

라미노그래피를 이용한 전자회로기판의 납땜부 형상 복원

Shape Reconstruction of Solder Joints on PCB using Laminography

박 원 식*, 강 성 택*, 조 형 석*, 김 형 철**, 김 성 권**

*한국과학기술원 기계공학과 (Tel: (042)869-3253; Fax: (042)869-3210; E-mail: pws@lca.kaist.ac.kr)

**삼성전자 생산기술센터 (Tel: (0331)200-2466; Fax: (0331)200-2467; E-mail: hckim@srtf.sec.samsung.co.kr)

Abstracts This paper is aimed to develop a very reliable method for automatic inspection of the solder joints on PCBs. There have been lots of previous works using vision technologies, but they can not be used for inspecting BGA, FCA or other newly used devices. Thus we adopt X-ray technologies for solder joint inspection. We put our attention on reconstructing the 3D shapes of solder joints since it gives us the most detailed information on quality of solder joints. Laminography principle is used to reject the interferences from neighboring parts or leads. To verify the effectiveness of laminography, a simulation study is performed in the case of a solder joints on double sided PCB using.

Keywords Solder joint, PCB, X-ray, Laminography, Cross sectional image

1. 서론

1990 년대에 들어서며 전자회로기판의 품질검사 자동화에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 이는 전자회로기판의 집적율이 높아져서 육안에 의한 검사의 한계가 나타났기 때문이다. 특히 납땜부의 접합상태의 품질검사는 육안에 의한 검사에 상당한 어려움이 따른다. 따라서 비전(vision)을 이용하여 납땜부의 외관을 분석하여 양불량을 판별하는 연구가 많이 진행되어 왔다[3,5,6,8]. 그러나 최근들어 사용되기 시작한 BGA(ball grid array), FCA(flip chip array) 등의 표면실장용 부품들은 납땜부가 패키지(package)에 가려져 비전을 이용한 외관검사로서는 품질을 판별하기 어렵다. 그리고 납땜부의 품질이 외관뿐만 아니라 내부의 기포와 균열에 의해서도 좌우되기 때문에 납땜부의 외관이 드러나는 부품들에 대해서도 비전에 의한 방법은 만족할만한 신뢰성을 보이기 어렵다.

이와 같은 배경에서, 의료분야 또는 산업용 비파괴 검사 등에서 사용되는 X선을 이용한 납땜검사 방법이 대두되었다. X선은 가시광선에 비해 투과성이 월등하여, 패키지에 가려진 납땜부와 납땜부 내부의 기포, 균열 등을 가시화하는 것이 가능하다. 따라서 전자회로기판의 납땜부 품질검사에 X선을 도입하면 매우 정확한 검사성능을 기대할 수 있다[2,4].

X선을 이용한 검사방법은 크게 투과식과 단층식으로 구분할 수 있다. 투과식은 물체를 X선에 노출시킨후, 투과되어 나온 X선을 영상화하여 물체의 내부구조 또는 외형에 대한 정보를 구할수 있는 방법이다. 단층식은 검사대상 물체를 향해 여러 방향에서 X선을 조사하여 구한 각 부파 영상을 조합하여 임의의 단층면의 형상을 영상화하는 방법이다.

투과식 방법은 원리는 단순하지만 영상처리를 통해 정보를 추출하는 것이 어렵다. 납땜부 검사의 경우, 리드의 형상이 납

땜부보다 크기 때문에 리드의 간섭을 많이 받는다. 그리고 양면회로기판인 경우에는 검사대상의 반대면에 위치한 납땜부의 간섭을 받아 검사환경에 어려움이 따른다. 그러나, 라미노그래피의 경우에는 원하는 부분의 단층형상을 구하는 것이 가능하므로 리드의 영향이나 반대면의 납땜부 영향을 비교적 적게 받는다.

