

## Wire Bonding PBGA 패키지의 솔더볼 그리드 패턴에 따른 열-기계적 거동

주진원\*

충북대학교 기계공학부

### Thermo-mechanical Behavior of Wire Bonding PBGA Packages with Different Solder Ball Grid Patterns

Jin-Won Joo\*

Department of Mechanical Engineering, Chungbuk National University, Cheongju 361-760

(2009년 4월 8일 접수: 2009년 5월 31일 게재확정)

**초 록:** 모아레 간섭계를 이용하여 와이어 본딩 플라스틱 볼 그리드 (WB-PBGA) 패키지의 열-기계적인 거동 특성을 연구하였다. 실시간 모아레 간섭계를 이용하여 각 온도단계 에서 변위분포를 나타내는 간섭무늬를 각각 얻고, 그로부터 굽힘변형 거동 및 솔더볼의 변형률에 대한 해석을 비교하여 수행하였다. 본 실험에서는 full grid와 perimeter with central connections 및 perimeter의 배열 형태를 갖는 세 가지 패키지를 사용하였으며, 이 배열 형태를 비교하여 굽힘변형 및 솔더볼의 평균변형률을 자세하게 해석하였다. 솔더볼의 유효변형률은 WB-PBGA-FG의 경우 칩 가장자리 바로 바깥쪽 솔더볼에서, WB-PBGA-P/C의 경우 가운데 연결 솔더볼의 가장 바깥 솔더볼에서, WB-PBGA-P의 경우는 칩과 가장 가까운 안쪽 솔더볼에서 최대값을 가지는 것으로 나타났다.

**Abstract:** Thermo-mechanical behaviors of wire-bond plastic ball grid array (WB-PBGA) package assemblies are characterized by high-sensitivity moiré interferometry. Using the real-time moiré setup, fringe patterns are recorded and analyzed for several temperatures. Experiments are conducted for three types of WB-PBGA package that have full grid pattern and perimeter pattern with/without central connections. Bending deformations of the assemblies and average strains of the solder balls are investigated, with an emphasis on the effect of solder interconnection grid patterns. Thermal strain distributions and the location of the critical solder ball in package assemblies are quite different with the form of solder ball grid pattern. For the WB-PBGA-PC, The largest of effective strain occurred in the inner solder ball of perimeter closest to the chip solder balls. The critical solder ball is located at the edge of the chip for the WB-PBGA-FG, at the most outer solder ball of central connections for the WB-PBGA-P/C, and at the inner solder ball closest to the chip for the WB-PBGA-P.

**Keywords:** Moiré Interferometry, Wire-bond Plastic Ball Grid Array Package, Thermo-mechanical behavior, BGA package, Warpage,

## 1. 서 론

반도체 칩의 고집적화와 입출력 단자 수의 증가에 따라 칩을 보호하고 있는 반도체 패키지의 역할이 중요하게 인식되고 있으며, 패키지 및 연결부위의 기계적인 신뢰성 문제가 중요한 과제로 부각되고 있다. 반도체 패키지는 서로 다른 열팽창계수와 탄성계수를 갖는 여러 가지의 재료로 구성되어 있으며, 반도체 칩에 전력이 공급되어 온도변화가 생기면 각각의 재료는 다른 비율로 변형하게 되어 그 사이에서 심한 열응력이 발생하게 된다. 더구나 반도체 칩은 주기적인 열하중을 받게 되므로, 집중된 열응력은 사이클이 진행될수록 파손의 큰 원인이 될 수 있다. 따라서 반도체 패키지의 설계기술을 발전시키

고, 최대한의 성능과 신뢰성을 얻기 위해서는 열적인 하중에 대한 패키지 각 요소의 변형거동을 이해할 필요가 있다.

패키지의 신뢰성 평가를 위하여 온도 사이클의 조건을 받고 있는 BGA (ball grid array) 패키지의 피로 거동에 대한 연구<sup>1,2)</sup>가 최근 들어 많이 수행되어 왔다. 패키지의 수명을 판단하고 신뢰성을 평가하기 위하여 정해진 최고온도와 최저온도 사이를 반복 시험하는 ATC (accelerated thermal cycling) 시험이 패키지 제작회사를 중심으로 주로 수행되고 있다. 이 시험으로부터 결정되는 피로수명 횟수는 패키지 설계의 비교를 위해서는 유용하게 사용될 수 있으나, 파손에 이르는 각 패키지 재료의 열적-기계적 거동에는 제한된 정보만을 제공한다. 열적 하중을 받고 있

\*Corresponding author

E-mail: jinwon@chungbuk.ac.kr

는 패키지의 응력과 변형률을 평가하여 패키지의 신뢰성을 예측하는데 유한요소법이 유용하게 이용될 수 있다.<sup>3)</sup> 유한요소법을 이용하면 복잡한 하중조건과 경계조건을 갖는 대부분의 전자 패키지를 해석할 수 있지만, 서로 다른 재료 사이의 특이해 (singularity) 문제, 납과 같은 재료의 비선형 거동 문제 등으로 인하여 경우에 따라서는 큰 오차를 나타낼 수 있다. 따라서 전자 패키지의 정확한 변형 거동을 평가하기 위해서는 신뢰성 있는 실험적 측정 방법이 필요하다.

