

# BGA 소자의 결함검출을 위한 2차원 비전 검사알고리즘에 관한 연구

(A Study on the 2-Dimensional Vision Inspection Algorithm for the Defects Detection of BGA Device)

김기순 · 김준식\* · 주효남

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

## 요 약

본 논문에서는 비전 시스템을 사용하여 마이크로 BGA 소자의 2차원 결함을 검사하는 알고리즘을 제안하였다. 제안한 방법은 정밀도를 높이기 위해 부화소 알고리즘을 사용하였으며, 입력된 영상에서 패키지 영역을 추출하고, 추출된 영역에서 볼 탐색창 방법을 사용하여 볼 영역을 추출한다. 이렇게 추출된 볼 영역에 대해 결함검사에 필요한 파라미터들을 추출하고, 이들을 사용하여 소자의 불량 유무를 판정한다. 모의실험을 통해 볼 검사 정밀도의 평균 오차가 17[ $\mu$ m]가 됨을 확인하였다.

## 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].

Key Words : BGA, inspection, vision system

## 1. 서 론

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 덮어씌우고 그 밑에 미세 구경의 원형다리(ball)를 접착시키는 매우 간단한 형태다. BGA같은 반도체 부품은 거의 모든 전자제품을 비롯하여 의료장비, 통

\* 주저자 : 호서대학교 전자공학과 교수  
Tel : 041-540-5664, Fax : 041-540-5693  
E-mail : joonskim@office.hoseo.ac.kr  
접수일자 : 2005년 6월 17일  
1차심사 : 2005년 6월 28일  
심사완료 : 2005년 7월 14일

신뢰성, 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, 정량화, 소형화됨으로써 PGA나 BGA보다 더 정밀한 마이크로 BGA와 같은 반도체 부품이 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.

2D 검사에서 검출 가능한 BGA 결함은 ball pitch, ball position, ball diameter(width), ball quality, board size, missing ball 이렇게 6가지 항목이 있다.

## 2. 본 론

### 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 이진화 하는 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 볼의 윤곽선을 추출하는데 문제가 발생할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 잡음 제거 방법 중에서 모폴로지 기법의 침식 및 팽창 연산을 수차례 반복하여 잡음을 제거한 양질의 영상을 획득하였다[1][2].

그림 1은 왼쪽 영상의 히스토그램을 나타내었다. 여기서 왼쪽 영상의 평균값은 109.35로 잡혔다. 실제 영상에서 패키지 영역이 어둡게 보인다. 또한 패키지의 패턴 부분을 고려하여 이진화 적용을 시켜야 한다.

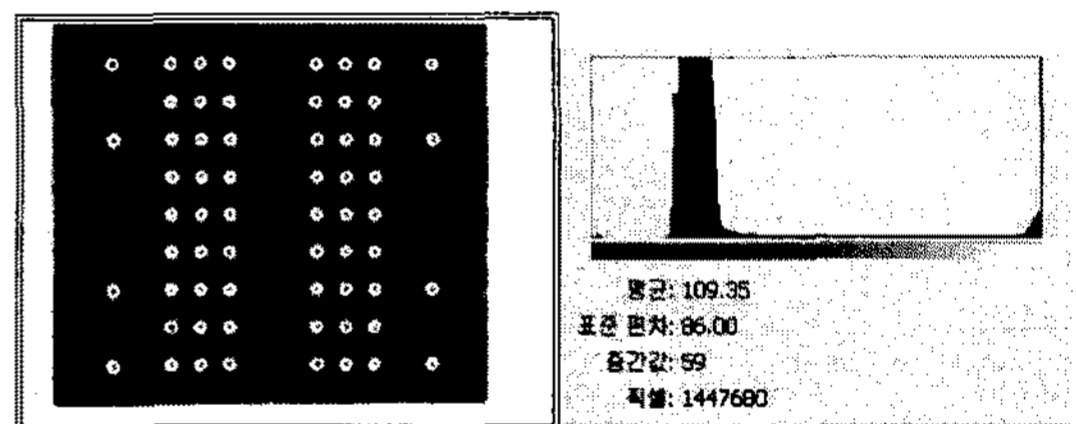


그림 1. 좌측 영상과 히스토그램  
Fig. 1. The left image and histogram

그림 2는 좌측 영상을 각각의 임계값에 의한 이진화 영상이다. 여기서 임계값이 낮을수록 볼 영역이 뚜렷하게 보이는 것을 확인 할 수 있다.

본 논문에서는 지역적 이진화 방법을 사용하여 볼의 형태와 정점이 뚜렷하게 잘 나타낼 수 있는 임계값을 정하기 위해서 또한 패키지 내에서 패턴 부분을 없애기 위해서 히스토그램에서 얻어진 평균값에 표준편차를 더한 값으로 적용하여 보다 좋은 이진화 영상을 얻을 수 있었다.

