

## BGA 솔더링에서 패드 형상이 자기정렬에 미치는 영향

안도현\* · 정용진\* · 유중돈\* · 김용석\*\*

\*한국과학기술원 기계공학과

\*\*홍익대학교 재료공학과

### Influence of Pad Shape on Self-Alignment in BGA Soldering

Dohyun Ahn\*, Yong J. Jung\*, Choong D. Yoo\* and Yong S. Kim\*\*

\*Dept. of Mech. Eng., KAIST, Daejeon 305-701, Korea

\*\*Dept. of Metallurgical Eng., Hongik Univ., Seoul 121-791, Korea

#### Abstract

Effects of the circular and non-circular pad shapes on self-alignment in BGA soldering are predicted using Surface Evolver, and the calculated results are compared with experimental data. While the pad shape has minor effects on self-alignment in the vertical direction, self-alignment in the lateral direction depends on the pad direction and length ratio of the non-circular pad. Larger restoring force is obtained in the minor-axis direction than the major-axis direction, which suggests a possibility of reducing misalignment in the specific direction. The restoring force of the circular pad is between those of the non-circular pad in the major and minor-axis directions. The calculated results of Surface Evolver show reasonably good agreements with experimental data using the shear loading system.

\* Corresponding author : cdyoo@kaist.ac.kr

(Received March 31, 2003)

Key Words : Self-aligning effect, Circular and non-circular pad, Surface Evolver, Shear loading system

## 1. 서 론

솔더링 공정에서 발생하는 자기정렬 효과(self-aligning effect)는 Ball Grid Array(BGA)를 이용한 전자 패키징(electronic packaging)에서 칩(chip)을 기판 패드(pad)의 중심에 정렬시키는 역할을 한다. 그러므로 정밀한 위치 보정이 요구되는 광부품이나 미세한 솔더볼(solder ball)을 사용하는 플립칩(flip-chip) 등의 패키징에 매우 유용하다. 본 연구에서는 Surface Evolver를 이용하여 원형(circular)과 비원형 패드(non-circular pad)의 자기정렬 효과에 대하여 해석하고 실험 결과와 비교하였다.

자기정렬 효과를 해석하기 위한 해석 및 실험을 통한 다양한 연구가 수행되었으며<sup>1-6)</sup>, 이와 같은 연구는 대부분 원형 패드에 대하여 이루어졌다. 본 연구의 자기정렬 해석에 사용한 Surface Evolver는 솔더 형상을 예측하는데 널리 사용되고 있으며, 자기정렬 효과를 정

확하게 예측하였다<sup>6)</sup>. 자기정렬 효과를 향상시키기 위하여 스트립(strip) 형상의 비원형 패드에 대한 연구가 수행되었으며, 특정 방향으로 자기정렬 효과가 향상되는 현상을 실험을 통하여 확인하였다<sup>7)</sup>. 그러나 비원형 패드 형상에 따른 자기정렬 효과를 정량적으로 예측하지 못하였다.

본 연구에서는 비원형 패드의 자기정렬 효과를 Surface Evolver를 이용하여 계산하고, 원형 패드의 결과와 비교하였다. 계산 결과를 실험 결과와 비교하여 해석 결과의 타당성을 검증하고 패드 형상이 자기정렬 효과에 미치는 영향을 분석하였다.

## 2. 자기정렬 효과의 해석 및 실험 방법

### 2.1 Surface Evolver를 이용한 해석 방법

솔더링 공정에서 발생하는 자기정렬 효과는 용융 솔더의 표면장력과 위치 에너지를 최소화시키는 현상에

의하여 발생한다. Surface Evolver는 에너지를 최소화시키는 용융부의 형상을 계산하기 위한 FEM 프로그램이며<sup>8)</sup>, 패드 형상이 타원형 또는 직사각형과 같이 복잡한 비원형 형상인 경우에도 경계조건을 변화시켜 쉽게 계산할 수 있는 장점이 있다.

