

# 카메라를 이용한 BGA 소자의 2차원 결함검출 알고리즘 개발

(The Development of 2-Dimensional Inspection Algorithm using Camera for BGA device)

김기순\* · 김준식\* · 주효남\*\*

(Kee-Soon Kim\* · Joon-Seek Kim\* · Hyo Nam Joo\*\*)

## Abstract

In this paper, we proposed the 2-dimensional inspection algorithm for micro-BGA(Ball Grid Array) device using a vision system. The proposed method uses the subpixel algorithm for high precision. The proposed algorithm preferentially extracts the package area of device in the input image. After the extraction of package area, each ball areas are extracted by ball search window method. The parameters for inspection are calculated for the extracted ball area. In the simulation results, we have the average error within 17 $\mu$ m.

## 1. 서론

반도체 칩과 완제품의 크기가 거의 같을 정도로 얇고 작게 패키징하는 이른바 CSP(Chip Scale Package) 기술이 반도체의 경박 경량화 추세에 힘입어 빠르게 확대 도입되고 있다. 이런 가운데 현재까지 개발된 각종 CSP 패키지 기술 가운데 가장 주목 받고 있는 것이 마이크로 BGA 패키지이다.

마이크로 BGA 패키지는 기존의 리드프레임 대신 박막필름 위에 칩을 얹은 후 실리콘 소재로 이를 덮어 씌우고 그 밑에 미세 구경의 원형다리(ball)를 접착시키는 매우 간단한 형태다. BGA같은 반도체 부품은 거의 모든 전자제품을 비롯하여 의료장비, 통신위성, 각종 무기 등과 같은 최첨단 장비에 필수적으로 사용되고 있다. 따라서 반도체 부품의 결함은 각종 장비의 성능을 크게 좌우하는 중요한 요소이며 이러한 결함을 사전에 인식하는 것은 반도체 부품의 양산과정에서 매우 중요한 일이다.

80년대 이후 여러 기술선진국을 중심으로 반도체 부품의 2D(표면)결함을 자동적으로 인식하고 판단할 수 있는 검사 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔으며 이미 상용화되었다. 또한, CCD 카메라에 조명, 레이저 등과 같은 보조 시스템을 부가하여 PGA(Pin Grid Array)나 BGA와 같은 반도체 부품의 리드 간격이나 ball 크기 등의 2D(표면) 결함을 검사하는 시스템이 개발되었으며, 3D 방식을 이용한 BGA ball 검사 시스템도 연구, 개발되고 있다. 그러나 반도체 소자 기술과 컴퓨터 기술의 눈부신 발전에 따라 반도체 부품이 점점 더 집적화, 경량화, 소형화됨으로써 PGA나 BGA보다 더 정밀한 마이크로 BGA와 같은 반도체 부

품이 이미 여러 첨단 장비에 사용되고 있는 실정이다. 그러나 기존의 방식으로는 이러한 마이크로 BGA와 같은 초정밀 부품의 결함을 효과적으로 검사하는 데에는 한계가 있다. 따라서 본 논문에서는 기존의 방식보다 좀 더 정밀한 검사를 위해 부화소(subpixel) 기법을 적용하였으며, BGA 생산 공정에서의 사양과 비교하여 알고리즘의 성능을 검증하였다.

## 2. 본론

### 2.1 전처리 과정

전처리 과정에서는 알고리즘을 적용하는 효율성을 높이기 위해 이진화 과정을 적용한다. 이진화 방법은 256-level의 명도 값을 가지고 있는 영상에서 임계값을 기준으로 검정색(0)과 흰색(255)으로 나누는 기법이다. 이진영상 처리는 두 종류의 방법으로 구분 되는데 영상의 각 부분에 적당한 서로 다른 임계값을 사용하여 이진화 하는 지역적 이진화 방법과 전체영상에 대해 동일한 임계값을 적용하여 이진화하는 전역적 이진화 방법이 있다. 전역적 이진화 방법의 경우, 빠른 계산 시간과 간단한 구현 등의 장점이 있으나, 지역적으로 정보의 분실이 일어나게 되는 단점이 있다. 반면 지역적 방법은 비교적 많은 계산 시간이 걸리는 알고리즘을 사용하지만 영상 전체가 균일한 이진 영상을 얻을 수 있는 장점이 있다. 본 논문에서는 검사시간의 최소화를 위해 전역적 이진화 기법을 사용하였다[1][2].

