

# 플라스틱 IC 패키지 접합부의 수명예측 및 품질향상에 관한 연구

## A study on the Life Prediction & Quality Improvement of Joint in IC Package

김종민\*, 신영의\*\*, 정계필\*\*\*

\*중앙대학교 기계설계학과 대학원, \*\*중앙대학교 기계설계학과, \*\*\*서울시립대학교 재료공학과

### 1. 서론

전자 기기의 고밀도 실장과 더불어 접합부 면적 및 접합 피치의 미세화 추세로 접합성 및 신뢰성 평가의 중요성이 날로 더해 가고 있다. 특히, TSOP는 기판과 패키지와의 총체적 열팽창계수 차이가 크고, 상대적으로 짧고 강성이 높은 리드와 솔더와의 국부적인 열팽창 계수 차이로 다른 리드 패키지에 비해 열피로 특성이 나쁘다.

이에 본 연구에서는 TSOP 몸체 내부의 신뢰성 측면을 42 alloy 클래드 리드프레임을 사용하여 어떻게 micro-cracks을 방지하는지, 온도 범위 0~125°C, -50~125°C, -50~150°C의 열 사이클을 가하여 솔더 접합부의 점소성 특성 및 수정된 Manson-Coffin 열피로 수명식을 구하였으며, 실제 피로수명을 통계처리하여, 50% 파괴확률 수명 ( $N_{f50\%}$ )과의 편차를 고려하여 수명 비율( $\eta$ )과 누적확률( $f$ )과의 관계를 구하였다.

### 2. 실험방법

1사이클을 60분으로 하였으며, 사이클 횟수를 100, 300, 600, 1000, 1500사이클로 하여 솔더 접합부의 통전시험을 통하여 열피로 파단을 판정하여 TSOP 몸체와 솔더 접합부의 단면을 SEM을 통해 살펴보았다. 모듈 위에 조립된 18개의 각 패키지 중심에서 가장자리에 있는 72개 접합부로부터 수명의 차이가 생겨,  $N_{f50\%}$ 을 구하였다. 또한,  $N_{f50\%}$ 과의 편차를 고려하여 실제 피로수명을 통계처리하여 수명 비율( $\eta$ )과 누적확률( $f$ )과의 관계를 구하였다.

### 3. 유한요소해석

ANSYS 5.4를 이용하여 2차원 비선형 해석하였으며, 크게 EMC 와 솔더 접합부로 나누어 symmetric 구조로 1/2로 모델링하였다. 각각의 물성치는 표 1에서 보는바와 같다. 경계조건으로는 TSOP 왼편을 x축, PCB 기판 하단 부위를 수직방향으로 고정(y=0) 하였다. 하중 조건으로는 세가지 온도 사이클로 각각의 모든 요소에 고르게 분포시켰다.

Table 1. Material properties

| Comp.  | Material  | K<br>(W/m°C) | $\rho$<br>(kg/m³) | C<br>(J/kg°C) | E(MPa)  | $\nu$ | $\alpha$<br>(ppm/°C) |
|--------|-----------|--------------|-------------------|---------------|---------|-------|----------------------|
| EMC    | Plastic   | 7.1E-4       | 1.9E-6            | 1047          | 2.5E4   | 0.35  | 11                   |
| Chip   | Si        | 1.48E-1      | 2.33E-6           | 699           | 1.88E5  | 0.25  | 2.3                  |
| Lead   | 42 alloy  | 1.465E-2     | 8.1E-6            | 502           | 1.323E5 | 0.3   | 5.3                  |
|        | Cu        | 2.617E-1     | 8.92E-6           | 400           | 1.213E5 | 0.34  | 17.7                 |
| PCB    | FR-4      | 6.3E-4       | 1.77E-6           | 190           | 1.114E4 | 0.3   | 15                   |
| Solder | 63Sn/37Pb | 2.46E-2      | 8.42E-6           | 1890          | 0.1E5   | 0.4   | 21.4                 |

