

양면 PCB의 납땜부 검사를 위한 새로운 X선 단층영상 시스템

A New X-ray Cross-sectional Image System for Solder Joint Inspection of Double-Sided PCB

강성택, 정재훈**, 조형석***

*한국과학기술원 자동화 및 설계공학과 (Tel: 02-958-3451; Fax: 02-958-1638)

**전자부품종합기술연구소 (Tel: 0333-610-4332; Fax: 0333-610-4126; E-mail: jeongjh@nuri.keti.re.kr)

***한국과학기술원 기계공학과 (Tel: 042-869-3213; Fax: 042-869-3210; E-mail: chs@lca.kaist.ac.kr)

Abstracts In this paper, a new approach to acquire the cross-sectional image for automatic solder joint inspection of double-sided PCB using X-ray source is presented. We designed the apparatus with fixed X-ray source to realize the cross-sectional image by tuning object and detector synchronously. The cross-sectional images are captured at several view angle of X-ray source, the geometric image distortions caused by view angle and the shape of image intensifier are compensated. The precision variation of cross-sectional image by the change of view angle was investigated. Also we acquired the cross-sectional image to the solder joint of double-sided PCB and reconstructed the shape of solder joint.

Keywords X-ray, Cross-sectional Image, Solder Joint Inspection, PCB, Digital Tomosynthesis

1. 서론

전자기기의 소형화, 경량화 추세에 따라 전자회로기판(PCB)은 점차 고밀도화 되어가고 있다. 0.3mm 이하의 표면실장형 QFP(Quad Flat Package) 탑재가 연구되고 있으며, 양면 및 다층기판의 개발, BGA(Ball Grid Array), FCA(Flip Chip Attach) 등 새로운 칩의 개발로 고밀도화가 가속되고 있다. 이러한 새로운 칩의 형태로 인하여 기판상의 납땜부 검사방법으로 이용되던 기존의 가시광원에 의한 카메라 영상을 이용한 검사[1], 레이저를 이용한 검사방법[2]으로는 한계에 이르렀으며, 최근 X선을 이용한 새로운 검사방법들이 연구되고 있다. 더욱이 새로운 칩의 납땜부 검사를 위해서는 단순히 X선을 투과시켜 얻은 투과영상보다는 검사를 원하는 납땜단면에 대한 단층영상만을 필요로 하므로 이러한 단층영상을 획득하는 방식에 대한 연구가 매우 중요하다.

X선 단층영상에 의한 납땜검사 연구는 크게 두가지로 이루어지고 있다. 하나는 FourPi사에서 이루어진 연구로 X선과 검출기를 동기회전시켜 하나의 영상으로 단층을 얻는 Laminography 방식이다[3], 다른 하나는 NIS사의 방법으로 X선을 회전시키면서 여러 개의 영상을 받아 컴퓨터에서 영상의 평균값을 구하는 Digital Tomosynthesis 방식[4]이다. 그런데 이들의 방법은 모두 X선을 전자적으로 회전시키기 위하여 X선 빔만을 회전시켜 주는 X선관을 개발하여 탑재하고 있다. 이 X선관은 대단히 고가인 데다 빔의 경사각(View Angle)을 30° 이상 크게 할 수 없어 얇은 단층의 두께를 얻어내는데 한계가 있다. 또한 영상증배관 대신 사용하는 형광관의 해상도 문제(FourPi), 영상증배관의 가장

자리만을 사용함으로 인한 영상왜곡 문제(NIS)등도 안고 있다.

이에 본 연구에서는 X선원(X-ray Source)은 고정하고 대상물체와 검출기를 동기회전시킴으로써 단층영상을 얻는 새로운 방식을 연구하였다. 새로운 방식을 구현할 수 있는 단층영상장치를 개발하였으며, X선원의 경사각을 변화시켜 가며 단층영상을 획득하였다. 얻어진 영상으로부터 X선원의 경사각 및 영상증배관으로 인한 왜곡을 보정하였으며, 경사각의 변화가 단층영상에 미치는 영향을 고찰하였다. 또한 실제 양면 PCB의 납땜부에 적용하여 단층영상을 얻고 그 형상을 복원하였다.