카메라에서 취득된 영상에는 필요한 정보 이외의 잡음 정보가 추가될 수 있다. 잡음 정보는 정확한 불의 윤곽선을 추출하는데 문제가 발생할 수 있다. 따라

서 본 논문에서는 잡음 제거 방법 중에서 모폴로지 기법의 침식 및 팽창 연산을 수차례 반복하여 잡음을 제거한 양질의 영상을 획득하였다[1][2].

고해상도를 갖는 영상에서 에지를 찾아내기 위해서는 픽셀 크기 이하의 정확도가 필요하며, 이것을 부화소라 한다. 아날로그 영상으로부터 컴퓨터에 의한 디지털 영상을 얻기 위해서는 공간적, 시간적으로 연속된 영상을 이산적인 점, 즉 픽셀의 집합으로 변환하는 조작인 표본화와 연속적인 픽셀의 값을 이산적인 값으로 변환하는 조작인 양자화가 필요하다. 그러나 표본화에 의한 화상의 최소 단위인 픽셀을 기본으로 하는 일반적인 에지 검출 알고리즘으로는 정밀한 측정을 하기에 부족하다. 그래서 이를 해결하기 위해 다양한 부화소 알고리즘이 대두되었다. 부화소의 정확도로 에지의 위치를 검출하는 알고리즘에서 가장 중요한 요소는 인접 화소들의 명암도에 관한 정보와 화소들의 공간적인 위치 정보이다[3][4][5].

## 2.2 라벨링(Labeling)

라벨링(labeling) 방법은 이진 영상에 존재하는 각 화소간의 연관성을 이용하여, 같은 라벨값을 가지는 화소들을 하나의 독립된 물체 단위로 처리하도록 하는 알고리즘이다. 라벨링의 기본 원리는 같은 연결 성분에 속하는 픽셀에 같은 번호를 부여하고, 다른 연결 성분에는 서로 다른 번호를 부여하여 물체를 구분한다[6].

패키지와 볼들에 대한 라벨링을 따로 수행하는데 그 이유는 패키지는 볼에 비해 어두워서 밝은 화소(high)에 대한 라벨링을 할 시에는 검출할 수가 없기 때문이다. 라벨링 수행 후 각각의 연결성분들의 특징 파라미터를 계산하여 필요한 연결성분이 아닌 경우에 제외하도록 한다. 단, 패키지에 라벨링을 수행하고 패키지에 대한 연결성분만을 뽑아내면 패키지 위치와 사이즈를 알 수 있기 때문에 볼에 대한 라벨링은 패키지 영역 내에서만 수행하면 된다.

패키지에 대한 라벨링은 어두운 화소의 연결성분에 대해 라벨링을 수행하면 이진화 된 영상에서 가장 큰 면적을 차지하는 부분을 패키지로 판단할 수 있다. 특징 파라미터 중 면적을 계산하여 가장 큰 연결성분에 네모난 경계를 계산하면(bounding box) 패키지의 가로 사이즈(limit width), 세로 사이즈(limit height), 중심위치(limit center  $x, y$ )를 알아낼 수 있다. 그림 1은 패키지 영역을 추출한 결과 영상이다.

