

## μBGA패키지 납볼 결함 검사 알고리즘 개발에 관한 연구

박종욱 · 양진세\* · 최태영

아주대학교 전자공학부, \*(주) 한택

### On the Development of an Inspection Algorithm for Micro Ball Grid Array Solder Balls

Jong Wook Park, Jin Se Yang\* and Tae Young Choi

Dept. of Electronic Engineering University of Ajou, \*Hantech Co., Ltd.

**초 록:** 본 논문에서는 마이크로 납볼 격자 배열 (μBGA) 패키지의 검사 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘의 개발은 납볼 배열의 미세 크기 때문에 사람의 시각으로는 결함을 식별하기 어려운 점에 기인하였다. 특히, 여기에서 보인 자동 시각 μBGA 검사 알고리즘은 소위 말하는 이차원 오차뿐만 아니라 볼의 높이 오차까지 검사할 수 있다. 검사 알고리즘은 특수하게 제작된 청색 조명 하에서 이차원 μBGA 영상을 사용하고 회전 불변 알고리즘으로 영상을 처리하였다. 그리고 2개의 카메라를 사용하여 높이 오차를 검출할 수 있었다. 모의실험결과, 제안한 알고리즘이 기존 방법에 비하여 괄목할 만큼 납볼 결함을 검출할 수 있음을 보였다.

**Abstract:** This paper proposes an inspection algorithm for micro ball grid array (μBGA) solder balls. This algorithm is motivated by the difficulty of finding defect balls by human visual inspection due to their small dimensions. Specifically, it is developed herein an automated vision-based inspection algorithm for μBGA's, which can inspect solder balls not only for so-called two dimensional errors, such as missings, positions and sizes, but also for height errors. The inspection algorithm uses two dimensional images of μBGA obtained through special blue illumination, and processes them with a rotation-invariant sub algorithm. It can also detect height errors when a two-camera system is available. Simulation results show that the proposed algorithm is more efficient in detecting ball defects compared with the conventional algorithms.

#### 1. 서 론

컴퓨터의 발전으로 인한 고속화와 저가격화로 인해 영상처리와 패턴인식, 인공지능 등을 이용하여 영상분석을 위한 산업용 비전 시스템의 구축을 저 가격, 고성능으로 구성할 수 있게 되었다. 이러한 이유로 각종 검사 작업에 인간의 시각 대신 비전 시스템을 이용한 검사 자동화 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>1-6)</sup>. 반도체들은 다른 전자 제품에 주요한 부품으로 쓰이기 때문에 제조 공정 중에 결함이 발생하면 전체적인 시스템 성능에 큰 영향을 준다. 그러므로 반도체 패키지들의 결함은 공정 단계에서부터 철저한 검사가 수행되어야 한다. 그러나 반도체 패키지들의 크기가 작아지고 대량 생산됨에 따라 그

결함을 인간의 시각만으로 판단하는 데에는 많은 어려움이 있다.

본 연구에서 다루는 BGA(ball grid array)는 1989년 모토로라사에서 처음으로 개발된 반도체 패키지의 한 종류로서 저 전력 소모와 소형화를 필수로 하는 휴대폰, 랩탑 컴퓨터, Pagers 등에 주로 사용되는 반도체 패키지로서 프린트 배선 기판(PCB)의 뒷면에 납볼을 공간적으로 줄지어 배열해 리드(Lead)를 대신하는 표면 실장용 패키지이다<sup>4,8)</sup>. μBGA는 그 크기와 부피가 매우 작아서 전체적인 시스템의 크기를 줄일 수 있고 전기적인 특징이 PGA(Pin Grid Array)보다 우수한 장점을 가지고 있다. Fig. 1은 μBGA 패키지의 기본 구조이다. μBGA상의 납볼의 크기와 높이는 수십 μm에서 수백 μm 정도로 그 크

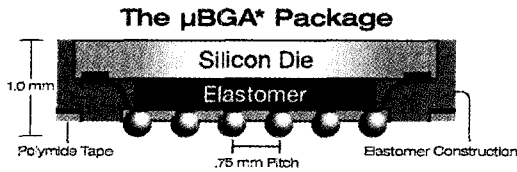


Fig. 1. μBGA Package.

기가 매우 작고 조밀하게 배열되어 있어 작업자의 시각으로 검사하기에는 한계가 있다. 그러므로 비전 시스템과 같은 자동 검사 시스템을 도입한 검사과정은 필수적이다<sup>1-7)</sup>.

이에 본 논문에서는 고정된 μBGA 납볼의 이차원 영상 특성을 분석하였고, 분석된 영상을 이용하여 납볼의 수평적인 크기와 간격, 유무를 인식하고 판단할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 그리고 두 개의 카메라 시스템을 이용해 납볼의 높이 결함이 발생하였을 경우 이를 찾아낸다.