Surface Evolver에서 솔더의 표면에너지, 솔더와 칩의 위치 에너지를 다음과 같이 면적분 형태로 나타낸다<sup>8)</sup>.

$$E = \int_S \gamma dS + \int_S \rho g \frac{z^2}{2} \bar{k} \cdot d\bar{A} + m_c g H \quad (1)$$

이때,  $\gamma$ 는 표면장력 계수,  $\rho$ 는 밀도,  $\bar{k}$ 는 중력과 반대 방향의 단위 벡터,  $m_c$ 는 칩의 질량,  $H$ 는 칩의 높이를 나타낸다. 식(1)의 두번째 항은 솔더의 위치 에너지  $\int_V \rho g z dV$ 를 면적분으로 변환한 형태이다.

Surface Evolver를 사용하면 솔더의 형상, 에너지, 복원력 및 스프링 상수를 계산할 수 있으며, 본 연구에서는 복원력을 이용하여 자기정렬 효과를 예측하였다. 칩의 상부면에 대한 수직 방향과 접선 방향으로 변위가 발생하는 경우에 대한 솔더의 복원력을 다음과 같이 에너지의 1차 미분 형태로 나타낼 수 있다.

$$F_N = \frac{\partial E}{\partial z}, \quad F_L = \frac{\partial E}{\partial x} \quad (2)$$

이때, 첨자  $N$ 과  $L$ 은 수직(normal)과 측면(lateral) 방향을 나타낸다.

### 2.2 실험 장치 및 조건

자기정렬 효과에 의한 복원력을 측정하기 위하여 Fig. 1에 보인 원형과 직사각형 PCB 기판을 제작하였다. 기판의 패드는 두께 35, 1, 0.1 $\mu$ m 인 Cu, Ni, Au 층으로 형성되며, 패드 이외의 부분은 솔더 마스크(solder mask)로 도포하였다. 기판의 크기는 15×15mm, 패드 간의 거리는 5mm, 원형 패드의 반경은

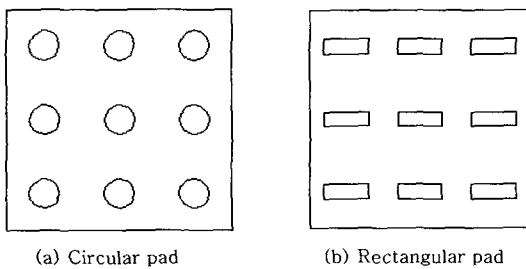


Fig. 1 Specimen configuration

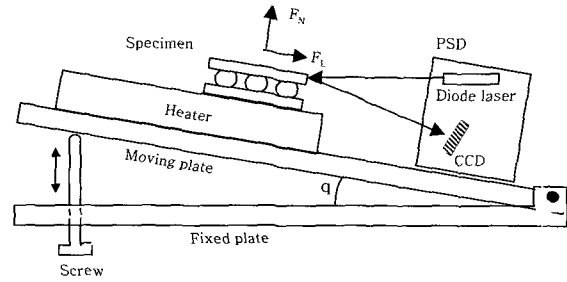


Fig. 2 Schematic of shear loading system

400 $\mu$ m, 직사각형 패드의 크기는 1420×350 $\mu$ m이다. 직경 760 $\mu$ m인 63Sn-37Pb 솔더볼을 기판의 패드 위에 장착하고 230 $^{\circ}$ C에서 리플로우 솔더링(reflow soldering)하여 상부와 하부 기판을 접합하였다.

복원력을 측정하기 위한 실험장치는 Fig. 2에 보인 바와 같고, Josell<sup>5)</sup> 등이 사용한 전단 하중 시스템(shear loading system)과 유사하다. 실험 장치는 시편을 가열하기 위한 히터(heater)와 시편의 상부 기판을 가열하는 변위를 측정하기 위한 분해능 1 $\mu$ m인 PSD (position sensitive device) 센서 및 연강 재질의 판재(moving plate)로 구성되며, 히터와 센서는 판재에 설치하였다. 시편을 히터 위에 장착한 상태에서 가열하여 솔더부를 용융시킨 상태에서 나사를 이용하여 판재를 기울이면, 기울어진 상부 기판의 무게에 의해 용융 솔더부에 전단력이 발생하여 상부 기판에 변위가 발생한다. 상부 기판의 변위를 PSD 센서를 이용하여 측정하였으며, 직사각형 패드의 경우에는 장축과 단축 방향의 변위를 측정하였다.