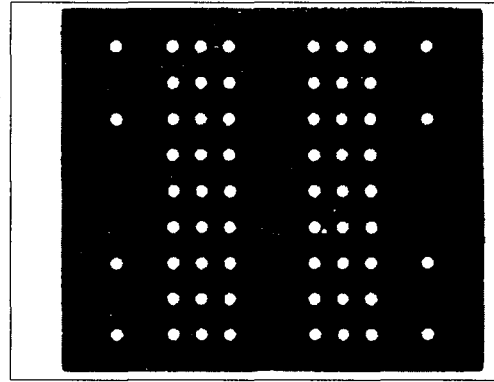


그림 1. 추출된 패키지 영상  
Fig. 1. The image of extracted package

밝은 화소의 연결성분에 라벨링을 수행한다. 라벨링 수행 후 잡음 제거와 같은 전처리 과정을 거치지 않았기 때문에 상당히 많은 연결 성분들이 검출된다. 그림 2는 영역 내의 라벨링에 의해 검출된 결과 영상으로 볼 영역 이외의 부분도 함께 검출되어 있다.

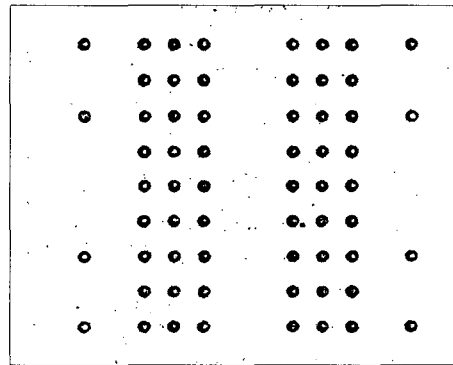


그림 2. 패키지 영역내의 라벨링 결과 영상  
Fig. 2. The result image of labeling in the package area

검출된 연결성분 중 볼들만을 검출하기 위해서는 면적이 볼과 유사한 연결성분들을 검출한 후, limit width나 limit height가 일정 길이 이상 되는 특징 파라미터를 사용하여 볼의 연결성분만을 선택한다. 실험상으로 면적의 임계값은 700~1000 픽셀, limit width나 limit height는 33~35픽셀 정도를 선택하여 적용하였다. 그림 3은 62개의 볼에 대한 연결 성분만 검출된 결과 영상으로 볼 이외의 잡음 성분은 모두 제거된 것을 확인할 수 있다.

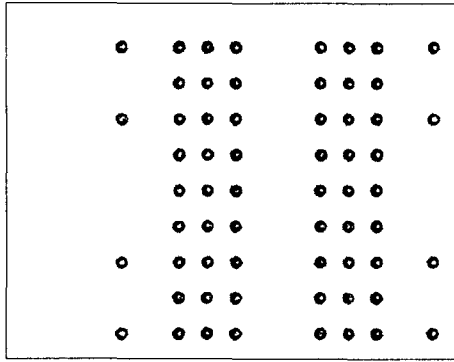


그림 3. 볼의 연결성분 검출 결과 영상  
Fig. 3. The extracted result image for connectivity of ball

이렇게 62개의 연결성분만을 선택하면 연결성분의 특징 파라미터 중 각각의 면적, limit width, limit height, limit center x, limit center y를 계산하여 볼들의 중심점과 지름을 구할 수 있다.

### 2.3 BGA 2차원 검사 알고리즘

그림 4는 BGA 2차원 검사 알고리즘의 흐름도이다. 캡처 보드에서 입력된 영상에 전처리 과정을 적용하고 라벨링을 통한 패키지 영역을 검출한다. 패키지와 볼들의 연결성분이 많기 때문에 잡음제거를 거쳐 볼 영역의 후보점을 찾게 되고 정확한 볼의 위치를 구하기 위해서 부화소 기법을 적용시켜 좀 더 정확한 검사를 할 수 있게 된다.