2. X선 단층영상 획득의 원리

단층영상을 구현하는 방법에는 몇가지가 있다. 단층영상의 구성은 X선원(X-ray source), 대상물체(Object), 검출기(Detector)의 3가지 요소에 의해 이루어진다. 이 요소들 중 2가지를 동기회전 시켜주면 단층영상을 얻을 수 있다. 대상물체, 검출기의 두요소를 회전시키는 단층영상의 원리를 그림 1에 도시하였다. 먼저 X선원과 영상을 얻고자 하는 대상물체의 단면(plane-of-interest)의 회전중심점, 그리고 검출기의 회전중심점을 일치시킨다. 일치된 회전중심을 유지하면서 대상물체와 검출기를 동기회전시켜 영상을 얻는다. 그림 1에서는 1회전하는 동안에 4개의 영상을 획득한 결과를 보여주고 있다. 동기되어 회전하기 때문에 초점평면(focal plane) 상에 있는 글자 A,B,C는 항상 동일한 위치에 영상이 맺히게 되지만, 다른 평면상의 글자 D는 회전함에 따라 각각 맺히는 위치가 달라지게 된다. 이렇게 얻어진 여러개

의 영상으로부터 영상의 평균값을 구하게 되면 초점평면 상의 글자(A,B,C)에 비하여 다른 평면 상의 글자(D)는 상대적으로 강도가 현저히 작아져 거의 사라지게 된다. 그림에서 경사각 (θ , viewing angle)이 클수록 초점평면과 다른 평면과의 분리가 커지게 되며, 결국 단층영상의 정밀도가 증가하게 된다.

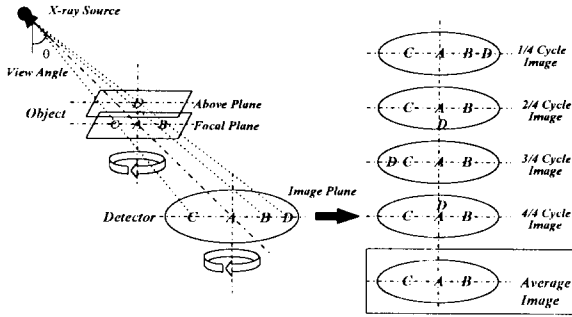


그림 1. 단층영상의 원리

Fig. 1 The Principle of Cross-sectional Image

3. 대상물-검출기 동기회전 방식(ODSR) 단층영상 시스템

그림 2에 본 연구의 시스템 개략도를 도시하였다. 제안된 대상물-검출기 동기회전 방식(ODSR; Object-Detector Synchronous Rotation)은 X선 튜브를 고정시켜 두고 대상물과 검출기를 동기회전시켜 단층영상을 얻는다.

