

Flip Chip PBGA 패키지의 온도변화에 대한 변형거동 해석

주진원* · 김도형¹

*충북대학교 기계공학부, ¹엠코테크놀로지코리아 기술연구소

Thermo-mechanical Deformation Analysis of Flip Chip PBGA Packages Subjected to Temperature Change

Jin-Won Joo* and Do-Hyung Kim¹

*Department of Mechanical Engineering, Chungbuk National University, Cheongju 361-763

¹AMKOR Technology Korea

초 록: 본 논문에서는 FC-PBGA 패키지를 대상으로 하여 온도변화에 따른 열변형에 대한 실험과 해석을 수행하였다. 모아레 간섭계를 이용하여 각 온도단계에서 변위분포를 나타내는 간섭무늬를 얻고, 그로부터 굽힘변형 거동 및 솔더볼의 변형률에 대한 해석을 수행하였다. 한 개의 패키지가 PCB에 연결되어 있는 단면 패키지 결합체와 두 개의 패키지가 PCB의 양쪽에 연결되어 있는 양면 패키지 결합체의 변형 거동을 비교하였다. FC-PBGA의 단면 패키지 결합체 패키지의 최대 굽힘변위는 결합되지 않은 패키지보다 20%정도 작게 발생된 것으로 나타났으며 양면 패키지의 경우는 대칭성으로 인하여 칩 윗면의 최대 굽힘변위가 단면패키지보다 반 정도 작게 발생되었다. 솔더볼의 파손에 큰 영향을 미치는 유효변형률은 단면 패키지 결합체의 경우 칩 가장자리의 바로 바깥쪽 솔더볼에서, 양면 패키지 결합체의 경우는 칩 가장자리의 바로 안쪽 솔더볼에서 가장 큰 값을 가졌으며, 그 최대값은 양면패키지 결합체의 경우가 50% 정도 더 큰 것으로 나타났다.

Abstract: Thermo-mechanical behavior of flip-chip plastic ball grid array (FC-PBGA) packages are characterized by high sensitive moiré interferometry. Moiré fringe patterns are recorded and analyzed for several temperatures. Deformation analysis of bending displacements of the packages and average strains in the solder balls for both single and double-sided package assemblies are presented. The bending displacement of the double-sided package assembly is smaller than that of the single-sided one because of its symmetric structure. The largest effective strain occurred at the solder ball located on the edge of the chip and its magnitude of the double-sided package assembly is greater than that of single-sided one by 50%.

Key words: Moiré interferometry, Flip Chip Package, Thermo-mechanical behavior, BGA package, Solder ball

1. 서 론

반도체의 고집적화와 패키징 기술의 지속적인 발전에 따라, 많은 I/O를 처리할 수 있는 동시에

열적인 안전성과 우수한 전기적인 성능을 갖도록 하기 위해 개발된 패키지가 FC-PBGA (Flip Chip Plastic Ball Grid Array) 패키지이다. 이러한 패키지가 PCB에 실장되어 작동될 때에는 열하중에 의한

*Corresponding author
E-mail: jinwon@chungbuk.ac.kr

주기적인 온도변화를 받게 된다. FC-PBGA 패키지는 실리콘 칩, 유기기질(organic substrate), 솔더 범프(solder bump), 언더필(underfill) 등 다양한 재료로 구성되어 있고, 이것이 PCB와 솔더볼(solder ball)로 연결되어 있다. 이와 같은 패키지 결합체(package assembly, package+PCB+solder ball)에 온도변화가 생기면 서로 다른 열팽창계수로 인하여 균일하지 않은 변형과 국부응력이 발생하며, 집중된 열응력은 사이클이 진행될수록 파손의 큰 원인이 될 수 있다. 따라서 반도체 패키지의 최대한의 성능과 신뢰성을 얻기 위해서는 열변형을 고려한 설계와 열응력에 의한 피로수명예측이 절대적으로 필요하며, 이를 수행하기 위해서는 온도변화에 따른 패키지 구성재료의 변형거동에 대한 정확한 해석이 필요하다.

온도변화에 따른 파손을 비교하고 신뢰성을 평가하기 위하여, 패키지 제작회사에서는 ATC (Accelerated Thermal Cycling) 시험을 거쳐 파손이 일어날 때까지의 반복횟수를 측정하는 방법을 사용한다. 이와 같은 방법은 패키지를 비교하고 정해진 기준에 따른 내구성 여부를 판단하는 데는 유용하게 사용될 수 있으나, 개발 단계에서 변형 모드나 파손 미커니즘 등과 같은 유용한 정보는 얻을 수 없다 또한, ATC 시험에서는 반복횟수를 줄이기 위하여 사용조건 보다 더 가혹한 조건으로 실험하는데, 그 경우 솔더의 크리프, 점탄성 등의 성질로 인하여 상당한 비선형 현상이 나타나게 된다. 이와 같은 현상을 파악하고 온도변화에 따른 복잡한 구조의 열변형을 측정하기 위해서는 비접촉적이고 전체영역을 볼 수 있으며 신뢰성이 있는 실시간 실험 방법이 필요하다.

