을 비교하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

1) 낙하시험과 4점굽힘시험에서 모두 무연솔더는 유연솔더보다 2배 이상의 높은 신뢰성을 보였다. 그러나 두 가지의 무연솔더 조성 중에서 Ag함량이 적은 97Sn2.5Ag0.5Cu 솔더는 낙하시험에서는 95.5Sn4.0Ag0.5Cu 솔더보다 좋은 신뢰성을 보인 반면 4점굽힘시험에서는 더 낮은 신뢰성을 보였다.

2) 광학현미경으로 접합부를 관찰한 결과 낙하시험의 시편은 패키지 부의 IMC층을 따라 취성파괴를 하였고, 굽힘시험의 시편은 패키징 부의 솔더마스크와 솔더의 접점에서부터 균열이 생성되어 연성파괴의 양상을 보이며 솔더 bulk로 성장하였다. 낙하시험에서는 강한 충격에 의한 응력이 취성영역인 IMC에서 균열을 발생시키며, 굽힘시험에서는 반복적인 작은 충격으로 인해 솔더 bulk 영역에서 지속적인 연성파괴가 발생함을 알 수 있었다.

3) 낙하시험과 4점굽힘시험 시 발생하는 응력의 분포는 유한요소법을 이용해 분석한 결과 주로 패키지의 외각솔더에 집중함을 알 수 있었다. 낙하시험에서는 변형에너지를 비교한 결과 무연솔더가 유연솔더보다 신뢰성이 좋은 것으로 분석되었다. 굽힘시험에서는 솔더의 전단변형률 계산을 통해 무연솔더가 유연솔더보다 전단강도가 높음을 알 수 있으며 따라서 연성파괴에 대한 저항성이 무연솔더가 높은 것으로 판단하였다. 또한 낙하시험과 굽힘시험에서 하중 또는 시험변수를 변화시켜 신뢰성을 개선할 수 있음을 알 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 서울테크노파크의 차세대패키징 공정 · 장비 실용화사업의 일환으로 지식경제부 지원을 받아 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

1. T. Hirano, K. Fukuda, K. Ito, T. Kiga and Y. Taniguchi, "Reliability of Lead Free Solder Joint by Using Chip Size Package", Electronics and the Environment (2001), pp.285-289.
2. JEDEC STANDARD JESD22-B111, "Board Level Drop Test Method of Components for Handheld Electronic Products", (2003)
3. JEDEC STANDARD JESD22-B113. "Bard Level Cyclic Bend Test Method for Interconnect Reliability Characterization of Components for Handheld Electronic Products", (2006)
4. Yong-Sung Lee, Jong-Seol Jeong, Jea-Heon Lee, Ki-Hoon Shin and Seong-Kyun Cheong, "A Study on the Failure Characteristics of Board Level Flip Chips in 4-point Bending Test", Korean Society of Machine Tool Engineers (2008. 05.), pp.121-126.
5. Kim Oh Sug, "Stress Analysis of Solder Ball on BGA Package in Board-level Drop Simulation (in Kor.)", in Ms.D. Thesis, pp.25, Hanyang University, Seoul (2007)
6. Jaeung Oh, Wonho Kang, Haejin Lee, Youngchan Ahn, Jungyoun Lee and Seungwoo Shin, "Thermal Fatigue life prediction for Surface Mount Solder Joint using the Energy Partitioning Approach", The Korean Society of Automotive Engineers (2006. 06.), pp.168-173.
7. Ilho Kim and Soon-Bok Lee, "Reliability Assessments of lead-contained and Lead-free BGA Solder Joints under Cyclic Bending Loads", Journal of the Microelectronics & Packaging Society (2006), Vol.13, No 1, pp.63-72.
8. Tong Yan Tee, Jing-en Luan and Hun Sheng Ng, "Development and Application of Innovational drop Impact Modeling Techniques", Electronic Components and Technology Conference (2005), pp.504-512.
9. E.H. Wong, K.M. Lim, Norman Lee, Simon Seah, Cindy Hoe and Jason Wang, "Drop Impact Test-Mechanics & Physics of Failure", Electronics packaging Technology Conference (2002), pp. 327-333.
10. Desmond Y.R. Chong, H.J. Toh, B.K. Lim and Patrick T.H. Low, "Drop Reliability Performance Assessment for PCB Assemblies of Chip Scale Packages (CSP)", Electronics packaging Tech-nology Conference (2005), pp.262-269.
11. Mikko Alajoki, Luu Nguyen and Jorma Kivilahti, "Drop Test Reliability of Wafer level Chip Scale Packages." Electronic Components and Tech-nology

- Conference (2005), pp.637-644.
12. Ilho Kim and Soon-bok Lee, "Reliability and Failure Analysis of lead-Free Solder Joints for PBGA Package under a Cyclic Bending Load", *Components and Packaging Technologies* (2008. 06.), Vol. 31, No. 2, pp.478-484.
 13. Jin-Wook Jang, Ananda P. De Silva, James E. Drye, Steve L. Post, Norman L. Owens, Jong-Kai Lin and Darrel R. Frear, "Failure Morphology After Drop Impact Test of Ball Grid Array (BGA) Package with Lead-Free Sn-3.8Ag-0.7Cu and Eutectic SnPb Solders", *Electronics Packaging Manufacturing* (2007), Vol. 30, No. 1, pp.49-53.
 14. Anonymous "Fragility of Pb-free Solder Joint", Article, *Universal Instruments*, 2004, pp.4.
 15. H.-J. Albrecht, A. Juritza, K. Müller, W. H. Müller, J. Sterthaus, J. Villain and A. Vogliano, "Interface Reactions in Microelectronic Solder Joints and Associated Intermetallic Compounds: An Investigation of their Mechanical Properties using Nanoindentation", *Electronics Packaging Technology Conference* (2003), pp. 726-731.
 16. Janne J. Sundelin, Sami T. Nurmi, Toivo K. Lepisto and Eero O. Ristolainen, "Mechanical and microstructural properties of SnAgCu solder joints", *Materials Science and Engineering A 420* (2006) 55-62.
 17. Ganesh Iyer, Eric Ouyang, Witoon Kittidacha, Soratos Tantideeravit and Suresh LK, "Pb-free Solder: SAC105 vs SAC305 Drop-Test Re-liability Data Comparison", *Int'l Electronics Manufacturing Technology Symposium* (2007), pp. 251-255.
 18. W.H.Zhu, Juhua Xu, John HL Pang, X.R. Zhang, Edith Poh, Y.F. Sun, Anthony Y.S. Sun, C.K. Wang and H.B. Tan, "Drop Reliability Study of PBGA Assemblies with SAC305, SAC105 and SAC105-Ni Solder Ball on Cu-OSP and ENIG Surface Finish", *Electronic Components and Technology Conference* (2008), pp.1667-1672.