최근에는 레이저를 사용하는 모아레 간섭계 기술<sup>7)</sup>이 개발되어 아주 높은 정밀도를 가지고 응용<sup>8,9)</sup>되고 있다. 모아레 간섭법은 정밀도가 대단히 높고 비접촉으로 전체 영역의 변형 상태를 측정할 수 있으며 주위환경에 민감하지 않다는 장점을 가지고 있다. 이러한 특성으로 모아레 간섭법은 최근에 초소형 전자 부품들의 열변형해석<sup>10-13)</sup> 등에 효과적으로 이용되어 왔다. 본 논문에서는 높은 I/O 개수의 반도체 패키지로 널리 쓰이고 있는 wire-bond plastic ball grid array (WB-PBGA) 패키지를 대상으로 하여 온도변화에 따르는 열변형 실험과 그 해석을 수행하였다. WB-PBGA 패키지를 PCB와 솔더볼로 연결할 때는 여러 배열 형태를 가질 수 있으며, 이러한 배열 형태에 따라 패키지 전체의 변형거동과 솔더볼의 국부 응력이 달라질 수 있다. 또한 여러 솔더볼 중에서 파손 가능성이 높은 솔더볼을 미리 예측할 수 있다면, ATC 시험과 같은 신뢰성 시험에서는 위험한 솔더볼을 집중하여 검사할 수 있으므로 훨씬 효율적으로 시험을 수행할 수 있으며, 유한요소 해석에서도 파손 가능성이 높은 솔더볼을 국부 해석함으로써 해석의 신뢰성을 높일 수 있다. 본 논문에서는 실시간 모아레 간섭계를 이용하여 각 온도단계에서 변위분포를 나타내는 간섭무늬를 각각 얻고, 그로부터 굽힘변형 거동 및 솔더볼의 변형률에 대한 해석을 비교하여 수행하였다.

## 2. 모아레 간섭계를 이용한 실험방법

### 2.1. 모아레 간섭계에 의한 변위 측정

모아레 간섭법 (Moiré interferometry method)은 빛의 회절과 간섭이라는 두 가지 성질을 주로 이용하여, 평면 내의 정해진 2축(x,y)에 대한 변위성분을 간섭무늬로 나타내는 광학적인 실험방법<sup>7)</sup>이다. 간섭무늬들은 시편의 표면에서 각각 x 방향의 변위 U와 y 방향의 변위 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 고정점

에 대한 간섭무늬의 차수이다. 보통의 경우에 시편의 부착된 회절격자의 공간 주파수  $f_s=1200 \text{ lines/mm}$ 이므로 인접한 간섭무늬 사이는  $0.417 \mu\text{m}$ 의 변위 차이를 나타낸다.

간섭무늬로부터 평면내의 변형률을 구할 때에는 다음의 식을 이용하여 계산할 수 있다.

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

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

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

### 2.2. 시편 및 실험방법

본 실험에서는 Fig. 1과 같이 3가지 종류의 솔더 배열 형태를 갖는 WB-PBGA 패키지가 사용되었다. Full grid (WB-PBGA-FG) 패키지는 27x27 mm 크기의 패키지에 피치가 1.5 mm인 225개의 솔더볼들이 바둑판 모양으로 짝 찬 배열 형태를 가지고 있고, perimeter with central

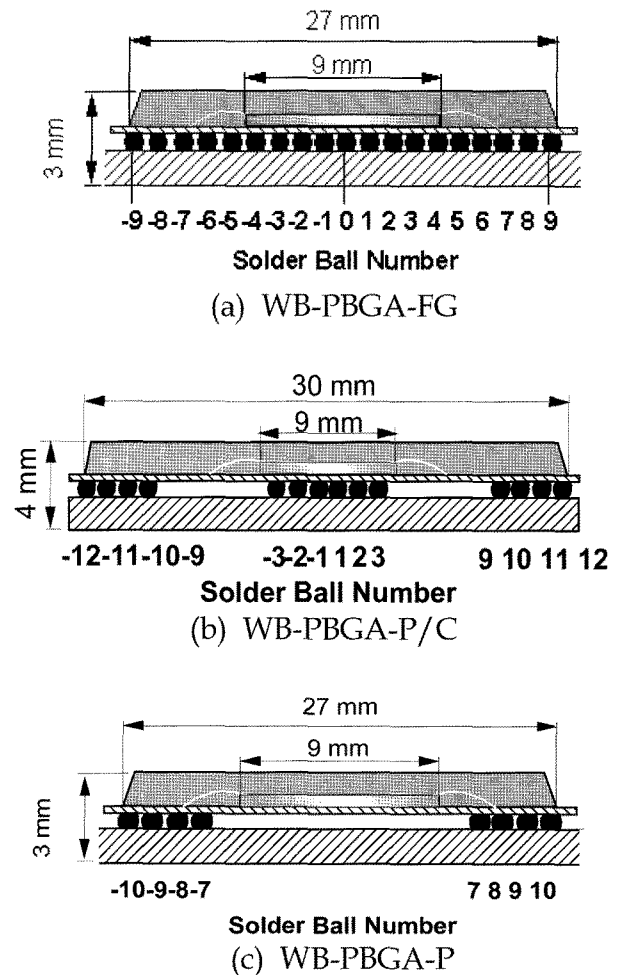


Fig. 1. Schematic diagram of specimen geometry of sectioned WB-PBGA package (a) full grid package assembly (b) perimeter with central connections package assembly (c) perimeter package assembly

