

## 다중 슬릿광을 이용한 3차원 Solder Paste 검사 시스템

### A 3D Solder Paste Inspection System Using Multiple Slit Rays

조 태 훈, 허 병 회

(Tai-Hoon Cho and Byoung-Hweh Huh)

**Abstract :** A 3-dimensional automatic solder paste inspection system is described that can be used to find defects occurring in solder paste printing process. This system extracts height and volume information very fast as well as area of solder paste printed, using multiple slit ray projection and Galvano-mirror scanning. Methods are presented on calibration of camera and slit projector, real-time image processing of multiple slit images, determination of reference height, and extraction of paste height information are proposed. Performance of the system was successfully demonstrated through field tests.

**Keywords :** solder paste inspection, structured lighting, 3D measurement, multiple slit rays

#### I. 서론

최근 PCB 생산 기술의 경향은 전자 산업의 발달로 제품이 경박, 단소화되기 때문에, 부품의 소형화와 SMD(Surface Mounted Device)화, 고집적화가 함께 추구하고 있다. 또한 산업 전반의 자동화 추세와 함께 PCB조립 공정에도 많은 부분이 자동화를 요구하고 있다. PCB자동 조립 공정에 적용된 각 단계의 자동 조립 System의 기능이 부품의 소형화, SMD화, 고집적화에 대응될 수 있도록 계속적으로 고기능화 되고 있다. PCB 조립 생산 공정은 SMD의 경우 Bare PCB 위에 Solder Paste를 입히는 Screen Printer, 부품을 실장하는 SMD 장착기, 납땜을 수행하는 Reflow Oven으로 이루어져 있다. Screen Printing공정은 SMT(Surface Mount Technology) 조립 공정의 기초이며 최종 제품의 결함의 대부분이 이 공정에서 비롯되기 때문에 매우 중요한 공정이다. 특히 Lead의 Fine Pitch화 현상과 함께 BGA(Ball Grid Array) Package가 실용화, 보편화되고 있는 추세에 따라, Solder Paste 인쇄상태 검사의 중요성은 더욱더 부각되고 있다.

Solder Paste의 검사 기법은 특정한 Pad의 높이를 검사하는 Point Laser 측정 방법 및 전체 Pad의 검사를 위한 2-D 영상 처리 기법, Solder Paste의 성분 밀도를 측정하는 X-Ray 기법, 그리고 전체 Pad의 양, 높이, Coplanarity를 측정하는 검사인 3차원 정보를 이용하는 기법 등이 있다. Solder Paste의 인쇄 과정에서 발생하는 결함과 그 결함의 발생률과 다음 공정에 미치는 영향을 고려하면 Solder Paste의 검사 항목과 검사에 대한 효율성은 매우 중요하다. Solder Paste 인쇄 공정은 매우 복잡하고 Solder Paste의 합성과 처리, 환경 조건, 형판(Stencil), 압착(Squeeze), PCB 상태, Screen Printer의 압력, 속도 등과 같은 상호 작용하는 변화요인이 많이 있다.

또 실제 공정의 통계에 따르면 25%의 Paste의 가감이 Solder Joint 결함의 가능성을 가장 많이 증가시키고 있다고 한다. 또한, Solder Paste 결함 중에서 Solder Paste의 양(부피)에

대한 결함(과소/과다)이 약 60% 정도로 가장 많이 발생된다 [1]-[3]. 따라서 효율적인 검사가 이루어지기 위해서는 Paste의 양을 측정하는 방식이 검사의 중심 기술이 되어야 한다. 그래서 현재의 Solder Paste 검사 기술은 부피를 검사하는 방식에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다[4]-[6].

Solder Paste의 일반적인 검사 방식을 분류하면, 검사 정보를 기준으로 2차원 그레이 영상과 3차원 높이 정보 영상으로 나눌 수 있다. 2차원 그레이 영상을 이용한 방법은 여러 가지 조명으로 검사를 수행하는데, 형광Ring, Halogen Lamp, Color 조명 등 다양한 조명으로 연구 개발하고 있다. 그러나 이러한 2차원 입력 정보의 검사 방식은 인쇄 불량률의 많은 부분을 차지하는 Paste의 부피 검사를 하기가 어렵다.