### 4. 유한요소 해석 결과 및 실험 결과

#### 4.1 유한 요소 해석 결과

TSOP 내부의 경우, Fig. 1(a)에서 보는 바와 같이, 최대 응력 분포를 보이는 부분은 실제적으로 내부 균열이 발생하는 Si-칩 끝단과 다이패드의 접합부에서 발생하고 있다. 다이패드의 재

질에 따라서는 Cu 합금 재질의 다이패드의 경우, 최대 Von Mises 응력 값이 81MPa로 42 alloy의 경우 50MPa에 비해 30%정도 더 큰 응력이 걸림을 알 수 있다. 이러한 높은 응력은 칩과 다이패드 사이에 상당한 열 팽창 계수의 차이에 기인한 것으로 30 $\mu$ m의 두께를 가진 42 alloy 클래드를 이용한 다이패드의 경우, 그 최대 Von Mises 응력 값은 69MPa로 구리 합금 재질의 다이패드를 사용할 경우의 81MPa에 비해 그 최대 Von Mises 응력 값이 15%정도 감소하였다.

솔더접합부의 경우 Fig. 1(b)에서와 최대 Von-Mises 응력이 걸리는 부분은 솔더 필렛의 heel 위쪽 부위인 것을 알 수 있다. 초기 균열이 발생되는 솔더 필렛 상단 부위에 걸리는 최대 Von Mises 응력은 리드 재질에 따라서 Cu 합금 재질의 경우, 최대 Von Mises 응력 값은 9.31MPa로 42 alloy 경우 26.9MPa에 비해 약 65%정도 적게 걸린다.

## 4.2 실험 결과

### 4.2.1 TSOP 몸체

Fig. 2(a)에서 Cu 합금의 다이패드의 경우, 균열은 20 사이클범위에서 발생되어 진척되어 간다. 유한요소해석을 통해 살펴본 바와 같이, 응력이 집중되었던 Si-칩 끝단과 다이패드와의 접합 부위에서 초기 균열이 발생되어 다이패드 계면을 따라 진척되어 감을 알 수 있다. 또한 42 alloy 클래드를 이용한 다이패드의 경우, Si-칩과 다이패드간에 균열은 발생되지 않았다. 이는 Si-칩과 Cu 합금 재질의 다이패드의와의 큰 열팽창계수의 차이를 42 alloy 클래드를 이용하여 TSOP 내부의 신뢰성 문제를 보완·향상시킬 수 있다는 것을 실험 결과를 통해 알 수 있다.

### 4.2.2 솔더 접합부

열 사이클 실험 후의 구리합금 리드프레임의 경우, 솔더 접합부의 단면을 Fig. 2(b)에 나타내었다. 유한요소 해석에서와 같이 최대 상당소성 변형률 값을 보이는 솔더 필렛 heel 상단부위에서 초기 균열이 발생되고, 리드 계면을 따라 균열이 진척되어 간다. 상대적으로 구리 합금 재질 리드와 솔더와의 국부적 열팽창계수의 차이가 42 합금과의 차이에 비해 작아 초기 균열 발생에 걸리는 시간이 길고, 균열 진척이 느리게 진행된다. 파괴 모드는 솔더 필렛 heel 상단 부위에서 초기 균열이 발생하여 리드 계면을 따라 진척되고, 온도 사이클의 온도 범위 및 리드의 재질과는 상관없이 일치하고 있음을 알 수 있다.

### 4.2.3 피로수명

온도 사이클에 의한 솔더 접합부 부위에서 열 팽창계수의 차이로 인해 발생된 상당 소성 변형률과 수명 ( $N_f$ )와의 관계를 아래와 같은 Coffin-Manson 수식을 사용하였다.

$$\frac{\Delta \epsilon_p}{2} = \epsilon_f' (2N_f)^c \text{----- (1)}$$

여기서,  $\frac{\Delta \epsilon_p}{2}$ 는 소성 변형률,  $\epsilon_f'$ 는 피로 유연도 계수,  $2N_f$ 는 피로 수명, c는 피로 유연도 지수이다. 윗석을 이용하여 세 종류의 온도 사이클을 가한 경우의 솔더 필렛 heel 상단 부위의 상당소성 변형률( $\Delta \epsilon_{pa}$ )는 0.43%(0~125℃), 0.63%(-50~125℃), 0.97%(-50~150℃)이며, 각각의 온도 사이클에 따른 50% 파괴확률 수명 ( $N_{f50\%}$ )은 각각 1250, 720, 500 이었다.

