

## 플립 칩 BGA에서 2차 레벨 솔더접합부의 신뢰성 향상

김 경 섭\* · 이 석\*\* · 장 의 구\*\*\*

\*여주대학 전자과

\*\*중앙대학교 기계공학부

\*\*\*중앙대학교 전자전기공학부

### The Improvement of 2nd Level Solder Joint Reliability for Flip Chip Ball Grid Array

Kyung-Seob Kim\*, Suk-Lee\*\* and Eui-Goo Chang\*\*\*

\*Dept. of Electronics, Yeojoo Institute of Technology, Yeojoo 469-800, Korea

\*\*Dept. of Mechanical Engineering, Chung-Ang University, Seoul 156-756, Korea

\*\*\*Dept. of Electrical Engineering, Chung-Ang University, Seoul 156-756, Korea

#### Abstract

FC-BGA has advantages over other interconnection methods including high I/O counts, better electrical performance, high throughput, and low profile. But, FC-BGA has a lot of reliability issues. The 2nd level solder joint reliability of the FC-BGA with large chip on laminate substrate was studied in this paper. The purpose of this study is to discuss solder joint failures of 2nd level thermal cycling test. This work has been done to understand the influence of the structure of package, the properties of underfill, the properties and thickness of bismaleimide triazine substrate and the temperature range of thermal cycling on 2nd level solder joint reliability. The increase of bismaleimide triazine substrate thickness applied to low modulus underfill was improve of solder joint reliability. The resistance of solder ball fatigue was increased solder ball size in the solder joints of FC-BGA.

(Received January 3, 2002)

Key Words : Flip chip, Solder joint, Underfill, Warpage, Finite element analysis

#### 1. 서 론

솔더 범프를 이용한 플립 칩(flip chip, FC) 접속 기술은 시스템의 소형화, 경량화, 고속화 요구 및 마이크로 일렉트로닉스의 성능을 향상시키기 위해 중요한 기술로서, 향후 1~2년 후에는  $10 \times 10 \text{mm}^2$  칩 당 I/O 패드수가 2000개 이상 될 것으로 예상되어 플립 칩 실장 기술의 중요성이 강조되고 있다<sup>1)</sup>. 플립 칩 방식은 실리콘 칩(이하 "칩")에 형성된 솔더 또는 금 범프를 이용하여 직접 기판 측의 패드와 연결하기 때문에 와이어 본딩 방식보다 접속 길이를 짧게 하여 전기적인 성능의 향상을 도모할 수 있다. 이러한 기술은 IBM이 1960년대에 처음 소개한 C4(Controlled Collapse Chip Connection) 기술을 기초로 하고 있다. 그러나

이러한 장점들에 비해 FC-BGA에서는 칩과 패키지용 BT(Bismaleimide Triazine) 기판 및 언더 필(fill)간의 열팽창계수 차이로 인해 신뢰성에 많은 문제를 가지고 있다<sup>2)</sup>. 특히 리플로우시에 열팽창계수 차이에 의해 솔더 볼에 가해지는 응력과 패키지 자체의 휨(warpage) 발생이 솔더접합부 불량률의 주된 요인으로 작용하고 있다. 그 중에서도 패키지가 시스템 PCB(Printed Circuit Board)에 부착되는 2차 레벨 솔더접합부에서의 신뢰성 문제가 중요 과제로 대두되고 있다<sup>3-7)</sup>. 현재 반도체 패키징 업체에서 FC-BGA의 개발을 진행하고 있으나, 이들 패키지를 시스템에 실장한 후 장기 신뢰성에 대한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 FC-BGA에 있어서 솔더접합부의 장기 신뢰성에 대한 연구가 중요하게 대두되고 있다.

본 논문에서는 FC-BGA에서 발생하는 2차 레벨 솔

더접합부의 신뢰성 문제를 해결하기 위해 열 사이클 조건, 언더 필 재료, 패키지용 BT 기판의 종류 및 두께와 같은 여러 가지 조건을 변수로 하여 신뢰성을 평가하였다.