최근에는 레이저를 사용하는 모아레 간섭계 기술¹⁾이 개발되어 아주 높은 정밀도를 가지고 응용^{2,3)}되고 있다. 모아레 간섭법은 정밀도가 대단히 높고 비접촉으로 전체영역의 변형 상태를 측정할 수 있으며, 진동이나 빛 등 주위환경에 큰 영향을 받지 않는다는 장점을 가지고 있다. 이러한 특성으로 모아레 간섭법은 최근에 초소형 전자 부품들의 열변형해석^{4,10)}, 굽힘해석^{11,12)} 등에 효과적으로 이용되어 왔다.

온도변화로 인한 FC-PBGA 패키지의 기계적인 파손모드로는, 열팽창계수의 차이로 인한 패키지

의 굽힘변형(warpage), 패키지와 PCB의 변형 차이로 인한 솔더볼의 변형률 및 피로파괴, 언더필과 솔더범프 부분의 층간분리 및 파손이 주로 보고되고 있다. 본 논문에서는 FC-PBGA 패키지를 대상으로 하여 온도변화에 따른 열변형을 측정하기 위한 실험을 수행하였다. 모아레 간섭계를 이용하여 각 온도단계에서 변위분포를 나타내는 간섭무늬를 얻고, 그로부터 굽힘변형 거동 및 솔더볼의 변형률에 대한 해석을 수행하였다. 패키지를 실장하여 작동할 때 패키지 실장방법에 따라 생겨나는 기계적 신뢰성에 대한 영향을 알아내기 위하여, 한 개의 패키지가 PCB에 연결되어 있는 단면 패키지 결합체와 두 개의 패키지가 PCB의 양쪽에 연결되어 있는 양면 패키지 결합체의 변형 거동을 비교하여 평가하였다.

2. 모아레 간섭계와 변위측정

모아레 간섭법(Moire interferometry method)은 빛의 회절과 간섭이라는 두 가지 성질을 주로 이용하여, 평면 내의 정해진 2축(x,y)에 대한 변위성분을 간섭무늬로 나타내는 광학적인 실험방법이다. 이 방법에서는 아주 작은 간격(보통 1200 lines/mm)의 회절격자(diffraction grating)를 시편에 접촉하여 시편과 함께 움직이도록 한다. 이와 같은 회절격자에 빛이 입사되면 입사된 빛은 회절되어 유한개의 각도로 진행하게 되며, 이 각도는 회절격자의 주기와 레이저의 파장에 의하여 결정된다. 한 빛에서 나누어진 간섭성이 있는 두 개의 빛에 경로차이가 생기면 이것들은 간섭무늬를 만들게 된다. 이 간섭무늬는 회절격자의 주파수가 더 크게 변하면 각도차이가 더 커지며 그에 따라 간섭무늬의 간격은 좁아지게 된다.¹⁾

앞에서 설명한 변형측정원리는 x 방향의 변위 U를 측정하기 위한 것이다. 평면 내의 두 방향 변위 U, V를 동시에 측정하기 위해서는 직교형으로 홈이 나 있는 회절격자를 시편에 접촉하고 빛을 4방향에서 입사시키는 시스템을 구성하여야 한다.

이렇게 얻어지는 간섭무늬들은 시편의 표면에서 각각 변위 U와 V에 대한 등변위곡선을 나타낸다. 평면의 각 점에서의 변위는 다음과 같은 식으로 계산될 수 있다.

$$U(x, y) = \frac{1}{2f_s} N_x(x, y) \tag{1}$$

$$V(x, y) = \frac{1}{2f_s} N_y(x, y)$$

여기서 $N_x(x, y)$ 와 $N_y(x, y)$ 는 위치에 따라 분포하는 간섭무늬의 차수이다. 보통의 경우에 $f_s=1200$ lines/mm이므로 인접한 간섭무늬 사이는 $0.417 \mu\text{m}$ 의 변위 차이를 나타낸다.

평면내의 변형률을 계산하여야 할 때에는 다음 식을 이용할 수 있다.

$$\epsilon_x = \frac{\partial U}{\partial x} \approx \frac{1}{2f_s} \left[\frac{\Delta N_x}{\Delta x} \right]$$

$$\epsilon_y = \frac{\partial V}{\partial y} \approx \frac{1}{2f_s} \left[\frac{\Delta N_y}{\Delta y} \right] \tag{2}$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial U}{\partial y} \approx \frac{1}{2f_s} \left[\frac{\Delta N_y}{\Delta x} + \frac{\Delta N_x}{\Delta y} \right]$$

3. 실험방법

3.1 시편준비

실험에서 사용된 플립칩 패키지는 Fig. 1과 같이, 실리콘 칩(9.0×9.0×0.76 mm)이 유기기판 위에 작은 솔더범프로 연결되어 있고, 칩과 유기기판의 사이는 에폭시 언더필(underfill)로 채워져 있는 구조로 되어 있다. 이 플립칩 패키지는 PCB와 361개 (19개×19개)의 배열을 가진 솔더볼(solder ball)로 연결되어 패키지 결합체(package assembly)를 이루고 있다. 솔더볼의 높이는 0.5 mm이고 솔더볼 간의 거리는 0.8 mm이다. 본 논문에서는 변형거동을 비교하기 위하여 Fig. 2와 같은 3가지 시편을 선정하여 실험하였다. 즉, Fig. 2(a)와 같이 PCB가