유한 요소 해석을 통해 얻은  $\Delta \epsilon_{pa}$ 와 실험을 통해 얻은  $N_{f50\%}$  과의 관계를 MATLAB 5.2를 이용하여 선형화하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\Delta \epsilon_{pa} = 2.098 N_{f50\%}^{-0.872} \text{----- (2)}$$

또한, 실제 피로수명 ( $N_f$ )을 통계처리하면 다음과 같이 표기할 수 있다.

$$\eta = \frac{N_f}{N_c} = \frac{N_f}{\left(\frac{\Delta \varepsilon_{p_{av}}}{2.098}\right)^{-1/0.872}} \quad \text{-----} \quad (3)$$

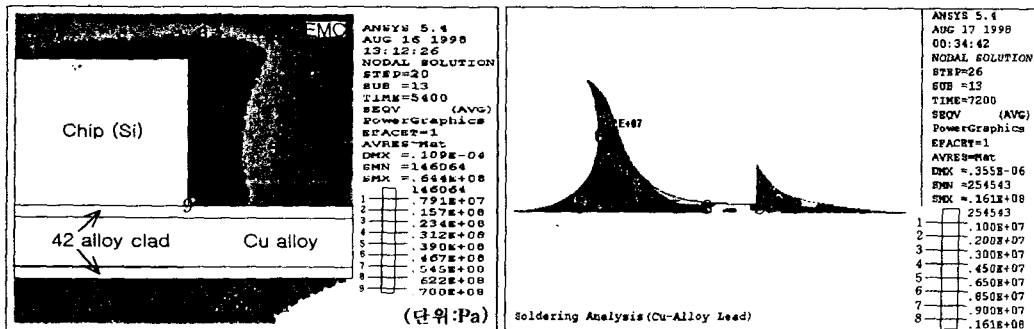
여기서,  $\eta$ 는 수명 비율,  $N_f$ 는 실제 피로수명,  $N_c$ 는 추정 피로수명을 나타낸다. Fig. 3과 같이  $\eta$ 와  $f$ 의 관계를 직선으로 선형화하면  $f = 0.1, 10, 90, 99\%$ 에 대응하는  $\eta$  값이 나오게 된다. 예를 들면, 식 (2)으로부터 얻어지는 수명의 0.4배가 0.1%의 파괴확률 수명이 되고, 1.6배가 99%의 파괴확률 수명이 된다.

### 5. 결 론

- 1) TSOP 몸체 내부의 Si-칩과 구리 합금 다이패드 간의 열팽창 계수의 차이를 42 alloy 클래드를 사용하여 줄임으로서 그 최대 Von Mises 응력값을 15%정도 감소시킴으로서, TSOP 내부의 신뢰성 문제를 보완·향상시킬 수 있다는 것을 유한요소 해석 및 실험 결과를 통해 알 수 있었다.
- 2) 솔더 접합부의 경우, 최대 상당소성 변형률 값을 보이는 솔더 필렛 heel 상단부위에서 초기 균열이 발생리드 계면을 따라 균열이 진척되어 가는 파괴 모드는 온도 사이클의 온도 범위·리드의 재질과는 상관없이 일치하였다.
- 3) 솔더 필렛 heel 상단부위에서 Cu 합금 재질의 리드의 경우,  $\sigma_{VM_{max}}$ 는 9.31MPa,  $\Delta \varepsilon_{p_{av}}$ 은 0.26%로 42 alloy 재질의 리드를 사용한 경우,  $\sigma_{VM_{max}}$ 는 26.9MPa,  $\Delta \varepsilon_{p_{av}}$ 은 0.97%에 비해 각각 65%, 73%정도 열 피로 특성이 향상되었음을 알 수 있었다.
- 4) TSOP 솔더 접합부의 열 피로 수명식을 다음과 같이 구하였다.