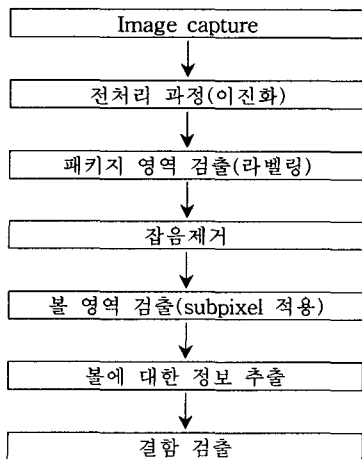


그림 4. 2D 검사 알고리즘 흐름도  
Fig. 4. Flow chart of 2D inspection algorithm

### 2.4 볼 영역 검출

패키지 영역이 검출되고 볼 영역의 후보점을 구하

게 되면 좀 더 정확한 검사를 위하여 그림 5와 같은 볼 하나 정도의 크기에 해당하는 검색 윈도우를 만들어 각각의 볼에 대한 좀 더 정확한 위치를 구할 수 있다. 이 때 볼 영역 검출의 정확도를 높이기 위해 부화소 기법을 적용하게 된다.

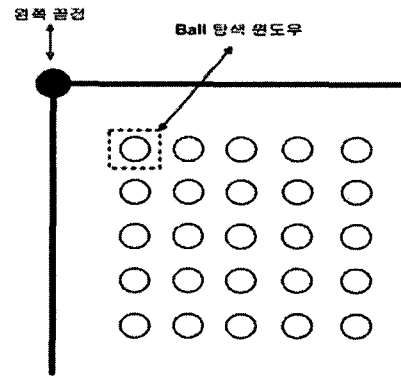


그림 5. Ball 영역 탐색 윈도우  
Fig. 5. Searching window for area of ball

정확한 볼 영역을 검출하면 볼의 정점에 대한 좌표와 볼의 크기 좌표가 구해진다. 여기에서 구해진 좌표를 가지고 간단한 계산에 의해 실제의 크기를 구할 수 있다.

### 2.5 FOV calibration

실제로 정확한 FOV를 구하기는 어렵다. 따라서 FOV calibration을 통해서 보다 정확한 FOV를 구해야 오차를 줄일 수 있다.

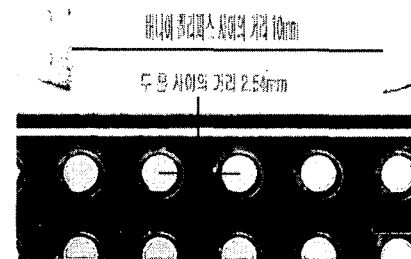


그림 6. 버니어 캘리퍼스를 이용한 FOV calibration  
Fig. 6. FOV calibration using vernier calipers

그림 6에서와 같이 영상을 취득할 때 영상내의 버니어캘리퍼스를 놓고 영상을 보면서 캘리퍼스를 조절해 영상 외각 크기를 구하게 되고 보편적으로 그 값이 FOV가 된다.

$$\text{픽셀당거리} = \frac{\text{FOV}}{\text{전체 pixel 수}} \times \text{해당 pixel} \quad (1)$$

식 (1)에 의해 픽셀 당 거리를 구하면 0.0104mm가 된다. 그림 5에서 버니어 캘리퍼스 사이의 거리(픽셀 수)는 964픽셀이고 두 홀 사이의 거리(픽셀 수)는 245 픽셀이다. 각각의 실제 거리를 구하면, 10.0256mm, 2.548mm 가 된다. 이 값과 그림에서의 실제 값과 비교해 보면 오차가 8um~25um가 된다. 버니어 캘리퍼스 정보를 이용하여 한 픽셀 당 거리를 구하면 다음과 같다.

$$10 / 964 = 0.01037 \text{ [mm/pixel]}$$

정밀한 PCB 두 홀 사이의 거리에 의한 한 픽셀 당 거리는 다음과 같다.

$$2.54 / 245 = 0.01036 \text{ [mm/pixel]}$$

오차값을 줄이기 위해 두 값의 평균을 취하면 0.010365mm 가 된다. 이 값을 이용하여 버니어 캘리퍼스와 정밀한 PCB 영상의 FOV를 calibration하여 영상내의 거리를 계산하면, 다음과 같은 값을 갖는다.

$$964 \times 0.010365 = 9.99186\text{mm}$$

$$245 \times 0.010365 = 2.53942\text{mm}$$

실제의 값과 비교해 보면 오차가 0.58um~7.14um로 줄어든 것을 확인할 수 있다. 여기까지는 영상의 가로 길이에 대한 FOV calibration이었고, 같은 방법으로 영상의 세로 길이에 대한 한 픽셀 당 거리는 0.0104098mm를 구할 수 있다.