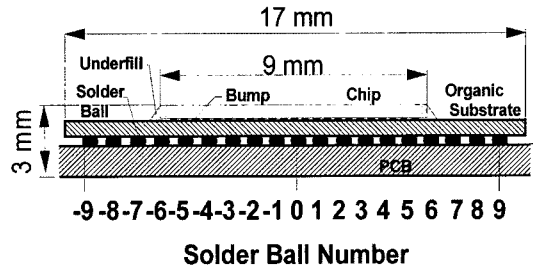


Fig. 1. Schematic diagram of a sectioned FC-PBGA package assembly

연결되지 않은 플립칩 패키지와 Fig. 2(b)와 같이 PCB의 한쪽 면에 패키지가 연결되어 있는 단면 패키지 결합체 및 Fig. 2(c)와 같이 패키지가 PCB의 양면에 연결되어 있는 양면 패키지 결합체를 실험 대상으로 하였다.

평면내의 2차원 변위를 측정하기 위하여 솔더볼의 단면이 가장 크게 나타나도록 다이아몬드 톱을 이용하여 패키지를 절단하고, 그 단면을 폴리싱하여 매끄러운 표면을 얻었다. 시편 절단과정에서 포함된 수분을 제거하기 위하여 패키지를 오븐에 넣고 80°C의 온도에서 2시간 동안 유지시켰다. 접도가 낮은 에폭시를 이용하여 미리 준비된 회절격자 몰드와 시편을 접착하여 48시간 경화한 후 분리하여, Fig. 2와 같이 회절격자(1200 lines/mm)가 복제된 시편을 얻어내었다.

3.2 온도변화 시험

온도변화에 따른 미소변형을 측정하기 위한 실험장치는 Fig. 3과 같이 모아레 간섭계와 온도 챔버 및 광학장치로 구성되어 있다. He-Ne 레이저에

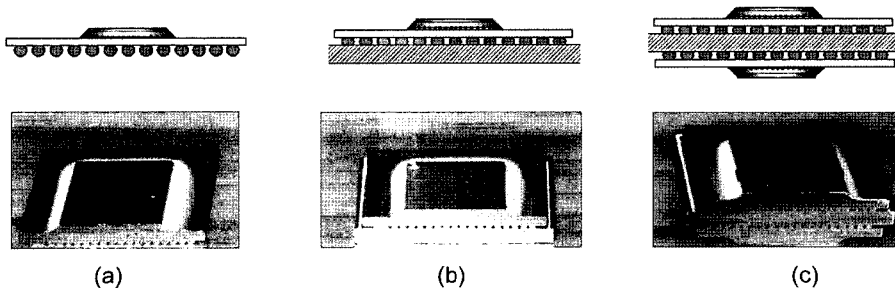


Fig. 2. Specimens of FC-PBGA package assemblies replicated by the diffraction grating (a) FC-PBGA package assembly (b) Single-sided package assembly (c) Double-sided package assembly

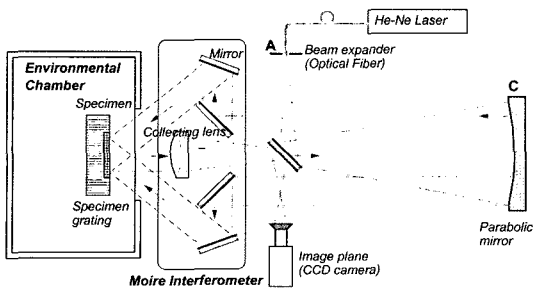


Fig. 3. Schematic illustration of experimental setup with the environment chamber

서 발생되어 이와 연결된 광섬유의 끝에서 구면의 파면을 가지고 퍼진 빛은 6"의 포물면 거울(parabolic mirror)에서 반사된 후 평행광(collimated beam)으로 변화되어 진행한다. 진행된 평행광은 특별히 제작된 모아레 간섭계¹³⁾의 안쪽 4개의 거울에서 나누어 반사되고, 다시 각각 바깥쪽 4개의 거울에서 반사되어 회절격자가 부착된 시편의 표면에 상하좌우 4 방향에서 입사각 49.4°를 가지고 입사하게 된다. 시편에서 회절되어 간섭을 일으킨 간섭무늬 영상은 집광렌즈(collecting lens)를 통하여 CCD 카메라로 진행하여 기록된다.