상부 기판의 무게와 기울어진 각도에 의해 솔더 접합부의 수직과 측면 방향으로 작용하는 힘은 다음과 같다.

$$f_N = m_c g \cos\theta / N, \quad f_L = m_c g \sin\theta / N \quad (3)$$

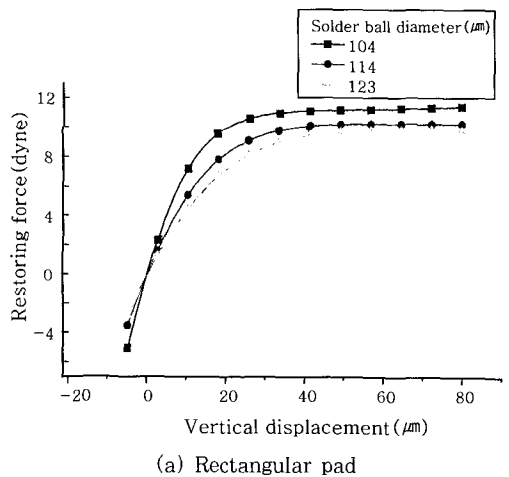
이때,  $m_c$ 는 상부 기판의 질량,  $\theta$ 는 판재의 기울어진 각도,  $N$ 은 기판의 솔더 개수를 나타낸다. 각도  $\theta$ 는 15도 이내로 작기 때문에 수직 방향의 힘은 크게 변화하지 않는다.

### 3. 결과 및 고찰

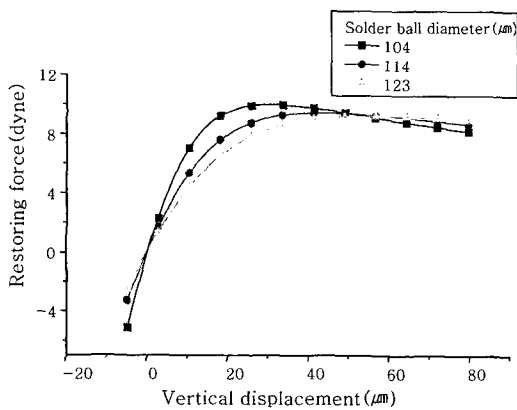
Surface Evolver를 이용하여 원형과 비원형 패드에서 발생하는 수직과 수평 방향의 복원력을 계산하였으며, 계산에 사용된 63Sn-37Pb 솔더의 물성치와 상수는 다음과 같다. 솔더 밀도는 8.4g/cm<sup>3</sup>, 표면장력 계수는 325dyne/cm, 솔더볼의 부피는 9.83×10<sup>-13</sup>m<sup>3</sup>, 하나의 솔더볼에 가해지는 상부 기판의 무게는 4mg이

다<sup>1,6)</sup>. 계산을 위하여 사용된 원형 패드의 반경은 50( $\mu\text{m}$ ), 타원 패드의 장축과 단축의 반경은 72와 36( $\mu\text{m}$ ), 직사각형 패드의 크기는 127×64( $\mu\text{m}$ )이다. 원형 패드와 비원형 패드의 면적 차이는 3.5%이며, 비원형 패드의 장축과 단축 방향의 길이 비율이 2이다.