따라서 3차원 측정을 통한 Solder Paste의 높이와 부피 및 인쇄상태의 균일도 등을 측정하는 것이 가장 정확하고 효과적인 검사이다. Paste의 높이와 부피를 분석함으로써 Solder Printer의 Setup시에 필요한 Feedback 정보로 삼을 수 있으며 다양한 인쇄의 변화 요인과 PCB의 변화에 능동적으로 대처할 수 있는 장점이 있다. Paste의 높이정보를 측정하는 방식에는 크게 Point Laser Sensing 방식, Slit Laser Sensing 방식, Pattern광 주사방식으로 나눌 수 있다. 본 연구에서 사용되는 Slit Laser 투사 방식을 비롯한 3차원 측정의 여러 방법을 분석하면 다음과 같다.

#### 1. 점광원

높이 정보를 이용하는 방식 중에서 가장 간단한 방법으로 Laser와 같은 조명을 이용하여 밝은 Spot을 Solder Paste에 주사하여 반사되어 나온 광의 위치를 검출하여 높이를 측정한다. 광의 위치를 검출하는 소자로서 PSD(Position Sensitive Detector)가 사용되고 있는데 이것은 삼각측량 방식의 기본 원리를 지닌 위치 검출 소자이다. PSD를 이용하여 Solder Paste의 인쇄상태를 검사하는 System은 이 PSD를 X-Y축으로 이동시키는 X-Y 구동부가 성능에 영향을 끼치는 중요한 구성 요소이다. 깊이 정보의 정도와 분해능은 이 PSD에 따라 좌우되지만 X-Y축의 정도와 특성은 전적으로 X-Y Table에 달려 있기 때문에 Solder Paste의 검사 특성에 맞게 선택하여야 한다. 즉 이 센서를 사용하는 방식은 X-Y 구동부의

영향을 상당히 받는 방식이다[7].

2. Slit 광원

점광원 방식의 느린 계측 속도를 극복할 수 있는 방식이 Line에서 정보를 취득하는 Slit 광 투영 방식이다. 이 방식은 점광원 대신에 한 Line을 투영하여 Line 단위로 정보를 얻기 때문에 보다 빠르게 높이를 측정 할 수가 있다. Slit광이 투영된 지점에서만 좌표 값을 얻기 때문에 Slit 광의 간격이 작아질수록 검출 분해능이 높아지고 Slit 광의 간격이 커지면 커질수록 분해능은 떨어지는 반면 검출 속도가 빨라진다. 즉 계측 정도와 속도가 반비례하는 관계를 지닌다. 그림 1 (a)에 Slit 광원을 생성시키는 Line Projector와 이 Line Projector를 이동시키는 회전부인 Galvano-Mirror가 구성되어 있다. 이 구성으로 얻어진 Slit 영상이 그림 1(b)이다. 그림에서 광절단선과 Solder Paste의 길이 방향과 직각으로 형성되어 있다.

3. Pattern 광

Slit광을 이용한 방법은 분해능과 속도가 반비례하는 관계를 지닌다. 이러한 결점을 보완하는 방식이 Pattern 광원 투사 방식이다. Pattern 광원을 투영하는 방식 중에서 가장 일반적인 것이 공간 부호화 Pattern의 투영이다. 이 방식은 카메라가 얻는 영상의 전체에서 높이 정보를 취득하기 때문에 고속으로 검사를 수행할 수가 있다. LCD Projector를 이용하여 다양한 Pattern을 생성할 수가 있고 고속으로 변환시킬 수가 있다. 그림 2는 Pattern Projector와 Pattern의 투영으

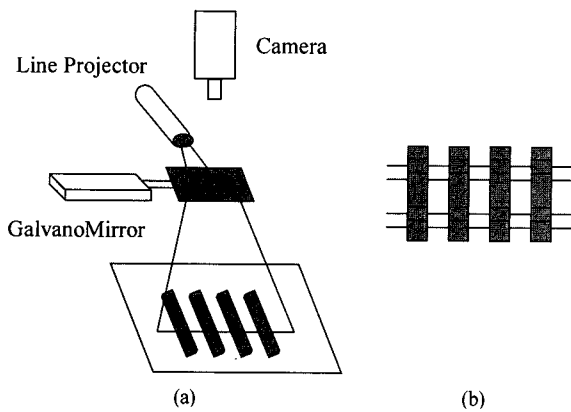


그림 1. Slit 광을 이용한 높이 측정 구성도.  
Fig. 1. Height measurement configuration using slit rays.