## 2.6 BGA 결함 특성

2D 검사에서 검출 가능한 BGA 결함은 ball pitch, ball position, ball diameter(width), ball quality, board size, missing ball 이렇게 6가지 항목이 있다. 각각의 결함들에 대한 소개와 검출 방법을 간략히 설명하면 다음과 같다.

### 가. Ball pitch

그림 7은 볼들 사이의 거리에 대한 오차를 나타낸다. 추출된 볼의 정점의 좌표 값을 이용하는데, 하나의 볼과 그 이웃한 볼들의 정점 좌표 값의 차를 구해 결함을 판단 한다.

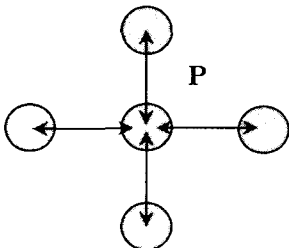


그림 7. Ball pitch  
Fig. 7. Ball pitch

### 나. Ball position

그림 8은 볼의 offset을 나타낸다. 볼이 있어야 할 위치에서 벗어난 정도를 측정하여 오차를 검출한다. 추출된 볼의 정점의 좌표 값을 가지고 패키지 영역 추출 과정에서 얻어진 소자의 패키지 외각 좌표 값으로부터 패키지의 사양에 맞게 정해진 좌표 값과 비교하여 구한다. 예를 든다면 위의 ball pitch와 반대의 계산법을 이용하면 되는데, 먼저 패키지 사양에 볼 사이의 거리가 0.8mm로 되어있다면 위에서 계산된 픽셀 당 실제 거리 0.010365mm로 나누게 되면 영상에서의 거리가 되므로 대략 77픽셀이 된다. 왼쪽 끝점의 좌표가 (300, 200)이라 하면 첫 번째 볼의 위치는 가로 세로가 77픽셀 떨어진 (377, 277) 이 된다. 이 값과 실제 입력 영상에서 검출한 볼의 정점 값을 비교하여 결함을 검출하게 되는 것이다.

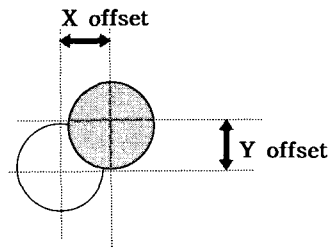


그림 8. Ball position  
Fig. 8. Ball position

### 다. Ball diameter

그림 9는 볼의 width와 height를 나타낸다. 볼 영역에서 볼의 시작점과 끝점을 구해 그 해당 좌표 값의 차를 구하고 식 (1)에서 얻어진 값과 곱하면 구할 수 있다. 마찬가지로 패키지 사양과 비교하여 결함을 검출한다.

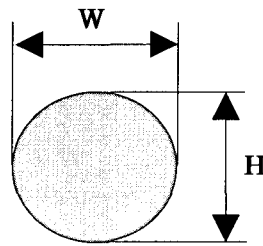


그림 9. Ball diameter  
Fig. 9. Ball diameter

### 라. Ball quality

그림 10과같이 추출된 볼 영역에서 차지하고 있는 흰색의 픽셀 수를 구해 그 퍼센트(%)로 결함을 검출한다.

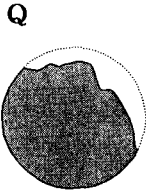


그림 10. Ball quality  
Fig. 10. Ball quality

마. 패키지 size  
그림 11은 패키지 size로써 패키지의 x축을 PX로 그리고 y축을 PY로 나타낸다.

