

# X선 영상의 에지 추출을 통한 플립칩 솔더범프의 접합 형상 오차 검출

## Detection of Flip-chip Bonding Error Through Edge Size Extraction of X-ray Image

송 춘 삼, 조 성 만, 김 준 현, 김 주 현, 김 민 영, 김 종 형\*

(Chun-Sam Song, Sung Man Cho, Joon-Hyun Kim, Joo-Hyun Kim, Min young Kim, and Jong-Hyeong Kim)

**Abstract:** The technology to inspect and measure an inner structure of micro parts has become an important tool in the semi-conductor industrial field with the development of automation and precision manufacturing. Especially, the inspection skill on the inside of highly integrated electronic device becomes a key role in detecting defects of a completely assembled product. X-ray inspection technology has been focused as a main method to inspect the inside structure. However, there has been insufficient research done on the customized inspection technology for the flip-chip assembly due to the interior connecting part of flip chip which connects the die and PCB electrically through balls positioned on the die. In this study, therefore, it is implemented to detect shape error of flip chip bonding without damaging chips using an x-ray inspection system. At this time, it is able to monitor the solder bump shape by introducing an edge-extracting algorithm (exponential approximation function) according to the attenuating characteristic and detect shape error compared with CAD data. Additionally, the bonding error of solder bumps is automatically detectable by acquiring numerical size information at the extracted solder bump edges.

**Keywords:** flip-chip, X-ray, solder bump, nondestructive inspection

### I. 서론

최근 반도체 산업의 발달로 인하여 전자기기가 점차 소형화 되고, 생산이 자동화됨에 따라 각종 전자 부품들에 대한 정밀한 검사가 중요한 문제로 대두되었으며, 특히, 고집적화된 전자기기의 내부에 대한 검사는 조립이 완료된 제품의 결함 판정에 있어서 중요한 역할을 하고 있다. 내부 구조에 대한 검사에서는 내부 구조물의 형상 및 자세에 대한 기하학적인 정보가 필요하며, 이러한 내부 구조물에 대한 검사방법으로 X선(X-ray) 검사 방법의 연구가 활발히 진행 되고 있으나 플립칩 패키징(flip-chip packaging) 기술에 맞추어진 검사 기술은 연구가 부족한 실정이다[1-4].

플립칩 패키징 기술은 면배열이 가능하기 때문에 고집적화, 다핀화 및 소형화가 가능하게 된다. 또한, 전기적 거리가 짧기 때문에 전기적 신호가 빠른 반도체 칩에 적용할 수 있다는 장점이 있어 단위 체적당 실장 효율이 높은 패키징(packaging) 기술로 현재 주목받고 있다[5].

이러한 플립칩 패키징은 칩 외부로 와이어를 연결하여 전기적 신호를 통하는 기존의 칩과는 달리 그림 1과 같이 Die 위에 형성된 볼을 통해서 Die와 PCB간의 전기적으로

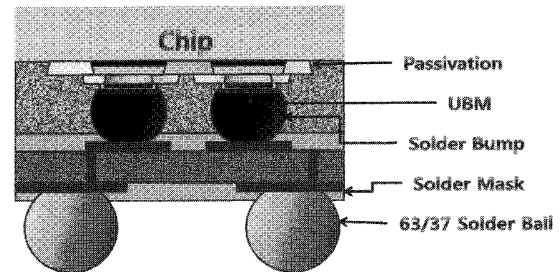


그림 1. 플립칩의 도식.

Fig. 1. Schematic of flip-chip.

연결하여 연결부위가 내부로 감추어진 형태이기 때문에 접합부를 관찰하기 위해서는 칩을 절삭하여 단면을 확인할 수밖에 없다.

따라서 본 연구는 X선을 이용하여 플립칩(flip-chip)의 접합부를 칩의 손상 없이 검사할 수 있는 비파괴 검사 시스템을 구현 한다. 이때 X선 영상에서 X선 감쇄특성(X선이 투과한 후의 강도인 I값의 크기)을 이용하여 인텐시티 분포도(intensity distribution map)를 표현하고, 지수 근사화 에리 값(exponential approximation function)을 이용하여 솔더범프(solder bump)의 에지(edge)를 보다 효과적으로 추출한다. 추출된 솔더범프의 에지에서 수치화된 크기정보를 획득하여 솔더범프의 접합 오차를 자동으로 검출하고자 한다.

### II. 시스템 원리

X선 영상은 일반적으로 물체의 표면에 반사되는 빛의 밝기 값을 CCD에서 감광하여 얻어지는 카메라 검사방법과는 달리 그림 2에서와 같이 X선이 물체를 투과하면서 감쇄

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2009. 5. 15., 채택확정: 2009. 6. 15.