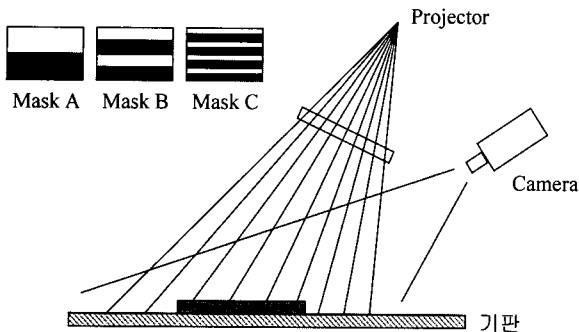


그림 2. 공간 부호화 Pattern 투영.  
Fig. 2. Space coded pattern projection.

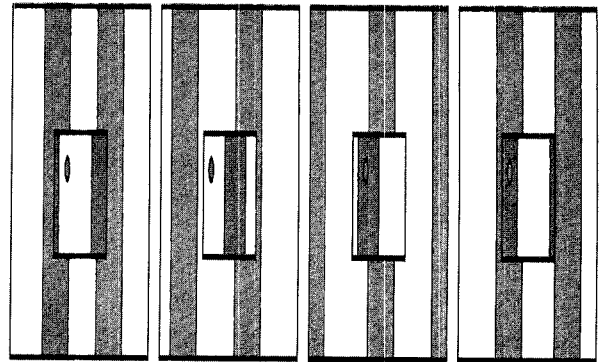


그림 3. 공간 부호화된 Solder Paste의 영상.  
Fig. 3. Space coded image of solder paste.

로 공간이 부호화되는 모습을 보여 준다. 그림에서 PCB 위에 상측에서 Slit 모양의 복수개 광 Pattern을 조사하면 CCD Camera가 영상을 획득한다. 이 부호화된 Solder Paste의 영상은 그림 3에 나와 있다. 이 Pattern 광 투영 방식은 빠른 시간으로 카메라 영상의 전체에서 높이 정보를 취득하는 장점이 있으나 미소형상을 투영할 수 있는 광학 구조를 구성하기가 힘들며, Pattern 사이 사이에서 생기는 잡음때문에 아직까지 고정밀 검사를 할 수 있는 충분한 정밀도를 이루지 못하고 있다[7].

본 연구는 Solder Paste의 높이 정보에서 면적, 부피, 높이 등을 산출하여 Solder Paste의 인쇄상태를 검사하는 시스템의 개발에 관한 것이다. 본 연구에서 제안하는 높이를 측정하는 방식은 다중 Slit 광의 각도를 조절할 수 있는 Galvano-Mirror로 원하는 검사 영역을 Scan한 후 삼각측량방식을 이용하여 구하는 방식이다. 단일 Slit을 사용할 때 생기는 저해상도 문제를 극복하기 위하여 본 연구에서는 다중 Slit광을 사용함으로써 측정 시간과 분해능의 문제를 해결하려고 한다. 다중 slit의 투영 방식은 각각 Slit이 측정 대상에서 생기는 간섭으로 인해 입사각과의 일치가 어렵기 때문에 회피하는 투영 방식인데 본 연구에서는 Solder Paste가 복잡한 형상이 아니고, 입사각에 순서적으로 반사된다고 볼 수 있는 일반적으로 고른 평면의 형상을 지니고 있기 때문에 Matching의 어려움이 없다고 할 수 있다. 따라서 높이 측정에 가장 효율적인 삼각 측량 방식의 원리를 이용한 다중 Slit 투사 방식으로 Solder Paste의 높이를 측정하여 Paste의 인쇄상태를 검사하는 시스템을 개발하는 것이 본 연구의 목표다.

II. 높이 정보측정

1. Calibration

3차원 정보를 획득하기 위해서는 Camera Calibration과 Slit Projector Calibration을 하여 시스템 Parameter를 구해야 한다. 시스템 파라미터는 Camera와 Projector가 이루는 광학계를 수식으로 Modeling하는 것으로 3차원 공간에서의 1점은 1장의 평면과 1 개의 직선의 교점이라는 원칙에서 출발한다. 이 Calibration은 공간의 크기, 형태, 측정 환경, 광학계의 구성, Lens등에 따라 변하므로 정확한 보정이 필요하다. 영상 좌표 Xc, Yc와 실세계 좌표 X, Y, Z의 카메라 Calibration Parameter는 (1)과 같다[7].