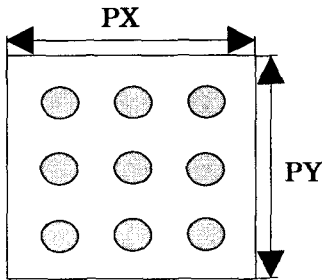


그림 11. Package size  
Fig. 11. Package size

바. Missing ball

그림 12는 Ball 영역 추출과정에서 미리 주어진 ball의 위치 정보에 부합되지 않는 값이 생기거나 원래 있어야 할 부분에 값의 유, 무에 따라 결함을 검출한다 [7].

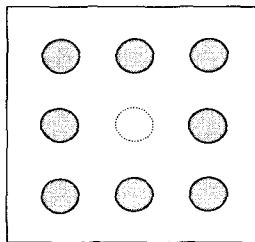


그림 12. Missing ball  
Fig. 12. Missing ball

### 2.7 실험 결과

위에서 제안한 전처리 단계와 패키지 영역 검출, 볼 영역 검출에 대해서 실험을 하였다. 시스템은 P-3 800MHz이고, Basler 사의 A102k 디지털 카메라 한 대, Euresys의 grablink expert 2 보드와 CCS사의 링 조명을 사용하였으며, visual C++ 6.0과 e-vision을 사용하였고, 실험 대상은 볼 수가 62인 마이크로

BGA(12mm × 10.2mm)를 사용 하였다.

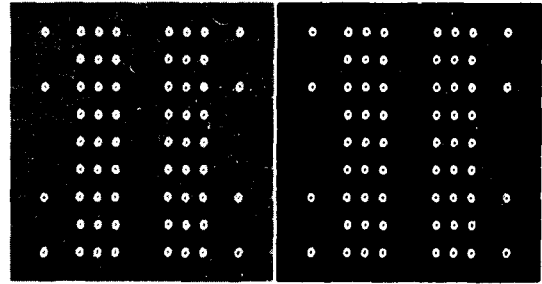


그림 13. 원영상과 이진화 영상  
Fig. 13. Original image and binary image

그림 13의 좌측 영상은 원 영상이고, 우측 영상은 원 영상을 이진화 한 영상이다.

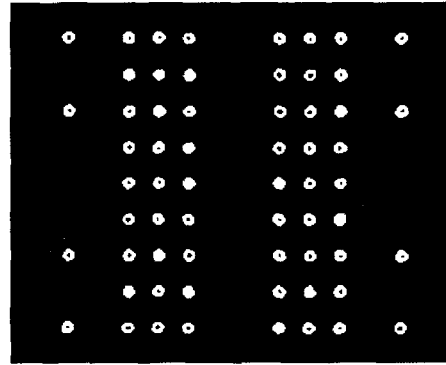


그림 14. 모폴로지 알고리즘을 적용한 결과 영상  
Fig. 14. Result image by the morphologie algorithm

그림 14의 영상은 잡음 제거를 위해 모폴로지 알고리즘을 적용한 결과 영상을 나타낸다.

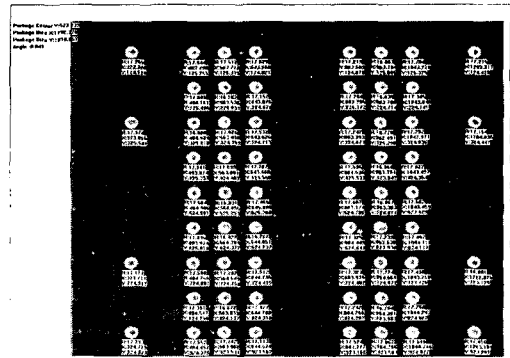


그림 15. 볼/패키지에 대한 검사항목 추출 결과  
Fig. 15. The result of the extracted inspection items for ball/package

그림 15는 패키지와 중심, 가로, 세로 사이즈 및 기울어진 각도와 볼들의 중심 위치와 사이즈를 표시한 결과영상이다. 패키지의 사이즈 및 위치, 기울어진 각도와 볼 62개에 대한 각각의 중심위치 지름을 자동으로 구하고, 이렇게 구한 정보를 바탕으로 볼의 오프셋 및 피치 등을 구하여 결함유무를 판단할 수 있다.