송춘삼: 서울테크노파크 MSP센터(cssong@snut.ac.kr)

조성만: 서울산업대학교 나노생산기술연구소(csmani@snut.ac.kr)

김준현: 서울테크노파크 MSP센터(joonk61@hanafos.com)

김주현: 국민대학교 기계자동차공학부(kim@kookmin.ac.kr)

김민영: 경북대학교 전자전기컴퓨터학부(minykim@knu.ac.kr)

김종형: 서울산업대학교 기계설계자동화공학부(johnkim@snut.ac.kr)

\* 본 논문은 서울시 산학연 협력사업(10890)에서 지원하여 연구하였음.

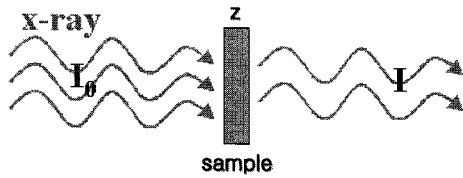


그림 2. 엑스선의 감쇄특성.

Fig. 2. Attenuation characteristics of X-ray Beam.

되는 정도를 감광하여 영상을 얻는다. 즉 카메라에서 얻어진 gray 영상은 물체의 표면에서 반사된 빛의 양을 나타내는 반면, X선 영상에서의 인텐시티는 X선의 투과량, 즉 물체의 두께에 대한 정보를 나타낸다.

일반적으로 X선이 물체를 투과할 때의 감쇄율은 X선이 투과한 물체의 두께에 대해 지수 함수의 특성을 나타낸다. 이 때 X선의 감쇄 정도는 X선의 강도와 대상 물질의 물성치, 그리고 투과된 거리에 따라 결정되며, 이는 식 (1)의 X선 감쇄식으로 표현된다. 이 감쇄식은 X선 감쇄 계수가  $\mu$  인 물질을 입사 X선 인텐시티  $I_0$ 로 z 만큼의 두께를 통과한 후의 X선 인텐시티 I를 나타낸 식이다[6]. 이 식에서 z는 X선이 투과되는 대상 물질의 두께이고,  $\rho$ 는 밀도,  $\mu/\rho$ 는 질량흡수계수이다.

$$I = I_0 e^{-\mu z} = I_0 e^{-(\mu/\rho)\rho z} \quad (1)$$

### III. X선 영상획득 시스템 구성

본 연구에서의 X선 영상 획득 시스템은 X선 발생 장치인 X선 튜브, 투과 X선의 인텐시티를 검출하여 가시 광선화 해주는 X선 검출기, X선 검출기에 맺힌 영상을 데이터 어레이로 받아들이는 CCD 카메라로 구성되며, X선원과 검출기 사이에 검사할 대상 물체의 여러 가지 자세를 주기 위한 stage로 구성되어 있다. 그림 3은 X선 시스템의 구성도이다.

X선 튜브에서 발생된 X선은 대상 물체를 통과하면 식 (1)의 감쇄식에 의해 물체의 두께에 따라 감쇄되어 X선 검출기(영상 증배관)에 입사된다. X선 검출기는 X선 영상을 온라인으로 얻기 위한 장치로 입사 X선 인텐시티에 비례하여 가시광선으로 변화하여 주는 장치이다. 이 X선 검출기 관의 형광 스크린에 CCD 카메라를 장착하여 온라인으로 영상을 얻을 수 있게 된다.

본 연구에서는 테크벨리사의 TVX-IMT90CT X선 시스템을 사용하였고 시스템의 구성요소는 그림 4와 같고, 실험 장치는 그림 5와 같다.

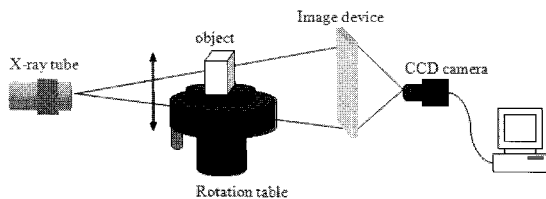


그림 3. 엑스선 시스템의 도식.

Fig. 3. Schematic of X-ray system.