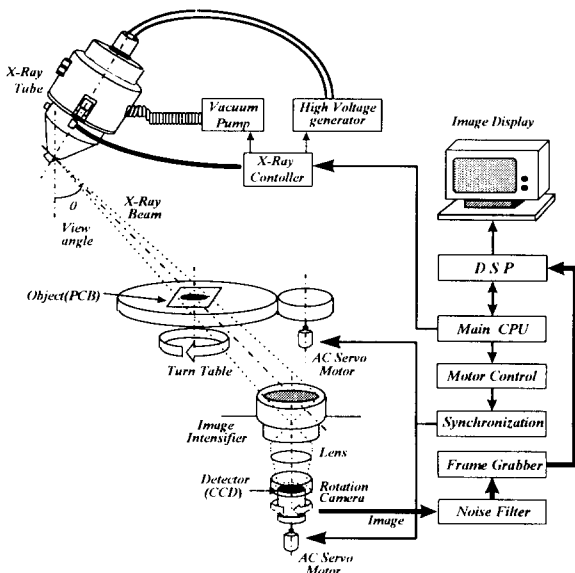


그림 2. ODSR 단층영상 시스템 구성도

Fig. 2 ODSR Cross-sectional Image System

X선 빔의 경사각은 30° 이상 충분히 조절할 수 있는 구조로 되어 있다. X선 튜브는 영국 X-TEK 사의 제품으로 최대용량은 125KVp, 1mA이다. Main CPU에서 내려주는 동기회전 속도지령에 의하여 2대의 AC Servo Motor가 동기회전하게 된다. X선이 회전테이블(Turn Table) 상의 대상물체에 조사되면 X선 강도 I는 $I=I_0 \exp(-\mu x)$ 의 수식을 따라 강도가 감쇄되어 영상증배관(Image Intensifier)에 입사된다. 여기서 I_0 는 X선의 본래강도, x 는 대상물체의 두께이며, μ 는 선형감쇄 계수로 물질에 따라 다르다. 납(Pb)의 경우 μ 값이 상대적으로 크기 때문에(1530) X선이 납땀부 검사에 적합한 이유가 된다. 영상증배관은 X선을 가시광선으로 변환시키는 기능을 하는 소자로 6" 크기의 Thomson 모델을 사용하였다. 영상증배관을 거쳐 나온 영상은 회전하는 CCD에 의해 획득된다. CCD는 회전체이므로 슬립링(Slip Ring)을 지나 데이터를 전송하는데 이때 생기는 노이즈를 제거하기 위하여 노이즈 필터(Noise Filter)가 부착되어 있다. 노이즈가 제거된 영상은 Frame Grabber에 의해 획득되어 메모리에 저장되고 CPU상에서 연산처리되도록 하였다.

4. 단층영상 획득실험

4.1 회전중심 정렬

단층영상 장치에 있어서 X선원과 대상물의 회전중심, 그리고 검출기의 회전중심을 일직선으로 일치시키는 일이 매우 중요하다. 회전할 때 일치되는 정도가 영상의 정밀도에 영향을 미치기 때문이다. 회전중심을 맞추기 위한 방법은 3단계로 나누어진다. 먼저 그림 3에 보인 것처럼 두 개의 Laser Diode를 써서 장치의 중심을 맞춘다.

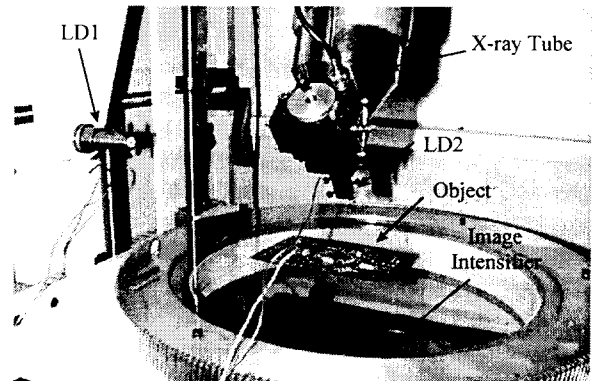


그림 3. 회전중심 정렬장치

Fig. 3 Rotation Center Alignment

LD1은 X선의 발생지점을 지시하며 X선 튜브를 임의의 경사각으로 기울여도 X선 발생점은 일정하게 유지되도록 정렬시키는데 사용한다. LD2는 X선이 발생하는 중심점에 위치하여 X선의 조사방향을 지시하도록 되어 있다. LD2의 레이저 광에 의하여 대상물체의 중심과 검출기의 중심을 맞춘다. 두 번째 단계로 X선을 조사하면서 검출기(CCD) 및 대상물체(Turn Table)를 개별적으로 회전시키면서 각각의 회전중심을 맞춘다. 정확한 중심정

를 위하여 0.2mm 직경의 작은 납볼(Solder Ball)을 사용하였다. 세 번째 단계로 대상물체와 검출기를 동기회전시키면서 중심점 이탈오차를 보정한다. 두 번째와 세 번째 단계는 영상 모니터를 보며 수동으로 조정하였다.