원하는 온도로 시편을 유지시키기 위하여 실시간 제어가 가능한 온도 챔버를 광학장치와 연결하여 사용하였다. 시편을 온도챔버 안에서 고정할 후 거울들을 정렬하고 간섭계 전체에 강제회전을 주어 시편과 간섭계의 방향을 일치시켰다. 이렇게 하여 간섭무늬가 가능한 없어진 초기 변위장(null field)를 얻고 이때부터 시편에 온도변화를 주었다. 상온(23°C)→50°C→75°C→100°C→125°C→100°C→50°C→상온으로 거치는 한 사이클의 온도변화가 발생되도록 열하중을 가하고 각 온도단계에서 간섭무늬를 기록하였다.

4. 결과 및 토의

4.1 플립칩 패키지의 변형거동

Fig. 4(a)는 PCB와 결합되지 않은 플립칩 패키지를 대상으로 75°C와 100°C에서 기록한 간섭무늬를 보여주고 있다. U 변위(x 방향 변위)를 나타내는 간섭무늬에서는 온도의 상승으로 인하여 길이 방향으로 전체적인 팽창이 일어났음을 보여주고

있다. U 변위는 열팽창계수의 차이로 인하여 칩 쪽 보다 유기기질 쪽이 훨씬 크게 나타났으며, 이로 인하여 칩이 차지하는 영역에서는 전체적으로 굽힘변형이 일어났음을 볼 수 있다. 이러한 굽힘변형은 V 변위를 나타내는 간섭무늬를 해석하면 정량적으로 구할 수 있다. V 변위를 나타내는 간섭무늬에서는 칩 부분에서는 전체적으로 일정한 굽힘변형이 일어났으나, 유기질 부분에서는 칩 부분과 그 바깥부분의 곡률이 차이가 큰 것을 보여주고 있다. 유기질 부분에서 간섭무늬가 수평방향과 평행하지 않은 것은 수직방향의 열팽창과 함께 굽힘변형이 일어났음을 보인다.

Fig. 4(b)는 PCB의 한쪽 면에 연결된 단면 패키지 결합체의 75°C와 100°C에서 기록한 간섭무늬를 보여주고 있다. U 변위를 나타내는 간섭무늬에서 보는 바와 같이, U 변위는 열팽창계수의 차이로 인하여 솔더볼을 중심으로 칩 쪽 보다 PCB 쪽이 훨씬 크게 나타났으며, 칩 바깥부분의 유기기질 부분에서는 PCB와 비슷한 정도의 팽창이 일어났다. 이로 인하여 칩이 차지하는 영역에서는 전체적으로 굽힘변형이 일어났으나, 그 크기는 Fig. 4(a)의 플립칩 패키지의 경우보다 작게 나타났음을 볼 수 있다. 솔더볼에서의 간섭무늬는 솔더볼 위와 아래의 U 변위 차이로 인하여 솔더볼에 전단 변형이 일어났음을 보여주고 있으며, V 변위는 솔더볼의 위치에 따라 상당히 다르게 나타나서, 솔더볼에 수직방향의 균일한 열팽창 뿐 아니라 상대적인 변형에 의한 수직응력이 발생하고 있음을 알 수 있다. 특히 PCB는 면외방향으로의 열팽창계수가 면내방향으로의 열팽창계수보다 상당히 크므로 수직 방향의 간섭무늬가 조밀하게 기록되었다. 칩과 유기기질은 작은 솔더범퍼로 연결되어 있으며 그 사이에 언더필이 채워져 있는데 그 부분에서 U 변위를 나타내는 간섭무늬의 불연속이 일어난 것으로 보이나 이것은 언더필의 좁은 영역에서 전단변형이 집중되었기 때문이다.

Fig. 4(c)는 양면 패키지 결합체의 간섭무늬를 보여주고 있다. PCB를 중심으로 양쪽에 패키지가 대칭적으로 연결되어 있기 때문에 PCB는 굽힘변형이 거의 일어나지 않았으며 패키지는 굽힘변형이 일어났으나, 그 크기는 Fig. 4(b)의 단면 패키지 결합체의 경우보다 작게 나타났음을 볼 수 있다. 솔더볼에서의 간섭무늬는 단면 패키지 결합체의 경