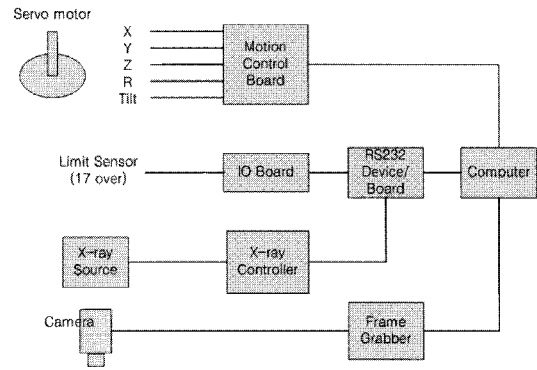
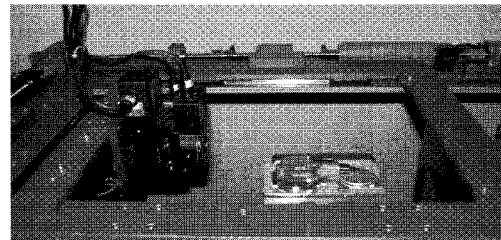


그림 4. 엑스선 시스템의 구성.

Fig. 4. X-ray system configurations.

	Max. Tube Kv	90KV
	Focus Size	5um
	Detector	Image Intensifier
	Axis	X,Y,Z,R axis n x 360 degree
	CPU	AMD 64Bit Dual Core Dual CPU
	Radiation	<1uSv/hr
	Power Supply	AC220V

(a) Specification of X-ray system



(b) X-ray system device

그림 5. 엑스선 시스템 장치 및 상세.

Fig. 5. X-ray system device and specification.

### IV. 투과된 X선의 인텐시티 분포도 추출

투과된 X선의 인텐시티분포도를 이용하여 플립칩 접합부의 형상을 모니터링 하기 위해 우선 접합된 플립칩의 X선영상을 획득한다. 획득된 영상에서 각각의 RGB 픽셀값의 평균치를 통해 gray의 형태로 전환한 영상을 얻는다. 이때 RGB 영상이 변환되어 얻어진 명암영상의 명암도(즉, 밝고 어두운 정도)는 인텐시티 값으로 나타내게 된다. 그림 6(a)는 X선으로부터 획득한 영상이며, 이를 gray(인텐시티)의 형태로 전환한 영상이 그림 6(b)이다.

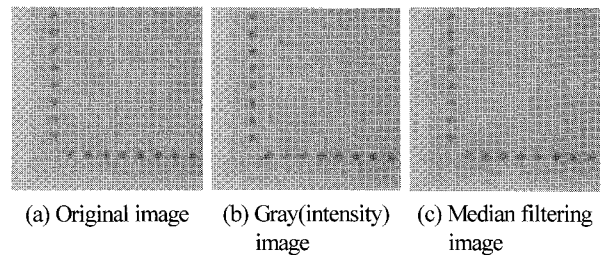


그림 6. 솔더범프 형상 검출.

Fig. 6. Extraction of solder bump image.

Gray(인텐시티) 형태로 전환한 영상은 X선 영상의 특성 상 노이즈를 많이 포함하고 있는 영상이므로 노이즈 제거 과정이 필요하다. 특히 고주파 노이즈는 gray(인텐시티)값의 미분치를 이용하여 에지 같은 형상 정보를 얻는 과정에서 에러 인자로 나타나기 때문에 제거되어야 한다. 고주파 노이즈를 제거하기 위하여 미디언 필터링(median filtering)을 사용하였다. 미디언 필터는 주변의 픽셀데이터를 스캔한 후 중간 값을 표현하는 필터링으로 에지는 최대한 보존 하면서 고주파 노이즈를 줄여주는 효과가 있다. 그림 6(c)는 고주파 노이즈가 제거된 영상이다.

노이즈가 제거된 영상을 통하여 인텐시티분포도를 얻을 수 있다. 플립칩 접합부의 특정한 부분이나 축을 기준으로 인텐시티값을 나열하면 일정한 그래프 형태를 보여준다. 이때 원점 포인트에 해당하는 지점이 인텐시티분포도에서 픽셀 0에 해당되며, 축방향을 따라 오른쪽으로 갈수록 축상에 위치한 해당픽셀에 대응되는 인텐시티를 나타내면 인텐시티분포도가 얻어지게 된다. 이때 선이 투과하면서 X선의 인텐시티는 지수적으로 감소하기 때문에 비교적 어두운 픽셀에 대응되는 인텐시티 값은 작게 나타나며 밝은 영역에서의 인텐시티 값은 크게 나타난다. 따라서 솔더범프가 접합된 위치에서 어두운 영역은 투과거리가 길고 재료의 밀도차이 때문에 어둡게 나타나게 된 것이며 인텐시티 값이 작게 나타난다.