직사각형과 타원형 패드의 솔더부에 수직 방향의 변위가 가해지는 경우, 솔더 부피의 변화에 따른 수직 방향의 복원력을 계산하여 Fig. 3에 나타내었으며, 계산에 사용된 솔더볼의 직경은 104, 114, 123( $\mu\text{m}$ )이다. 솔더 부피가 감소할수록 복원력은 증가하며, 이는 솔더 부피가 작은 경우에 작은 변위에 의해서도 솔더 표면적이 크게 변화하기 때문이다. 복원력이 0인 평형 상태 근처에서 수직 방향의 변위가 증가하면 복원력은 증가하지만, 변위가 20( $\mu\text{m}$ ) 이상 증가하면 복원력은 일정해진다. Fig. 3(b)의 타원형 패드의 경우, 변위가 30( $\mu\text{m}$ ) 이상 증가하면 솔더 부피가 작을수록 복원력이 빠르게 감소하며, 이는 일정 변위 이상에서 솔더 표면적의 변화율이 감소하기 때문이다. 이와 같은 현상은 기존의 원형 패드에 대한 연구 결과<sup>6)</sup>와 유사하다.



(a) Rectangular pad



(b) Elliptic pad

Fig. 3 Calculated restoring force in normal direction for non-circular pad

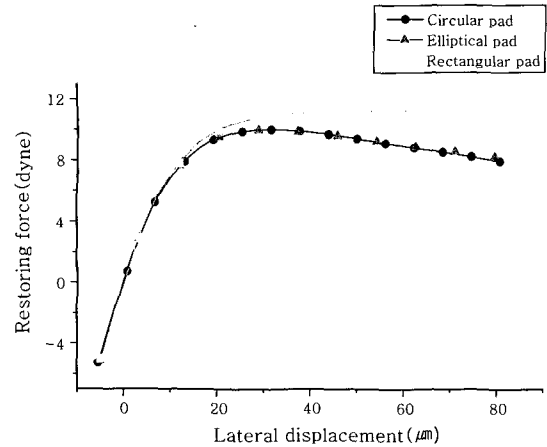


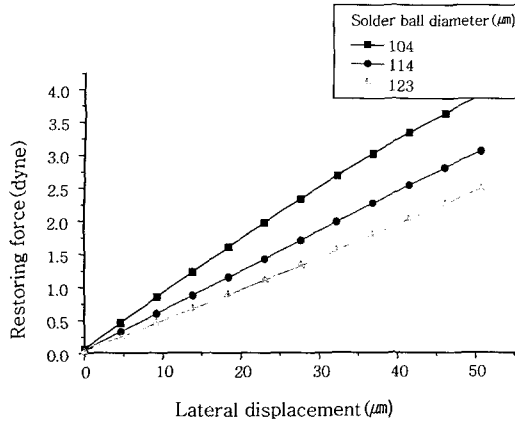
Fig. 4 Effect of pad shape on restoring force in normal direction

솔더볼의 직경이 104( $\mu\text{m}$ )인 경우, 원형과 비원형 패드의 수직 복원력을 계산한 결과를 Fig. 4에 비교하였다. 원형과 타원형 패드의 복원력은 차이가 없으며, 수직 변위가 20( $\mu\text{m}$ ) 이상인 경우에 직사각형 패드의 복원력은 원형이나 타원형 패드의 복원력 보다 크다. 이는 원형이나 타원형 패드에 비해 직사각형 패드의 경우에는 사각형 모서리 부근의 솔더 형상이 급격히 변화하기 때문인 것으로 생각되며, 솔더 부피가 증가하면 패드 형상에 따른 복원력의 차이는 감소한다.

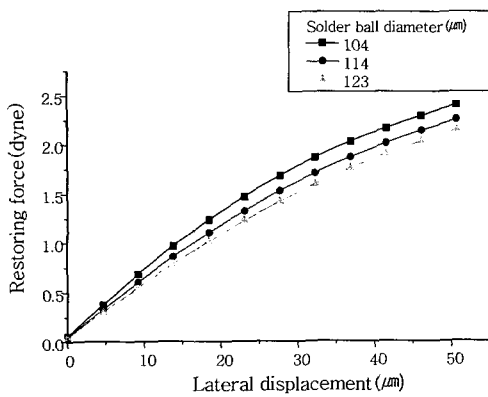
직사각형 패드의 측면 방향으로 변위가 가해지는 경우, 솔더 부피 변화에 따른 장축과 단축 방향의 복원력을 계산한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 솔더 부피가 감소하면 복원력이 증가하며, 변위의 증가에 따라 복원력이 거의 선형적으로 증가한다. 장축 방향에 비해 단축 방향으로 큰 복원력이 발생하며, 이는 장축 방향에 비해 단축 방향의 변위에 의해 솔더부의 면적이 크게 변화하기 때문이다. 그러므로 비원형 패드의 경우에는 패드의 방향에 따라 복원력이 변화하는 방향성을 갖는다.