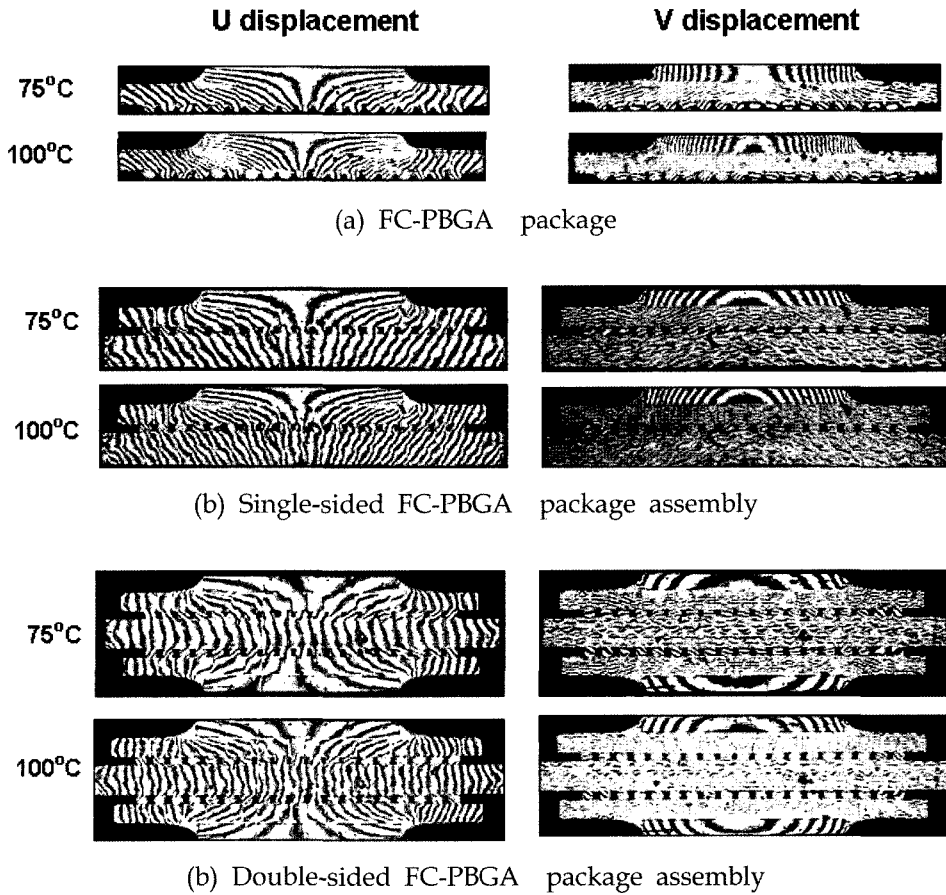


Fig. 4. Representative fringe patterns of FC-PBGA package and package assemblies due to temperature change

우에서 보다 조밀하게 나타나서 솔더볼에 더 큰 전단변형이 일어났음을 보여주고 있다.

4.2 패키지 결합체의 굽힘변형 거동

Fig. 5는 3가지 패키지 및 패키지 결합체에 대하여 온도변화에 따른 칩 윗면의 최대 굽힘변위(warpage)를 보여주고 있다. 3가지 경우 모두 상온부터 125°C까지 온도에 대해 거의 직선적인 관계를 보였으며, 온도가 상온으로 돌아왔을 때에도 잔류변형이 거의 없는 탄성거동을 보이고 있는 것으로 나타났다. 그림에서 보는 바와 같이 PCB가 결합된 단면 패키지 결합체의 최대 굽힘변위는 결합되지 않은 패키지보다 20%정도 작게 발생된 것으로 나타났다. 이것은 유기질과 PCB의 열팽창계수가 비슷하므로 PCB가 패키지에 대하여 제한효과를 일으켰으며, 또한 솔더볼이 전단변형을 함으

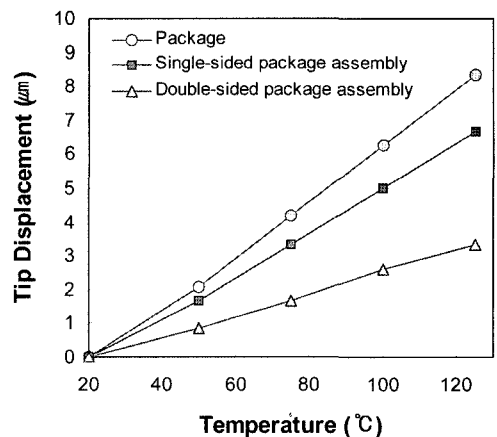


Fig. 5. Maximum bending displacements(warpages) of the FC-PBGA package and package assemblies according to the temperature variation

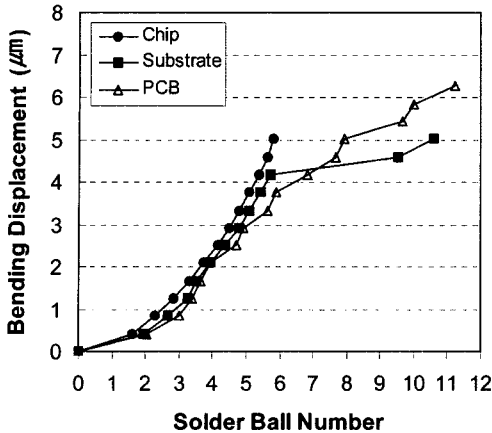


Fig. 6. Bending displacements along the centerline of the chip, the substrate and the PCB of the single-sided FC-PBGA package assembly at the temperature of 100°C

로써 굽힘변형이 약간 완화되었기 때문에 판단 된다. 양면 패키지의 경우는 대칭성으로 인하여 PCB가 양쪽의 패키지를 더욱 제한하여 칩 윗면의 최대 굽힘변위가 단면패키지보다 반 정도 작게 발생되었다.