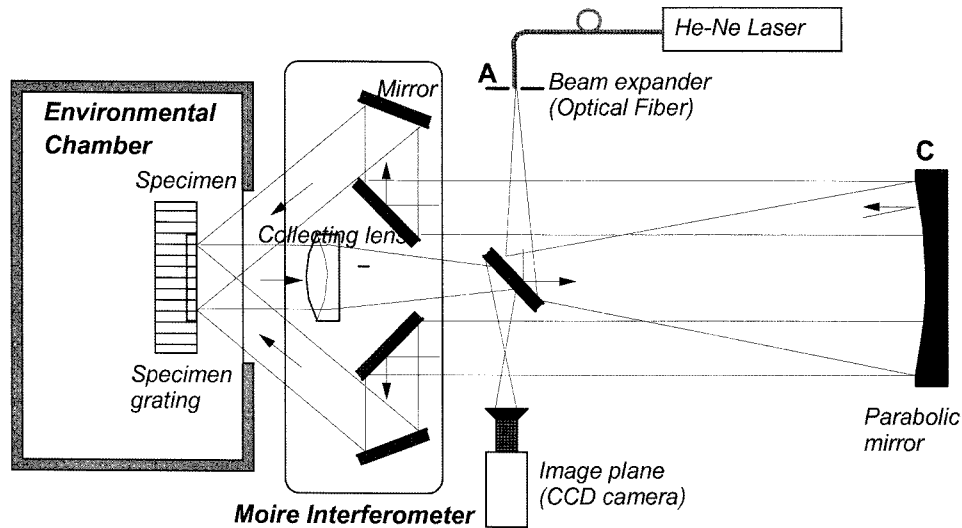


Fig. 2. Moiré interferometry system with environmental chamber

connections (WB-PBGA-P/C) 패키지는 30×30 mm 크기의 패키지에 피치가 1.25 mm인 388개의 솔더볼들이 가장자리에 4줄, 중앙에 5×5의 배열 형태를 가지고 있으며, perimeter (WB-PBGA-P) 패키지는 27×27 mm 크기의 패키지에 피치가 1.25 mm인 256개의 솔더볼들이 가장자리에 4줄을 이루고 있는 배열 형태를 가지고 있다. Fig. 1의 (b)와 (c)에서에서 솔더볼이 없는 부분도 바깥쪽에는 솔더볼이 존재하므로 단면에서 보이지 않는 솔더볼에도 순서대로 번호를 매겨 표시하였다. 솔더볼의 재료는 저 융점 솔더(eutectic solder, Sn63%/Pb37%)로 180°C 근처의 융점을 가지고 있는 것으로 알려져 있다. WB-PBGA를 구성하는 재료들은 각기 다른 열팽창계수를 가지고 있으며 몰딩소재는  $15 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ , 실리콘 칩은  $4 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ , 패키지 기판(substrate)은  $16 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ , 저융점 솔더볼은  $21 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ , PCB는 평판방향  $18 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ , 면외방향  $54 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ,의 열팽창 계수를 가지고 있다.

평면내의 2차원 변위를 측정하기 위하여 패키지 결합체(패키지+솔더볼+PCB)로부터 솔더볼의 단면이 보이도록 시편을 절단해 내고, 솔더볼들의 직경이 가장 크게 되도록 표면을 연마하여 아주 매끄럽게 하였다. 시편 절단 과정에서 포함된 수분을 제거하기 위하여 패키지를 오븐에 넣고 80°C의 온도에서 2시간 동안 유지시켰다. 점도가 낮은 에폭시를 이용하여 미리 준비된 회절격자 몰드와 시편을 상온(20°C)에서 접착하고 24시간 경화한 후 분리하여 1200 lines/mm의 회절격자가 복제된 시편을 얻어 내었다.

온도변화에 따른 미소변형을 측정하기 위한 실험장치는 Fig. 2와 같이 모아레 간섭계와 온도 챔버 및 광학장치로 구성되어 있다. He-Ne 레이저에서 발생된 빛은 작은 렌즈에 의해 퍼지게 되고 이와 연결된 광섬유의 끝에서 구면의 파면으로 퍼진 빛은 6"의 포물면 거울(parabolic mirror)에서 반사된 후 평행광(collimated beam)으로 변화되어 진행된다. 진행된 평행광은 특별히 제작

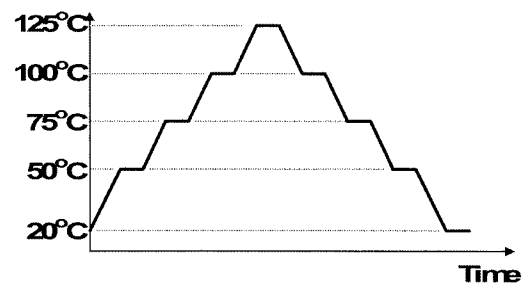


Fig. 3. Temperature excursion for the experiment of thermal deformation

된 모아레 간섭계의 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 온도 챔버 안에서 고정된 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. Fig. 3과 같이 상온(23°C)→50°C→75°C→100°C→125°C→100°C→50°C→상온으로 거치는 한 사이클의 온도변화를 주고 각 온도단계에서 간섭무늬를 기록하였다.

### 3. WB-PBGA 패키지의 열변형 거동

Fig. 4와 Fig. 5 및 Fig. 6은 각각 WB-PBGA-FG 패키지, WB-PBGA-P/C 패키지 및 WB-PBGA-P 패키지에 대하여 각 온도 단계에서 기록한 U, V 변위의 간섭무늬중 대표적인 것을 나타내고 있다. 그림에서는 자세한 간섭무늬를 보이기 위하여 반쪽만을 확대하여 나타내었다. U 변위를

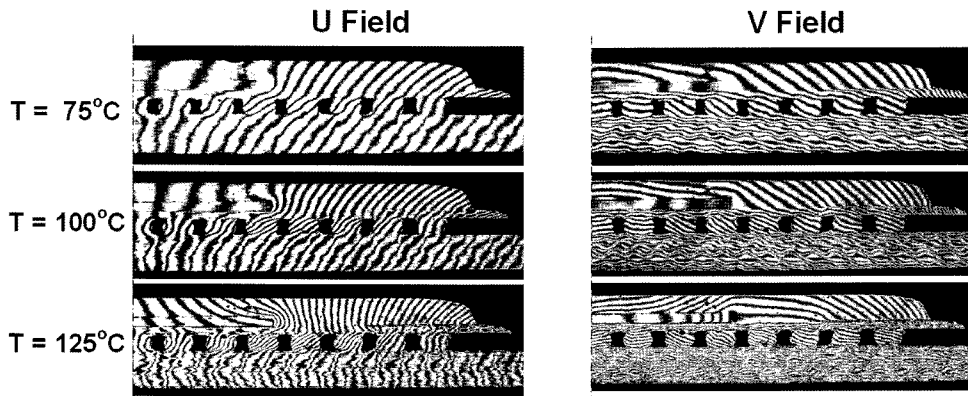


Fig. 4. Representative fringe patterns of the full grid pattern PBGA package assembly due to temperature change