## 2. 납볼 영상 분석 및 전처리

본 논문에서는 μBGA 납볼의 결함을 검사하기 위해 조명을 특정 방향으로 투사하고, 이로부터 획득된 영상을 이용하여 검사를 실행한다. 이때 μBGA 납볼의 영상은 Fig. 2와 같이 원형의 고리 형태를 띠고 있다. 이러한 고리 모양은 납볼의 광학적 특성에 의해 생성된다. 기존의 BGA에 관한 연구들 살펴보면 Fig. 3과 같이 납볼의 반사 특성을 단지 LED조명이 볼의 상단부분을 비추지 않고 중간부분에만 조사하기 때문에 CCD 카메라에는 납볼의 중간 부분 영상만 생성되는 것으로 판단하였다<sup>4,5)</sup>. 그러나 실제로 납볼의 높이보다 조명의 높이가 수

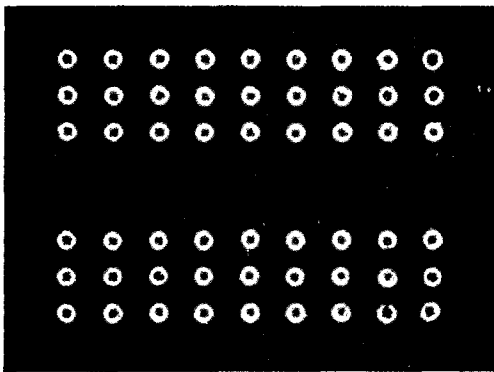


Fig. 2. Image of μBGA Package.

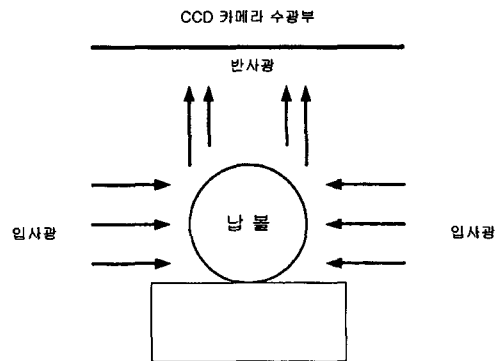


Fig. 3. Reflection feature of solder ball using in reference 4, 5.

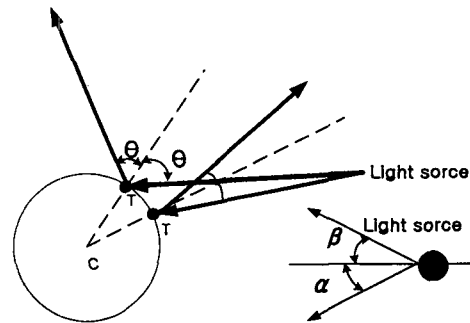


Fig. 4. Reflection of spherical mirror.

십에서 수백배 높기 때문에 납볼의 상단 부분까지 조명이 충분히 조사한다. 또한 LED 조명에서 나오는 광원 또한 Fig. 3과 같이 직사하는 것이 아니라 일정한 각을 가지고 확산하기 때문에 이와 같은 분석은 문제점을 가지고 있다.

이에 본 연구에서는 납볼과 조명과의 관계를 새로이 정립하였다. 납볼은 전반사 성질이 강하기 때문에 납볼의 반사특성을 구면거울에서의 반사로 가정할 수 있다<sup>9)</sup>. 이때 납볼 표면으로 입사한 조명이 납볼과 만나는 부분을 T라 하고 납볼의 중심을 C라 한다면, 반사되는 빛은 구면 거울의 반사 법칙에 의해 Fig. 4에서처럼 입사한 조명과 선분 C, T가 이루고 있는 각과 동일한 각으로 반사된다. 이러한 사실에 근거하여 납볼 영상이 원형의 고리 형태를 띠고 있는 것은 조명이 납볼의 하단 부분만 조사하는 것이 아니라 납볼의 반사 특성이 구면거울과 같은 특성을 가지고 있기 때문임을 알 수 있다.

이러한 사실을 바탕으로 납볼이 CCD카메라로 실제로 조사되어지는 반사 영역을 분석하면 Fig. 5와 같이 분석할 수 있다. 이때 납볼이 충분히 작고, 카메라와 조명의

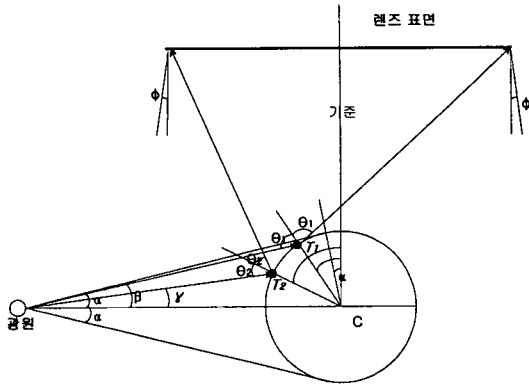


Fig. 5. Angle to camera from solder ball.

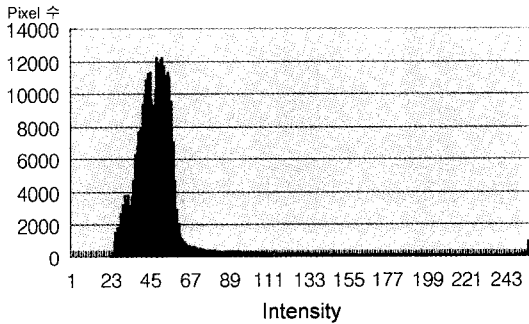


Fig. 6. Histogram of μBGA Image.