Fig. 6은 온도 100°C에서 V 변위 간섭무늬로부터 구한 단면 패키지 결합체의 굽힘변위 분포를 보여주고 있다. 굽힘변위는 칩의 길이방향 중간선, 유기기질의 중간선 및 PCB의 중간선을 따라 나타내었다. 단면 패키지 결합체에서는 칩과 PCB의 열팽창계수 차이로 인하여 전체적으로 위로 오목한 굽힘변형을 보였으며, 칩 가장자리 경계면 부근에서 유기기질과 PCB는 굽힘 방향이 심하게 변하는 변곡점이 발생되었다. 칩의 최대 굽힘변위는 100°C에서 약 5.0 μm이었다. 유기기질의 수직방향 변위는 칩 가장자리를 기준으로 안쪽에서는 PCB의 수직방향 변위보다 크고, 바깥쪽에서는 PCB의 수직방향 변위보다 작게 나타났으며, PCB와의 제한 효과에 의하여 유기기질의 굽힘변위는 거의 0에 가깝게 나타났다. 이러한 변위의 차이는 솔더볼의 수직방향 인장변형률 분포와 파손에 큰 영향을 미치며 이와 같은 솔더볼의 변형은 4.3절에서 더 자세히 다룬다.

Fig 7에서 보여주는 양면 패키지 결합체의 굽힘 변형은 대칭성으로 인하여 단면 패키지 결합체와는 다른 분포를 보인다. PCB는 거의 굽힘변형을

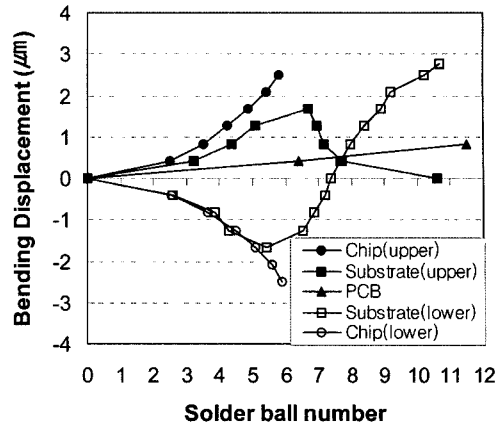


Fig. 7. Bending displacements along the centerline of the chip, the substrate and the PCB of the double-sided FC-PBGA package assembly at the temperature of 100°C

하지 않았으며, 칩과 유기기질의 변형도 단면 패키지 결합체에 비해 작게 나타나서 칩의 최대 수직방향 변위는 100°C에서 약 2.5 μm이었다. PCB를 기준으로 반대편에 위치한 칩과 유기기질의 변형은 부호가 서로 반대인 대칭의 형태로 나타났으며, 칩의 가장자리 경계면 근처에서 심한 곡률의 변화를 보여 경계면 바깥에서는 변형이 경계면 안쪽과 반대로 발생하였다. 따라서 솔더볼 위, 아래에 있는 유기기질과 PCB의 변위 차이는 단면패키지의 경우보다 상당히 크게 발생되었으며, 이로 인해 솔더볼의 수직방향 인장변형률이 크게 발생되었다. Fig. 8은 이러한 칩과 유기기질 및 PCB의 굽힘변형과 이 차이로 인한 솔더볼의 변형거동을

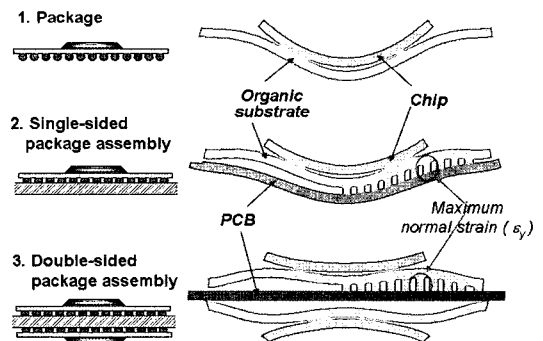


Fig. 8. Enlarged deformation behavior of the FC-PBGA Package assemblies

같은 비율로 확대하여 도식적으로 보여주고 있다.

4.3 솔더볼의 변형률 거동

반도체 패키지의 온도가 변하면 균일하지 않은 열팽창으로 인해 굽힘변형이 발생할 뿐 아니라, 이를 연결하는 솔더볼도 변형하게 된다. 일반적인 BGA 패키지의 경우 솔더볼의 전단변형률은 패키지의 파손과 신뢰성에 큰 영향을 미치게 되며, FC-PBGA의 경우는 수직변형률도 신뢰성에 크게 영향을 미친다고 알려져 있다. Fig. 9와 Fig. 10은 각각 단면 패키지 결합체와 양면 패키지 결합체의 오른쪽 부분 각 솔더볼에서 식(2)를 이용하여 구한 온도 100°C에서의 평균 전단변형률과 평균 수직변형률을 보여주고 있다. 평균변형률은 솔더볼

의 4개 구석 점으로 이루어진 직사각형 영역에서의 평균값으로 정의하였다. 두 경우 모두 PCB의 열팽창계수가 패키지의 유효열팽창계수보다 크므로 전단변형률은 오른쪽 부분에서는 오른쪽 아래 구석각이 줄어드는 음의 부호를 가진다. 중앙의 솔더볼로부터 오른쪽 솔더볼을 따라서 보면 칩의 중앙 부분에서는 거의 0의 값을 갖고 바깥쪽으로 갈수록 서서히 증가하여 칩의 가장자리 경계면의 바깥쪽인 No. 7 솔더볼에서 최대값을 갖다가 끝으로 가면서 줄어든다. 최대 평균 전단변형률은 단면 패키지 결합체의 경우 -0.099%이고 양면 패키지의 경우는 -0.163%로, 양면인 경우가 단면의 경우보다 약 1.65배가량 크게 나타났다.