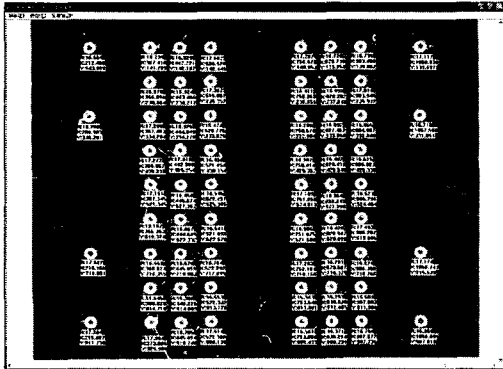


그림 16. 볼의 결함이 검출된 결과영상  
Fig. 16. Result image for extracted ball defects

그림 16은 결함이 존재하는 소자 영상에서 볼들의 중심 위치와 크기를 검출한 결과 영상이다. 그림 16에서 볼 주위의 흰 화소성분(볼 결함)으로 인해 일부의 원형 모델 측정이 오류가 난 경우를 보여주고 있다. 볼 주위에 굵힘이 심한 경우 원형 모델이 볼을 이탈하여 측정되는 모습을 볼 수 있다. 이와 같은 현상이 일어난다면 원형 모델 측정 오류가 난 부분의 지름 측정은 타 볼(약 16.5~17.5)에 비해 큰 지름(17.5 초과)을 나타낸다. 이렇게 오류가 난 부분을 결함으로 처리하여 BGA의 결함유무를 검사할 수 있다.

표 1. SEM 데이터와 측정치에 대한 평균 오차  
Table 1. The average errors between SEM data and extracted one

(단위: mm)

SEM 데이터		측정 데이터		오차	
H	W	H	W	H	W
0.36749	0.36587	0.35124	0.35012	0.01625	0.01575

표 1은 제안한 알고리즘을 적용하여 측정된 볼의 데이터와 SEM(Scanning Electron Microscopy)에 의해 측정된 볼 데이터와의 오차를 나타내었다. 표 1에서 측정된 볼 데이터와 SEM 데이터의 평균 오차를 살펴보면 SEM 데이터의 오차가 약 17마이크로미터가 나타나는 것을 볼 수 있다.

### 3. 결론

본 논문에서는 정밀한 소자인 BGA의 결함을 검출하기 위한 부화소의 정밀도를 가지는 2D 검사 알고리즘을 제안하였다. 빠른 연산을 하기 위해 이진화 영상을 가지고 라벨링을 하였고 특정 파라미터를 사용하여 BGA 패키지 영역 검출 알고리즘과 볼 영역 검출 알고리즘을 개발하였고, FOV calibration을 통해 정확하고 정밀한 검사가 되도록 하였다.

차후 과제로 실험결과 5um 이내의 정확도를 위해서는 좀 더 정확한 FOV 값과 고성능의 부화소에 대한 연구가 필요하며, 버니어 캘리퍼스에 근거한 calibration이 아닌 dot grid 시편에 의한 calibration이 필요하다.

#### 참고 문헌

- (1) Linda G. Shapiro, George C. Stockman, Computer Vision, Prentice Hall, pp. 388-407, 2001.
- (2) 장동혁, "디지털 영상처리의 구현", 정보게이트, p. 95-102, 2001.
- (3) 양신석, "시각 암호에서 휘도 개선 및 부화소를 줄이기 위한 새로운 구성법", 무경대학교, p.5-7, 1998.
- (4) 김길동, "자동 시각 검사를 위한 개선된 서브픽셀(subpixel)알고리즘", 고려대학교, p.1-3, 1997.
- (5) Zcher Zain Karu, "Fast Subpixel Registration of 3-D Image", Massachusetts Institute of Technology, September, pp. 120-124, 1997.
- (6) 박신영, "Morphology를 이용한 반도체 외관검사용 알고리즘에 관한 연구", 호서대학교, 1996.
- (7) ICOS Vision Systems, "http://www.icos.be".