**V. 에지 추출 알고리즘을 이용한 솔더범프 형상 오차 검출**

영상처리를 통하여 형상을 추출해 내기 위해서는 에지나 면적 등의 특징치를 추출해 내는 것이 중요하다. 특히 에지는 영상에서의 밝기 값 또는 밝기 값의 일차미분 값에서 나타나는 불연속성으로 정의 할 수 있는데, 특정한 영역의 추출, 면적이나 주위의 길이 측정, 복잡한 화상의 인식 및 이해 등에 있어 매우 중요한 역할을 하는 특징치이기 때문에 매우 기본적이고, 필수적인 영상처리 알고리즘이라 할 수 있다.

현재 일반적인 에지 추출 알고리즘은 3x3 마스크를 통해 미분치를 구하는 연산자인 Sobel, Prewitt 등을 들 수 있는데[7,8], 비교적 연산 과정이 단순하기 때문에 많이 사용된다. 그러나 이러한 알고리즘들은 대부분 카메라 영상을 바탕으로 개발되었기 때문에 본 연구에서 다루는 X선 영상에는 잘 적용되지 않는다. 그 이유는 카메라 영상과 X선 영상간의 인텐시티 특성의 차이 때문이라고 할 수 있다.

일반적으로 X선이 물체를 투과할 때의 감쇄율은 X선이 투과한 물체의 두께에 대해 지수 함수의 특성을 나타낸다(식 (1)). 그리고 앞서 살펴본 파와 같이 솔더범프의 X선 영상에서 나타나는 인텐시티의 분포도 역시 지수 함수의 분포를 나타낸다. 그림 7은 솔더범프 X선 영상의 배경이미지에서 솔더범프의 내부로 X선이 입사 될 때의 인텐시티 분포도를 보여주는데 이때, 인텐시티의 값이 지수 함수의 그래프 처럼 감소하는 부분이 나타난다. 이 부분이 바로 X선이 솔더범프에 가장 처음 입사되는 부분으로 솔더범프의 에지부분에 해당한다. 즉 X선 영상의 인텐시티 값을 최소 제곱법을 이용하여 지수 함수로 근사화 시켰을 때 근사화

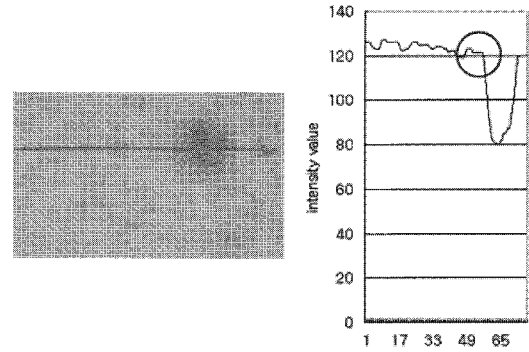


그림 7. 인텐시티 분포도.  
Fig. 7. Intensity distribution map.

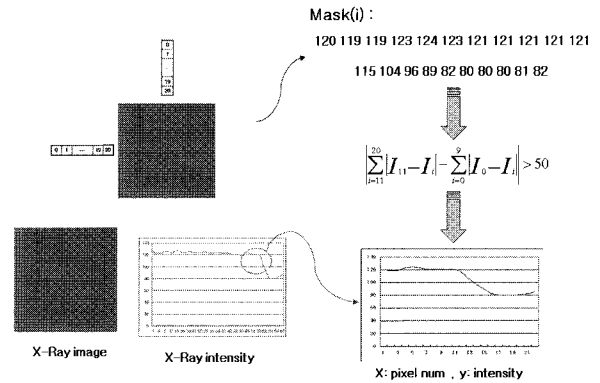


그림 8. 에지 스캐닝 프로세스.  
Fig. 8. Edge scanning process.

된 지수 함수와 데이터 값 사이의 오차 값이 작게 나타나는 부분이 에지가 되는 것이다. 이러한 지수 근사화 어려값을 이용하면 솔더범프의 X선 영상에서의 에지를 추출 할 수 있다.

1. 지수 근사화 어려값을 이용한 솔더범프 에지 추출과정  
지수 근사화 어려값을 이용한 솔더범프 X선 영상의 에지 추출 과정은 다음과 같다.

① 21 x 1, 1 x 21 마스크를 생성한다. 이 마스크는 X선 영상을 2방면에서 스캔하면서 각 좌표의 인텐시티 값을 저장한다. 저장된 인텐시티 값은 식 (2)의 조건에 맞을 때까지 X선 영상을 스캔한다. 이때  $I$ 는 인텐시티값이고,  $N$ 은 임계값이다.  $N$ 값은 대상의 매질에 따라 설정하면 되나 본 연구에서 사용된 솔더범프는 반복실험을 통하여 50으로 설정하였다. 그림 8은 에지 구간 스캔과정을 보여준다.

$$\left| \sum_{i=11}^{20} |I_{i+1} - I_i| - \sum_{i=0}^9 |I_0 - I_i| \right| > N \quad (2)$$

② 식 (2)조건에 맞는 구간이 나오면 최소제곱법을 이용하여 21개 픽셀에 대하여 근사화 하고 지수 근사식을 구한다. 최소제곱법을 이용한 근사식 유도는 다음과 같다.

