

(Optimal Shape of μ BGA Solder Joints and Thermal Fatigue Life)

신영의, 황성진, 김종민
중앙대학교 기계공학부

Abstract

In this paper, several methods to predict the solder joint shape are studied. Although there are various methods to predict the solder joint shape, such as truncated sphere method, force-balanced analytical solution, and energy-based methods like surface evolver developed by Ken Brakke, we calculate solder joint shape of μ BGA by two solder joint shape prediction methods(truncated sphere method and surface evolver) and then compare results of each method. The results indicate that two methods can accurately predict the solder joint shape in an accurate range. After that, we calculate reliability solder joint shape under thermal cycle test by FEA program ANSYS. As a result, it could be found that optimal solder joint shape calculated by solder joint prediction method has best reliability in thermal cycle test.

1. Introduction

최근 반도체 응용분야가 급속도로 확대되면서 다양한 요구사항 대응에 필요한 반도체 패키지 또한 급증하고 있으며 BGA, CSP 및 Flip Chip 패키지가 보편적으로 사용되고 있다. 또한, 고밀도 실장기술이 발전함에 따라 표면 실장 공정에 따른 조립 생산량과 솔더 접합부의 신뢰성에 대한 관심이 더욱 커지게 되었다. 부품의 크기가 작아지고, 인터커넥션과 패키지가 물리적·열적 스트레스에 민감해짐으로써, 최선의 기술을 선택하여 지속적이고 신뢰할만한 생산 결과를 창출하는 것은 점점 어려워지고 있다. 솔더 접합부의 신뢰성은 솔더 재료의 성질과 더불어 솔더 접합부의 형상에 높은 의존도를 가지고 있다고 보고되고 있고, 많은 연구자들 사이에 솔더 리플로우 형상을 예측하는 것이 중요한 문제로 대두될 만큼 솔더 접합부의 형상은 제품의 신뢰성을 크게 좌우할 수 있다.

본 연구에서는 앞에서 언급한 CSP계열의 패키지인 μ BGA를 사용하여 접합부의 신뢰성을 연구하였다. 솔더 리플로우 형상을 예측하는 방법에는 Truncated Sphere법, 힘-평형 해석법(force-balanced analytical method), 에너지법(energy-based algorithm)등이 있는데, 이상의 방법이 솔더 접합부의 형상을 예측하는 주된 방법들이다¹⁾. 본 연구에서는 Truncated Sphere법과 에너지법을 기본으로 제작된 FEA 프로그램인 Surface Evolver를 사용하여 솔더 접합부의 형상을 예측하고, 그 결과를 비교하였다. 또한, 예측된 형상을 모델링하고 FEA 프로그램인 ANSYS를 사용하여 가장 적은 변형량을 나타내는 최적 솔더 접합부의 형상을 찾아내었으며, 형상 예측법의 타당성을 입증하였다.

2. Experimental**2.1. 솔더 접합부의 형상예측 및 모델링**

본 연구는 μ BGA 패키지중 0.35mm솔더 볼을 사용하여 제작된 6×8 배열의 패키지를 대상으로 하였다. 볼 피치는 0.75mm이며, 칩과 폴리이미드 필름 사이에는 응력완화재인 일라스트머를 사용하였다. 그리고, 사용한 볼의 재질은 Sn-37Pb이며, I/O는 48개인 패키지이다. 그리고 Truncated Sphere법과 에너지법 중 최소 에너지 법칙을 바탕으로 제작된 FEA 프로그램인 Surface Evolver를 사용하여 솔더 접합부의 최적 형상을 예측하고, 형상의 신뢰성을 확보하기 위해서 Preprocess (모

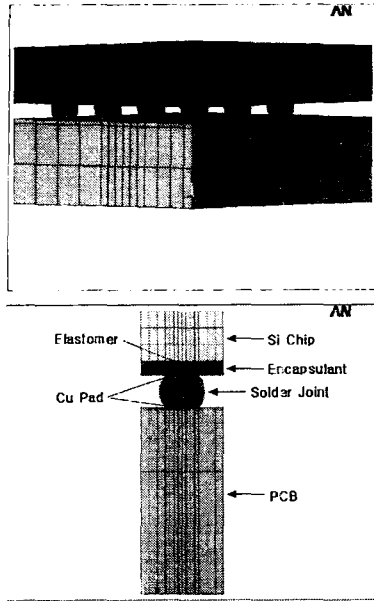


Fig.1 FEM model

델링) - Solution (해석) - Postprocess (그래픽)기능을 장착한 ANSYS를 사용하였다.