고해상도를 갖는 영상에서 에지를 찾아내기 위해서는 픽셀 크기 이하의 정확도가 필요하며, 이것을 부화소라 한다. 아날로그 영상으로부터 컴퓨터에 의

한 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].

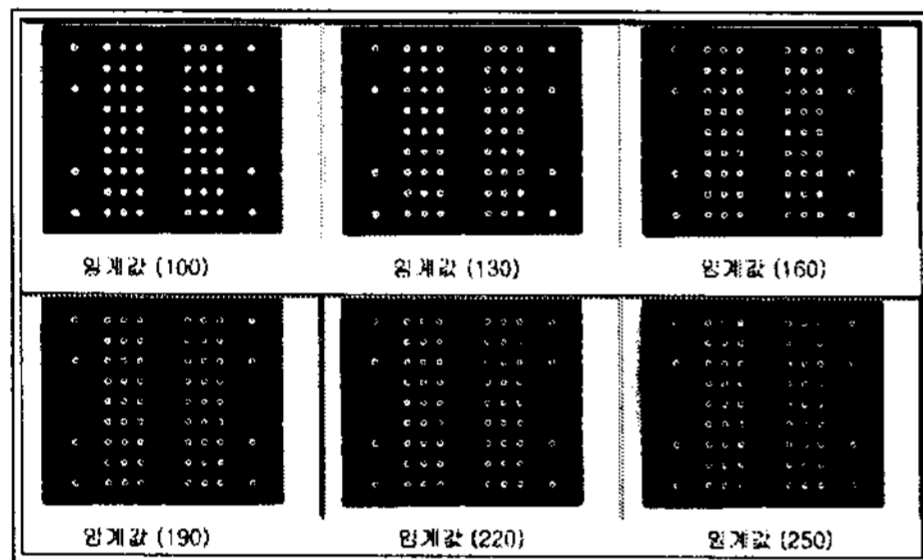


그림 2. 좌측 영상의 이진화 영상  
Fig. 2. The threshold image of left image

## 2.2 라벨링(Labeling)

라벨링 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 연결성분

에 대해 라벨링을 수행하면 이진화 된 영상에서 가장 큰 면적을 차지하는 부분을 패키지로 판단할 수 있다. 특징 파라미터 중 면적을 계산하여 가장 큰 연결 성분에 네모난 경계를 계산하면(bounding box) 패키지의 가로 사이즈(limit width), 세로 사이즈(limit height), 중심위치(limit center x, y)를 알아낼 수 있다. 그림 3은 패키지 영역을 추출한 결과 영상이다.

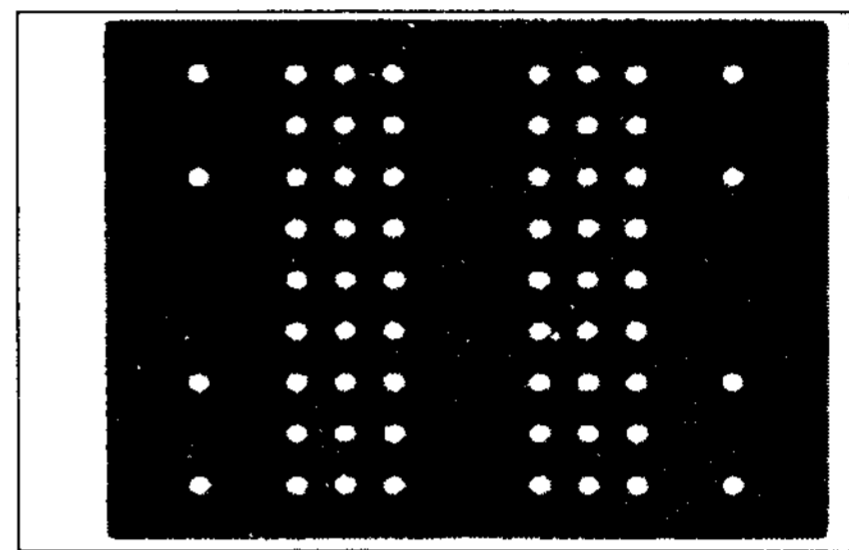


그림 3. 추출된 패키지 영상  
Fig. 3. The image of extracted package

밝은 화소의 연결성분에 라벨링을 수행한다. 라벨링 수행 후 잡음 제거와 같은 전처리 과정을 거치지 않았기 때문에 상당히 많은 연결 성분들이 검출된다. 그림 4는 영역 내의 라벨링에 의해 검출된 결과 영상으로 볼 영역 이외의 잡음 부분도 함께 검출되어 있다. 그림 4에서 62개의 볼 이외의 아주 작은 점들은 잡음 성분들이다. 이것들은 먼지나 이물질, 스크래치, 조명에 대한 왜곡으로 발생한다.