4.2 영상의 왜곡보정

양질의 X선 투과영상을 얻기 위해서는 영상증배관을 이용하여 영상을 얻어야 한다. 그런데 영상증배관의 입력면은 곡면으로 이루어져 있기 때문에 영상증배관의 바깥쪽 가장자리는 왜곡이 되어서 실제 영상보다 더 크게 보이게 된다. 그러므로 정확한 크기의 영상을 얻기 위해서는 이를 보정하여야 한다. 영상증배관의 구면에 의한 영상 왜곡 모델링은 그림 4와 같다.

그림 4는 X선이 수직으로 입사하는 경우로 구면에 의한 왜곡된 크기 I_2 와 평면에 영상이 맺힐 경우의 크기 I_1 과의 비는 식 (1)과 같이 구해질 수 있다.

$$I_2 = x \cdot I_1 \quad \text{where} \quad x = \frac{L + R(1 - \cos \phi)}{L \cdot \cos \phi} \quad (1)$$

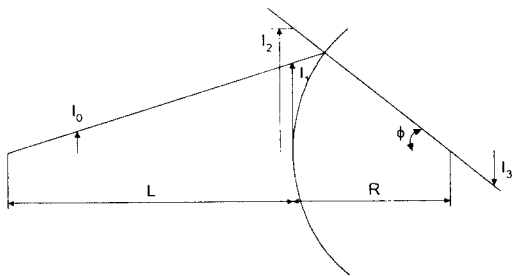


그림 4. 영상증배관의 왜곡 모델링

Fig. 4 Distortion Modeling of Image Intensifier

그러나 X선이 경사각으로 입사되는 경우에는 왜곡의 정도가 더 심해지고 피사체를 중심으로 대칭이 되지 않기 때문에 여러 각도를 고려해서 왜곡보정을 해야 한다.

그림 5에서와 같이 영상증배관의 중심을 원점으로 해서 y축의 (-)방향으로 θ 만큼 경사각을 두고 X선이 조사되는 경우에는 실제 영상은 B면상의 p점에 맺히게 된다. 그러나 이 지점은 영상증배관의 곡면표면으로 인해서 생기는 왜곡을 포함하고 A면에 영상이 맺히도록 다음과 같이 보정과정을 거쳐야 한다.

우선 변 a와 b의 길이와 각도 z를 식 (2)(3)(4)에 의해서 구할 수 있다.

$$a = R \cdot \sin \phi \cdot \cos q \quad (2)$$

$$b = R \cdot \sin \phi \cdot \sin q + L \cdot \tan \theta \quad (3)$$

$$z = \tan^{-1} \left(\frac{a}{b} \right) \quad (4)$$

삼각형 123과 145는 닮은 꼴이므로 비례식 (5)에 의해서 식 (6)과 같이 변 23의 길이 ρ 를 구할 수 있다.

$$L : L + R(1 - \cos \theta) = \rho : \sqrt{a^2 + b^2} \quad (5)$$

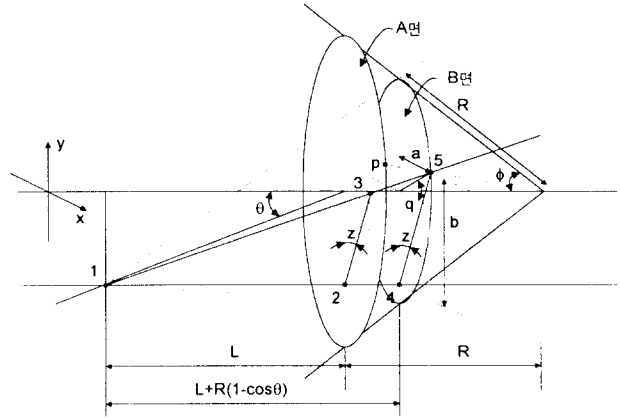


그림 5. X선 경사각에 의한 영상왜곡의 모델링

Fig. 5 Image Distortion Modeling due to View Angle of X-ray Source

$$\rho = \frac{L\sqrt{a^2 + b^2}}{L + R(1 - \cos \theta)} \quad (6)$$

그러므로 왜곡보정을 한 후에 영상이 맺히는 지점 3의 좌표값 x, y는 식 (7)(8)과 같이 구할 수 있다.