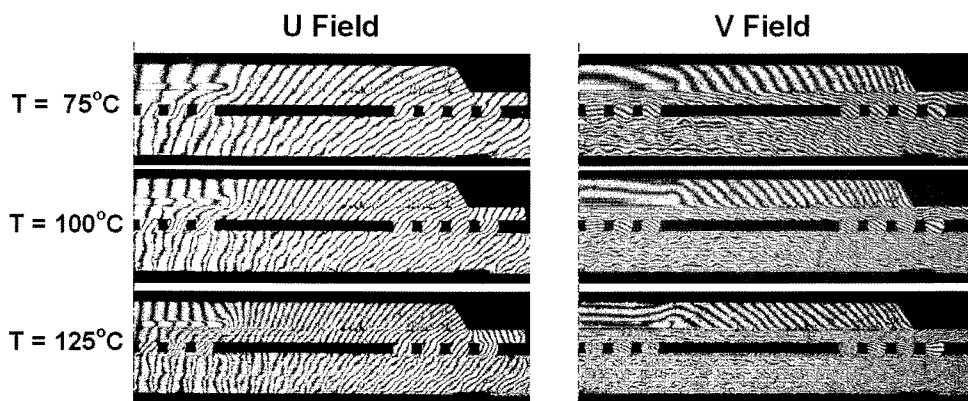


Fig. 5. Representative fringe patterns of the perimeter PBGA package assembly with central connections due to temperature change

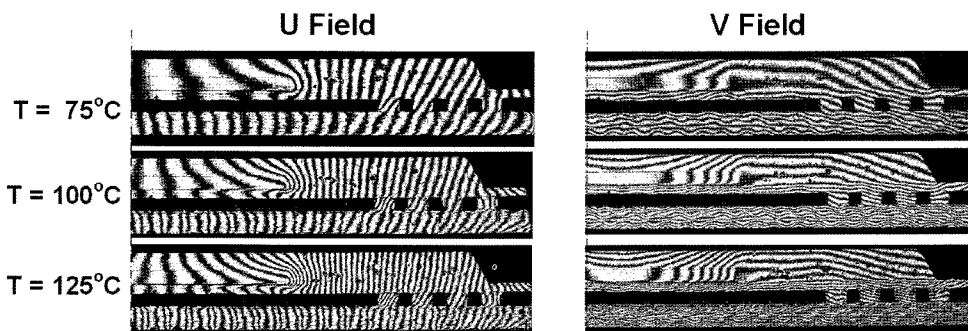


Fig. 6. Representative fringe patterns of the perimeter PBGA package assembly due to temperature change

나타내는 간섭무늬를 보면 열팽창계수가 낮은 반도체 칩 부분에는 간섭무늬의 간격이 넓어서 작은 변형률이 발생되었고 열팽창계수가 큰 몰딩 및 PCB 부분에는 간섭무늬의 간격이 조밀하여 큰 변형률이 발생되었음을 볼 수 있다. 이로 인하여 전체적으로 아래로 볼록한 굽힘변형이 일어났음을 알 수 있으며 이러한 굽힘변형은 V 변위장의 간섭무늬를 이용하여 정량적으로 얻어낼 수 있다. 온도가 높아지면 변형이 증가하여 전체적으로 간섭무늬 사이의 간격이 좁아지지만, 어느 일정한 온도보다 높아지면 온도의 증가에 비례하지 않는 비선형 형태의 변형이 나타남을 볼 수 있다.

WB-PBGA-P/C의 경우에는 칩이 위치한 패키지의 가

운데 부분은 전체적인 굽힘변위와 반대의 굽힘변위( $\cap$ )를 발생시키고 있으며, PCB 부분은 거의 직선적으로 간섭무늬가 형성되어 팽창만이 일어났음을 보이고 있다. 이러한 현상들은 솔더볼 재료의 온도에 따른 크립이나 점소성 거동과도 관련되며, 솔더볼의 배열형태에 따라 서로 다른 변형 거동을 보인다.

솔더볼의 위와 아래 경계에서 보이는 간섭무늬 차수의 차이는 솔더볼의 국부적인 변형을 나타낸다. 즉, U 변위를 나타내는 간섭무늬에서 보이는 간섭무늬 차수의 차이는 솔더볼의 전단변형을 의미하고, V 변위를 나타내는 간섭무늬 차수의 차이는 상하방향의 수직변형을 의미한다. 이와 같은 솔더볼의 자세한 변형거동은 4.2에서 설명한다.

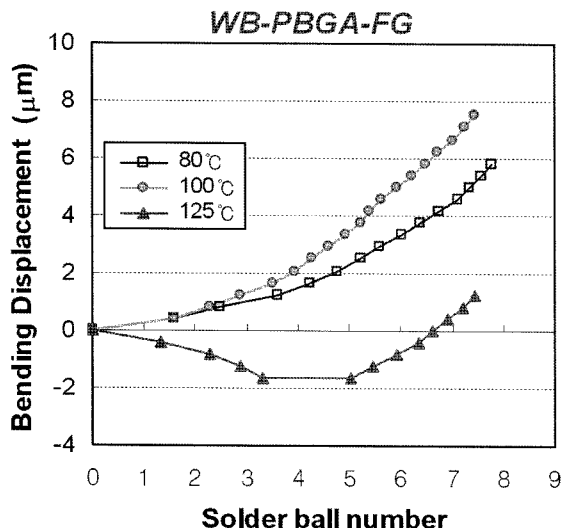


Fig. 7. Bending displacement distributions along the center line of WB-PBGA-FG package

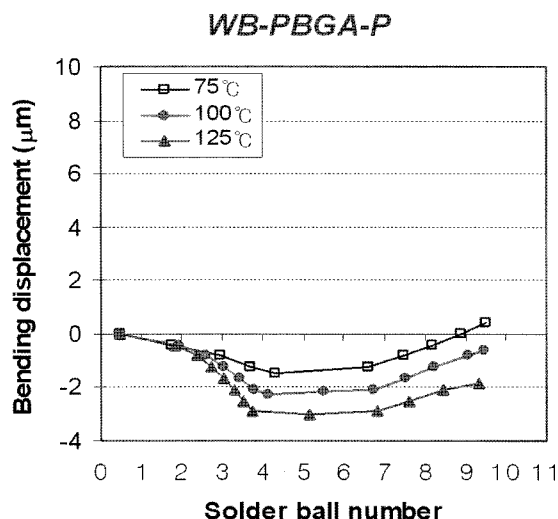


Fig. 9. Bending displacement distributions along the center line of WB-PBGA-P/C package