### 2. 실험 방법

실험에 사용된 패키지는 153 FC-BGA(9×17) 이며, Fig. 1에 구조를 나타내었다. 패키지의 외관 크기는 14×22mm<sup>2</sup>이고, 칩 두께는 500 $\mu$ m이다. 또한 솔더 볼 크기는 지름이 0.76mm<sup>2</sup>이며, 피치는 1.27mm이다. 패키지용 BT 기판은 0.95mm, 1.20mm 2종류를 적용하였고, 범프 패드 부분은 Cu위에 Sn-37wt%Pb 조성으로 예비솔더(pre-deposited solder) 방법으로 형성된 것을 사용하였다. FC-BGA 실장에 사용된 PCB는 1.27mm 두께의 6층 FR-4를 사용하였으며, 볼 패드 부분은 600 $\mu$ m로 솔더 레지스트가 개방된 SMD(Solder Mask Defined) 구조로 설계하였다. 또한 언더 필 재료는 급속유동(fast-flow) 타입으로 경화 조건은 165 $^{\circ}$ C에서 30분간 처리하였다.

유한요소 해석은 ANSYS 5.6을 사용하였으며, 모델의 대칭구조를 고려하여 반단면의 1/2 부분을 모델링하였다. 구성되어진 모델은 응력과 피로 수명에 미치는 영향을 고려하여 칩, BT 기판, 언더 필, 솔더 볼, PCB로 형상을 단순화하였다. 또한 솔더를 제외한 모든 재료는 선형 탄성재료로 가정하였다. 해석에 적용된 열 사이클 조건은 -25 $^{\circ}$ C~125 $^{\circ}$ C와 0 $^{\circ}$ C~100 $^{\circ}$ C 온도조건에서 램프 시간을 1분, 3분, 10분 3단계로 해석하여 피로 수명을 평가하였다. 또한 신뢰성 평가 시험은 -25 $^{\circ}$ C~125 $^{\circ}$ C 조건으로 온도 상승구간 1분, 고온 유지기간 14분, 온도 하강구간 1분, 저온 유지기간 14분을 적용하였다. 패키지를 구성하고 있는 재료의 물성치를 Table 1에 나타내었다.

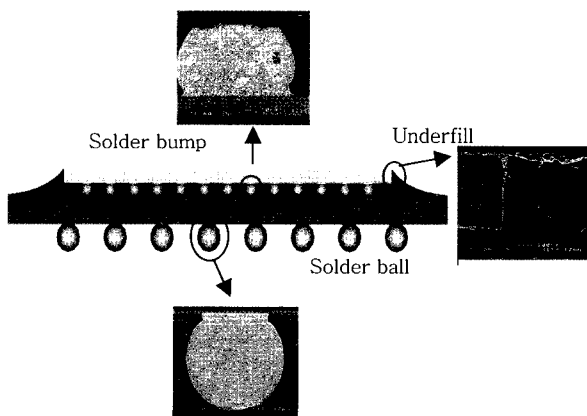


Fig. 1 A cross-sectional view of the FC-BGA

Table 1 Material properties of components in a FC-BGA

Component	Material	Young's Modulus (GPa)	CTE (ppm/ $^{\circ}$ C)	Possion's ratio
Chip	Silicon	165	2.4	0.28
Substrate	BT	20	15.0	0.39
Solder ball	63Sn-37Pb	43.25	25.4	0.36
Encapsulant	Underfill(A)	7.20	$\alpha$ 1: 34 $\alpha$ 2: 110	0.30
	Underfill(B)	0.15	$\alpha$ 1: 60 $\alpha$ 2: 180	0.35
PCB	FR-5	31	7.0	0.45
	FR-4	22	18.0	0.28