식 (3)은 exponential equation 이다.

$$y = ae^{(bx)} \quad (3)$$

식 (3)에 ln를 취하면 식 (4)가 된다.

$$\ln(y) = \ln(a) + bx \tag{4}$$

식 (4)를 잔차방정식의 형태로 전환하여 잔차(오차)의 제곱의 합의 형태로 바꾸면 식 (5)와 같다. ( $y_i$ 는 픽셀의 gray value,  $n$ :픽셀 데이터의 개수)

$$\Psi = \sum_{i=0}^{n-1} (\ln(y_i) - \ln(a) - bx_i)^2 \tag{5}$$

$$\frac{\partial \Psi}{\partial a} = 0 \tag{6}$$

$$\frac{\partial \Psi}{\partial b} = 0 \tag{7}$$

잔차 제곱의 합인  $\Psi$ 의 값이 최소가 되는 값은 편미분으로 구할 수 있다. 식 (6)과 식 (7)은  $a, b$ 에 대한 편미분을 나타낸 것이며, 두 식을 통하여 연립방정식을 이용하여 해를 구하면 미지수  $a, b$ 를 구할 수 있다.

$a, b$ 를 식 (3)에 대입하면 근사값인  $\hat{y}$ 를 얻을 수 있고 그 값을 식 (8)에 적용하여 결정계수(R-square)를 구할 수 있다.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} (y_i - \bar{y})^2 - \sum_{i=0}^{n-1} (y_i - \hat{y})^2}{\sum_{i=0}^{n-1} (y_i - \bar{y})^2} \tag{8}$$

$y_i$ : 실제 값,  $\bar{y}$ :  $y_i$ 의 평균값,  $\hat{y}$ : 근사값(기대값)

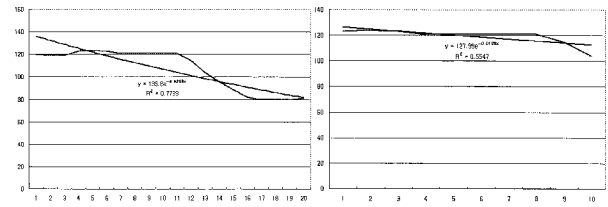
③ 식 (9)를 만족하는 구간이 나올 때 까지 작은사이즈의 솔더볼 에지를 검출하기 위하여 더 세밀한 10 x 1, 1 x 10의 마스크를 사용해 좌표를 한 칸씩 이동하며 ②번 과정을 반복한다. 이때  $D$ 는 결정계수의 범위값으로 대상의 매질과 영상의 해상도에 따라 결정할 수 있으며 본 연구에서는 0.93으로 결정하여 사용하였다.

$$D \leq R^2 < 1 \tag{9}$$

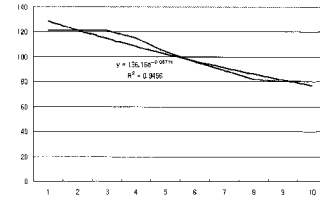
④ 식 (9)를 만족하는 구간이 생기면 10 x 1, 1 x 10의 마스크의 mask(0)의 좌표를 에지로 정의한다.

식 (2)를 만족하는 구간은 그림 9에서 나와 있는 솔더벌프의 X선 영상에서 에지부분에 해당한다. 즉, 그림 9(a)의 인텐시티 분포도에서 그래프가 꺾이는 부분이 포함되어 있는 구간이다. 구간 안에 있는 21개의 픽셀에 대해 최소제곱법을 이용하여 지수 함수로 근사화하여 잔차 제곱의 합을 구하고 이를 이용하여 결정계수를 구할 수 있다. 결정계수는 유도된 근사식이 데이터의 값을 얼마나 표현할 수 있는가를 결정한다. 이 값은 0에서 1사이로 표현되나 1에 가까울수록 근사식의 정확도가 올라간다. 즉, 결정계수의 값이 1에 가까울수록 데이터들이 나타내는 성향이 지수 함수에 근접한다는 것이다.