$$x = \rho \cdot \sin z \quad (7)$$

$$y = \rho \cdot \cos z - L \cdot \tan \theta \quad (8)$$

이와 같이 왜곡 보정 수식을 이용하여 왜곡된 영상을 보정한 결과를 그림 6에 도시하였는데 기하학적 왜곡이 정확하게 보정되었음을 알 수 있다.



(a) 왜곡영상

(b) 보정영상

그림 6. 왜곡보정 결과

Fig. 6 The result of Distortion Compensation

4.3 단층영상의 획득

제안된 ODSR 시스템으로 단층영상을 얻는 실험을 실시하였다. X선원은 고정시켜 두고 대상물체와 CCD를 동기회전시켜 가면서 영상을 얻었다. 그림 7에 경사각을 20'도로 했을 때 대상물체의 8방향에서 영상을 얻은 결과를 보여 주고 있다. PCB의 양면에 링 부품과 사각 부품을 수직으로 붙이고 경사방향에서 X선을 조사한 것이다. X선의 초점은 링 부품이 있는 면에 맞추었다. X선 발생용량은 전압 70KVp, 전류 0.15mA이다. 8개의 영상은 앞에서 언급한 왜곡보정 방법에 의해서 각각 보정을 거친 후 영상을 합성하였다. 그 결과는 그림 8.(a)와 같은 단층영상이 된다.

그림 8.(a)는 경사각 20°의 결과로서, 링의 가운데 부분에 사각부품이 회전하면서 겹치는 영역에 잔상이 남는 것을 볼 수 있다. 이것은 'Artifact'라고 부르는 결함의 일종으로, X선관 내에서 X선원을 회전시키는 경우와 같이 경사각이 작을 때 발생하는 문제로 알려져 있다. 경사각을 높여 40°, 60°로 했을 때 단층영상의 결과를 그림 8.(b)(c)에 도시하였다. 경사각이 커질수록 Artifact가 약해지며 60°의 경우 Artifact가 완전히 제거되었음을 볼 수 있다. 즉, X선원의 경사각이 커짐에 따라 단층영상의 정밀도가 점차 증가함을 알 수 있다.

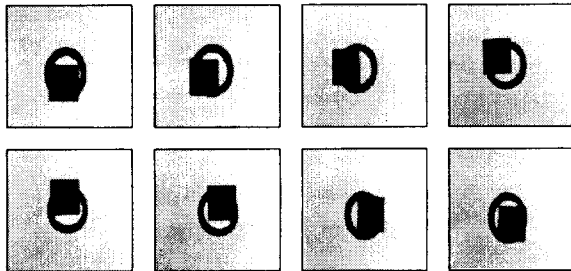
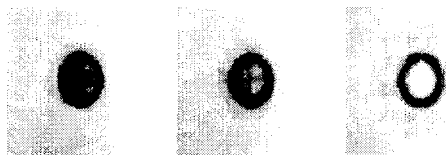


그림 7. 8방향의 영상(경사각이 20°인 경우)

Fig. 7 The Images of 8 directions(View Angle 20°)



(a) 경사각 20° (b) 40° (c) 60°

그림 8. 단층영상의 결과

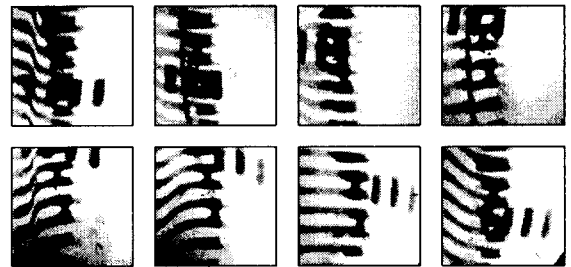
Fig. 8 The result of Cross-sectional Image

