

BLP 패키지의 솔더 조인트의 신뢰성 연구

Solder Joint Reliability of Bottom-led Plastic Package

박주혁*

*세종대학교 기계공학과

Abstract

The bottom-led plastic(BLP) packages have attracted substantial attention since its appearance in the electronic industry. Since the solder materials have relatively low creep resistance and are susceptible to low cycle fatigue, the life of the solder joints under the thermal loading is a critical issue for the reliability. The represent study established a finite element model for the analysis of the solder joint reliability under thermal cyclic loading. An elasto-plastic constitutive relation was adopted for solder materials in the modeling and analysis. A 28-pin BLP assembly is modeled to investigate the effects of various epoxy molding compound, leadframe materials on solder joint reliability. The fatigue life of solder joint is estimated by the modified Coffin-Manson equation. The two coefficients in the equation are also determined. A new design for lead is also evaluated by using finite element analysis. Parametric studies have been conducted to investigate the dependence of solder joint fatigue life on various package materials.

1. Introduction

BLP 패키지는 LG 반도체가 개발한 메모리용 칩에 주로 사용되는 SON(Small Outline No-lead) CSP(Chip-scale-package)이다. BLP 패키지는 측면의 lead를 제거한 새로운 개념의 패키지 방법으로서 기존의 패키징 방법과 비교하여 적은 profile, 고집적성, 고효율 등의 장점을 갖는다. 다른 플라스틱 패키징 방법에 비하여 위와 같은 많은 장점을 갖고 있으나 조인트 부위의 단소합과 compliant lead의 결함 등이 솔더 조인트의 신뢰성 문제로 대두되고 있다.

본 연구에서는 여러 다른 종류의 에폭시 몰딩 컴파운드, 리드 프레임 재료 등이 28핀 BLP 패키지의 솔더 조인트 열피로 수명에 미치는 영향을 수치 모델을 사용하여 계산하였다. 이를 위하여 솔더 재료의 물성치를 시간과 온도에 종속적인 점소성 모델(visco-plastic model)로 구성하여 유한 요소법에 적용하여 온도 주기 하중(thermal cycle loading)에 따른 응력의 발생을 계산하였다. 계산된 결과는 수정된 Coffin-Manson식에 대입하여 솔더 조인트의 열 피로수명을 예측하였다. 또한 여러 패키징 몰딩 컴파운드 및 리드프레임을 매개 변수로 하여 솔더 조인트의 피로 수명을 계산함으로써 솔더 조인트의 신뢰도에 미치는 영향에 대하여 알아보았다.

2. The Finite Element Model

BLP 패키지는 통상의 플라스틱 패키지와는 달리 외부에 리드가 없으며 밀면에 존재하는 리드를 통하여 Fig. 1과 같이 PCB에 직접 올려놓게 된다. BLP 패키지의 내부에 있는 리드 프레임은 일반적인 lead-on-chip(LOC) 패키지와 유사하다. 모델링에 사용된 FR-4 기판의 두께는 0.4 mm, 솔더 패드는

1.2 x 0.6 mm로 설정하였다. 솔더 페이스트는 스텐실 방법을 사용하여 150µm 두께로 인쇄된 것으로 가정하였다. 솔더 및 유한 요소 해석에 사용된 재료의 물성치는 Table 1에 표시하였다.

Table 1. Elastic and Thermal Properties Used in the FE Model

Material	Young's modulus(GPa)	Poisson's ratio	CTE (ppm/°C)
Si-Chip	184.4	0.3	2.7
Tape	9.7	0.3	15
Leadframe	144.8	0.31	6.4
Molding Compound	10.8	0.33	11
PCB(FR-4)	13.8	0.22	18

공용 솔더 합금(63Sn-37Pb)은 점소성 재료로 가정을 하여 아래와 같은 모델을 만들었다.⁽¹⁾

$$\frac{dv_{creep}}{dt} = B * \exp\left(\frac{-Q}{\kappa T}\right) \tau^n \quad (1)$$

이때 dv_{creep}/dt 는 전단 크리프 변형률(shear creep strain rate), τ 는 전단 응력, n 은 응력지수, Q 는 활성화에너지, κ 는 Boltzmann상수(8.63×10^{-5} eV/°K)이다. 63Sn/37Pb 솔더의 물성치는 Table 2에 표시하였다. 이때 솔더의 탄성계수는 절대온도의 함수로 주어진다.

Table 2. Material Properties of 63Sn/37Pb Solder.