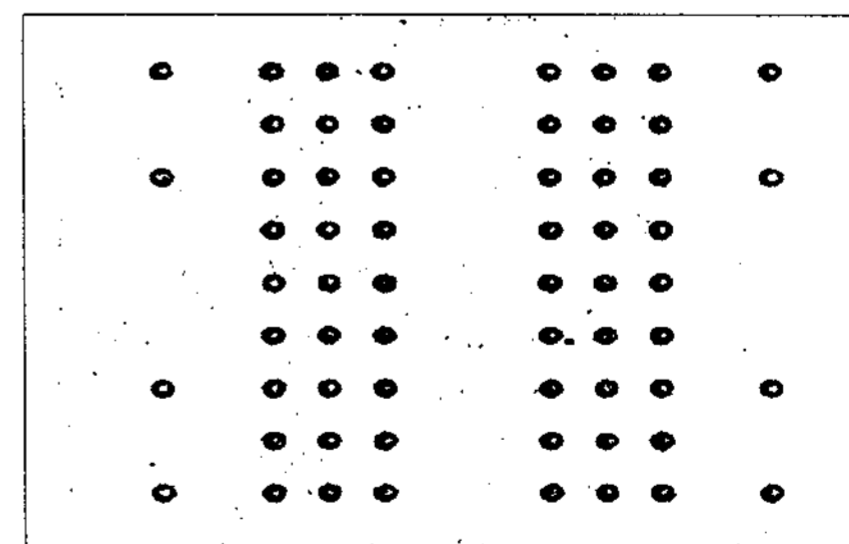


그림 4. 패키지 영역내의 라벨링 결과 영상  
Fig. 4. The result image of labeling in the package area

검출된 연결성분 중 볼들만을 검출하기 위해서는 면적이 볼과 유사한 연결성분들을 검출한 후, limit width나 limit height가 일정 길이 이상 되는 특징 파

라미터를 사용하여 볼의 연결성분만을 선택한다. 실험상으로 면적의 임계값은 700~1000 픽셀, limit width나 limit height는 33~35픽셀 정도를 선택하여 적용하였다. 그림 4에서 볼 주위에 있는 작은 잡음들이 그림 5에서는 깨끗하게 제거된 것을 확인 할 수 있다. 그림 5는 62개의 볼에 대한 연결 성분만 검출된 결과 영상으로 그림 4에서 볼 이외의 잡음 성분들이 그림 5에서는 모두 제거된 것을 확인할 수 있다.

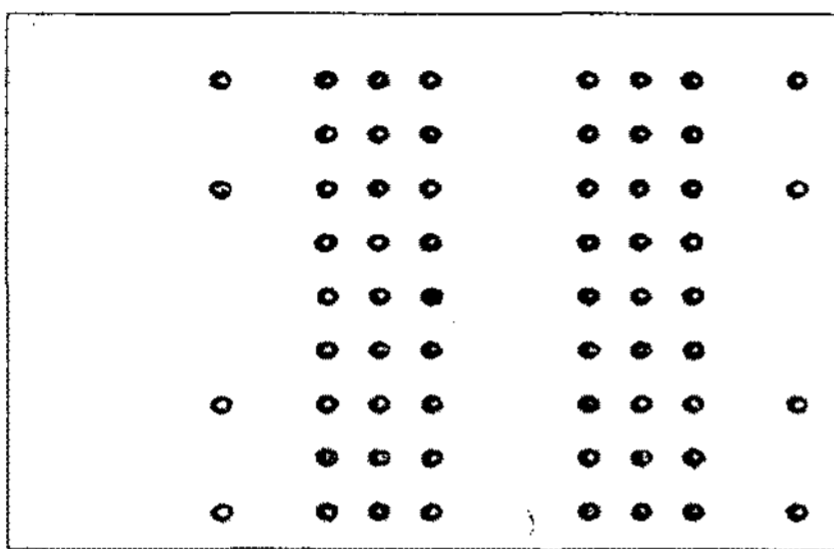


그림 5. 볼의 연결성분 검출 결과 영상  
Fig. 5. The extracted result image for connectivity of ball

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 6는 BGA 2차원 검사 알고리즘의 흐름도이다. 캡처 보드에서 입력된 영상을 가지고 전처리 과정을 수행하게 된다. 전처리 과정 다음으로 패키지 영역 검출을 하게 되는데 라벨링 방법을 적용시켜 패키지 영역과 볼들을 검출하게 된다. 이때 패키지와 볼들의 연결성분이 많기 때문에 잡음제거를 필터를 거쳐 볼 영역의 후보점을 찾게 되고 정확한 볼의 위치를 구하기 위해서 부화소 기법을 적용시켜 좀 더 정확한 검사를 할 수 있게 된다.