### 3. 결과 및 고찰

FC-BGA에서는 피로 수명을 증가시키기 위해 칩 과 BT 기판 사이에 언더 필 재료로 밀봉하여 솔더접합부의 신뢰성을 향상시킬 수 있다. 언더 필을 사용하지 않을 때에는 칩과 BT 기판 사이의 열팽창계수 차이에 의해서 발생하는 열 응력을 솔더접합부에서 흡수하지만, 언더 필을 사용하는 경우에는 언더 필이 칩과 BT 기판 사이에 구속 작용을 하여 솔더접합부에 가해지는 열 응력을 감소시키는 효과가 있다. 그러나 언더 필은 솔더 접합부의 수명을 증가시키지만 반대로 패키지의 휨을 발생시키는 문제를 가지고 있다. 패키지를 시스템 PCB에 실장할 때 63wt%Sn-37wt%Pb 솔더 볼의 용융점인 183 $^{\circ}$ C 이상의 온도에서는 언더 필 재료의 경화 온도인 140 $^{\circ}$ C~160 $^{\circ}$ C 보다 높기 때문에 컵(cup) 모양의 휨이 발생한다. 이 상태에서 패키지가 고온에서 상온으로 냉각되면서 솔더 볼은 응고되고, 패키지는 Fig. 2(b)와 (c) 형태의 휨이 발생하게 된다. 이때 A 점에서는 최대 인장응력이, B 점에서는 최대 압축응력이 발생하게 된다. 패키징 후에 발생된 자체 휨에 의해 FC-BGA는 PCB에 실장 되면서 솔더 볼에 많은 응력을 받게 된다. PCB에 단면으로 실장되는 경우는 PCB 자체가 패키지를 따라 휨이 발생하기 때문에 솔더 볼에 가해지는 응력을 감소시킬 수 있다. 그러나 동일 FC-BGA로 양면 실장되는 경우 PCB는 패키지에 의해서 서로 구속되어 휨이 발생할 수 없기 때문에 더 많은 응력이 솔더 볼에 가해진다<sup>7)</sup>. Fig. 2에 FC-BGA가 PCB에 실장되면서 발생하는 패키지 휨에 대해서 개략적으로 나타냈다.

Fig. 3(a)와 (b)는 열 사이클 조건에서 솔더 볼에

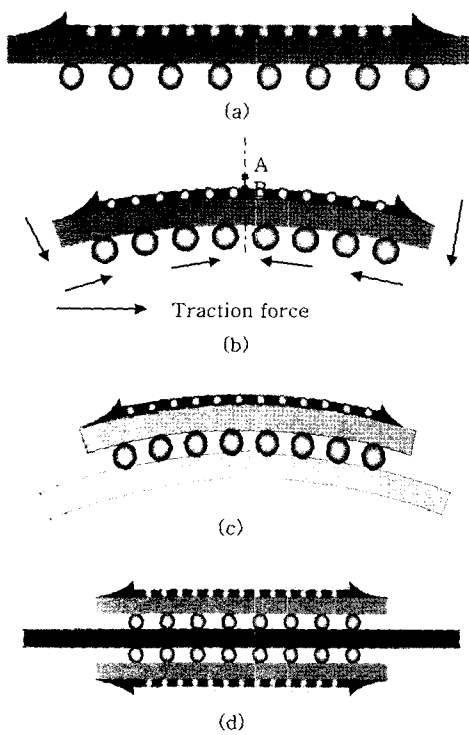


Fig. 2 Schematic warpage behaviors of PCB mounting (a) before underfill curing (b) after underfill curing (c) single side (d) double side

가해지는 응력과 최대 변형 위치를 유한요소 해석하여 나타낸 결과이다. 솔더 볼에서 가장 변형이 많이 걸리는 부분은 칩의 가장자리(edge)에서 중심부분으로 이동해 있음을 알 수 있다. 즉, 6번째 솔더 볼에서 가장 큰 변형이 발생하는 것을 알 수 있었다. 일반적으로 몰딩이나 포팅 형태의 PBGA의 경우, 2차 레벨 솔더접합부의 파손 위치는 칩 하단의 DNP(Distance from the Neutral Point)가 가장 큰 솔더 볼에서 발생한다. 이와 같은 결과는 패키지와 PCB 사이의 열팽창계수 차이로 인하여 발생하는 응력이 칩 가장자리 근처에서 최대가 되기 때문이다<sup>3)</sup>. 그러나 FC-BGA의 경우 칩이 외부로 노출되는 구조적 특징에 의해 발생하는 많은 패키지 휨은 솔더 볼에 인장 응력이 걸리게 되고, 열팽창계수 차이에 의해 발생하는 전단응력이 불량률의 주 요인으로 작용함을 알 수 있었다.