상하방향의 평균 수직변형률(ϵ_y)도 전단변형률과 유사한 경향을 보이는데, 중심점에서부터 바깥 솔더볼로 갈수록 증가하다가, 단면 패키지결합체의 경우 칩 가장자리의 바로 바깥쪽 솔더볼인 No. 6 솔더볼에서, 양면 패키지 결합체의 경우는 칩 가장자리의 바로 안쪽 솔더볼인 No. 5 솔더볼에서 가장 큰 전단변형률이 발생하였다. 최대 평균 수직변형률은 단면 패키지 결합체의 경우 0.334%이고 양면 패키지 결합체의 경우는 0.425%로, 양면의 경우가 단면의 경우보다 1.27배 정도 크게 발생되었다. Fig. 9와 Fig. 10에서 보여준 평균 수직변형률(ϵ_y)은 평균 전단변형률에 비해 상당히 큰 값으로 나타났으나, 그 중 큰 부분은 그림에서 점선으로 표시한 것과 같은 솔더볼의 열팽창에 의한 자유 변형률이며, 수직변형률과 자유 변형률의 차이가 열응력을 발생시키는 변형률로 간주할 수 있

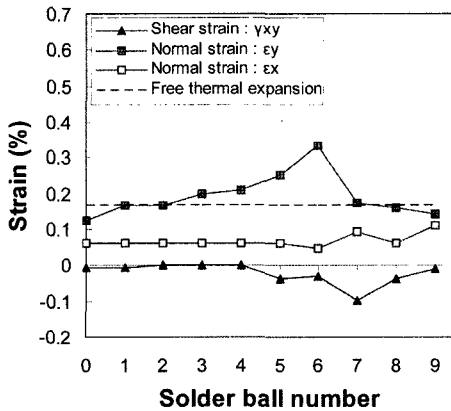


Fig. 9. Average strains of solder balls for the single-sided FC-PBGA package assembly

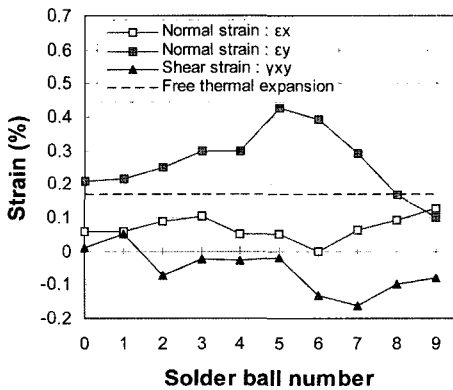


Fig. 10. Average strains of solder balls for the double-sided FC-PBGA package assembly

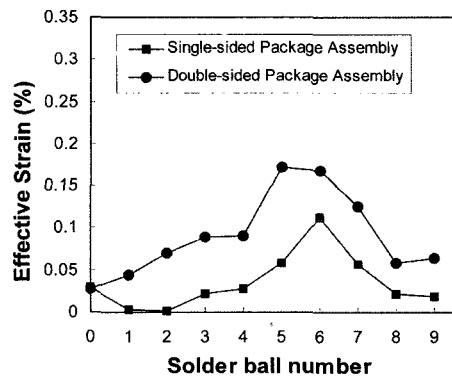


Fig. 11. Effective strains of solder balls for the FC-PBGA package assemblies

다. 수평방향의 평균 수직변형률(ϵ_x)은 솔더볼에 따라 비슷한 값으로 나타났는데, 이 변형률 성분은 솔더볼의 자유 열팽창일 뿐이므로 솔더볼의 파손에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

Fig. 11은 온도 100°C에서 각 솔더볼에 대한 평균 유효변형률 값을 보여주고 있다. 유효변형률은 다음 식에 의해 계산하였다.

$$\bar{\epsilon} = \left[\frac{2}{9} \{ (\epsilon_x - \epsilon_y)^2 + (\epsilon_y - \epsilon_z)^2 + (\epsilon_z - \epsilon_x)^2 \} + \frac{1}{3} \gamma_{xy}^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

패키지 결합체의 파손에 직접적인 영향을 미치는 유효변형률의 최대값은 칩 가장자리 부근에서 발생하는 것으로 나타났다. 단면 패키지 결합체의 경우 칩 가장자리의 바로 바깥쪽 솔더볼인 No. 6 솔더볼에서 가장 큰 값인 0.112%를, 양면 패키지 결합체의 경우는 칩 가장자리의 바로 안쪽 솔더볼인 No. 5 솔더볼에서 가장 큰 값인 0.172%를 보였다. 결론적으로 같은 온도 조건에서 최대굽힘변형은 양면패키지 결합체의 경우가 단면패키지 결합체의 경우에 비해 작지만 솔더볼의 파손에 영향을 미치는 유효변형률은 양면패키지 결합체의 경우가 50% 정도 더 큰 것으로 나타났다.