### 2.4 볼 영역 검출

패키지 영역이 검출되고 볼 영역의 후보점을 구하게 되면 좀 더 정확한 검사를 위하여 그림 7와 같은

볼 하나 정도의 크기에 해당하는 검색 윈도우를 만들어 제조사 스펙에 기준하여 미리 알고 있는 사전 정보를 사용하여 검색 윈도우 마스크를 씌워 각각의 볼에 대한 좀 더 정확한 위치를 구할 수 있다. 이 때 볼 영역 검출의 정확도를 높이기 위해 부화소 기법을 적용하게 된다[8].

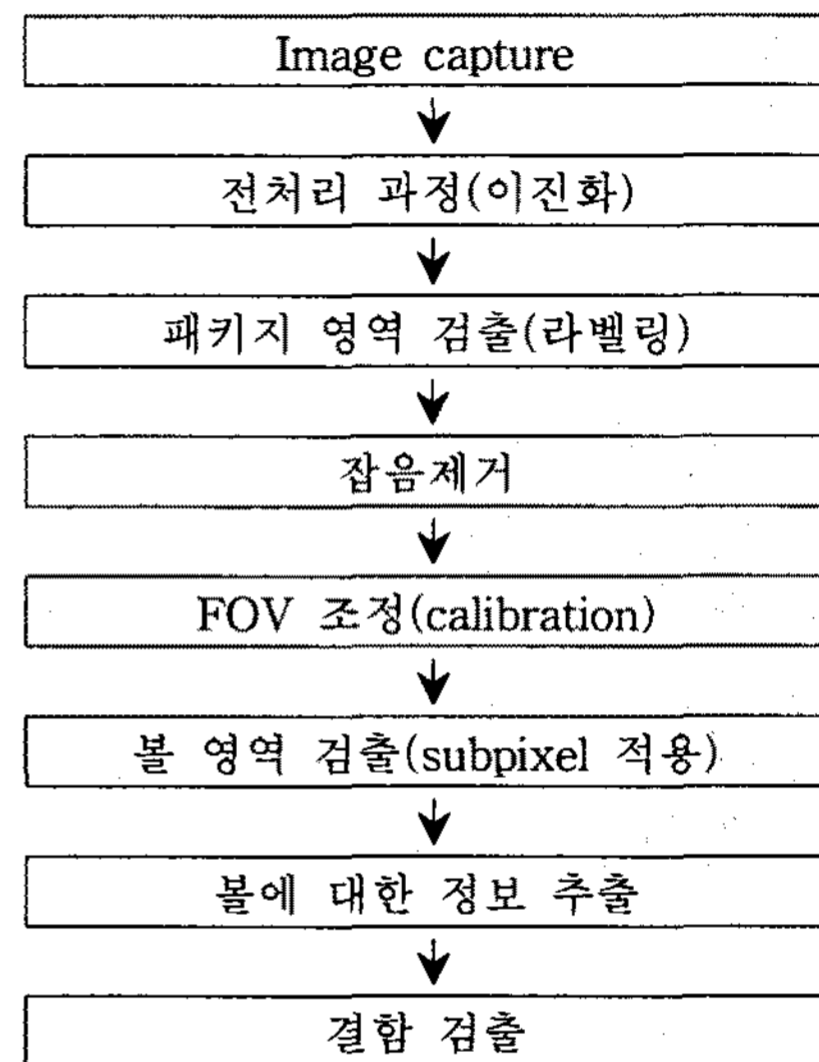


그림 6. 2D 검사 알고리즘 흐름도  
Fig. 6. Flow chart of 2D inspection algorithm

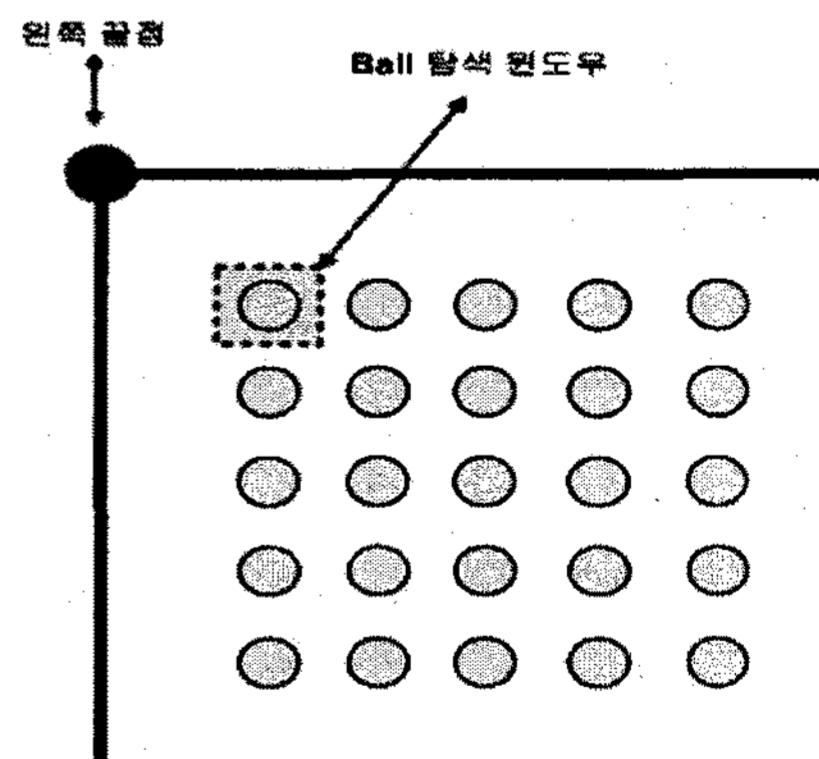


그림 7. 볼 영역 탐색 윈도우  
Fig. 7. Searching window for area of ball

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(Field of view) 조절

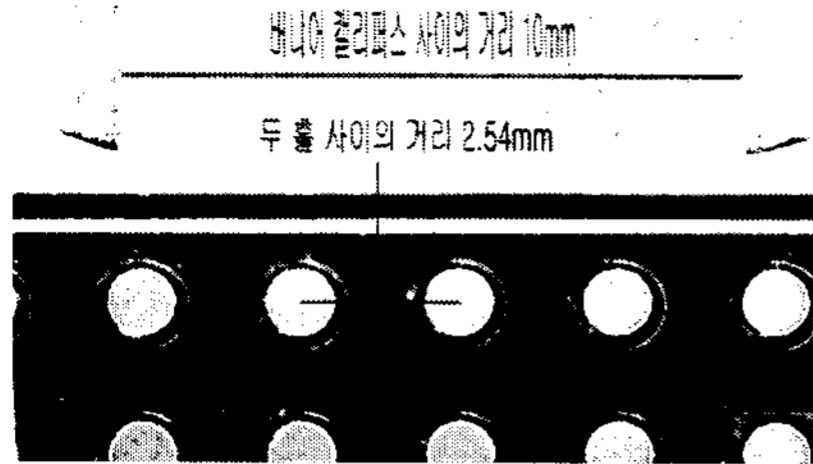


그림 8. 버니어 캘리퍼스를 이용한 FOV 조정  
Fig. 8. FOV calibration using vernier calipers

본 논문에서는 영상좌표를 실측좌표로 변환하는 과정에서 좀 더 정확한 한 픽셀 당 실제 측정거리를 계산하기 위하여 FOV 조절을 하였다. 실제로 정확한 FOV를 구하기는 어렵다. 따라서 FOV 조절을 통해서 보다 정확한 FOV를 구해야 오차를 줄일 수 있다.

그림 8에서와 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 0.0104[mm]가 된다. 그림 5에서 버니어 캘리퍼스 사이의 거리(픽셀수)는 964픽셀이고 두 홀 사이의 거리(픽셀수)는 245픽셀이다. 각각의 실제 거리를 구하면, 10.0256[mm], 2.548[mm]가 된다. 이 값과 그림에서의 실제 값과 비교해 보면 오차가 8~25[um]가 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 0.010365[mm]가 된다. 이 값을 이용하여 버니어 캘리퍼스와 정밀한 PCB 영상의 FOV를 조정하여 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 0.58~7.14[um]로 줄어든 것을 확인할 수 있다. 여기까지는 영상의 가로길이에 대한 FOV 조절이었고, 같은 방법으로 영상의 세로 길이에 대한 한 픽셀 당 거리는 0.0104098[mm]를 구할 수 있다.

### 2.6 실험 및 검증

그림 9는 전체 시스템의 구성도이다. 카메라에서 BGA 소자를 수직으로 취득하였다. 깨끗한 영상을 얻기 위하여 LED 링(LED) 조명을 사용하였고, 물체의 유동 여부를 없애기 위하여 BGA 지그를 제작하여 사용하였다.