솔더볼의 직경이 104( $\mu\text{m}$ )인 경우에 원형과 비원형 패드에서 발생하는 측면 방향 복원력의 계산 결과를 비교하여 Fig. 6에 나타내었다. 비원형 패드의 단축 방향의 복원력이 가장 크고 장축 방향의 복원력은 원형 패드의 복원력 보다 작으며, 직사각형 패드의 복원력이 타원형 패드 보다 약간 크다. Fig. 3과 4의 수직 방향의 복원력에 비해 측면 방향의 복원력은 감소하며, 이는 기존의 원형 패드에 대한 연구 결과<sup>6)</sup>와 동일하다.

비원형 패드에서 장축과 단축 방향의 길이 비율이 2, 4, 6인 경우에 측면 방향의 복원력을 계산하여 비교한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 계산에 사용된 값은 실험 조건과 동일하게 솔더볼의 직경 760( $\mu\text{m}$ ), 패드 면적은 대략 0.5( $\text{mm}^2$ )이며, 길이 비율이 변화하더라도 패드의 면적은 동일하다. 비원형 패드의 길이 비율이 증가함에



(a) Restoring force in minor axis direction



(b) Restoring force in major axis direction

Fig. 5 Calculated restoring force in lateral direction for rectangular pad

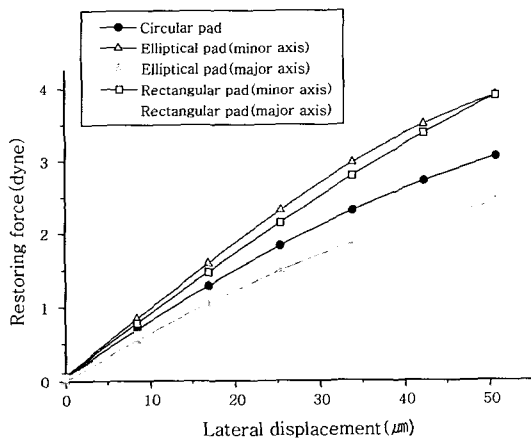
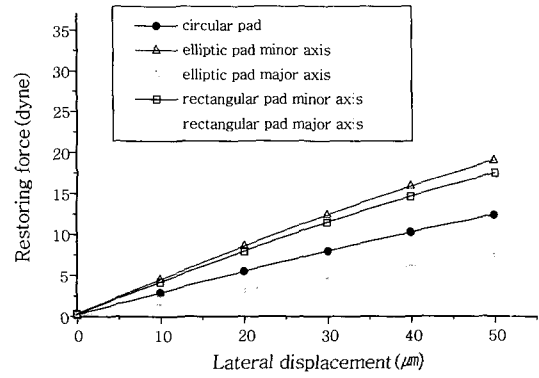
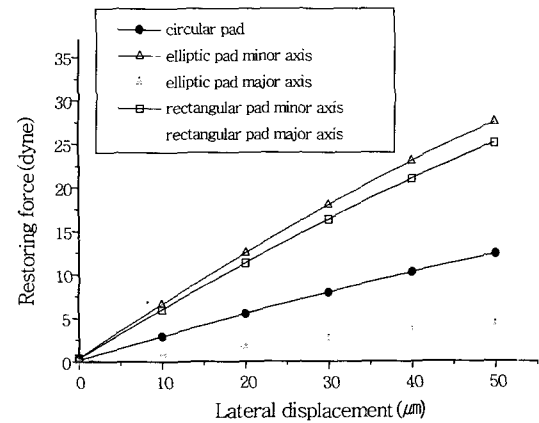