Young's modulus(GPa)	Poisson's ratio	CTE (ppm/°C)	Q(eV)	B*	n
32400-88T	0.4	21.1	0.49	0.205	5.25

해석에 사용된 유한 요소는 Fig. 1과 같고 상용 프로그램인 ABAQUS를 사용하여 위에서 정하여진 물성치를 함수로 하여 Fig. 2와 같은 온도 하중 조건을 주어 발생하는 응력을 계산하였다.

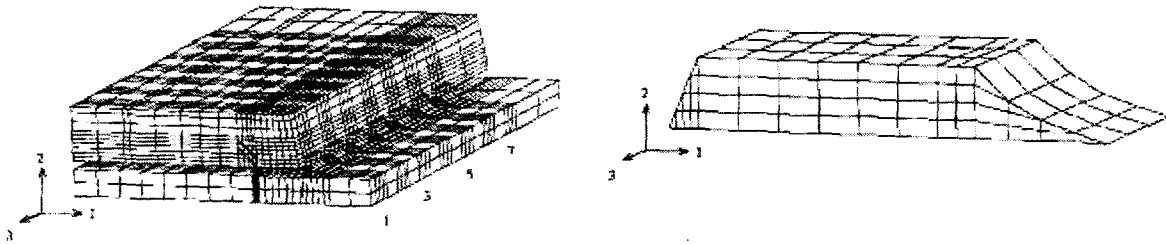


Fig. 1 The finite element mesh for BLP package and the corresponding solder joint.

BLP 패키지는 대칭이므로 Fig. 1과 같이 1/4 부분만 유한 요소 모델링을 하였으며, 8 노드 블록 요소를 사용하였다. 잘라진 면에 대하여서는 대칭 경계조건을 사용하였다. 즉 왼쪽 면의 모든 절점은 1축 방향으로의 자유도가 제거되었으며, 안쪽 면의 절점은 3축 방향으로의 자유도를 제거하였다. 또한, 강제 회전을 제거하기 위하여 FR-4 기판의 아래면의 중심점의 2축 방향으로의 움직임을 구속하였다.

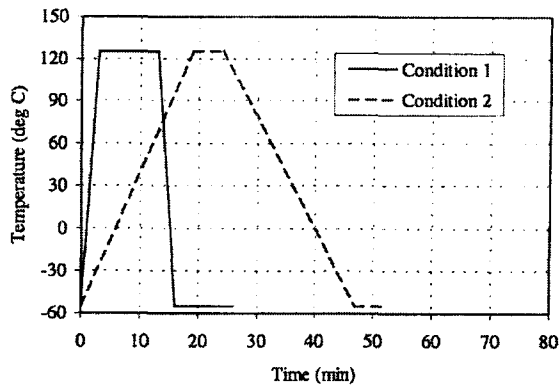


Fig. 2 Temperature profiles for thermal loading.

3. Stress Analysis

위에서 구성한 유한 요소에 Fig. 2와 같이 각각 다른 두 경우의 열하중을 가하여 그때 솔더 조인트에 발생하는 열응력을 계산하였다. Fig. 3은 솔더 조인트에 발생하는 열응력-변형률의 분포도를 보여주고 있다.



Fig. 3 (a) Equivalent creep strain distribution; (b) von Mises stress distribution in No. 7 solder joint of BLP, respectively.

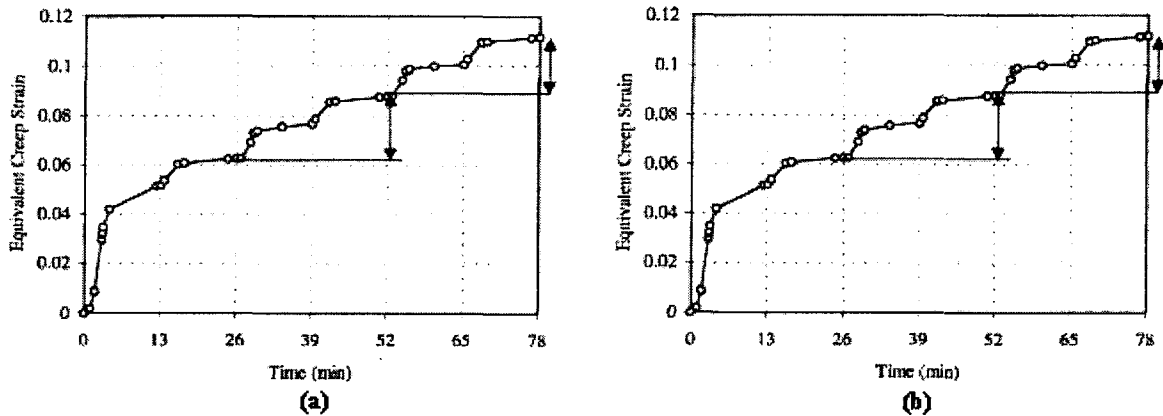


Fig. 4 (a) Time history of equivalent creep strain; and (b) creep strain energy density