전자회로기판 위에 위치한 다양한 납땜부들을 몇가지의 영상특징치로 양불량을 판정하는 것은 매우 어려우며, 그 신뢰도 또한 현재 산업현장의 불량률을 만족시키기 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 납땜검사를 위한 가장 정확한 판정기준으로 납땜부의 형상을 그대로 복원하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해, 리드 또는 반대면 납땜부의 간섭없이 납땜부의 형상을 영상화하는 것이 필요하다. 따라서 단층식 X선 영상 취득 방법인 라미노그래피(laminography)를 이용하여 리드와 반대면 납땜부의 간섭을 최소화하고, 구하여진 영상에 X선 감쇄원리를 이용하여 납땜부의 3차원 형상을 복원한다. 그리고 복원된 형상을 원래 영상 및 투과식 방법에 의해 구해진 형상과 비교하고 평가한다.

2. 라미노그래피(laminography) 영상 시스템

2.1 X선 영상의 원리

X선이 임의의 재질 내부를 투과할 때, 투과가 진행함에 따라 X선의 강도 I는 다음과 같이 투과 거리 x에 따라 감쇄한다 [9].

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

여기에서, I₀는 재질에 입사하기 전의 강도이며, μ는 재질과 X선의 파장에 의해 결정된다. 순수한 납 또는 구리와 같이 단

일한 원소로 구성된 피투과 재질이 결정되면, 특정한 파장에 대한 감쇄수 μ 의 값은 이론적으로 결정된다. 그런데 일반적으로 피투과 재질이 여러가지 원소의 화합물 또는 혼합물인 경우가 대부분이고, X선원의 파장분포(spectrum)는 상당히 넓은 범위에 걸쳐 분포한다. 따라서, 감쇄수 μ 는 실험적으로 구한다. 예를 들면, 두께가 x_1, x_2 인 동일한 재질을 통과한 X선의 강도가 I_1, I_2 라면, 감쇄수 μ 는 다음과 같이 구하여진다.

$$\mu = \frac{1}{x_2 - x_1} \ln \frac{I_1}{I_2} \quad (2)$$

그리고, I_0 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$I_0 = I_1 e^{\mu x_1} = I_2 e^{\mu x_2} \quad (3)$$

이와 같이, 감쇄수 μ 와 초기 강도 I_0 가 구하여지면 다음과 같이 X선이 투과하여 진행한 거리 x 를 구할 수 있다.

$$x = \frac{1}{\mu} \ln \frac{I_0}{I(x)} \quad (4)$$

물체를 투과하여 나온 X선의 분포를 영상화하기 위해서는 X선 가시화 장치가 필요하다. 이러한 요소로 X선 형광관 또는 영상 증배관(image intensifier)이 있는데, 그림 1은 영상 증배관을 사용한 X선 영상 취득 방법을 보인다. 점광원에 가까운 X선원에서 방출된 X선에 전자회로기관이 노출되어 있다. 이때 영상화되는 영역은 X선원과 영상 증배관의 입력 스크린(input screen)이 이루는 원뿔 내에 위치한 부분이다. 이 영역 내에서 전자부품과 납땜부 등에 의해 차별화된 X선의 감쇄가 발생하여 영상 증배관에는 이에 따른 X선의 강도 분포가 가시화되는 것이다. 그리고 가시화된 영상이 카메라에 의해 영상 데이터로 변환된다. 그림 2는 이와 같이 형성된 전자회로기관의 X선 투과 영상의 예이다.