4.4 양면 PCB의 납땀부 단층영상

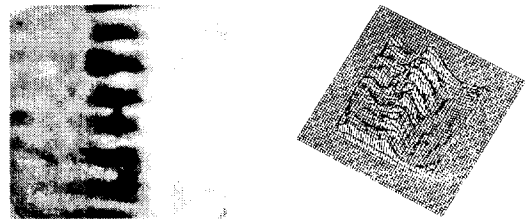
실제 양면 PCB의 납땀부에 대한 단층영상을 획득하는 실험을 하였다. 샘플 PCB는 두께 1.6mm의 양면기판으로, Gull-wing 형상 부품 리드에 납땀부가 형성된 경우이다. X선은 전압 70KVp, 전류 0.15mA의 조건에서 조사되었다. 그림 9.(a)에 8방향에서 얻은 영상을 도시하였다. X선원의 경사각은 45°이고 대상물체는 18배 확대된 경우이다. 첫 번째 영상을 보면 회전중심 초점이 맞추어진 세로방향 납땀부와 아래면의 가로방향 납땀부가 겹쳐져서 정확한 납땀부 형상을 판독하기 어려울 수 있다. 각 영상은 45°씩 회전하면서 영상을 얻은 결과인데 X선원에서 받아질수록 기하학적 왜곡이 심하게 나타남을 볼 수 있다. 8개의 영상을 각각 왜곡보정시켜 합성한 다음 단층영상을 얻은 결과를 그림 9.(b)에 도시하였다. X선 초점이 맞추어진 납땀부 영상만 남고 다른 부분의 영상(아래부분 납땀부, 상부 리드 부분)은 깨끗이 사라짐을 볼 수 있다. 그림 9.(c)는 단층영상으로부터 납땀부의 형상을 복원한 결과이다.

5. 결론

새로운 고밀도 패키지의 개발로 납땀부 검사를 위한 새로운 방



(a) 8방향 영상



(b) 단층영상

(c) 납땀부 형상

그림 9. 양면 PCB의 단층영상

Fig. 9 The Cross-sectional Image of Double-sided PCB

식의 연구가 필요하게 되었다. 본 논문에서 제안한 대상물-검출기 회전방식(ODSR)의 X선 단층영상장치는 X선원의 경사각을 충분히 크게 설정할 수 있기 때문에 단층영상의 정밀도를 높일 수 있는 장점이 있다. 본 논문에서는 ODSR 방식의 단층영상장치를 설계하였고, X선원의 경사각을 높여감에 따라 'Artifact'라는 잔상을 점점 줄여줌으로써 단층영상의 정밀도를 향상시킬 수 있음을 보여 주었다. 또한 실제 양면 PCB에 적용하여 양면 납땀부의 중첩된 영상으로부터 원하는 단면의 납땀부에 대한 영상만을 깨끗하게 얻어낼 수 있었다. 본 ODSR 방식의 단층영상장치는 양면 PCB 뿐만 아니라 향후 고정밀도 부품의 단층검사에도 적용될 수 있으리라 판단된다.

참고문헌

- [1] Capson and Eng S.L., "A Tiered Color Illumination Approach for Machine Inspection of Solder Joint," IEEE Trans. PAMI, Col 10, No 3(1988), pp 387-393.
- [2] Chris Rice, "Futher Applications of laser Systems in Post Solder Inspection for Surface Mounted Devices," 2nd International Conference Automation Robotics and Computer Vision Processing, Vol. 1 of 3, 1992.
- [3] S.Black and D.L.Millard, "An Animated interface for X-ray Laminographic Inspection of Fine-pitch Interconnect," IEEE/CHMT '91 IEMT Symposium, pp 207-211.
- [4] S.Rock and T.Sack, "X-ray Inspection of Flip Chip Attach using Digital Tomosynthesis," Circuit World, Vol.21 No.3, 1995, pp 51-55.