위치가 납볼의 크기에 비해 충분히 크다면 납볼 영상이 카메라에 잡히는 범위는 다음과 같이 분석할 수 있다. Fig. 6에서 광원으로부터 납볼로 입사하는 최대각을  $\alpha$ , 광원으로부터 카메라로 입사할 수 있는 가장 큰 조명의 각을  $\beta$ , 가장 작은 각을  $\gamma$ 라 한다. 그리고  $\beta$ 가 납볼과 만나는 점을  $T_1$ ,  $\gamma$ 가 납볼과 만나는 점을  $T_2$ ,  $T_1$ 에서 입사각과 반사각을  $\theta_1$ 이라 하고,  $T_2$ 에서 입사각과 반사각을  $\theta_2$ , 마지막으로 카메라의 화각을  $\phi$ 라 한다면  $T_1$ 과  $T_2$ 의 범위는 다음과 같이 각의 함수로 근사화할 수 있다.

$$T_1 = \beta - \theta_1 + \phi + 90 \tag{1}$$

$$T_2 = \gamma - \theta_2 + \phi + 90 \tag{2}$$

다음은 전처리 과정이다. 영상을 이용한 검사에서는 영상을 획득할 때마다 환경의 변화에 따른 편차가 심하기 때문에 효과적인 처리를 위한 전처리 과정은 필수적이다<sup>1,2,7)</sup>. 먼저 입력 영상을 이진화시킨다. 이진화는 그레이 레벨 값으로 표현되어있는 영상을 검정색과 흰색 두 개의 값으로만 표현하는 기법이다. 영상처리에서 이진 영상은 정보량을 적게 만들 수 있고, 고속의 처리를

가능하게 하며, 알고리즘 처리시 컬러 영상보다 처리가 간단하다는 장점 때문에 많이 사용되며 특히 반도체 패키지 검사에 많이 사용되고 있다.

$$B[i, j] = \begin{cases} 1 & \text{if } G[i, j] > T \\ 0 & \text{if } G[i, j] \leq T \end{cases} \tag{3}$$

여기에서,  $G_{i,j}$ 는 그레이 영상을 나타내며  $T$ 는 문턱값을 나타낸다.  $B_{i,j}$ 는 이진화 과정으로부터 얻어진 이진 영상이다. 이때 너무 큰 문턱값이 선택되면 납볼 영상에 손실을 가져와 정확한 납볼의 크기 및 위치를 계산할 수 없고, 너무 작은 값을 문턱값이 선정되면 납볼의 형상은 올바르게 나타나지만 패키지상의 잡음이 과다하게 나타난다.

Fig. 6은 Fig. 2의 영상의 히스토그램 분포도이다. Gonzalez는 그레이 영상의 히스토그램 분포도로부터 대상이 되는 물체와 배경을 분리하는 방법을 제안하였고 이 방법은 많은 이진 영상처리에서 사용된다.<sup>12)</sup> 그러나 Gonzalez가 제안한 문턱값 결정 방법은 Fig. 6과 같이 히스토그램 상에 피크가 단일한 경우는 적용되기 어렵다. Fig. 6의 히스토그램에서 볼 수 있듯이 패키지의 대부분을 차지하는 기판은 약 22에서 64까지의 그레이 값을 가지면서 대부분의 화소를 구성하고 납볼은 약 85에서부터 255까지의 그레이 값을 가지면서 넓은 지역에 걸쳐 분포하고 있어서 기판부분과 납볼들을 분리하는 문턱값을 구하는 것이 어렵다. 이에 영상의 평균과 표준편차를 이용하여 문턱값을 구하는 방법을 제안한다.<sup>1,9)</sup>

$$T = m_g + k\sigma_g \tag{4}$$

$$m_g = \frac{1}{M \times N} \sum_{(i,j) \in G} G[i, j] \tag{5}$$

$$\sigma_g^2 = \frac{1}{M \times N} \sum_{(i,j) \in G} (G[i, j] - m_g)^2 \tag{6}$$

여기서  $T$ 는 문턱값을  $m_g$ 는 그레이 영상의 평균값을  $\sigma_g$  그레이 영상의 표준 편차를  $M$ 과  $N$ 은 각각 영상의 가로와 세로 크기를 나타낸다. 그리고  $k$ 는 상수이다.  $k$ 의 값은 실험에 의해 적절한 값으로 결정된다.

이렇게 이진화된 영상에는 납볼 영상뿐만 아니라 잡음성분도 섞여 있다. 이러한 잡음들은 카메라의 노이즈, μBGA 패키지상의 먼지 등으로부터 기인된 것으로 임펄스 성분을 가지고 있기 때문에 제거가 용이하지 않다. 이런 미세한 잡음들은 수리 형태론 변환을 이용하면 납볼 영상에 손상 없이 제거될 수 있다.  $A$ 를 이진 화상이라 정의하고,  $B$ 를 형태소라 하면 기본적인 수리형태론 변환

을 다음과 같다.

$$\text{불림(Dilation)} A \oplus B = \{t | A \cap \hat{B}_t \neq \emptyset\} \quad (7-a)$$

$$\text{녹임(Erosion)} A \ominus B = \{t | A \hat{B}_t \neq \emptyset\} \quad (7-b)$$

식 (7-a)는 불림 연산을 식(7-b)는 녹임 연산을  $B$ 는 형태소를 나타낸다. 여기에서  $\hat{B} = \{t | t = -b, b \in B\}$  이고,  $B_t$ 는 형태소  $B$ 를  $t$ 만큼 이동시켰다는 뜻이다. 위에서 정의한 불림과 녹임 연산을 조합한 형태인 열림과 불림 연산은 이진 연산의 전처리 단계로 쓰이며 잡음을 제거 하는데 유용하다. 열림과 불림 연산은 다음과 같다.

$$\text{열림(Opening)} A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (8-a)$$

$$\text{불림(Closing)} A \cdot B = (A \oplus B) \ominus B \quad (8-b)$$

그리고 수리 형태론 변환을 사용하면 잡음 제거 이외에도 영상 획득시 발생하는 납땜의 형상 오류도 보정 해 주는 부가인 효과를 가져온다. Fig. 7의 (a)는 원영상이고 (b)는 이진화 영상이다. (b)영상을 관찰하면 일부 납땜에서 고리 형상이 끊어져 있는 것을 볼 수 있다. 이를 불림 연산 1회 실행하고, 다시 열림 연산 1회 실행하면 (c)영상에서처럼 손상된 납땜의 영상이 복원됨을 관찰할 수 있다.