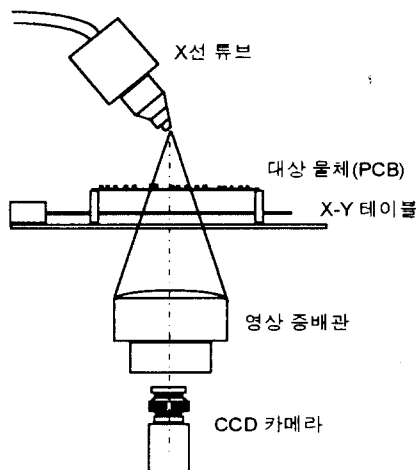


그림 1 X선 영상 취득 장치
Fig. 1 X-ray imaging system

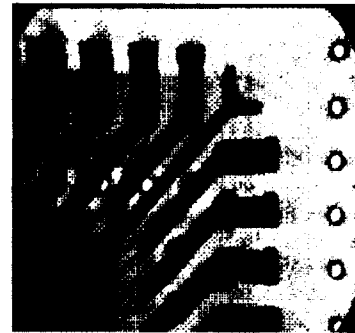


그림 2 J-리드 부품의 X선 투과 영상
Fig.2 Radiographic image of J-lead device

2.2 라미노그래피(laminography)의 원리

라미노그래피는 서로 다른 투과 각도에 의해 얻어지는 여러 영상을 합성하여 원하는 단면의 영상을 추출하는 영상 획득 방식이다[1.7]. 이때 구하고자 하는 단면이 이루는 평면을 초점 평면(focal plane)이라 한다. 그림 3과 같이 X선원의 위치와 각도를 그림과 같이 초점 평면의 법선에 대칭되도록 변화시켜 물체에 입사시킨후 구하여진 두 영상을 보면, A 점, B 점, C 점에 의한 상의 순서가 뒤바뀌는 것을 볼 수 있다. 두 영상의 영상좌표(image coordinate)를 조정하여 B'과 B''이 겹치도록 하면, 나머지 A 점, B 점에 의한 상은 뒤섞이게 된다. 이와 같이 하면, B점뿐만 아니라 초점 평면 위의 모든 점들은 두 영상에서 서로 겹치게 되며, 그의 평면들 위의 점은 서로 뒤섞이게 된다. 이때 X선원의 위치와 각도를 초점 평면의 법선에 대해 대칭이 되도록 일정하게 회전시키면서 여러 위치에서 영상을 중첩하면 초점 평면 위의 형상은 누적되어 선명히 두드러지게 되고, 그외의 평면 위의 점들은 평활화되어 버린다. 이와 같이 임의의 초점 평면 상의 단층영상을 구하는 원리가 라미노그래피이다.

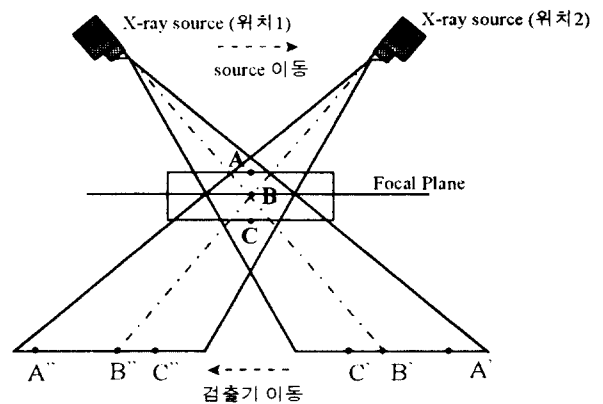


그림 3 라미노그래피의 원리
Fig. 3 Principle of laminography

3. 라미노그래피를 이용한 납땜부 형상 복원

본절에서는 모의실험을 통해, 투과식 영상으로 복원한 납땜부 형상과 라미노그래피 영상으로 복원한 납땜부 형상을 비교

하여 라미노그래피 방법의 효과를 보이고자 한다. 모의실험 대상은 그림 4에 보이는 바와 같은 전자회로기판 표면 위의 납땜부이며, 이러한 대상에 대해 투과식 방법과 라미노그래피 방법을 사용하여 영상을 구하고, 구해진 각 영상으로 납땜부의 형상을 복원하였다.

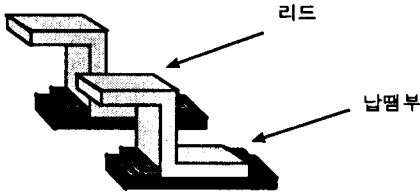


그림 4 모의실험 대상
Fig. 4 Objects for simulation

식(1)을 사용하여 구한 투과식 영상과 라미노그래피 영상이 그림 5에 보이는 바와 같다. 라미노그래피 영상의 X선원은 초점 평면의 법선에 대해 30°의 각을 이루며 회전시키며, 매 회전을 8등분한 위치에서 획득한 8개의 영상을 합성하였다. 합성 방법은 8개의 영상을 산술평균내어 1개의 단층 영상을 결정하였다.