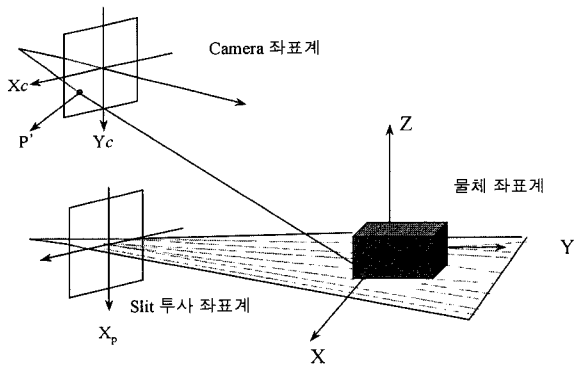


그림 4. 물체 좌표계, 카메라 좌표계, Projector 좌표계의 관계.  
Fig. 4. Object coordinates, camera coordinates, and projector coordinates.

$$\begin{bmatrix} HcXc \\ HcYc \\ Hc \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C11 & C12 & C13 & C14 \\ C21 & C22 & C23 & C24 \\ C31 & C32 & C33 & C34 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

그리고 Slit 광은 Spot광이 연속적으로 된 것이라고 할 때, Slit 투사 좌표(Xp)는 Slit광에 수직인 방향의 좌표만을 택하면 (2)와 같은 Projector Parameter를 가진다. 그림 4는 측정 대상의 카메라 좌표계, Projector의 좌표계를 나타낸 것이다.

$$\begin{bmatrix} HpXp \\ Hp \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P11 & P12 & P13 & P14 \\ P21 & P22 & P23 & P24 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

따라서 3차원 정보를 구하는 것은 그림 4와 같이 임의의 대상물에 슬릿광을 투사하고, 이때의 각 점에서의 Slit 투사 좌표(Xp)와 영상 좌표(Xc, Yc) 그리고 Calibration을 통해 구한 시스템 파라미터로부터 대상물의 3차원 정보를 취득한다.

2. Slit 광 투사방식

Solder Paste의 높이 정보를 측정하기 위한 검사 Sensor Header는 Slit 영상의 생성과 취득의 부분으로 이루어져 있고, 또한 Gray 영상을 이용하여 위치에 관련된 검사를 할 수 있도록 LED 조명이 장착되어 있다. 3차원 측정을 위한 부분은 Slit Projector, Galvano-Mirror, 반사경 등으로 이루어져 있다. Slit Projector에서는 3개의 다중 Laser Slit이 주사되고 있다. 그리고 다중 slit 영상 획득을 위하여 카메라가 위에 부착되어 있다. Sensor Header의 내부 구성 상태는 그림 5에 있다.

그림 5를 보면 주사축이 2개로 이루어져 있다. 이것은 Fine Pitch화 되고 있는 추세에 따라 Solder Paste의 폭이 좁아지고 있는 현상에 대응하기 위한 것이다. 즉 Paste의 인쇄 방향에 따라 Slit Line을 주사하여 직각 방향과 같은 해상도로 측정할 경우 Paste의 높이에 대한 정보는 희박하게 된다. 따라서 고밀도의 해상도보다는 빠른 검사 속도를 위하여 최소 한도에 가까운 해상도를 유지하면서 PCB의 X, Y의 각 축에 따라 주사를 다르게 하여 정보를 취득하는 방식을 사용하였다. 그림 6은 본 시스템의 Laser Slit Beam의 경로이다. Laser Beam은 경로가 길어지면 Slit의 폭이 두꺼워지기 때문에 정보의 정밀도는 물론 해상도가 심각하게 떨어지는 요인이 된

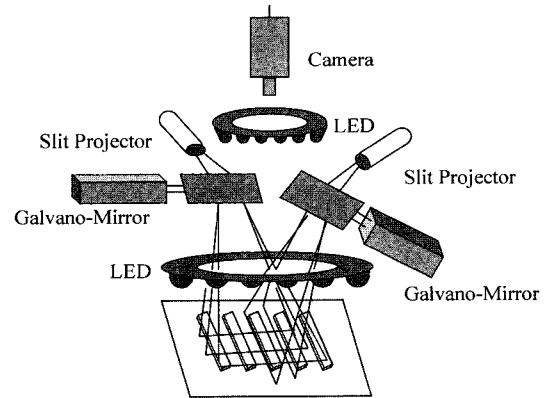


그림 5. Solder Paste 검사 Sensor Header.  
Fig. 5. Solder paste inspection sensor header.