Fig. 6 Effect of pad shape on restoring force in lateral direction

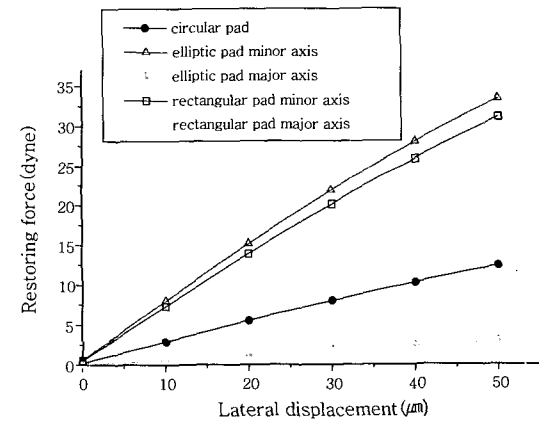
따라 단축 방향의 복원력이 증가하고, 길이 비율이 6인 비원형 패드의 단축 방향 복원력은 원형 패드에 비해 3 배 정도 증가한다. 장축 방향의 복원력은 원형 패드에 비해 작기 때문에 장축 방향으로 큰 정렬오차가 발생할 수 있으며, 원형 패드에 비해 큰 자기정렬 효과를 얻으



(a) 2:1



(b) 4:1



(c) 6:1

Fig. 7 Effect of length ratio of non-circular pad on lateral restoring force

려면 비원형 패드의 길이 비율이 4 이상이어야 하기 때문에 패드의 개수가 작은 조건에서 적용할 수 있을 것으로 생각된다. 이와 같은 비원형 패드의 방향성을 광 전자 패키지(opto-electronic package)에 적용하려면, 레이저 다이오드의 조사 방향과 비원형 패드의 장축 방향을 일치시켜야 정렬 오차를 감소시킬 수 있다.