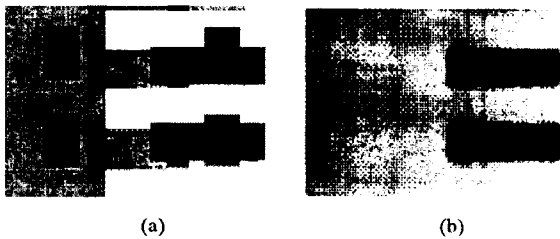


그림 5 양면 기판의 납땜부에 대한 영상 : (a) 투과식 영상 (b) 라미노그래피 영상

Fig. 5 Images of solder joints on double sided PCB : (a) Radiography image (b) Laminography image

투과식 영상에서는 복원하고자 하는 납땜부 외에 리드와 반대면의 납땜부가 간섭되어 나타난다. 그러나 라미노그래피 영상에서는 이러한 간섭이 제거되어 구하고자 하는 납땜부만의 영상이 나타나 있다. 식(4)를 사용하여 두 영상의 납땜부 형상을 구하면 그림 6에 보이는 바와 같다. 투과식에 의한 결과에서는 간섭으로 인해 납땜부의 형상이 상당히 왜곡되어 나타난다. 그러나, 라미노그래피에 의한 결과는 이러한 간섭이 상당히 감소되어 나타남을 볼 수 있다. 높이에 대한 오차로써 영상 오차를 표시해보면 리드 부근과 뒷면의 납땜부 위치에서 발생하는 오차를 볼 수 있다. 이러한 오차가 부피, 평균자승오차(RMS)로써 수치화하여 Table 1에 나타내어져 있다. 측정대상의 납땜부의 부피와 RMS 값은 각각 0.8701 mm^3 와 0.0589 mm 이다.

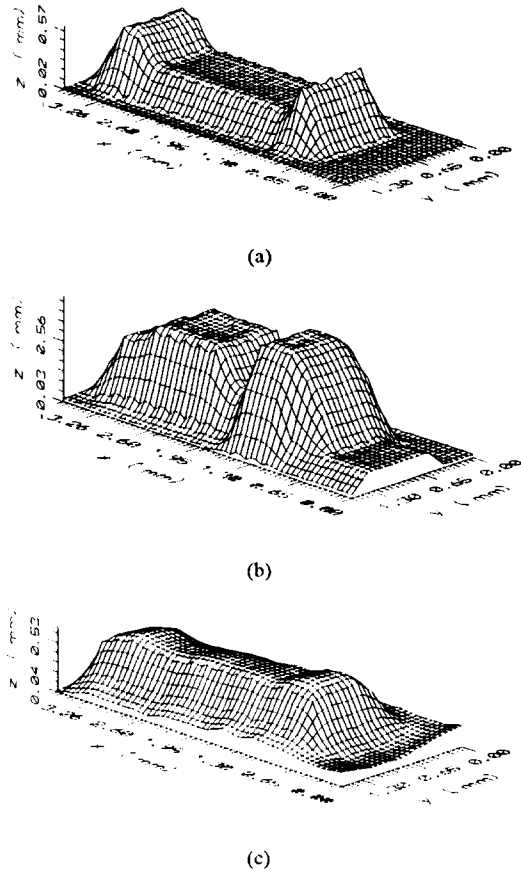


그림 6 납땜부의 원래형상과 측정된 형상 : (a) 원래 형상 (b) 투과식 영상으로 구한 형상 (c) 라미노그래피로 구한 영상
Fig. 6 Original and measured shapes of solder joint : (a) Original shape (b) Shape obtained by radiography (c) Shape obtained by laminography