3.1. 패키지의 굽힘변형 거동

Fig. 7, Fig. 8 및 Fig. 9는 각각의 패키지에 대하여 V 변위 간섭무늬에서 패키지의 중심선을 따라 얻어낸 굽힘변위 분포를 보여주고 있다. 먼저 WB-PBGA-FG 패키지의 굽힘변위(Fig. 7)에 대해 살펴보면, 패키지의 평균 열팽창 계수가 PCB의 열팽창계수보다 작으므로 아래로 볼록한 굽힘변형이 발생하고, 이 변형은 온도가 100°C가 될 때까지는 증가하여 진행하지만 온도가 더 상승하여 125°C가 되면 상당히 다른 형태의 변위분포를 보이고 있는 것을 알 수 있다. 이러한 거동은 온도가 125°C가 되면 솔더볼에 항복이 일어나면서 PCB와의 구속이 약해지고 패키지 자체의 국부적인 굽힘변형이 발생하기 때문이다. 즉, 패키지 내부에서 몰딩 부분의 열팽창 계수는 칩 부분의 열팽창계수보다 상당히 크므로 반대로 굽어지는(∩) 현상을 보이고, 칩이 없는 부분에서는 원래의 굽힘변형(∪)이 일어나서 결국 S자로 구부러진(~) 형태의 변형이 일어났

다. 온도가 내려갈 때는 간섭무늬에서 나타난 바와 같이 솔더볼에 이와 같은 현상이 일어나지 않아서 계속하여 반대방향으로 굽힘변형이 진행되었다.

Fig. 8에서 보여준 WB-PBGA-P/C 패키지에서도 고온에서의 이러한 현상이 나타났으나 WB-PBGA-FG 패키지에서보다는 뚜렷하지 않았다. 이 패키지에서는 중간 부분에 솔더볼이 없으므로 저온에서의 구속효과와 고온에서의 이완효과가 비교적 작기 때문인 것으로 판단된다. 또한 칩이 있는 중간 부분에서는 굽힘변위가 WB-PBGA-FG에서보다 작으므로 완전한 굽힘변형을 보이지 않고 칩의 경계부분에서부터 급격하게 변위가 증가하는 거동을 보인다.

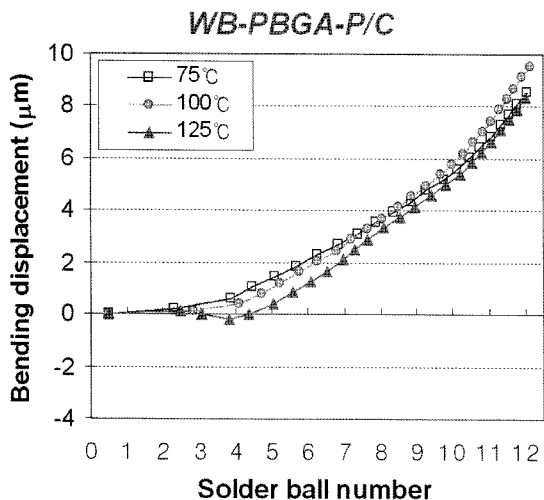


Fig. 8. Bending displacement distributions along the center line of WB-PBGA-P/C package

Fig. 9에서 보여준 WB-PBGA-P 패키지의 변위분포를 보면, 가운데 부분에는 패키지와 PCB를 연결하는 솔더볼이 없으므로 높지 않은 온도에서도 패키지가 PCB와 관계없이 위로 굽은(∩) 거동을 보였고 솔더볼이 연결되는 가장자리 부분에서는 아래로 굽은(∪) 거동을 보여서 그림과 같이 S자 형태로 변형이 일어남을 볼 수 있으며, 변곡점 부분에서 곡률이 급격하게 변하는 현상을 볼 수 있다. 온도가 올라갔을 때에도 같은 변형이 증폭되어서 패키지의 동일한 위치에서는 온도에 따라 거의 선형적으로 증가하는 현상을 보였다.

이와 같은 WB-PBGA 패키지의 굽힘변형 거동을 가시적으로 나타내기 위하여 Fig. 10에 패키지 각 부분의 굽힘변형을 실제와 같은 비율로 확대하여 도시적으로 나타내었다. 그림의 윗부분 굽은 선은 패키지 중심선을 따라서 분포하는 변위를 나타내고, 아랫부분은 PCB의 중심선을 따라 분포하는 변위를 확대하여 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 같은 WB-PBGA 패키지라 할지라도 솔더볼의 배열에 따라 온도에 따른 변형 거동이 상당히 다르다는 것을 알 수 있다. 그림에서 볼 수 있는 패키지와 PCB의 변위 차이는 이를 연결하는 솔더볼에 큰 응