기존의 BGA관련 연구들은 공정시 BGA들의 배열이 수평, 수직으로 직각을 이루고 있다는 전제로 출발하고

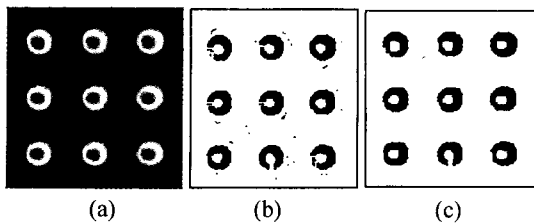


Fig. 7. Restoration of solder ball using mathematical morphology. (a) Original Image. (b) Binary Image of a. (c) Image using mathematical morphology.

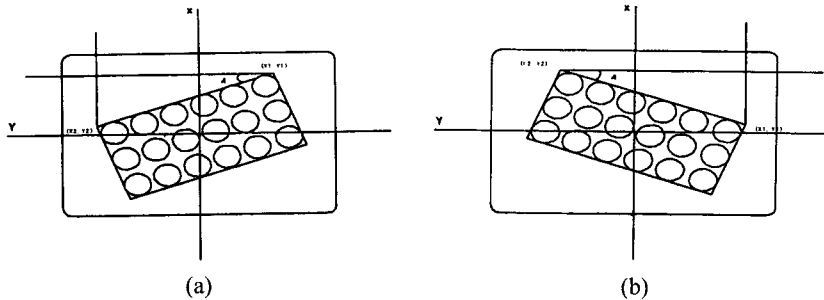


Fig. 8. Rotated  $\mu$ BGA Package. (a) Retated by left. (b) Rotated by right.

있다.<sup>4,5</sup> 그러나 실제 공정 과정에서 패키지에 미세한 회전 발생되었을 경우 볼들의 Grid가 올바르게 생성되지 않으므로 검사 알고리즘을 적용시킬 수 없는 경우가 발생할 수 있다. 이런 오류를 수정 해주기 위해 회전된  $\mu$ BGA 패키지를 올바른 Grid를 형성할 수 있도록 다시 회전시켜야 한다. Fig. 8의 (a), (b)에서 같이 볼들의 최외각 Point를 찾아 각각의 점들로부터 회전된 각을 근사화 한다. 이때 볼 자체의 면적 때문에 정확한 Point를 찾을 수 없기 때문에 녹임 연산을 통해 각 볼들의 면적을 축소시킨 후 최외각 Point를 측정하면 보다 정확한 각을 추정할 수 있다.

최외각 Point들이 결정되었으면 이로부터 회전각을 찾아낸다. 회전각  $\theta$ 는 다음과 같다.

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{|y_2 - y_1|}{|x_2 - x_1|}\right) \quad (9)$$

### 3. 검사 알고리즘

$\mu$ BGA 납땜 검사는 이차원 검사와 삼차원 검사 두 가지 항목으로 나눌 수 있다. 이차원 검사에는 Fig. 9에서 볼 수 있는 납땜의 유무 검사, 납땜 사이의 위치 검사, 납땜의 크기 검사를 수행한다.

하나의  $\mu$ BGA 패키지에는 수십에서 수백개의 납땜이 존재하므로 납땜을 일정 영역으로 구분하기 위해 각각의 납땜의 영역을 계산할 필요가 있다. 위치와 영역을 구하는 방법은 이진 영상에서 영역이나 위치를 결정하는데 유용하게 쓰이는 이진 영상의 프로젝트션을 사용한다<sup>11,14</sup>.

$$H[i] = \sum_{j=1}^m B[i, j] \quad (10)$$

$$V[j] = \sum_{i=1}^n B[i, j] \quad (11)$$

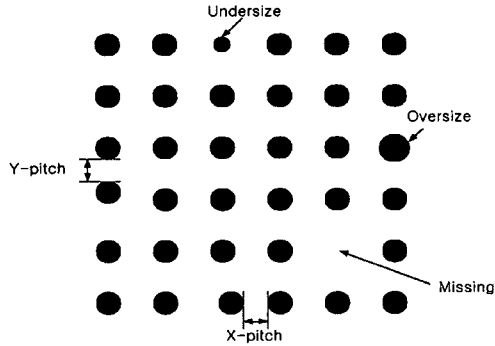


Fig. 9. Inspection Factor of 2 dimensional.

여기서  $B[i,j]$ 는 이진영상을,  $H[i]$ 는 수평축 프로젝션을,  $V_j$ 는 수직축 프로젝션을 나타내고  $m, n$ 은 영상의 가로, 세로 크기를 나타낸다. 식 (10),(11)로부터 μBGA 패키지 영상에서 납불의 영역을 구한 다음, 이로부터 납불 영역과 납불 이외에 기판 영역을 분리한다. Fig. 4의 μBGA 패키지 영상에 대해 수평축과 수직축에 대해 각각의 프로젝션을 구하여 그래프로 그리면 Fig. 10과 같다. 그래프에서 표시한 것처럼 각각의 납불 영역이 시작하는 부분의 수평축 지점은  $start\_x[i]$ , 수직축 지점은  $start\_y[j]$ , 끝나는 부분의 수평축 지점은  $end\_x[i]$ , 수직축 지점을  $end\_y[j]$ 라 정의하고 메모리 버퍼에 영역 별로 저장시켜서 영역에 대한 볼의 중심점을 찾는 데 이용한다.