모델의 구성은 실리콘 칩, 인캡슐런트, 구리 패드, 일라스토머, 솔더 접합부, FR-4재질의 PCB등의 총 6가지의 재질로 단순화하였다. Fig.1 은 대상 모델의 개략적인 구조를 나타낸다. 모델은 최적높이에 의해 구현된 형상과 임의의 오차를 가한 2개의 모델로 총 3개를 대상으로 유한요소해석을 실시하였고, 각 모델의 해석과정에서 결과의 차이를 배제하기 위해 모두 동일한 mesh방식과 1,603개의 노드(node)와 1,297개의 요소(element)로 동일하게 구성하였다. 유한요소해석에 사용된 각 재질의 물성치는 모두 등방성의 탄성재료로 가정하였다. 경계조건은 전체 모델에서 절단된 절단면에 존재하는 x=0인 노드, y=0인 노드, z=0인 노드를 각각의 축의 방향에 대하여 고정시켰으며, 좌표축의 원점이 되는 노드는 모든 방향에 대하여 고정시켰다. 하중 조건으로는 시간에 따른 온도변화를 테이블 형식으로 가하였으며, 시간에 따라 모든 노드에 균일한 온도가 발생하도록 설정하였다. Fig.2 에 시간에 따라 모델에 가한 온도프로파일을 나타내

었다. 또한, 열 사이클로부터 솔더 접합부에 있어서 솔더의 비선형성에 따른 안정된 변형경로곡선을 얻고, 일시적인 립(transient ratcheting)현상이나, 하강(shakedown)효과를 최소화하기 위하여 완전한 2사이클을 가하였다²⁾.

3.2. 솔더 접합부의 열피로 파괴

솔더 접합부의 상단에서 발생하는 응력과 변형율은 여러 방향에 대해 복합적으로 작용하게 되나 Von-Mises 항복 조건식을 이용하여 다음과 같은 상당 응력과 변형율로 표현할 수 있다.

$$\sigma_{eg} = \sqrt{(1/2) [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]}^{1/2} \quad (1)$$

$$\epsilon_{eg} = \sqrt{(1/2) [(\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + (\epsilon_2 - \epsilon_3)^2 + (\epsilon_3 - \epsilon_1)^2]}^{1/2} \quad (2)$$

여기서, $\sigma_i(i=1,2,3)$ 는 주응력을, $\epsilon_i(i=1,2,3)$ 는 주변형률을 나타낸다. 따라서, 위 식으로부터 온도변화에 따른 응력 및 변형률 값을 구할 수 있다. 여기서 발생된 전체 상당변형률은 유한 요소 해석 결과로부터 얻어진 탄성·소성변형률 크기의 총합으로 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\epsilon_t = \epsilon_{el} + \epsilon_{pl} \quad (3)$$

위 식의 ϵ_{pl} 값은 제품의 수명과 직결되므로 형상 수명예측의 중요한 지표라고 할 수 있다.