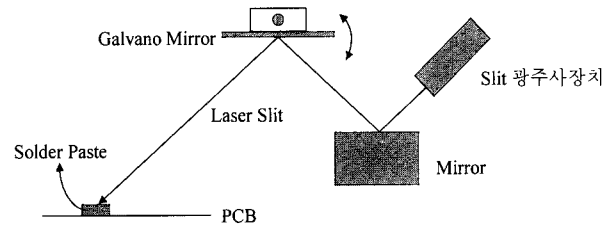


그림 6. Laser Slit의 주사 경로.  
Fig. 6. Path of laser slit ray.

다. 따라서 Laser Beam의 경로는 가능한 짧게 하는 것이 본래 발생된 Laser Beam의 성능을 충분히 활용하는 것이 된다.

3. Laser Scanner와 다중Slit광

Laser Scanner의 구성은 Galvano-Mirror와 Laser Beam과 직각으로 Mirror가 Galvano-Mirror의 회전축에 부착되어 있다. Mirror가 제어되는 방향에 따라 Camera의 FOV(Field of View)내에 있는 Laser Beam에 대한 Solder Paste의 높이를 추정하게 된다. 따라서 Scanner와 Camera와의 수학적 모델링이 필요하고 Scanner의 내외적인 변화 요소들을 측정해 주어야 한다. 내부적인 요인으로서 발생하는 Mirror의 고정 위치와 무게, Galvano-Mirror의 전압에 의한 Mirror의 회전 관계 등을 고려해야 한다. 그리고 외부적인 변화 요인으로 생기는 Laser Scanner의 위치와 좌표계와의 관계를 설정해야 한다. 따라서 다중 슬릿광에 대한 Calibration이 필요하며, 다중 Slit광의 Calibration 과정은 다음과 같은 순서대로 이루어진다.

3.1 다중 Slit의 위치 고정 및 주사영역 결정

PCB의 검사 시에 생성되는 검사 영상에서 3개의 Slit이 투광 된 후 얻어진 영상을 3개 Window로 나누어 정의하였다. 각 Slit은 해당 Window내에서만 Galvano-Mirror에 의한 주사가 이루어져야 하며, 주사슬릿과 Window의 위치 관계, 슬릿의 주사 영역과 Window의 크기, 그리고 슬릿과 Window의 평행 관계 등의 변화 요인에 대해서 몇 가지 원칙을 가지고 위치를 고정하여야 한다. 위치가 고정된 후 Slit영상으로부터 Slit의 시작점에 대한 정보를 구한다. 그리고 이 시작점부터 그 다음 Slit의 시작점까지가 주사 영역이 되며, 3개의 Slit의 주사영역 중에서 가장 큰 이동영역이 실제 주사하는 영역이 된다.

3.2 Scanner 각도 이동

초기에 Scanner을 설치할 때 고려해야 하는 각도 이동 파라미터는 일정한 이동 각도와 이동에 대한 2차원 영상의 좌표이다. 각도 이동은 각 Slit과 미러의 구성상태에 따라 결정되는데, 처음 헤더를 구성한 후 수행한 Scanner와 다중광의 파라미터 캘리브레이션 과정에서 각도 이동 보정 기준치가 결정된다. 따라서 Scanner와 다중광의 파라미터에 따라 각도를 보정하며 이동한다.

3.3 중심점 추출

다중 Slit 광이 주사 된 후 얻어진 Slit 영상에서 각각 Slit의 중심선을 추출하여야 한다. 이 중심선은 가중치 무계중심 추출 방법을 사용하여 아래와 같은 식으로 구해진다.

$$\bar{I} \approx \frac{\sum_a^h F(D) \times I}{\sum_a^h F(D)} \quad (3)$$

- I : 픽셀위치
- $\bar{I}$  : 중심점
- F(I) : I위치의 영상 밝기

그러나 실제로 Slit 영상의 인쇄 영역 테두리에서 Slit Line이 갈라지거나 흐려지기도 한다. 그림 7처럼 Slit 영상이 가장자리에서 갈라져 있다. 이러한 현상 때문에 인쇄 영역의 테두리 주위의 위치에서 구해진 중심점은 Error Data가 될 확률이 매우 높다. 인쇄 영역의 테두리에서 발생하는 문제를 해결하기 위하여 본 연구에서는 검사 구간 내에 있는 모든 Slit에 대한 영역을 찾아 Scan 축 방향과 Pad의 시작과 끝 지점의 정보를 이용하여 가장 긴 것을 선택한 후 중심점을 찾는 알고리즘을 제안한다. 인쇄 가장자리 잡음 영상에서 중심점을 추출한 영상이 그림 7이다.