BGA 패키지 검사서는 납불의 중심이 검사의 주요 기준이 되기 때문에 납불의 중심을 얼마나 정확히 구하는가가 검사 알고리즘의 핵심이 된다. 이진 영상에서 물체의 중심을 계산할 때에는 Fig. 11처럼 그 물체가 차지하는 영역의 외접 사각형을 그린 다음 그 사각형의 중점을 구하는 방법이 자주 쓰인다. 위 식 (10), (11)에서 구한 각 납불의 프로젝션으로부터 납불의 외접 사각형을 만들고 이로부터 중심점을 계산하면 식 (12), (13)와 같다.

$$\bar{x}[i] = \frac{end\_x[i] - start\_x[i]}{2} \tag{12}$$

$$\bar{y}[j] = \frac{end\_y[j] - start\_y[j]}{2} \tag{13}$$

그러나 외접 사각형으로 볼의 중심점을 계산한다면 볼이 정확한 원형을 띠고 있는 경우에는 정확한 중심점이 계산되나 만약 볼의 형상이 타원이나 찌그러진 모양을 갖고 있을 경우와 잡음이나 먼지등에 의해 돌출이 생겼을 경우에는 중심점들이 부정확하게 계산된다. 이런 오차를 보정해주기 위해서 볼들의 중심점들은 Fig. 12와 식(13), (14)처럼 외접 사각형보다는 무게중심으로 계산하는 것이 더 효과적이다. 본 논문에서 납불의 중심점은 다음 식과 같은 무게 중심에 의해 계산된다.

$$\bar{x}[i] = \frac{1}{A} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m jB[i,j] \tag{14}$$

$$\bar{y}[j] = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m iB[i,j] \tag{15}$$

$$A = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m B[i,j] \tag{16}$$

여기서  $\bar{x}, \bar{y}$ 는 각각 납불의 중심점 좌표를 나타내고, A는 납불의 영역에서 하나의 납불이 차지하는 화소의 개수를 나타낸다.

예를 들어 Fig. 12를 보면 검은 화소가 차지하고 있는 영역의 외접 사각형으로 계산된 중심은 (10, 6.5)이다. 그러나 무게 중심을 이용하여 중심점을 새로이 계산하면 새로운 중심점은 (9.6, 6.5)이다. 위와 같이 단순한 좌표의 중점보다 화소가 차지하는 면적을 같이 계산해주는 무게중심으로 납불의 중심을 구하면 조명이나 주위 환

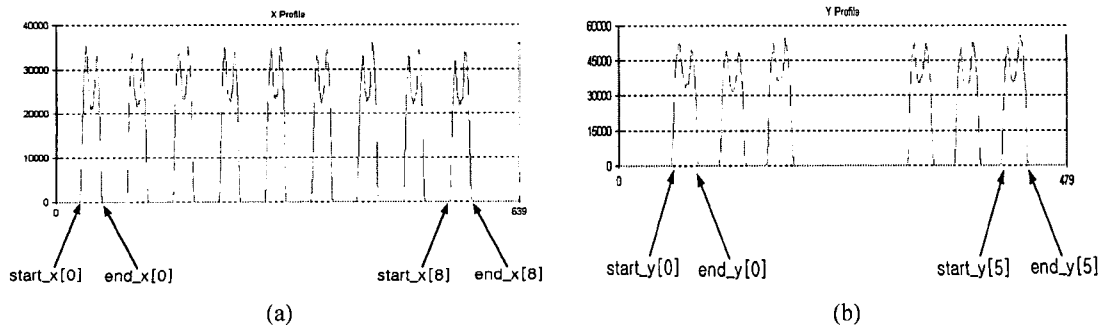


Fig. 10. Projection of 2 dimensional μBGA Package.

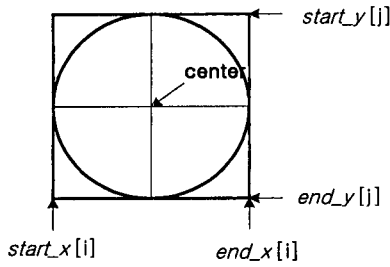


Fig. 11. Center of circumscribed square.

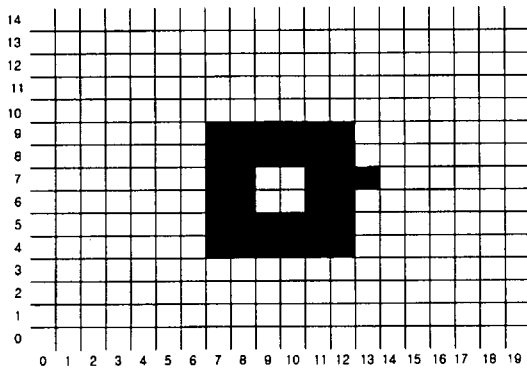


Fig. 12. Center using moment method.

경의 영향으로 납볼의 형태가 대칭이 아닐 경우에도 중심점을 정확히 구할 수 있다.

구해진 중심점으로부터 납볼의 반지름을 계산하면 다음과 같다.

$$r = \sqrt{(\bar{x} - x_r)^2 + (\bar{y} - y_r)^2} \tag{17}$$

여기서  $x_r, y_r$  은 각각의 납볼의 존재 영역에서 중심점으로부터 가장 멀리 있는 화소의 좌표다. 즉, 납볼의 반지름  $r$ 은 식 (14), (15)에서 구해진 중심점으로부터 납볼의 영역 사이에 있는 최장거리 화소까지의 거리를 나타낸다.