직사각형 패드와 원형 패드에 대한 실험 결과를 계산 결과와 비교하여 Fig. 8에 나타내었다. 원형 패드의 경

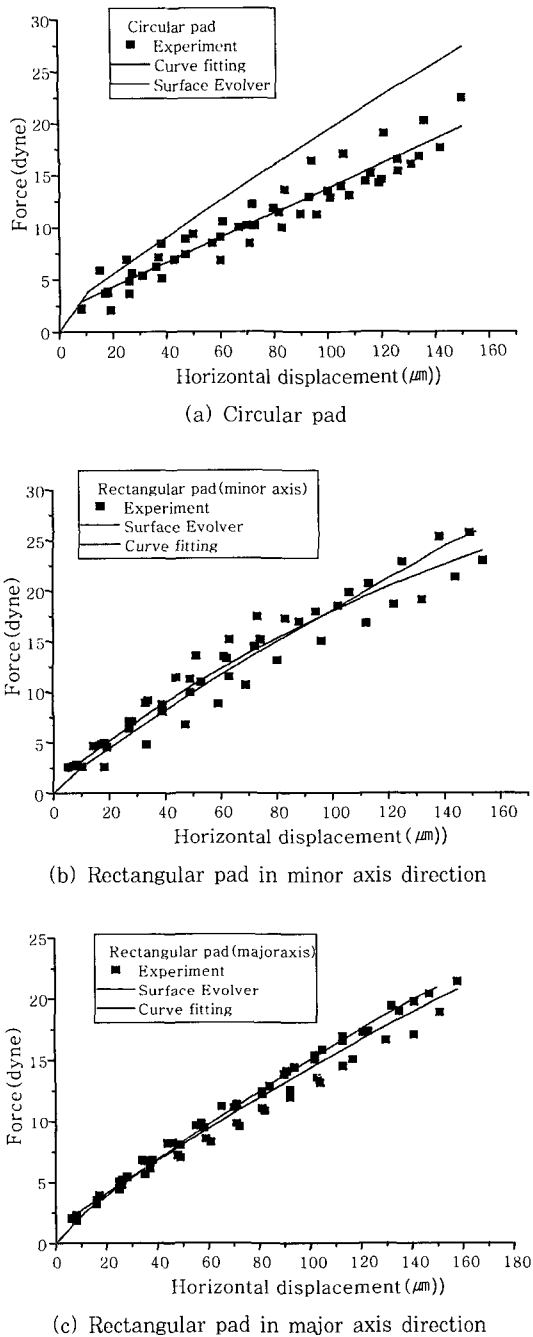


Fig. 8 Comparison between calculated and experimental results

우, 실험과 계산 결과에 약간의 차이가 발생하지만, 직사각형 패드의 결과는 비교적 정확하게 일치하고 직사각형 패드의 장축 방향, 원형 패드, 단축 방향의 순서로 복원력이 증가하였다. 본 연구의 실험은 솔더볼의 직경이 760 $\mu\text{m}$ 로 비교적 크고 비원형 패드의 길이 비율이 4인 제한된 조건에서 실행되었지만, Surface Evolver를 이용하여 솔더 부피가 작은 플립칩이나 다양한 형상의 패드에 대한 자기정렬 효과를 비교적 정확하게 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

비원형 패드의 수직과 측면 방향으로 발생하는 자기정렬 효과를 Surface Evolver를 이용하여 해석하였으며, 실험 결과와 비교하였다. 수직 방향의 자기정렬 효과는 패드 형상 보다 솔더 부피에 의해 크게 영향을 받는다. 수직 방향의 자기정렬 효과에 비해 측면 방향의 자기정렬 효과는 작으며, 비원형 패드의 단축 방향으로 큰 복원력이 발생하는 방향성을 갖는다. 이와 같은 비원형 패드의 방향성은 장축과 단축의 길이 비율이 4 이상인 경우에 현저하게 발생하며, 특정 방향의 정렬 오차를 감소시키는데 적용할 수 있다. Surface Evolver를 이용하여 계산한 복원력은 진단하중 시스템을 이용하여 측정된 실험 결과와 비교적 정확하게 일치하였다.

#### 후 기

본 연구는 한국과학재단 (1999-2-301-007-4)과 BK-21의 지원을 받았으며, 이에 감사 드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. S.K. Patra, Y.C. Lee, "Quasi-static modeling of the self alignment mechanism in flip-chip soldering. part I - single solder joining", *J. of Electronic Packaging*, ASME, Vol.113 (1991), 337-342.
2. K.N. Chiang, C.A. Yaun, "An overview of solder bump shape prediction algorithms with validations", *IEEE Trans. on Advanced Packaging*, Vol.24-2 (2001), 158-162.
3. S.M. Heinrich, M. Schaefer, S.A. Schroeder, "Prediction of solder joint geometries in array-type interconnects", *J. of electronic packaging*, ASME, Vol.118 (1996), 114-121.
4. N. van Veen, "Analytical derivation of the self alignment motion of flip chip soldered components", *J. of Electronic packaging*, ASME, Vol.121 (1999) 116-121.
5. D. Josell, W. E. Wallace, J. A. Warren, D. Wheeler, A. C. Powell IV, "Misaligned flip-chip solder joints: prediction and experimental determination of force-displacement curves", ASME, *J. of Electronic Packaging*, Vol.124 (2002), 227-233.
6. Y.J. Jung, D. Ahn, C.D. Yoo, Y.-S. Kim, "Modeling of self-aligning effect in flip chip soldering", *J. of KWS*, Vol.20-6 (2002), 789-795.
7. J. Sasaki, M. Itoh, T.Tamanuki, H. Hatakeyama, S. Kitamura, T. Shimoda, T. Kato, "Multiple-chip precise self-aligned assembly for hybrid integrated optical modules using Au-Sn solder bumps", *IEEE Trans. on Advanced Packaging*, Vol.24-4 (2001) 569-575.
8. K. Brakke, "The Surface Evolver", *Experimental Mathematics*, Vol.1-2 (1992), 141-165.