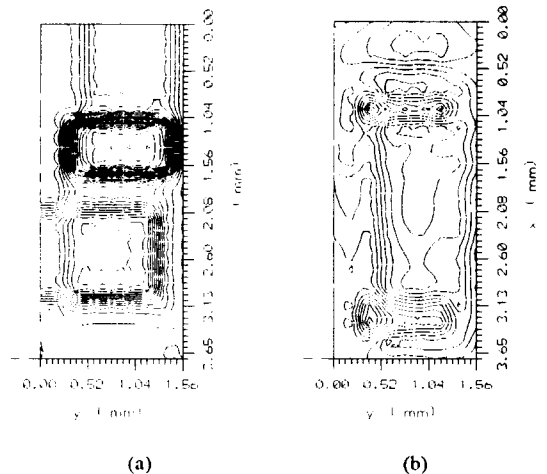


그림 7 오차 분포 : (a) 투과식 결과의 오차 분포 (b) 라미노그래피 결과의 오차 분포

Fig. 7 Error distribution : (a) Error distribution from radiography (b) Error distribution from laminography

표 1 투과식과 라미노그라피의 오차 비교

Table 1 Error comparison between radiography and laminography

	투과식	라미노그라피
부피 오차(mm ³)	4.2754 (491%)	1.0571 (122%)
RMS 오차 (mm)	1.7069 (2900%)	0.0445 (76%)

4. 결론

본 논문에서는, 자동 납땜검사의 신뢰성을 높이기 위한 방법으로 X 선을 이용한 납땜부 형상 측정방법에 대해 연구하였다. 투과식 X 선 영상 획득 방법은 부품의 리드 또는 기판 반대면의 납땜부 등에 의한 간섭을 받기 때문에 라미노그라피를 이용하여 이를 개선하는 것을 목적으로 하였다.

라미노그라피의 효과를 검증하기 위해, 납땜부를 모사한 대상에 대해 투과식과 라미노그라피 방식에 대한 모의실험을 수행하여 그 결과를 비교하였다. 모의실험의 결과로써 라미노그라피를 사용한 방법이 투과식보다 매우 우수한 성능을 보임을 알 수 있었다.

후기

본 연구는 1996 년도 삼성전자의 수탁과제인 “X 선을 이용한 납땜 검사 장치 개발” 연구의 일환으로 진행되었습니다. 이에 관계 제위께 감사드립니다.

참고 문헌

[1] S. Black, D. L. Millard and K. Nilson, “An animated interface for X-ray laminographic inspection of fine-pitch interconnect”, IEEE/CHMT '91, pp. 207-211

[2] P. E. Casey, “X-ray inspection”, Manufacturing systems, July, 1987

[3] A. J. E. Goodall, E. K. Lo, “A review of inspection techniques applicable to PCB manufacturing and assembly, particularly with respect to SMT.”, Advanced Manufacturing Eng. vol.3, pp. 45-53, Jan. 1991

[4] C. D. Goodwin and G. J. Reader, “Real-time, X-ray process control for solder joint integrity”, Proc. of the Technical Program, NEPCON East, June, 1987

[5] J. H. Kim, H. S. Cho, “Neural network based inspection of solder joints using a circular illumination”, Image and Vision Computing, vol. 13, no. 6, pp. 479-490, 1995

[6] J. Mahon, N. Harris, D. Vernon, “Automated visual inspection of solderpaste deposition on surface mount tech. PCBs”. Computers in Industry, vol12, no.1, pp. 31-42, 1989

[7] S. M. Rooks, B. Benhabib, K. C. Smith, “Development of an

inspection process for Ball-Grid-Array technology using scanned beam X-ray laminography”, IEEE Trans. on components, Packing, and Manufacturing Technology - Part A. vol. 18, no. 4, Dec. 1995, pp. 851-861

[8] Y. K. Ryu and H. S. Cho, “Visual inspection scheme for use in optical solder joint inspection system”, IEEE ICRA '96, Minnesota, USA, 1996

[9] 김경애, 이충현, “방사선 투과 검사”, 세진사, 1996