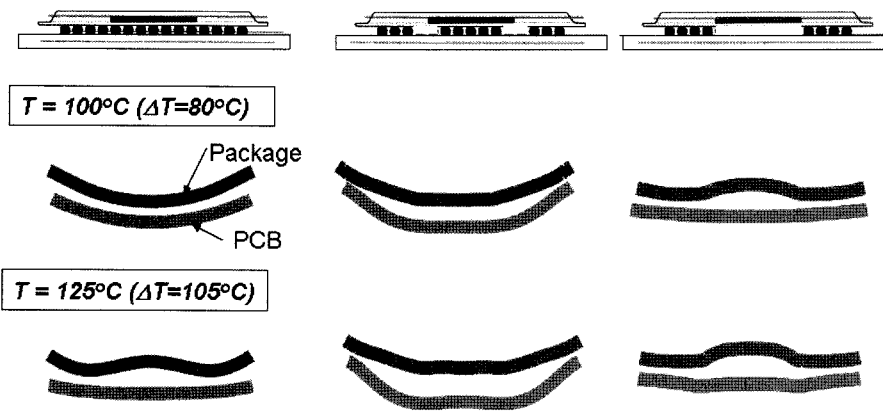


Fig. 10. Schematic bending deformation behavior of WB-PBGA package assemblies

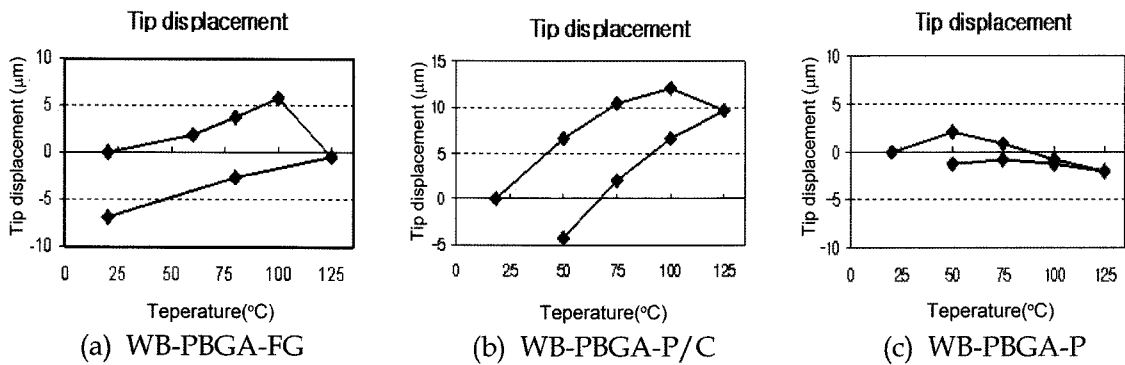


Fig. 11. Tip displacements of WB-PBGA package assemblies according to the temperature

력을 발생시켜 솔더볼의 파손에 상당한 영향을 미칠 수 있다.

Fig. 11은 각 패키지의 끝단에서 온도변화에 따른 최대 굽힘변위를 보여주고 있다. 최대 굽힘변위는 온도가 높아지면 앞에서 기술한 비선형 거동을 보이며 온도가 내려갈 때에는 3가지 패키지 모두 선형적인 거동을 보였다. WB-PBGA-P/C의 경우가 끝단의 굽힘변위가 가장 크게 나타났으며, WB-PBGA-P의 경우에는 패키지가 S자 형태로 변형함으로 인해 끝단의 변위는 작게 나타났다.

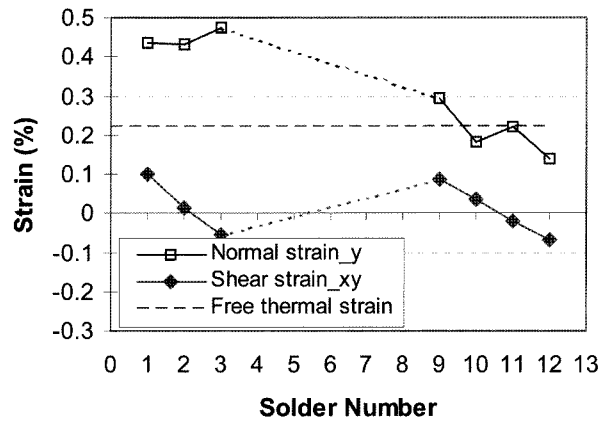


Fig. 13. Strain distributions of the WB-PBGA-P/C package at the temperature of 125°C

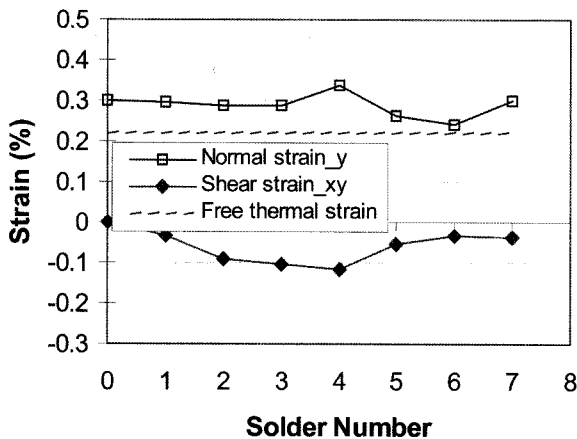


Fig. 12. Strain distributions of the WB-PBGA-FG package at the temperature of 125°C

### 3.2. 솔더볼의 변형률 거동

반도체 패키지의 온도가 변하면 서로 다른 열팽창으로 인해 굽힘변형이 발생할 뿐 아니라, 이를 연결하는 솔더볼도 변형하게 된다. 일반적인 BGA 패키지의 경우 패키지 부분과 PCB 부분의 열변형 차이로 인하여 솔더볼에는 전단변형률( $\tau_{xy}$ )과 수직변형률( $\epsilon_y$ )이 주로 발생하며, WB-PBGA 패키지에서는 솔더볼의 전단변형률이 패키지의 파손과 신뢰성에 큰 영향을 미친다고 알려져 있다. Fig. 12와 Fig. 13 및 Fig. 14는 각각 WB-PBGA-FG 패키지, WB-PBGA-P/C 패키지 및 WB-PBGA-P 패키지의 오

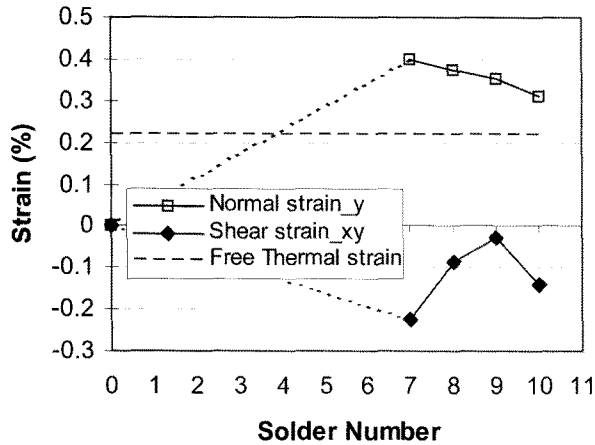


Fig. 14. Strain distributions of the WB-PBGA-P package at the temperature of 125°C

른쪽 절반 부분 각 솔더볼에 대하여 온도 125°C에서의 변위분포로부터 식(2)를 이용하여 구한 평균 전단변형률 ( $\tau_{xy}$ )과 평균 수직변형률( $\epsilon_y$ )을 보여주고 있다. 평균변형률은 솔더볼의 4개 구석 점으로 이루어진 직사각형 영역에서의 평균값으로 정의하여 계산하였으며 솔더볼이 없는 부분은 그래프에서 점선으로 표시하였다.