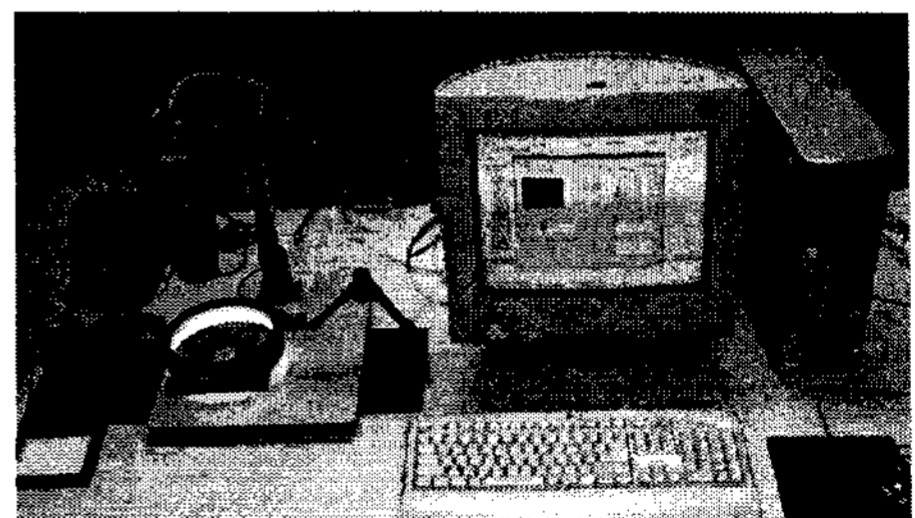


그림 9. 전체 실험 시스템의 구성도  
Fig. 9. The formation of system for the total experiment

위에서 제안한 전처리 단계와 패키지 영역 검출, 볼 영역 검출에 대해서 실험을 하였다. 시스템은 P-3 800[MHz]이고, Basler사의 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(12[mm] × 10.2[mm])를 사용 하였다.

그림 10의 좌측 영상은 원 영상이고, 우측 영상은 원 영상을 이진화 한 영상이다.

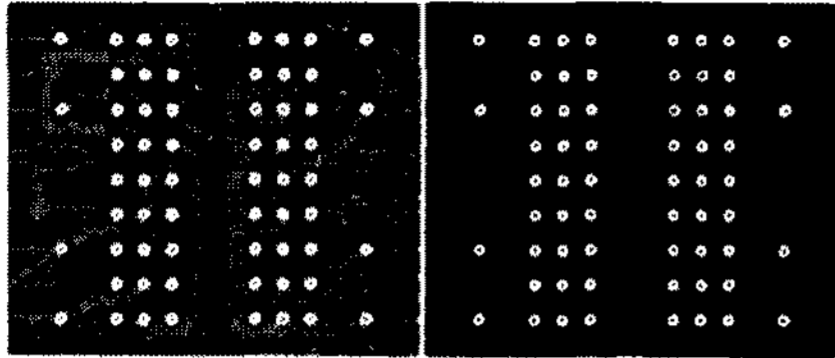


그림 10. 원영상과 이진화 영상  
Fig. 10. Original image and binary image

그림 11의 영상은 잡음 제거를 위해 모폴로지 알고리즘을 적용한 결과 영상을 나타낸다.

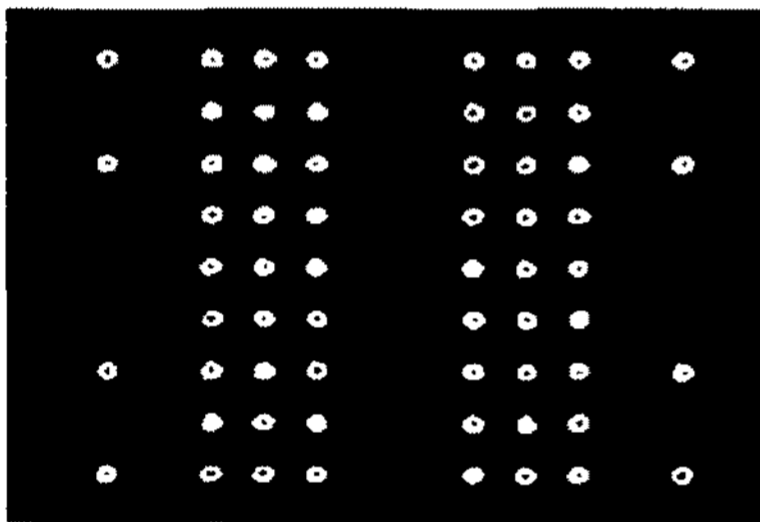


그림 11. 모폴로지 알고리즘을 적용한 결과 영상  
Fig. 11. Result image by the morphological algorithm.