그림 9(b)는 그림 9(a) 구간 내에서 10개의 픽셀에 대한 지수 근사식 및 결정계수를 나타낸다. 에지 구간이 아닌 부분에서는 결정계수의 값이 0.5547을 나타내었다. 이 수치는 점점 증가하다가, 그림 9(c)의 에지 시작 구간에서 0.9456을 나타낸다. 이는 X선의 감쇄 특성에 따라 에지 구간에서 인텐시티의 값이 지수 함수의 형태로 줄어드는 것을 나타낸



(a) Parametric range (edge area) (b) Intensity distribution



(c) Intensity distribution (Edge detection)

그림 9. 식 (2)를 만족하는 구간 내에서의 인텐시티 분포.

Fig. 9. Intensity distribution within parametric range applied in Eq. (2).

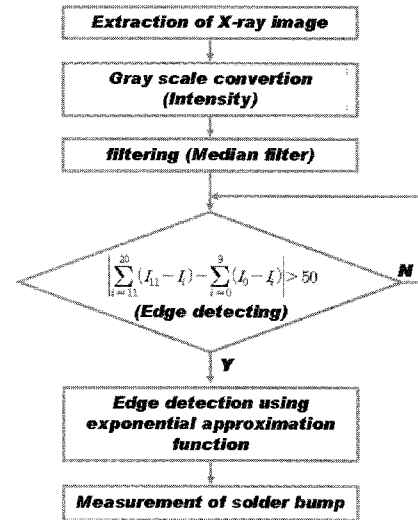


그림 10. 에지 검출 프로세스.

Fig. 10. Edge detection process.

다. 곧 에지 구간임을 나타낸다. 따라서 최소제곱법을 통하여 얻게 된 근사식과 결정계수를 통하여 에지를 찾을 수 있다. 그림 10은 전체적인 에지 검출 프로세스를 보여준다. 2. 지수 근사화 어려값을 이용한 솔더벌프 에지 추출을 통한 형상오차 검출

X선은 물체에 입사되면 그 인텐시티가 지수 함수의 형태로 감쇄한다. 이러한 X선의 특성을 이용하여 일정한 개수(21개)의 픽셀(pixel)들을 스캔하면서 얻은 인텐시티의 미분치로 구간을 설정하고, 선택된 구간에서 픽셀들의 인텐시티에 대한 지수 근사 함수를 구하고 결정계수를 통하여 그 값이 가장 지수 함수에 근사한 구간의 시작점을 에지로 표현하면 X선 영상에서 에지를 검출 할 수 있다. 여기서 일정개수의 픽셀을 스캔할 때 픽셀의 인텐시티 간의 미분치를 이용하는데 X선 영상 자체가 IC칩을 찍은 영상이므로 솔더벌프 이외에 기판(substrate)에 해당하는 부분도 나타나

게 된다. 그러나 기판은 솔더범프에 비하여 밀도가 작기 때문에 X선의 투과량이 많아 상대적으로 에지부분에서의 미분치가 적다. 이에 솔더범프만의 에지를 검출하기 위하여 미분치를 조절하여 구간을 설정 하였다. 그림 11은 솔더범프의 에지 부분을 추출한 결과를 보여준다. 그림 11(a)는 솔더범프의 X선 영상에서 노이즈를 제거한 영상이고, 그림 11(b)는 지수 근사식을 이용하여 에지를 검출한 영상이다. 그림 11(c)는 에지를 검출한 그림 11(b)의 영상을 기반으로 에지의 형태 및 둘레의 길이 등을 바탕으로 에지외의 노이즈를 제거한 솔더범프 에지추출 최종영상이다. 이 영상을 통하여 접합부의 솔더범프를 칩의 손상 없이 모니터링 할 수 있고, 접합 불량률도 검출할 수 있다.

그림 12는 접합상태가 불량한 플립칩의 솔더범프 에지 추출영상이다. 이 영상에서 솔더범프의 형상이 서로 연결되거나, 솔더범프의 크기가 작아지는 것을 에지 추출을 통해 알 수 있는데 그림 13과 같이 솔더범프의 형상정보가 들어 있는 CAD 데이터와 비교하여 접합부의 형상오차를 자동으로 검출할 수 있다.

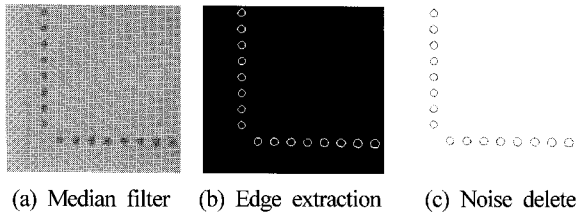


그림 11. 지수 근사식을 이용한 에지 검출 결과.  
Fig. 11. The result of Edge detection using exponential approximation function.