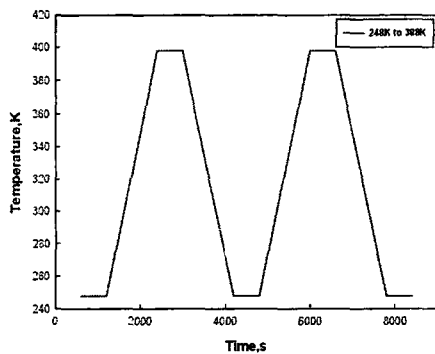


Fig.2 Temperature profile of thermal cycling test

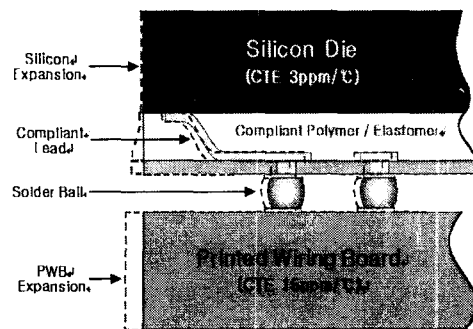


Fig.3 Expansion mode in solder joint of μ BGA

3. Results and Discussion

3.1. 형상 예측 결과

패드 크기의 경우 BGA, CSP 전극부 크기와 동일하게 하는 것이 장기 신뢰성에서는 가장 좋은 것으로 알려져 있다³⁾. Truncated Sphere법을 이용해 구한 최적 형상의 h 값을 기준으로 오차값은 뚜렷한 결과가 예측되는 임의의 오차($\pm 0.05\text{mm}$)를 주어 2개의 접합부를 더 형상화하였다. Fig.4는 Truncated Sphere법의 결과를 토대로 Surface Evolver를 이용하여 구한 최적의 형상과 접합부의 높이에 임의의 오차를 가한 2개의 슬더 접합부를 나타낸 것이다.

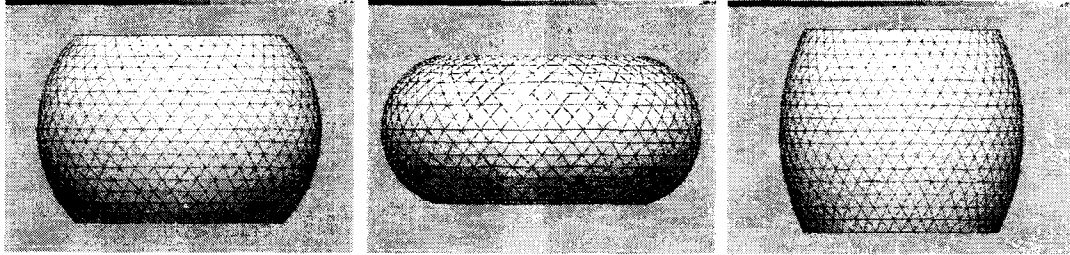


Fig.4 Solder joint shapes calculated by Surface Evolver

3.2. 유한요소해석 결과

각 형상의 해석 후 나타난 Von Mises 응력분포를 Fig.5에 나타내었다. 응력분포를 살펴보면 각각의 대상 모델은 인캡슐런트와 칩의 계면에서 많은 응력이 발생하였고, 슬더볼과 구리 패드 사이의 계면에서 최대 응력이 발생하였다. 이러한 결과, 각각의 대상 모델은 슬더볼과 구리 패드 사이의 계면에서 최초 파단이 일어날 것을 짐작할 수 있다. 또한, 이러한 응력집중은 해석 대상에 열응력을 가한 결과이므로, 소성변형량의 변화와 밀접한 관계가 있다. 소성변형의 증첩은 파단에 이르게 하는 가장 큰 요인 중 하나이다. 그래서, 해석결과를 정리하여 각 형상들의 소성변형량을 측정하고, 그 값을 이용하여 소성변형 진폭을 구하여 각 모델의 수명을 예측하였다. 결과를 보면 최적형상이 가장 작은 소성변형진폭을 나타냄을 알 수 있다. Table 1에는 각 형상의 소성변형진폭을 나타내었다. 그리고, Fig.6는 각 형상이 열 사이클 실험 동안 나타낸 소성 변형의 움직임을 보여준다.