3.4 Calibration Data 분석 및 생성

각각 주사된 Slit의 영상에서 각도에 대한 2차원 영상 좌표의 변화를 분석해야 한다. 이 변화는 다중광의 중심 위치와 Mirror의 반사 위치 그리고 다중광의 투광 형태에 따라서 발생된다. 다중광의 구성 상태에 따라 각 Slit의 이동각도와 주사위치는 각각 비선형적으로 이루어진다. 따라서 다중광 검사 헤더를 구성한 후, 그 구성 상태에 대한 Scanner와 다중광에 대한 각도 보정 파라미터를 구한다. 이 파라미터로부터 주사 각도의 보정과 주사영역을 결정할 수가 있다.

III. 검사시스템

1. 검사항목

Solder Paste의 검사는 LED조명을 사용하여 얻은 Gray 영상에서 위치에 관련된 특징을 추출하여 데이터베이스와 비

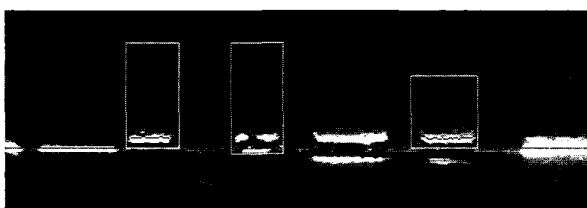


그림 7. 인쇄 가장자리에서 중심점 추출.  
Fig. 7. Centroid extraction in solder paste edge.

표 1. Solder Paste 검사항목.

Table 1. Solder paste inspection items.

항목 분류	세부 검사 항목
위치	Bridge, 이동
Coverage	면적, 미도포, 굽힘(얼룩)
높이	체적, 균일성, 파/소

교 검사하는 2차원 검사, 즉 위치와 Coverage에 대한 검사가 있으며 Laser Scan후 얻은 3차원 정보를 이용하여 부피 및 높이의 특징을 비교 검사하여 처리하는 높이 관련 검사가 있다. 이 두 가지 검사의 각 항목을 표로 분류하면 표 1과 같다.

2. System 구성

Solder Paste 검사장치는 크게 기구부와 제어부로 구성되며, 기구부와 제어부는 PCB의 반송, PCB고정, Camera 이동 및 선택 등의 일련의 구동 및 구동 감지기능을 구현하기 위한 Manipulator 및 제어 시스템들과 CCD Camera로부터 얻어진 PCB상의 영상정보를 취득, 분석하는 영상 처리 시스템들로 이루어진다. Solder Paste 검사 장치의 제어부는 Slit 광 조명 제어 및 영상 취득을 위한 제반 제어 장치들과 검사 Header의 이동을 위한 X-Y Table의 구동 제어용 Motor 제어 장치들, 그리고 PCB의 인입과 배출을 위한 Conveyor 구성 장치들을 구동하기 위한 제어 장치들로 이루어져 있으며 전체적인 구성은 다음 그림 8과 같다.

3. 측정 및 검사

3.1 LED 조명에 의한 검사

LED조명에 의한 검사 내용은 인쇄 위치와 도포 상태에 관한 것이다. Solder Paste는 점성이 있는 Paste와 Solder가 혼합되어 있기 때문에 조명에 의해 산란보다는 반사를 일으킨다. 이러한 영상정보를 살펴보면 그림 9와 같이 여러 가지 인쇄 상태에 따라서 각각 다른 농담치를 가지고 있다. 따라서 위치에 관한 검사는 실장 기관의 Pad표면에 인쇄된 Solder Paste를 CCD Camera를 통하여 영상을 획득한 후, 전처리 과정과 Solder Paste의 위치 정보를 추출하여 Paste의 위치 인쇄상태를 검사한다. 검사 흐름도는 그림 10과 같다.