5. 결 론

본 논문에서는 모아레 간섭계를 이용하여 FC-PBGA 패키지와 단면 및 양면 패키지 결합체의 온도변화에 대한 거동을 해석하였고 이를 통하여 다음의 결론을 얻었다.

(1) FC-PBGA의 단면 패키지 결합체는 패키지와 PCB의 열팽창계수 차이로 인하여 전체적으로 패키지 쪽으로 굽은 변형을 보였으며, 칩 가장자리 부근에서 유기기질과 PCB는 굽힘방향이 급격하게 변하는 변곡점이 발생되었다.

(2) 단면 패키지의 최대 굽힘변위는 결합되지 않은 패키지보다 20%정도 작게 발생된 것으로 나타났으며 양면 패키지의 경우는 대칭성으로 인하여 칩 윗면의 최대 굽힘변위가 단면패키지보다 반 정도 작게 발생되었다.

(3) 솔더볼의 평균 전단변형률과 평균 수직변형

률은 칩의 가장자리 바로 바깥쪽인 솔더볼에서 최대값을 갖으며, 양면 패키지 결합체의 최대값은 단면의 경우보다 크게 발생되어 온도변화에 대하여 더 취약할 것으로 예측된다.

(4) 솔더볼의 파손에 큰 영향을 미치는 유효변형률은 상온을 기준으로 온도 100°C에서 단면 패키지 결합체의 경우 칩 가장자리의 바로 바깥쪽 솔더볼에서 가장 큰 값인 0.112%를, 양면 패키지 결합체의 경우는 칩 가장자리의 바로 안쪽 솔더볼에서 가장 큰 값인 0.172%를 가져서 양면패키지 결합체의 경우가 50% 정도 더 큰 것으로 나타났다.

감사의 글

이 논문은 2005학년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었으며 관계된 분들께 감사드립니다.

참고문헌

1. D. Post, B. Han and P. Ifju, High Sensitivity Moiré : Experimental Analysis for Mechanics and Materials, Springer-Verlag, New York (1994).
2. M. S. Dadkhah and A. S. Kobayashi, "HRR Field of a Moving Crack, An Experimental Analysis," *Engineering Fracture Mechanics*, 34, 253(1989).
3. D. Post, J. D. Wood, B. Han, V. J. Parks and Jr., F. P. Gerstle, "Thermal Stresses in a Bimaterial Joint: An Experimental Analysis," *J. Applied Mechanics, Trans. ASME*, 61(1), 192 (1994).
4. B. Han, "Recent Advancements of Moiré and Microscopic Moiré Interferometry for Thermal Deformation Analysis of Microelectronics Devices," *Experimental Mechanics*, 38(4), 278 (1998).
5. Y. Guo, C. K. Lim, W. T. Chen, W.T. and C. G. Woychik, "Solder Ball Connect (SBC) Assemblies Under Thermal Loading: I. Deformation Measurement via Moiré Interferometry, and Its Interpretation," *IBM J. Research Development*, 37, 635 (1993).
6. B. Han, Z. Wu and S. Cho, "Measurement of Thermal Expansion Coefficient of Flexible Substrate by Moiré Interferometry," *Experimental Techniques*, 25(3), 22 (2001).
7. S. -M. Cho, S. Y. Cho and B. Han, "Observing Real-Time Thermal Deformations in Electronic Packaging," *Experimental Techniques*, 26(3), 25 (2002).
8. S. J. Ham and S. B. Lee, "Measurement of Creep and

- Relaxation Behaviors of Wafer-level CSP Assembly Using Moiré Interferometry, *J. Electronic Packaging, Trans. of the ASME*, 125(June), 282 (2003).
9. J. Joo and S. Cho, "Evaluation of Thermal Deformation Model for BGA Packages Using Moiré Interferometry," *KSME International Journal*, 18(2), 230 (2004).
 10. B. Han, S.-M. Cho, J. Joo, "Temperature Dependent Deformation Analysis of Ceramic Ball Grid Array Package Assembly Under Accelerated Thermal Cycling Condition, *J. Electronic Packaging, Trans. of the ASME*, 126(March), 41 (2004).
 11. E. A. Stout, N. R. Sottos and A. F. Skipor, "Mechanical Characterization of Plastic Ball Grid Array Package Flexure Using Moiré Interferometry," *IEEE Trans. on Advanced Packaging*, 23(4), 637 (2000).
 12. J. Joo, S. Cho and B. Han, "Characterization of Flexural and Thermo-mechanical Behavior of Plastic Ball Grid Array Package Assembly Using Moiré Interferometry," *Microelectronics Reliability*, 45(4), 637 (2005).
 13. K. Oh and J. Joo, "Submicro-displacement Measuring system with Moiré Interferometer and Application to the Thermal Deformation of PBGA package," *Trans. of the KSME, A*, 28(11), 1646 (2004).