WB-PBGA-FG 패키지의 경우 PCB의 열팽창계수가 패키지의 유효열팽창계수보다 크기 때문에 온도가 올라가면 PCB 부분이 더 많이 늘어나므로 전단변형률은 패키지의 오른쪽 부분의 경우 오른쪽 아래 구석 각이 줄어드는 음의 부호를 가진다. 중앙의 솔더볼에서는 거의 0의 값을 갖고 바깥쪽으로 갈수록 서서히 증가하여 칩의 가장자리 경계면의 바깥쪽인 No. 4 솔더볼에서 최대값 -0.115%를 갖는다. 패키지 기관과 PCB의 열팽창계수는 거의 같은 값을 가지므로 칩이 없는 바깥쪽으로 가면서 전단변형률이 상당히 줄어든다. 상하방향의 평균 수직변형률( $\epsilon_y$ )도 전단변형률과 유사한 경향을 보이는데, 중심 점에서부터 바깥 솔더볼로 갈수록 증가하다가, 칩 가장자리의 바로 바깥쪽 솔더볼인 No. 4 솔더볼에서 가장 큰 수직변형률 0.336%가 발생하였다. 평균 수직변형률은 평균 전단변형률에 비해 상당히 큰 값으로 나타났으나, 그 중 많은 부분은 그림에서 점선으로 표시한 것과 같은 솔더볼의 자유 열팽창에 의한 변형률로, 그 양은 열팽창계수와 온도차이로 계산해볼 때 약 0.22%이다.

이 경우에 수직변형률과 자유 열팽창에 의한 변형률의 차이가 열응력을 발생시키는 변형률로 간주될 수 있다. 수직변형률은 칩 가장자리 부근의 솔더볼들에서 급격한 변화를 보였다. 수평방향의 평균 수직변형률( $\epsilon_x$ )은 솔더볼에 따라 비슷한 값으로 나타났는데, 이 변형률 성분은 솔더볼의 자유 열팽창일 뿐이므로 솔더볼의 파손에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 판단되어 그림에는 표시하지 않았다.

WB-PBGA-P/C 패키지의 경우는 WB-PBGA-FM의 경우와 다른 변형률 변화를 보였는데 Fig. 13과 같이 전단

변형률은 전체적으로 작은 값을 가졌고 솔더볼의 위치에 따라 부호가 뒤바뀌는 거동을 보였다. 가운데 부분의 가장 바깥 솔더볼과 가장자리 부분의 가장 안쪽 솔더볼에서 절대값이 큰 전단 변형률이 발생하였다. 상하방향의 수직변형률은 가운데 부분의 솔더볼에서 상당히 큰 값을 가지며, 가운데 부분의 가장 바깥 솔더볼에서 0.476%의 가장 큰 변형률 값을 가졌다. 가장자리 부분의 솔더볼들에서는 자유 팽창에 의한 변형률의 값과 큰 차이를 보이지 않았다.

WB-PBGA-P의 경우는 Fig. 14와 같이 패키지의 가운데 부분을 연결하는 솔더볼이 없으므로 가장자리 부분의 가장 안쪽 솔더볼에 가장 큰 변형이 집중되고 바깥으로 갈수록 변형률이 감소하였다. 이는 중앙에서 멀어질수록 변형률이 커지는 CBGA(ceramic ball grid array) 패키지와는 반대의 결과를 보여준다. 패키지와 PCB의 곡률 차이로 인하여 수직변형률 값은 가장자리 부분의 가장 안쪽 솔더볼에서 0.399%로 상당히 크게 발생되었다.

3차원 공간에서의 변형률은 수직변형률과 전단변형률의 6개 성분을 가지고 있으나, 다음 식과 같이 정의되는 유효변형률이 솔더볼의 파손에 직접적인 영향을 미친다고 할 수 있다. 식(3)에 의해 계산되는 유효변형률에서는 자유 열팽창에 의한 수직변형률의 영향이 상쇄되며 각 변형률 성분이 고려되어 하나의 값으로 표시된다.

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

BGA 패키지에서는 배열된 솔더볼 중 온도변화에 대한 유효변형률이 가장 큰 솔더볼에서 온도 사이클이 진행될수록 파손이 일어날 가능성이 많아진다. 가장 먼저 파손이 일어날 가능성이 높은 솔더볼을 알 수 있다면 ATC 시험에서 그 솔더볼을 우선 선택하여 파손을 감시하는데 효과적으로 사용할 수 있으며, 반도체 패키지의 재료선택이나 구조설계 시에도 이 부분의 변형률을 낮추는 설계 자료로 사용할 수 있다.