납볼의 삼차원검사는 Fig. 13과 같은 경우와 같이 높이 결함을 검출하는 검사를 한다.

참고문헌 6에서는 레이저 광원을 일정한 각으로 납볼에 조사하여 그 반사광으로부터 납볼의 높이를 계산하는 알고리즘을 제안하였다. 납볼의 반사광으로부터 밝기 정보를 추출하여 높이 정보를 2차원 곡선으로 계산하여 높이를 찾아내었다. 그러나 그러한 알고리즘은 하드웨어 구성이 복잡해지는 것과, 알고리즘 계산의 복잡화로 인한 처리 시간의 증가, 레이저 광원의 사용으로 인한 가격의 증가 등의 단점이 있다.

이에 본 논문에서는 수직 카메라 이외에 경사 방향으

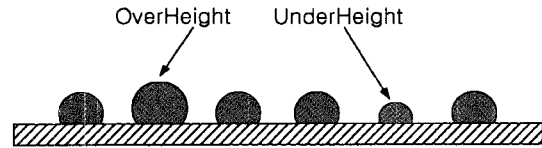


Fig. 13. Hight Defect of solder ball.

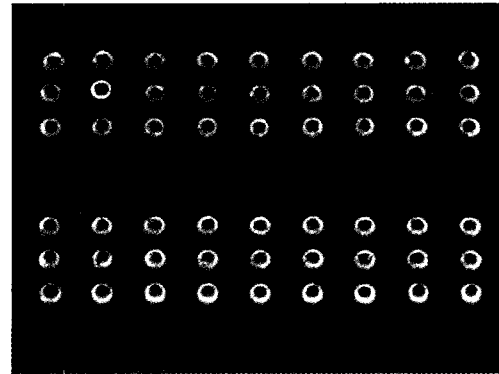


Fig. 14. Image from incline camera.

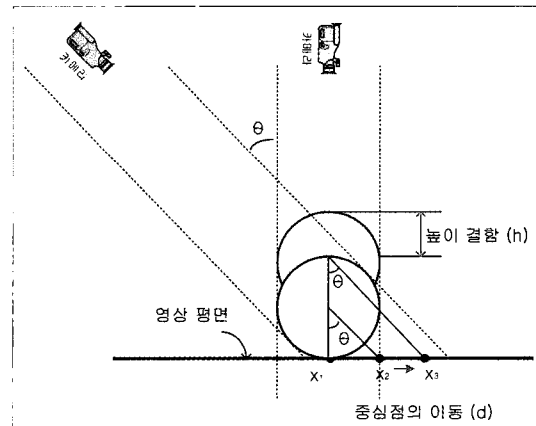


Fig. 15. Measurement of Hight Defeat.

로 일정한 각을 가지고 있는 카메라를 한 대 더 설치하여 삼차원 영상을 획득해서 납볼의 높이를 계산하는 알고리즘을 제안한다. 일반적으로 물체의 삼차원 정보를 유추하는데 있어서 스테레오 비전 시스템을 널리 사용되어 왔다<sup>7)</sup>. 스테레오 비전 시스템을 사용할 때에는 두 개의 카메라 상의 영상을 정확히 정합하는 과정이 필수적이다<sup>6,13,14)</sup>. 그러나  $\mu$ BGA 납볼은 그 크기가 매우 작기 때문에 일반적인 스테레오 비전 시스템으로는 정합이 되는 점을 찾기가 대단히 어렵다. 이를 해결하기 위해 일반적인 스테레오 시스템과는 약간 다른 검사 시스템을 Fig. 15와 같이 도입한다. 두 카메라로부터 획득한 영상으로

각각의 납볼의 중심점을 찾아내고 중심점의 차를 이용하여 납볼의 높이를 추정한다.

Fig. 14는 경사카메라로 얻어진 삼차원 영상이다. 그리고 납볼의 높이에 결함이 생길 경우가 Fig. 15이다. Fig. 15를 보면 납볼에 직경과 위치에는 결함이 없으나 높이에만 결함이 존재할 수 있다. 이때 영상에서 나타난 납볼의 원래 중심점을  $x_2$ , 높이의 변화가 생겼을 때의 중심점을  $x_3$ , 카메라 사이의 각  $\theta$ 라 하면 높이 변위  $h$ 는 식 (19)와 같이 계산될 수 있다.

$$d = x_2 - x_3 \tag{18}$$

$$h = \frac{d}{\tan \theta} \tag{19}$$

여기서  $d$ 는 획득된 영상에서 높이 변화에 따른 중심점의 이동 거리이다. 그러나 μBGA 납볼은 크기가 수백 μm로 매우 작아서 중심점의 이동거리  $d$ 는 수 μm에서 수십 μm 정도로 관찰하기가 매우 어렵다. 그러므로 실제 측정시 정밀도를 요구한다.

#### 4. 실험 결과 및 분석

본 논문에서는 알고리즘의 성능을 평가하기 위해서 Ikegami사의 SKC-130카메라 두 대와 Metrox사의 Meteor2 영상처리 보드, Blue LED 조명을 사용하였다. 실험에 사용된 영상은 1300×1030 크기의 그레이 영상이다.