열응력 계산 시 전체 BLP 패키지의 온도는 일정하다고 가정하였으며, 계산 결과 가장 큰 비탄성 변형률, 크리프 변형에너지밀도 및 von Mises 응력이 Fig. 3의 원으로 표시된 부위인 7번째 솔더 조인트의 왼쪽 상부에서 발생하는 것을 알 수 있었다. 이는 7번째 솔더 조인트가 패키지의 중립면

에서 가장 멀리 떨어져 있기 때문이다. 이 결과는 다른 연구에서도 관찰된 것과 같다.⁽²⁾ 이 부분에 발생하는 상당 크리프 변형률과 크리프 변형에너지 밀도를 각각 열 하중 조건 1의 경우에 대하여 시간의 함수로 Fig. 4에 표시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 첫 번째 주기의 열 하중에 발생하는 형태는 다른 주기와 다른 것을 관찰할 수 있다. 초기의 솔더 재료가 안정적이지 못하기 때문에 생기는 현상으로 설명할 수 있다. 따라서 첫 번째 열 하중에 의하여 발생하는 결과는 해석에서 제외하기로 하였다. Fig. 5는 하중 조건 1의 경우에 같은 부위에서 발생하는 von Mises 응력을 시간의 함수로 표시한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 온도를 선형적으로 증가시키는 동안 솔더 조인트에 발생하는 응력은 이완되는 것을 관찰할 수 있다.

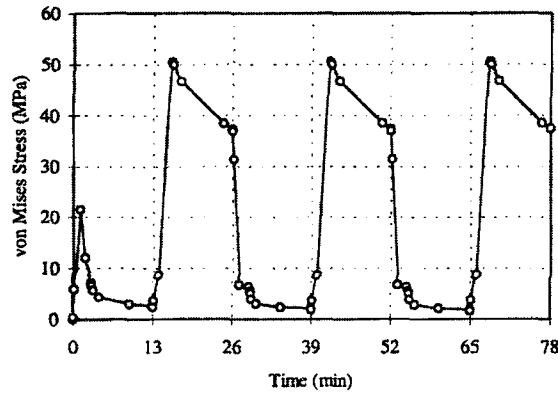


Fig. 5 Time history of von Mises stress.

4. Coffin-Manson 식의 계수 결정

수정된 Coffin-Manson 식은 솔더 조인트의 열 피로 수명 예측에 가장 유용한 수단이다. 이 식을 BLP 패키지 솔더 조인트의 피로 수명을 예측하는데 사용하기 위하여 두 개의 계수를 결정해야 한다. 실제의 솔더 조인트의 피로 수명에 대한 자료는 Zhang의 결과를 이용하였다.⁽³⁾

Table 3. Cases employed for the characterization of Coffin-Manson coefficients.

Cases	Equivalent Creep Strain Range (from FEM)	Creep Energy Density Range (from FEM)	Life Cycles (from Test) ⁽³⁾
Condition 1	0.0247	0.3110 MPa	600
Condition 2	0.0235	0.1765 MPa	1000

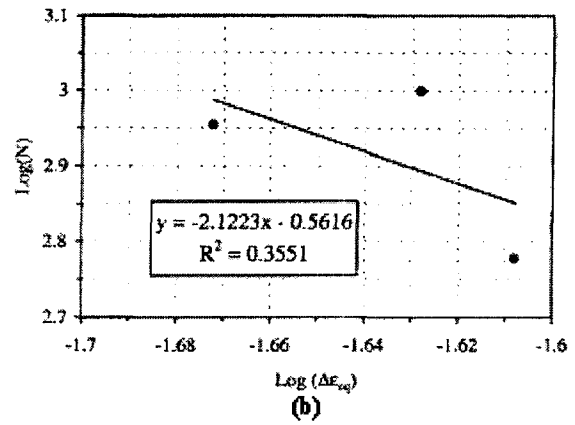
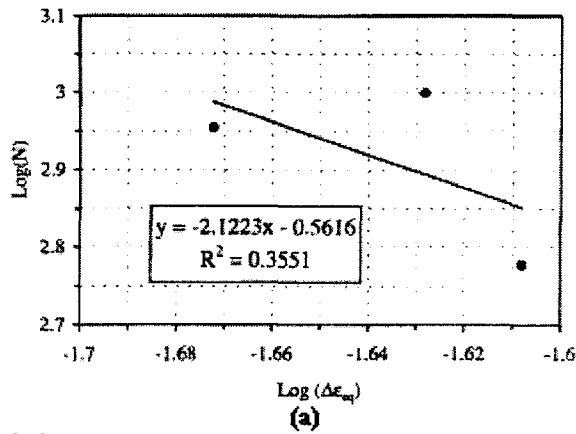
Fig. 6 Characterization of Coffin-Manson Coefficients base on (a) $\Delta\epsilon_{cp}$ and (b) ΔW