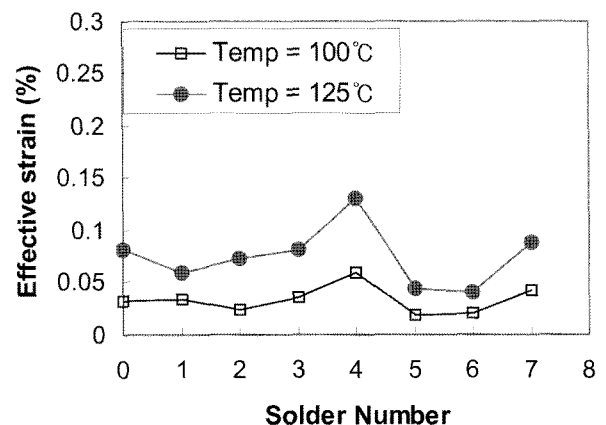


Fig. 15. Effective strain distributions of the WB-PBGA-FG package

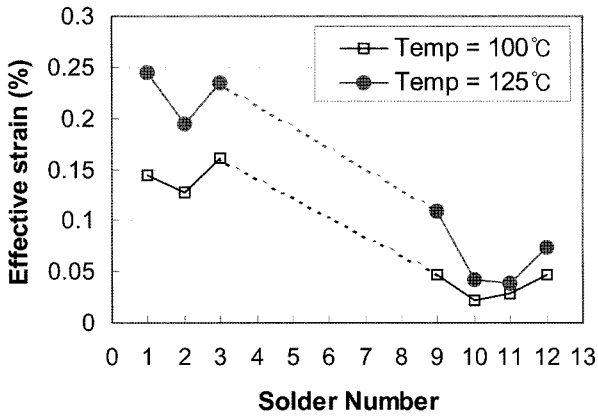


Fig. 16. Effective strain distributions of the WB-PBGA-P/C package

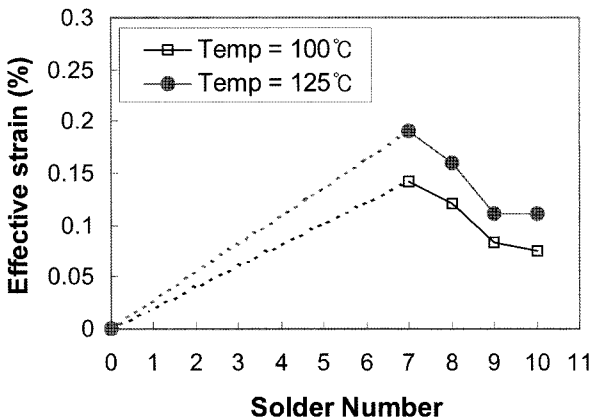


Fig. 17. Effective strain distributions of the WB-PBGA-P package

Fig. 15와 Fig. 16 및 Fig. 17은 100°C와 125°C에서 각 패키지 결합체에 대한 솔더볼들의 평균 유효변형률을 보여 주고 있다. WB-PBGA-FG의 경우에는 칩 경계면 바로 아래 솔더볼(#4)에서 100°C일 때 0.133%, 125°C일 때 0.231%의 가장 큰 평균 유효변형률이 일어났고, WB-PBGA-P/C의 경우는 가운데 연결 솔더볼의 가장 바깥 솔더볼(#3)에서 100°C일 때 0.242%, 125°C일 때 0.362%의 가장 큰 평균 유효변형률이 일어났다. WB-PBGA-P의 경우는 칩과 가장 가까운 안쪽 솔더볼(#7)에서 100°C일 때 0.207%, 125°C일 때 0.284%의 가장 큰 유효변형률이 발생되었다. 결론적으로 세 가지 종류의 솔더볼 배열형태를 가진 BGA 패키지 중에서 가운데 부분과 가장자리 부분에 솔더볼이 비연속적으로 있는 WB-PBGA-P/C의 경우가 같은 온도조건에서 굽힘변형도 가장 크고, 솔더볼의 파손에 영향을 미치는 유효변형률도 가장 큰 것으로 나타났다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 모아래 간섭계를 이용하여 세 가지 형태의 솔더볼 배열을 갖는 WB-PBGA 패키지 결합체의 온

도변화에 대한 거동을 해석하였고 이를 통하여 다음의 결론을 얻었다.

(1) WB-PBGA 결합체는 패키지와 PCB의 열팽창계수 차이로 인하여 전체적으로 패키지 쪽으로 굽은 변형을 보였으며, 칩 가장자리 부근에서 지지기판은 굽힘방향이 급격하게 변하는 변곡점이 발생되었다.

(2) 솔더볼의 배열에 따라 온도에 따른 변형 거동이 상당히 다르게 나타났으며, 각 패키지의 끝단에서의 최대 굽힘변위는 온도가 높아지면 비선형 거동을 보이고 온도가 내려갈 때에는 세 가지 패키지 모두 선형적인 거동을 보였다. WB-PBGA-P/C의 경우가 끝단의 굽힘변위가 가장 크게 나타났으며, WB-PBGA-P의 경우에는 패키지가 S자 형태로 변형함으로 인해 끝단의 변위는 작게 나타났다.

(3) 파손에 직접적인 영향을 주는 솔더볼의 유효변형률은 WB-PBGA-FG의 경우 칩 가장자리 바로 바깥쪽 솔더볼에서, WB-PBGA-P/C의 경우 가운데 연결 솔더볼의 가장 바깥 솔더볼에서, WB-PBGA-P의 경우는 칩과 가장 가까운 안쪽 솔더볼에서 최대값을 가지는 것으로 나타났다.

(4) 세 가지 종류의 솔더볼 배열형태를 가진 WB-PBGA 패키지 중에서 WB-PBGA-P/C의 경우가 같은 온도조건에서 굽힘변형도 가장 크고, 솔더볼의 파손에 영향을 미치는 유효변형률도 가장 큰 것으로 나타났다.

#### 감사의 글

이 논문은 2007년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었음.

#### 참고문헌

1. R. Darveaux and A. Mawer, "Thermal and Power Cycle Limit of Plastic ball grid array (PBGA) assemblies," Proc. Surface Mount Int. Conf., 315(1995).
2. A. F. Skipor, S. V. Harren and J. Botsis, "On the Constitutive Response of 63/37 Sn/Pb Eutectic Solder," ASME. J. Eng. Mater. Technol., 118, 1(1996).
3. J. S. Corbin, "Finite Element Analysis for Solder Ball Connect (SBC) Structural design Optimization," IBM J. Research Development, 37, 585(1993).
4. T. Lee and L. Jung, "Finite Element Analysis for Solder Ball Failures in Chip Scale Packages," Microelectronics and Reliability, 38(2), 1941(1998).
5. S. C. Chen, Y. C. Lin and C. H. Cheng, "The Numerical Analysis of Strain Behavior at the Solder Joint and Interface in a Flip Chip Package," J. Materials Processing Technology, 171, 125(2006).
6. J. W. Joo and N. J. Choi, "The Effect of Finite Element Models in Thermal Analysis of Electronic Packages," Trans. of the KSME(A), 33(4), 380(2009).
7. D. Post, B. Han and P. Ifju, High Sensitivity Moiré : Experimental Analysis for Mechanics and Materials, Springer-Verlag, New York(1994).
8. 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).
9. B. Han, Z. Wu and S. Cho, “Measurement of Thermal Expansion Coefficient of Flexible Substrate by Moiré Interferometry, Experimental Techniques,” 25(3), 22(2001).
  10. 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).
  11. 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).
  12. J. W. Joo and D. H. Kim, “Thermo-mechanical Deformation Analysis of Flip Chip PBGA Packages Subjected to Temperature Change,” *J. Microelect. & Packag. Soc.* 13(4), 17(2004).
  13. 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).