패키지가 기판에 실장되는 2차 레벨 솔더접합부의 신뢰성은 열 사이클 시험 온도 범위에 많은 영향을 받는다. Table 2에 -25℃~125℃와 0℃~100℃의 열 사이클 온도 조건에서 발생하는 크립 변형률과 소성 변형률에 대한 유한요소 해석 결과를 나타내었다. Table 2에서와 같이 0℃~100℃ 조건에서는 크립과 소성 변형률의 합인 전체 변형률이 -25℃~125℃ 조건의 전체 변형률보다 감소하였으며, 특히 소성 변형률이 크게 감

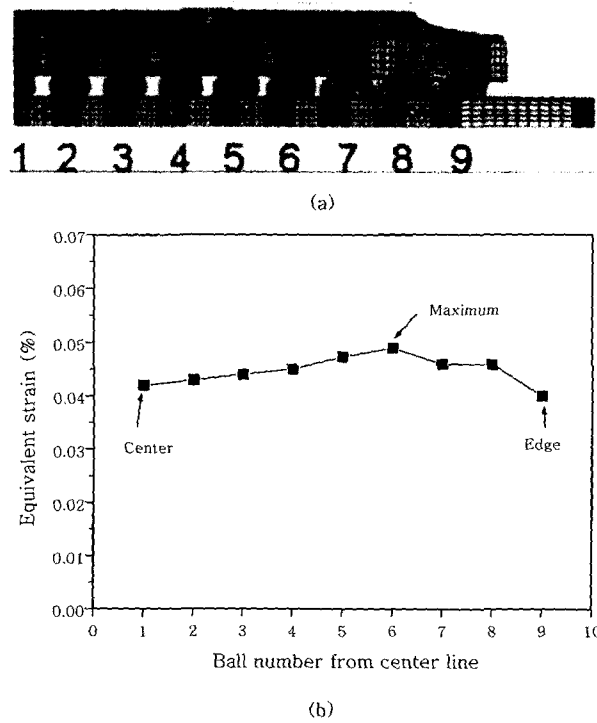


Fig. 3 Distributions of equivalent strain depending on location solder ball

Table 2 Strain results of thermal cycling conditions

Conditions	Ramp time (minutes)	Creep strain	Plastic strain	Total strain
-25℃~125℃	1	0.0220	0.0287	0.0507
	3	0.0331	0.0186	0.0517
	10	0.0368	0.0113	0.0481
0℃~100℃	1	0.01010	0.00136	0.01146
	3	0.01110	0.00044	0.01154
	10	0.01140	0.00000	0.01140

소하였다. 이와 같은 결과는 -25℃~125℃의 온도 조건은 0℃~100℃에 비해 크립 변형이 많이 발생하는 100℃~125℃의 온도 구간이 존재하고, 상대적으로 온도 차이(ΔT)가 크기 때문이다.

Fig. 4에 패키지용 기판의 재질에 따라 발생하는 휨의 차이를 나타내었다. Fig. 4의 결과에서 보였듯이 단면 실장에 있어 0.95mm 두께의 BT 재질은 동일한 두께의 FR-5와 비교하여 패키지 휨 발생이 약 2배 증가하였으나, 모든 재질에서 솔더접합부의 단락은 1000사이클까지 발생하지 않았다. 그러나 양면실장의 경우는 패키지의 휨 발생이 감소함에도 불구하고 BT와 FR-5 재질에서 10%의 단락 불량률이 발생하였다. 이와 같은