Table 3에서 주어진 결과를 이용하여 통계적인 방법을 사용하여 계수를 구하면 Fig. 6과 같이 수정된 Coffin-Manson 식이 얻어진다.

$$N = 0.2744(\Delta\epsilon_{cp})^{-2.1223} \quad (2)$$

$$N = 16794(\Delta W)^{-0.8533} \quad (3)$$

이때 $\Delta\epsilon_{cp}$ 는 주기 당 얻어지는 상당 크리프 변형률이고 ΔW 는 주기 당 크리프 에너지 밀도의 범위이다. 식 (3)에 사용된 ΔW 의 단위는 psi이며, 본 연구에서는 $\Delta\epsilon_{cp}$ 와 ΔW 의 값은 전술한 바와



같이 첫 번째 열 하중 주기의 결과를 무시하고 두, 세 번째 열 하중 주기에서 얻어진 값의 평균을 사용하였다.

5. 솔더 조인트의 열 피로수명에 미치는 물성치의 영향

플라스틱 패키지의 주 성분인 에폭시 몰딩 컴파운드, 리드프레임이 전체 열팽창계수에 미치는 영향은 매우 큰 것으로 여러 논문에 의하여 알려졌다. 솔더 조인트의 열 피로수명에 미치는 재료의 물성치에 대하여 알아보기 위하여 유한요소법을 사용한 매개 변수 연구를 수행하였다. 2절에서 만든 3차원 유한요소 모델을 사용하였으며 열하중은 Fig.2의 조건 1을 사용하였다. Table 4는 다양한 몰딩 컴파운드와 리드프레임의 열팽창계수에 대한 솔더 조인트의 신뢰도의 거동을 보여주고 있다.

Table 4. Effects of material proprieties on the solder joint reliability.

Run	Basic	Run 1	Run 2	Run 3
CTE of Molding Compound (ppm/°C)	8 (A)	13 (B)	8 (A)	13 (B)
CTE of Leadframe (ppm/°C)	6.4	6.4	16.7	22
Equivalent Creep Strain Range ($\Delta\epsilon_{crp}$)	0.030	0.017	0.011	0.005
Fatigue Life Based on $\Delta\epsilon_{crp}$	470	1600	4300	18000
Creep Engery Density Range (ΔW , MPa)	0.4	0.2	0.08	0.04
Fatigue Life Based on ΔW	530	1000	2000	3500

Table 4에서 보는 바와 같이 최적 물성치 배열은 높은 열팽창계수 값을 갖는 몰딩 컴파운드와 리드프레임을 사용하는 경우에 솔더 조인트의 수명은 최대로 얻어짐을 알 수 있었다. 이러한 재료가 실제에 응용된다면 BLP 패키지의 솔더 조인트의 신뢰성은 높아질 것으로 생각된다.

6. 결론

유한 요소법에 BLP 패키지에 사용되는 솔더 재료의 물성치를 점소성 재료로 구성하여 대입함으로써 솔더 조인트의 열하중에 따른 수명을 계산하였으며 구성 성분의 물성치를 변경하여 수치적으로 재료의 물성값에 대한 최적화를 수행하였다. 이때 열 피로수명은 수정된 Coffin-Manson 식을 사용하였으며 식의 두 개의 미정 계수는 유한 요소법을 이용하여 수치적으로 계산하였다.

References

- [1] Y. H. Pao, S. Badgley, R. Govila and E. Jih, Mat. Res. Soc. Smp. Proc. Vol. 323, Material Research Society, pp. 153-158 (1994)

- [2] K. Choi, S. Choi, Y. Kim, and K. Cho, Proc. 1997 Semicon Korea, pp. III27-III32 (1996)
- [3] X. Zhang, S. Lee, and Y. Kim, Proc. 3rd Int. Symp. on EP Tech., pp. 239-244 (1998)