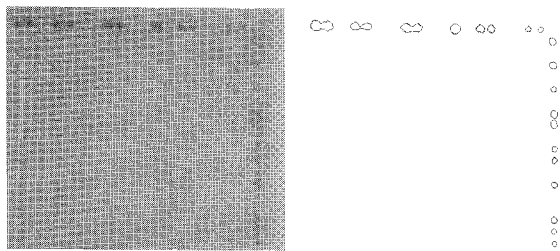


그림 12. 지수 근사식을 이용한 에지 검출 결과(접합불량).  
Fig. 12. The result of Edge detection using exponential approximation function (fault bonding case).



그림 13. CAD 데이터와의 비교.  
Fig. 13. Comparison of CAD data.

3. 솔더범프 에지 추출 영상의 크기를 통한 형상오차 검출  
제안된 과정에 따라 검출된 솔더범프의 에지 영상을 이용하여 플립칩 접합부의 솔더범프 크기를 검출하고자 한다. 솔더범프의 크기 측정을 위해 우선 검출된 에지에서 상/하/좌/우 4방향의 최외각 픽셀을 스캔한다. 이때 최외각 픽셀을 기준으로 bonding box를 그리고 box의 중심을 지나는 교차 직선의 길이를 알 수 있다. 직선의 길이는 픽셀 개수로 표현되기 때문에 픽셀 하나의 크기를 이용해 솔더범프의 지름을 알 수 있다.

그림 14는 본 연구에서 집합된 솔더범프의 에지 추출영상을 통한 크기측정을 보여준다. 그림에서와 같이 범프의 크기는 1, 3번 또는 2, 4번의 픽셀개수를 통해 알 수 있는데 각각의 픽셀개수는 15개와 14개임을 알 수 있다.

본 연구에서 사용된 X선 영상 획득 시스템의 픽셀 당 resolution은 1000 x 1000 이미지 영상을 기준으로 7.4 $\mu$ m 이기 때문에 각각의 길이는 111 $\mu$ m와 103.6 $\mu$ m임을 알 수 있고, 사용된 플립칩의 이상적인 범프 사이즈가 110.16 $\mu$ m임을 감안했을 때 정상적인 접합임을 알 수 있다. 그러나 그림 15-A에서와 같이 접합부의 크기가 각각 399 $\mu$ m와 725 $\mu$ m일 경우, 그림 15-B에서와 같이 접합부의 크기가 각각 303 $\mu$ m와 333 $\mu$ m일 경우는 기준이 되는 값에 비해 너무 많이 차이를

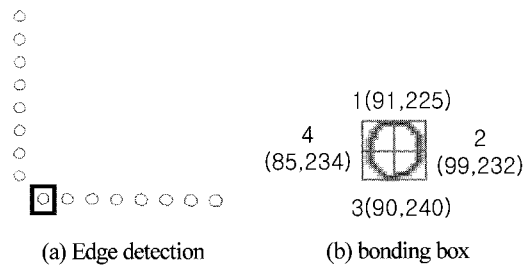


그림 14. 추출영상을 통한 솔더범프 크기 측정.  
Fig. 14 The measurement of solder bump size from extracted image.

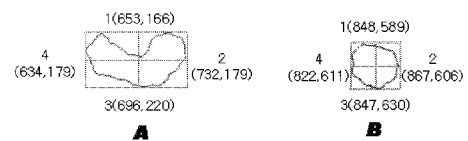
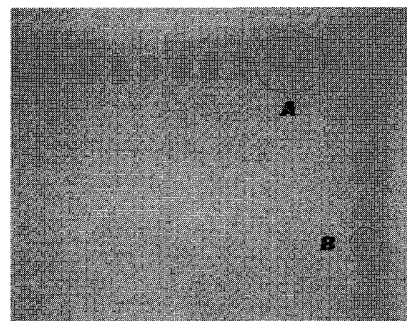


그림 15. 추출영상을 통한 솔더범프 크기 측정(접합불량).  
Fig. 15. The measurement of solder bump size from extracted image (fault bonding case).

보여 접합이 불량임을 알 수 있다.

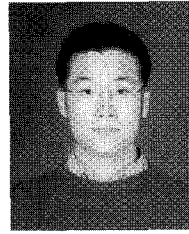
따라서 본 시스템에서 획득한 솔더범프의 크기정보를 정상적으로 접합된 플립칩의 형상에 대한 크기 정보와 비교하여 솔더범프의 접합오차를 칩의 손상 없이 검출할 수 있다. 이때 허용오차는 공정에 따라 변경하여 접합오차를 자동으로 검출할 수 있다.