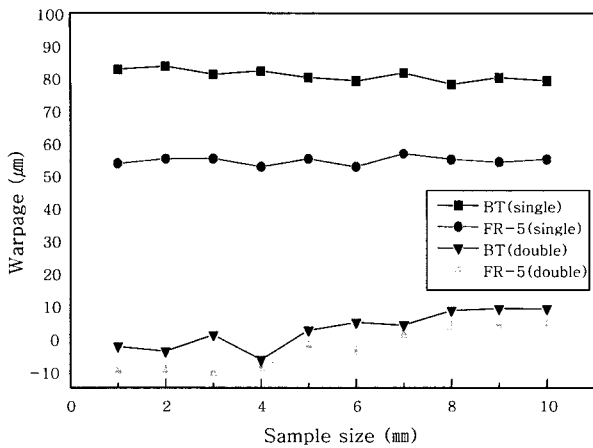


Fig. 4 FC-BGA warpage on substrate material

결과는 FR-5의 열팽창계수 값이 7~9ppm/°C인데 비해서 BT 재료는 15~17ppm/°C로 열팽창계수 차이에서 발생하는 전단응력에 의한 영향이 가장 큰 것으로 판단된다. 또한 단면 실장에서는 패키지 휨 방향으로의 변형이 발생할 수 있었으나, 양면 실장의 경우는 오히려 변형을 억제함으로써 신뢰성 결과에 나쁜 영향을 준 것으로 판단된다.

또한 Table 1에 나타낸 언더 필 재료를 사용하여 패키지의 휨 발생이 솔더접합부의 신뢰성에 미치는 영향을 평가하였다. 양면 기판을 적용하여 -25°C~125°C 조건의 열 사이클 시험을 행한 결과 언더 필 A로 제작된 시편에서는 초기 300 사이클에서 50% 이상의 단락 불량 발생하였다. 그러나 B 시편에서는 불량의 발생이 없이 양호하였다.

Fig. 5에 A 재료의 시편을 300 사이클 동안 진행한 후 SEM(Scanning Electron Microscopy)으로 관찰한 사진을 나타내었다. 이와 같은 결과는 해석 결과에서 보였듯이 언더 필 A 재료는 평균 80μm의 휨이 발생하였으나, B 재료에서는 10μm의 작은 휨이 발생하였으며 언더 필 재료는 패키지 휨에 의한 인장응력이 상

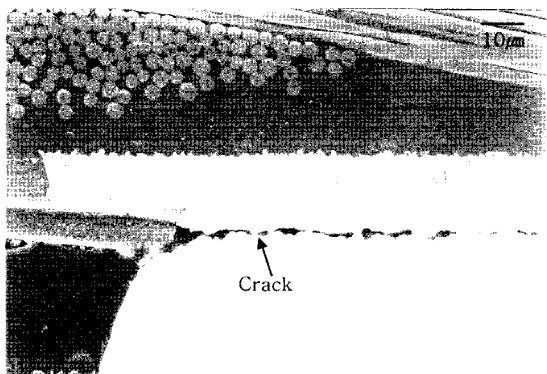


Fig. 5 Cross sectional view of solder joint after thermal cycles (Underfill A)

대적으로 감소하기 때문에 열 피로수명이 향상되는 것으로 판단된다.

BT 기판의 두께에 따라 솔더접합부의 피로 수명을 예측하기 위해 -25°C~125°C 조건의 열 사이클 시험을 행하여, 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 그림에서 보듯이 BT 기판의 두께가 0.95mm에서 1.20mm로 증가함에 따라 솔더접합부의 열 피로 수명도 향상됨을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 패키지의 휨이 0.95mm 기판 두께에서는 79~85μm 발생하였으나, 1.20mm는 55~62μm로 감소하였기 때문이다. 또한 솔더 볼의 크기를 0.76mm에서 0.89mm로 증가시켰을 때 피로 수명에 미치는 영향을 분석하여 Fig. 7에 나타내었다. 그림에서와 같이 솔더 볼의 크기가 0.76mm에서 0.89mm로 증가하면 솔더접합부의 피로 수명은 약 2배 향상된다. 따라서 솔더 볼 크기의 증가는 실장 높이를 증가시켜 전단 변형률을 감소시키기 때문에 솔더접합부의 열 피로 수명이 향상됨을 알 수 있었다.