그림 12는 패키지와 중심, 가로, 세로 사이즈 및 기울어진 각도와 볼들의 중심 위치와 사이즈 그리고 볼의 원형도 및 볼의 피치(X, Y)를 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 13은 결함이 존재하는 소자 영상에서 볼들의 중심 위치와 크기를 검출한 결과 영상이다. 그림 11에서 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 일어나면 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.

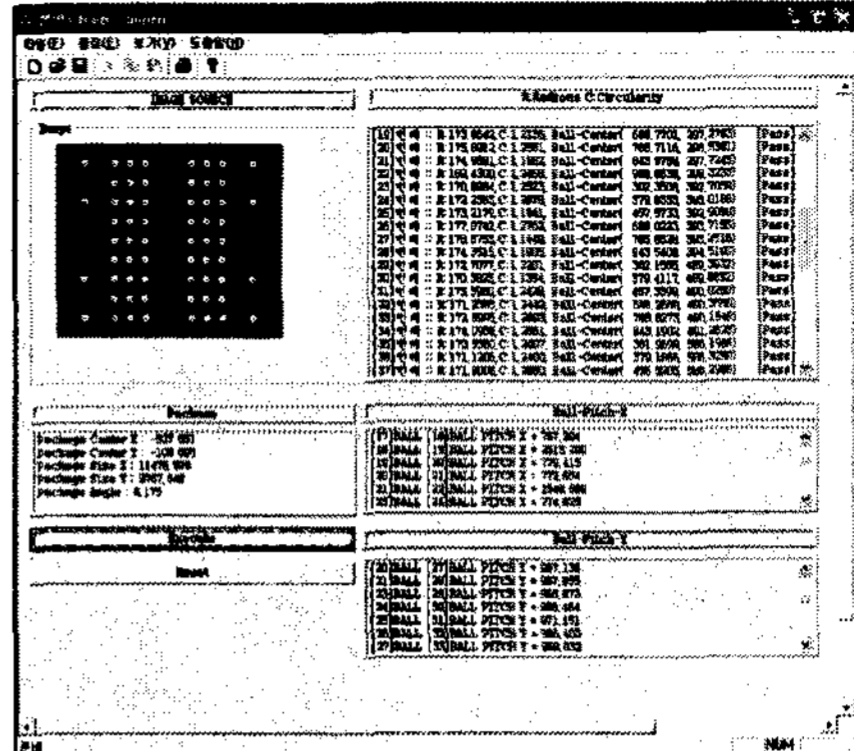


그림 12. 볼/패키지에 대한 검사항목 추출 결과  
Fig. 12. The result of the extracted inspection items for ball/package

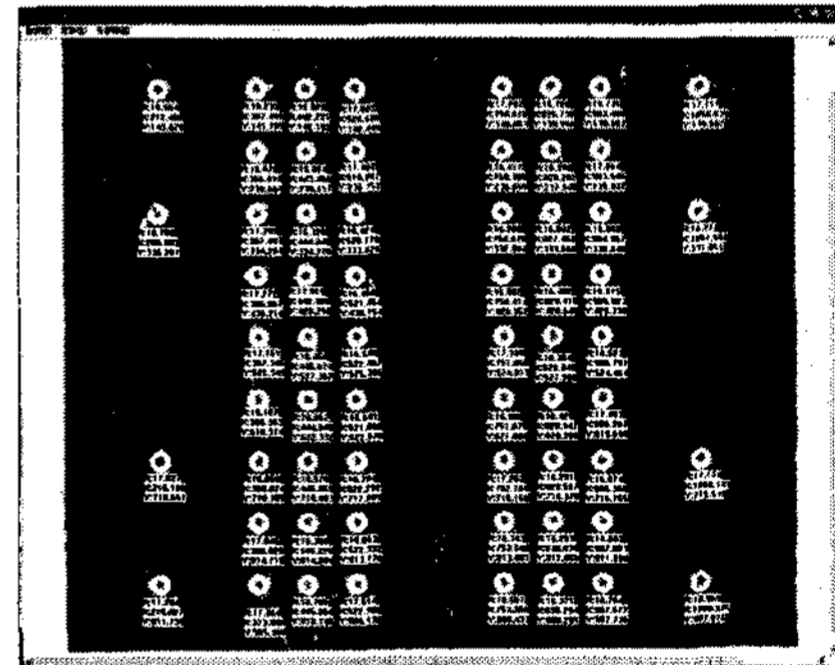


그림 13. 볼의 결함이 검출된 결과영상  
Fig. 13. Result image for extracted ball defects

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		오 차	
H	W	H	W	H	W
0.36749	0.36587	0.35124	0.35012	0.01625	0.01575

표 1은 62개 볼을 SEM(Scanning Electron Microscopy)으로 측정한 데이터, 즉 높이(Height)와 너비(Width)의 평균 데이터와 제안한 알고리즘을 적용하여 측정한 볼의 높이와 너비의 평균 데이터와 평균 오차값을 표로 나타내었다. 여기서 오차값은 SEM 데이터값을 표본으로 하여 측정된 값과의 비교, 분석한 것이다. 표 1에서 측정된 볼 데이터와 SEM 데이터의 평균 오차를 살펴보면 SEM 데이터의 오차가 약 17마이크로미터가 나타나는 것을 볼 수 있다.