$$\Delta \varepsilon_{p_{av}} = 2.098 N_{f50\%}^{-0.872}$$

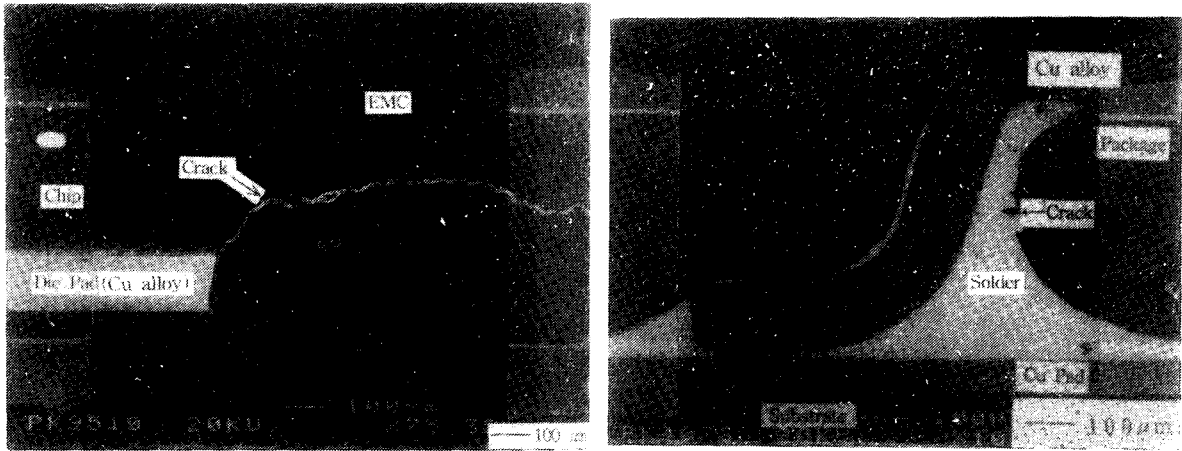
- 5) 수명비율( $\eta$ )과 누적확률( $f$ )의 관계로부터 0.1%부터 99%의 파괴 확률 수명을 구할 수 있으며, 4)의 결론식의 0.4배가 0.1%이고, 1.6배가 99%의 확률 수명이 된다.



(a) 42 alloy clad die pad( $t=30\mu\text{m}$ )

(b) Cu alloy lead frame

Fig. 1 Von Mises stress distribution by FEA(1cycle :  $-50\sim 150^\circ\text{C}$ )



(a) Cu alloy die pad

(b) Cu alloy lead frame(800cycles)

Fig. 2 The cross sectional view after thermal cycling test

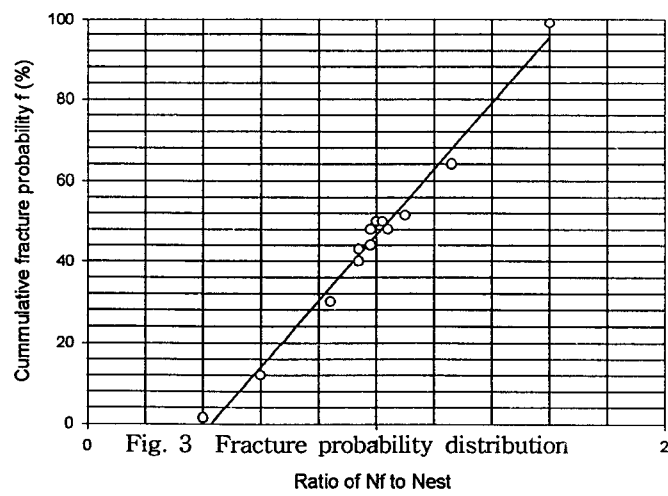


Fig. 3 Fracture probability distribution