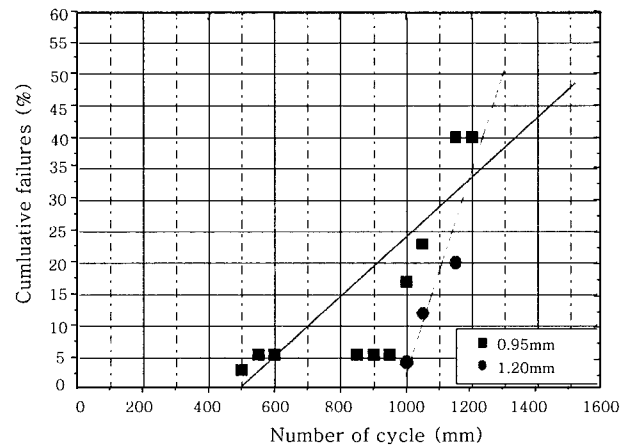


Fig. 6 Solder joint reliability on substrate thickness (-25°C~125°C)

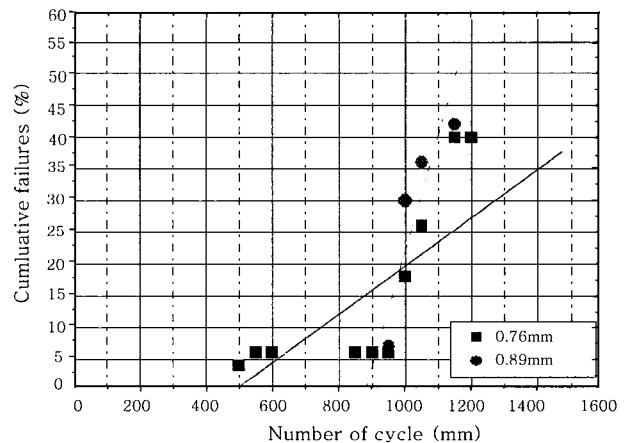


Fig. 7 Solder joint reliability on solder ball size (-25°C~125°C)

## 4. 결 론

본 연구에서는 153 FC-BGA를 PCB에 실장 했을 때 패키지의 휨 발생과 2차 레벨 솔더접합부의 신뢰성을 평가하였다. 또한 여러 가지 조건을 변수로 하여 솔더접합부의 신뢰성을 향상시키기 위한 방법에 대해 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 153 FC-BGA에서 솔더 볼에 가장 변형이 많이 걸리는 위치는 칩의 가장자리에서 중심부분으로 이동한 6번째 솔더 볼이었다.

2) 기판의 두께를 0.95mm에서 1.20mm로 증가시키면 패키지의 휨 발생이 85 $\mu$ m에서 55 $\mu$ m로 감소하였고, 상대적으로 피로 수명은 향상되었다.

3) 솔더 볼의 크기를 0.76mm에서 0.89mm로 증가시키면, 솔더접합부의 피로 수명은 2배 향상되었다.

4) FC-BGA에 있어서 2차 레벨 솔더접합부의 신뢰성 향상은 PCB와 패키지간의 열팽창계수 차이를 줄이고, FC-BGA의 휨 발생을 감소시키는 방법이 효과적임을 알 수 있었다.

## 참 고 문 헌

1. M.B. Vincent, C.P. Wong : Enhancement of Underfill Encapsulants for Flip-Chip Technology, Proceeding of Surface Mount International Conference, (1998), 303-312
2. C.P. Wong, M.B. Vincent : Fast-Flow Underfill Encapsulant: Flow Rate and Coefficient of Thermal Expansion, Advances in Electronic Packaging, ASME, (1997), 301-306
3. Scott F. Popelar : An Investigation into the Fracture of Silicon Die used in Flip Chip Application, International Symposium on Advanced Packaging Materials, (1998), 41-48
4. Quan Qi : 2nd Level Reliability Investigation of Memory Package Using Power Cycling Test, International Symposium on Microelectronics, (1999), 688-693
5. Peng Su, Sven Rzepka : The Effects of Underfill on the Reliability of Flip Chip Solder Joints, Journal of Electronic Materials **28-9**, (1999), 1017-1022
6. James Pyland, Raghuram Pucha, : Effect of Underfill on BGA Reliability, Electronic Components and Technology Conference, (2001)
7. Rao R. Tummala : Fundamentals of Microsystems Packaging, McGraw-Hill, (2001)