Table 1은 각각 7.5도, 10도, 15도의 회전이 발생하였을 경우의 보정된 결과를 보여 준다. 수리 형태론 연산을 사용한 경우와 그렇지 않은 경우에 각각 2.21%와 11.77%의 평균 오차를 보였다. 이는 볼의 최외각점을 찾을 때 볼 자체가 가지는 면적 때문에 볼의 최외각점이 부정확하게 찾아졌기 때문이다. 그러나 수리 형태론 연산을

Table 1. Result of Correction Rotated mBGA Package

회전각 (방향)	Morphological Filter 사용하지 않고 복원		Morphological Filter 사용하고 복원	
	오차율	오차율	오차율	오차율
7.5도(L)	8.4도	7.20%	7.44도	0.80%
7.5도(R)	8.86도	15.81%	8.01도	7.60%
10도(L)	10.51도	4.85%	9.93도	0.70%
10도(R)	11.38도	13.80%	10.42도	0.42%
15도(L)	15.51도	3.46%	15.07도	0.46%
15도(R)	16.31도	8.73%	15.50도	3.33%

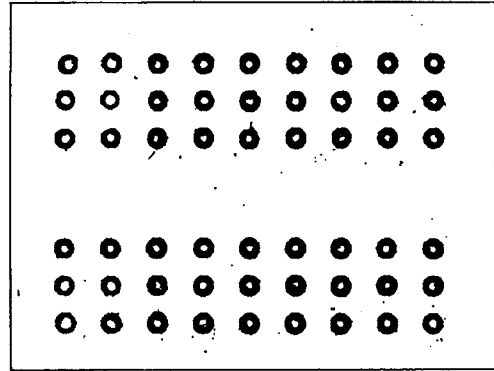


Fig. 16. Binary image of fig 3.

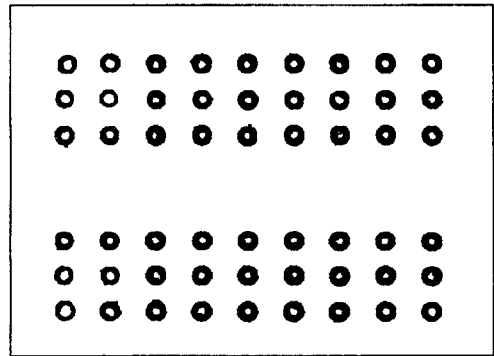


Fig. 17. Image removed Noise.

사용한 경우는 처리 시간이 수배이상 더 걸리는 단점이 있다.

Fig. 16은 Fig. 3을 이치화한 영상이고 Fig. 17은 이치화된 영상을 5×5 마스크를 이용해 열림 연산 1회와 불임 연산 1회를 수행한 영상이다. 잡음이 제거된 10개의 μBGA 패키지의 문턱값이 Table 2에 나와있다. 문턱값들의 표준 편차는 4.57이다. 문턱값의 표준편차가 비교적 낮은 수치를 보임으로서 다른 환경에서도 문턱값이 통계적으로 근사함을 알 수 있었다. Fig. 3의 μBGA 패키지의 평균은 Intensity는 31이고 표준편차는 18.89이다.  $k$ 는 실험의 통계적인 특성을 이용해 2로 잡아 주었다. 그러면 문턱값은 약 68로 결정된다.

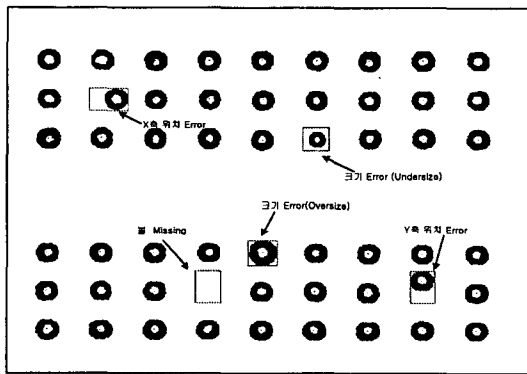
앞에서 제시한 바와 같이 이차원 검사에는 볼 유무, 볼 간격, 볼 크기 이상 등의 항목이 있다. 이중 먼저 볼의 유무 검사에 대해 알아보자. 앞장에서 구한 납볼 영상의 각각의 프로젝션 영역 안에서 화소의 개수를 조사한다. 납볼이 있어야 할 부분에 납볼이 존재하지 않는다면 프로젝션 영역 안에서 납볼이 차지하는 화소 개수는 0이 되고 단지 배경 화소만이 존재할 것이다. 그러므로 각각의

**Table 2.** Thresholding point determination of input  $\mu$ BGA package

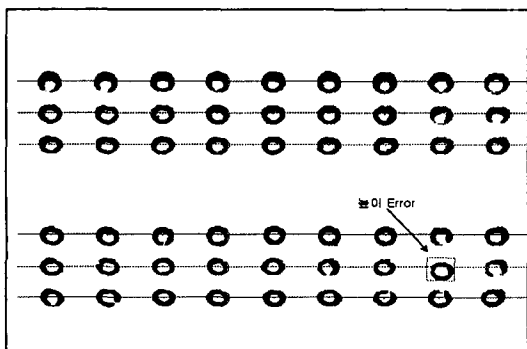
입력 패키지	평균 intensity ( $m_g$ )	표준편차 ( $\sigma_g$ )	문턱값 (T)
1	31	18.89	68
2	28	19.25	67
3	29	21.03	71
4	40	19.13	78
5	35	17.05	69
6	41	18.42	78
7	25	16.98	59
8	29	20.54	70
9	30	18.04	66
10	34	17.34	69