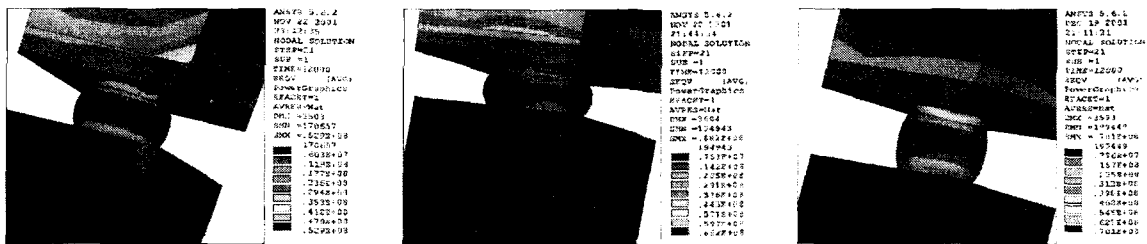


Fig.5 Solder joints shape after FEA

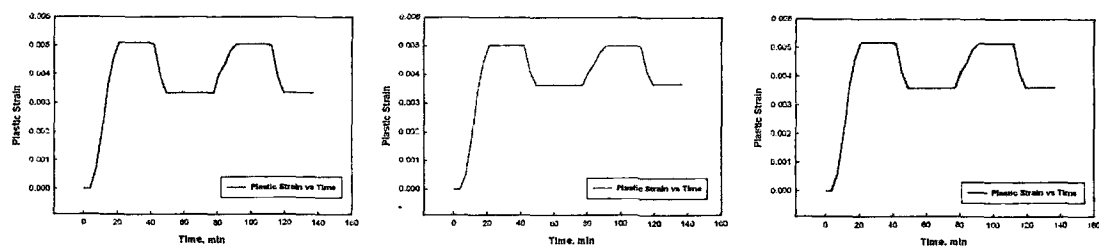


Fig.6 Hysteresis curve of shapes

3.3. 열 피로수명 계산

대략적인 피로수명 계산을 위해 Coffin-Manson의 수명 예측식을 이용하였다. 피로상수 a 와 C 는 기존에 발표되었던 Sn-37Pb 솔더의 피로상수를 사용하였으며, 피로상수값은 Table 2에 나타내었다⁴⁾. 그리고, 식 $\epsilon_a \cdot N_f^a = C$ 에 의해 계산된 N_f 값은 Table 3에 나타내었다. 결과에서 알 수 있듯이 Truncated Sphere법과 Surface Evolver가 제안한 솔더 접합부의 형상이 임의의 오차를 가한 다른 형상에 비해 약 4%~8% 우수한 수명을 나타내었다. 이것은 솔더 접합부 형상 예측법이 제시한 형상이 가장 적합한 모델이며, 제품의 수명면에서도 가장 우수하다는 것을 알 수 있다.

Table 1. Plastic strain amplitude of each shape

	Optimal shape	Low height shape	High height shape
ϵ_a	0.002209	0.002244	0.002286

Table 2. Fatigue constants of Sn-37Pb solder

	a	C
Sn-37Pb	0.49	0.24

Table 3. N_f of each shapp

	Optimal shape	Low height shape	High height shape
N_f	14290	13835	13304

4. conclusion

Truncated Sphere법을 이용하여 구현한 형상과 Surface Evolver를 이용하여 구현한 형상을 서로 비교한 결과, 서로의 오차가 $\pm 0.002\text{mm}$ 로 거의 일치함을 확인하였다. 또한 형상 예측법으로 구현한 형상을 대상으로 FEA 프로그램을 사용하여 열 사이클 시험을 실시한 결과, 형상 예측법이 제시한 접합부 형상의 수명이 임의의 오차를 갖는 다른 형상에 비해 약 4%~8% 우수한 것으로 나타났다.

Acknowledgment

이 논문은 한국과학재단 2001년도 특정기초연구과제의 연구비 지원에 의한 것이며, 이에 감사 드립니다. (과제번호:R01-2000-00227)

References

- [1] Kuo-Ning Chiang and Chang-An Yuan, "An Overview of Solder Bump Shape Prediction Algorithms with Validations", *IEEE Transactions on Advanced Packaging*, 24, pp158-162 (2001)
- [2] 김종민, "클래드 다이패드를 이용한 TSOP 솔더접합부의 수명예측 및 품질 향상에 관한 연구", 중앙대학교 석사학위 논문, pp16 (1998)
- [3] 이어화, "최근 각광받고 있는 BGA·CSP 실장기술 동향, 고밀도 실장 및 고속 응답성 등 전자기기 적용 추세", *電子産業情報*, SMT/PCB Korea 2001 전시회 특별호, pp118-123 (2001)
- [4] Y.Kariya, H.Kagawa and M.Otsuka, "Effect of Strain Rate, Hold Time and Third Element on The Fatigue", *Mate* 99, January 29-30 (1998)