표 2. 현 상용화 장비와 제안한 알고리즘의 정량적 비교 평가

Table 2. The comparison valuation of fixed quantity the present used equipment and proposal algorithm

	처리속도	정확성	반복성
현상용화 장비 알고리즘	빠름	높음	높음
제안한 알고리즘	매우 빠름	높음	높음

표 2는 현재 상용화 되는 BGA & CSP 검사 장비의 스펙과 본 논문에서 제안한 알고리즘을 정량적으로 비교 평가 하였다. 표 2에서 제안한 알고리즘이 처리속도 면에서 우수함을 확인 하였다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 정밀한 소자인 BGA의 결함을 검출하기 위한 부화소의 정밀도를 가지는 2D 검사 알고리즘을 제안하였다. 빠른 연산을 하기 위해 이진화 영상을 가지고 라벨링을 하였고 특징 파라미터를 사용하여 BGA 패키지 영역 검출 알고리즘과 불 영역 검출 알고리즘을 개발하였고, FOV 조정을 통해 정확하고 정밀한 검사가 되도록 하였다. 또한 신뢰성을 높이기 위하여 불 사이즈, 노이즈, 불의 개수, 끊어진 불, 불 위치에 따른 불량들을 개선하였다.

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

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI 04-01-02) 지원으로 수행 되었음.

### References

[1] Linda G. Shapiro, George C. Stockman, Computer Vision, Prentice Hall, pp. 388~407, 2001.  
 [2] Dong-Hyeok Jang, "Embodiment of Digital Image Processing", Information Gate, pp. 95~102, 2001.  
 [3] Edward. Lyvers, Owen Robert Mitchell. "Subpixel Measurements Using a Moment-Based Edge Operator",

IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.11, No.12, December, 1989.  
 [4] Gil-Dong Kim, "The Improved Subpixel Algorithm for Automated Visual Inspection System", Department of Electronics Engineering, The Graduate School Korea University, p.1~3, 1997.  
 [5] Zoher Zain Karu, "Fast Subpixel Registration of 3-D Image", Massachusetts Institute of Technology, September, pp. 120~124, 1997.  
 [6] Ki-Tae Bae, "A Research of BGA Automatic Inspection Using Image Information", Department of Electronics Engineering, The Graduate School Chonnam National University, 1999.  
 [7] ICOS Vision Systems, "http://www.icos.be".  
 [8] Samsung semiconductor, "http://www.samsung.com/Products/Semiconductor/", KM416RD8AC.

### ◇ 저자소개 ◇

#### 김기순 (金基順)

1969년 8월 15일생. 1997년 2월 호서대학교 공대 전자공학과 졸업. 1999년 2월 호서대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2003년 2월 호서대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사수료). 2005년 4월~현재 에버테크노(주) 개발기획팀 비전파트 재직.  
 관심분야 : 머신비전, 디스플레이 검사장비, 영상신호 처리, 영상인식 등.

#### 김준식 (金俊植)

1963년 4월 8일생. 1987년 2월 서강대학교 공대 전자공학과 졸업. 1989년 2월 서강대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1993년 8월 서강대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사). 1993년 9월~1994년 2월 서강대학교 부설산업기술연구소 박사후연구원. 1994년 3월~현재 호서대학교 전자공학과 교수.  
 관심분야 : 반도체 검사장비, 디지털 시스템 설계, 영상신호처리, 컴퓨터 비전, 영상인식, 영상통신 등.

#### 주효남 (朱孝男)

1953년 8월 2일생. 1976년 2월 서울대학교 공대 전기공학과 졸업. 1985년 6월 Virginia Polytechnic Institute & State University 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 6월 University of Washington 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1976년 3월~1982년 8월 국방과학연구소 선임연구원. 1985년 6월~1987년 8월 Machine vision international 연구원. 1990년 5월~1996년 5월 Boeing사 수석연구원. 1996년 5월~2000년 11월 삼성전자 생산기술센터 연구위원. 2000년 11월~2002년 9월 (주)넥스트아이 사장. 2002년 9월~현재 호서대학교 디스플레이 공학부 교수.  
 관심분야 : 반도체 디스플레이 검사장비, 영상신호처리, 영상인식, 머신비전, 멀티미디어 등.