**Table 3.** Result of height Inspection of  $\mu$ BGA Package

Test 패키지	실제 에러블 높이 ( $\mu\text{m}$ )	알고리즘으로부터 계산된 높이 ( $\mu\text{m}$ )	오차율 (%)
1	395	385	2.53
2	410	390	4.88
3	480	500	4.17
4	494	510	3.32
5	680	640	5.88
6	693	655	5.48
7	700	670	4.23



**Fig. 18.** Result Image of 2 dimensional inspection.



**Fig. 19.** Result Image of height inspection of solder ball.

납볼 영역을 순서대로 계산하여 화소의 개수가 0인 납볼을 납볼 없음으로 판단한다. 간격과 볼 크기 결함은 앞

장에서 구한 납볼의 중심점들과 반지름의 평균을 구해 각 납볼이 평균치에서 벗어나는 정도를 계산하여 기준보다 초과할 경우 결함으로 판단한다. 기준은 참고 문헌 8에서 제시된 Intel사의  $\mu$ BGA Chip Scale에 따라 결정한다. Fig. 18에서는 최종 검사 결과를 보여준다.

Fig. 19는 삼차원 검사 결과이다. 식 (18), (19)를 적용한 결과 Fig. 13처럼 높이 이상이 발생하였을 경우 그 결과가 Fig. 19처럼 나타난다. Table 3에 7개의 테스트  $\mu$ BGA 패키지에 대한 삼차원 실험 결과가 나와 있다. 이때 평균 인식률은 95.66%로서 다소 에러가 발생함을 볼 수 있다. 이는 카메라가 일정한 각으로 기울어져 있기 때문에 획득된 영상에서 Defocusing 현상이 일어나기 때문으로 판단할 수 있다. 이러한 Defocusing 현상은 납볼의 영상을 흐리게 만들어 정확한 납볼의 형상이 카메라에 잡히지 않기 때문으로 판단할 수 있다. 본 연구에서는 Defocusing 현상을 줄이기 위해 Telecentric 렌즈를 사용하였다.

### 5. 결 론

본 논문에서는  $\mu$ BGA의 납볼을 검사하기 위한 알고리즘을 제안하였다. 본 연구에서는  $\mu$ BGA 납볼의 결함을 검사하기 위해 두 대의 카메라를 이용한 비전 검사 방식을 도입했다. 검사에 앞서  $\mu$ BGA 납볼 영상의 특징을 분석하였고, 이를 바탕으로 검사를 실시하였다. 또한  $\mu$ BGA 패키지가 고정되어 있지 않고 회전되어있는 경우에도 효과적인 검사를 수행할 수 있도록 회전각을 찾아서 패키지를 수평으로 보정해주는 알고리즘을 제안하였다. 납볼의 결함은 우선 이차원검사를 통한 볼의 유무, 크기, 위치를 검사하였고, 삼차원 검사로 높이 이상을 검사하였다. 실험 결과로 알 수 있듯이 현재 수평 카메라를



사용한 검사는 비교적 정확히 수행되고 있으나 높이 결합 검사에는 많은 어려움이 따르고 있다. 검사의 기준은 8에서 제시된 Intel의 Flash Memory 검사 기준을 검사의 척도로 사용하였다. 앞으로 진행되어야 하는 연구는 현재의 비 실시간 처리에서 공정 현장에 적용 가능하도록 카메라로부터의 영상을 직접 받아서 수 ms내에 처리하는 실시간 처리 알고리즘의 개발이 필요로 하다.

## VI. 후 기

본 논문은 중소기업청에서 시행한 2000년 산학연 컨소시엄 과제로 (주)한택의 연구비 지원으로 수행되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 김경민, 박귀태, 박중호, 이종학, 정진양, “냉연 표면 흠 검사 알고리즘 개발에 관한 연구,” *Journal of Control Automation and Systems Engineering*, Vol. 3, No. 2, pp. 179-186, 1997.
2. 김기승, 김준철, 이준환, “빠른 영상처리 기법을 이용한 직물 검사,” *전자공학회논문지*, 제35권, S편, 제 4호, pp. 572-580, 1998
3. 김기태, 구창근, 오영석, “반도체 BGA패키지의 Solder Ball 검사를 위한 영상처리 알고리즘에 관한 연구,” 제11회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵 발표 논문집, pp. 285-290, 1999.
4. 김기태, 반도체 BGA패키지의 Solder Ball 검사를 위한 영상처리 알고리즘에 관한 연구, 금오공과대학교, 석사논문, 1998.
5. 김정훈, 박성환, 심영석 “부화소 정밀도를 가지는 3차원 BGA 검사 알고리즘,” *대한전자공학회, 추계합동 학술대회 논문집*, Vol. 22, No. 2, pp. 507-510, 1999.
6. T. S. Newman and A. K. Jain, “A Survey of Automated Visual inspection,” *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 61, No. 2, pp. 231-262, 1995.
7. INTEL, *Flash Memory Chip Scale Package User's Guide*, 2000.
8. 장경애, *光學, 尙學堂*, 1993.
9. N. Otsu, “A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms,” *IEEE Trans. on systems man and cybernetics*, Vol. SMC-9, No.1 pp. 62-66, 1979.
10. J. Chen and H. Lee, “An Efficient Algorithm For Form Structure Extraction Using Strip Projection,” *Pattern Recognition*, Vol. 31, No. 9, pp. 1353-1368, 1998.
11. R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Addison Wesley, 1993.
12. A. D. Marshall and R, R, Martin, *Computer Vision, Models and inspection*, World Scientific, 1993.
13. R. Jain, R Kasturi and B. G. Schunck, *Machine Vision*, McGraw-Hill, 1995.