## VI. 결론

X선을 통하여 칩의 손상 없이 플립칩 접합부의 형상오차를 칩의 손상없이 검출해 내는 시스템을 연구하였다. X선 영상에서 X선 감쇄특성(X선이 투과한 후의 인텐시티인 I값의 크기)을 이용하여 인텐시티 분포도를 표현하고, 지수 근사화 에러값을 이용하여 솔더범프의 에지를 보다 효과적으로 추출하였다. 추출된 솔더범프의 에지에서 수치화된 크기정보를 획득하여 솔더범프의 접합 오차를 자동으로 검출할 수 있었다. 추후 인텐시티 분포도의 명확한 표현을 위한 필터링 기술을 통해 더욱 정밀한 검사기술이 연구되어야 할 것이다.

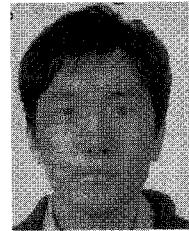
## 참고문헌

- [1] Y. K. Ryu and H. S. Cho, "New optical measuring system for solder joint inspection," *Optics and Lasers in Engineering*, vol. 26, no.6, pp. 487-514, 1997.
- [2] J. H. Kim, H. S. Cho, and S. K. Kim, "Visual measurement of a 3-D plane by a cylindrical structure light," *93 Intelligent Robots and Systems*, Yokohama, Japan, 1993.
- [3] K. W. Ko and H. S. Cho, "Solder joint inspection using a neural network and fuzzy rule-based classification method," *IEEE Trans. On Electronics Packaging Manufacturing*, vol. 23, no. 2, pp. 93-103, 2000.
- [4] J. A. Noble, R. Gupta, J. Mundy, A. Schmitz, and R. I. Hartely, "High precision x-ray stereo for automated 3D CAD based inspection," *IEEE Trans. Robotics and Automation*, vol. 14, no. 2, pp. 292-302, Apr. 1998.
- [5] R. K. Ulrich and W. D. Brown, *Advanced Electronic Packaging*, 2nd Ed., Wiley-Interscience, 2006.
- [6] "Computed tomography details casting defects," *Advanced Materials & Process*, pp. 54-66, Nov. 1990.
- [7] R. crane, *A simplified approach to image processing: classical & modern techniques in C*, Prentice Hall, Section 3. pp. 85-134, 1996.
- [8] D. vernon, *Machine vision: Automated visual inspection and robot vision*, Prentice Hall, Section 5.3 pp. 90-99, 1991.
- [9] S. M. Cho, "X-ray image processing and pose estimation of polyhedral objects based on geometric features," MA Science thesis, 2008.



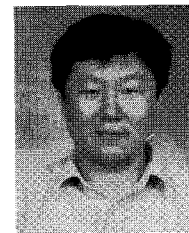
**송 춘 삼**

2004년 국민대학교 자동차전문대학원 설계 및 생산공학 석사. 2009년 동 대학원 박사. 2006년~현재 서울테크노파크 MSP기술지원센터 선임연구원. 관심분야는 마이크로 저온접합, 광학검사.



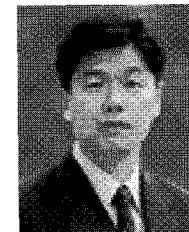
**조 성 만**

2005년 서울산업대학교 기계설계자동화공학부 졸업. 2008년 서울산업대학교 메카트로닉스 석사. 2008년~현재 서울산업대학교 나노생산기술연구소 선임연구원. 관심분야는 머신 비전.



**김 준 현**

1993년 University of Missouri 기계공학 석사. 1998년 University of Florida 기계공학 박사. 2006년~현재 서울테크노파크 MSP기술지원센터 선임연구원. 관심분야는 집속이온빔.



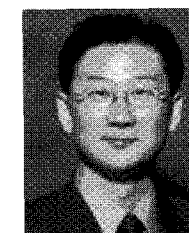
**김 주 현**

1986년 서울대학교 기계공학 석사. 1992년 University of Michigan 기계공학 박사. 1996년~현재 국민대학교 기계자동차공학부 교수. 관심분야는 Metal Cutting, Micro/Nano Processes.



**김 민 영**

1996년 한국과학기술원 기계공학과(공학사). 1998년, 2004년 한국과학기술원 기계공학과(공학석사/공학박사). 현재 경북대학교 전자 전기 컴퓨터 학부 전임강사. 관심분야는 광기전 시스템, 멀티스케일 로보틱스, 로봇 비전.



**김 중 형**

1989년 한국과학기술원 생산공학 석사. 1995년 동 대학원 박사. 현재 서울산업대학교 기계설계자동화공학부 교수. 관심분야는 Machine Vision, Robotics.