3.2 높이측정

본 시스템에서 사용하는 Laser 조명은 다중 Slit Laser이다. Laser Slit을 이용한 방식의 Solder Paste 높이 측정 원리를 살펴보자. 다중 Slit이 기본면에 주사 된 후, 카메라에서 얻어진 각 Line의 영상에서 최소 단위인 Pixel을 Slit Line의

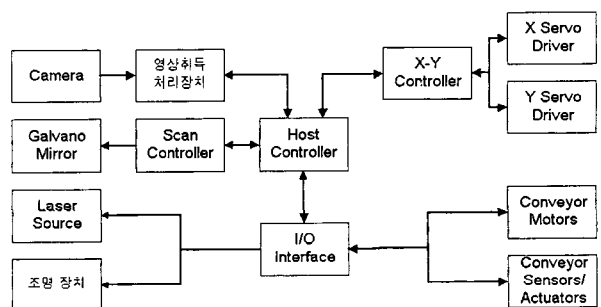


그림 8. Solder Paste 검사장치 제어부 구성도.  
Fig. 8. Controller configuration for solder paste inspection.

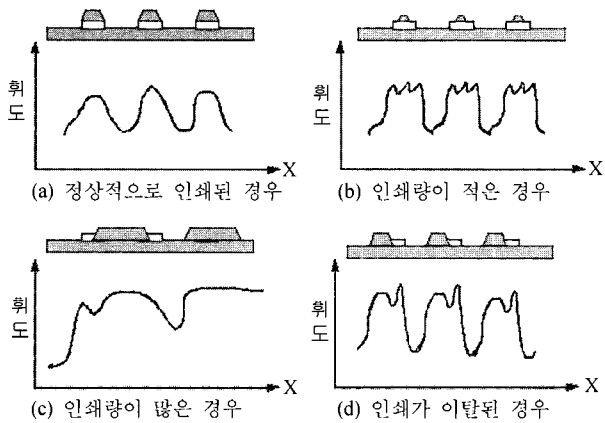


그림 9. Solder Paste의 인쇄상태와 영상의 휘도 분포와의 관계.

Fig. 9. Relation of solder paste printing quality and solder paste image's gray levels.

한 성분, 즉 Point 광이라고 볼 수 있다. 이때 Laser Spot은 그림 11에 있는 Xc가 된다. 그림 11은 Point Laser Beam이 주사되었을 때 하나의 Spot을 고려한 삼각측량법의 3차원 측정의 간단한 구조이다. 여기서 Xc는 Laser가 물체가 없을 때 즉 원래의 기준면에 맺히는 위치이고 Xd는 실제 물체에 맺혀 생기는 위치이다. 일정한 각도에 의해 생길 수 있는 Xc의 위치는 Laser Scanner Calibration Data에서 구할 수 있으며 물체 위에 맺힌 Xd의 위치는 Camera의 영상에서 찾을 수가 있다. 따라서 기준면에서 Mirror까지의 높이를 H라고 했을 때

$$\beta = \tan^{-1}(H/x) \quad (4)$$

이 성립하므로, 물체의 절대 높이인 h1는 다음과 같이 구해진다.

$$h1 = \Delta x \times \tan(\beta) \quad (5)$$

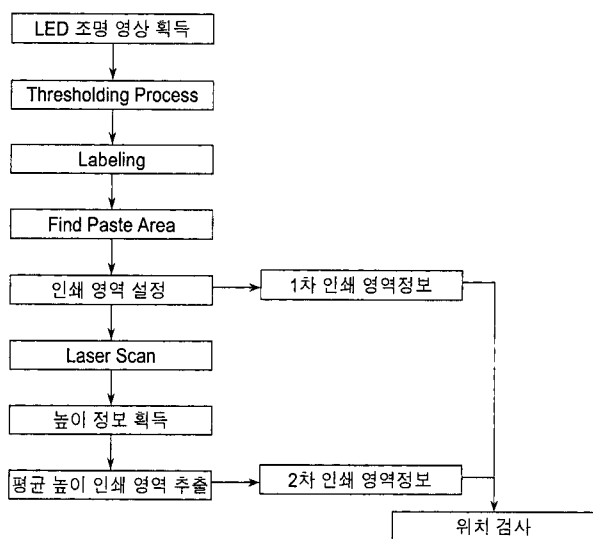


그림 10. 영상 처리에 의한 인쇄상태 검사 흐름도.  
Fig. 10. Flowchart of solder paste inspection by image processing.

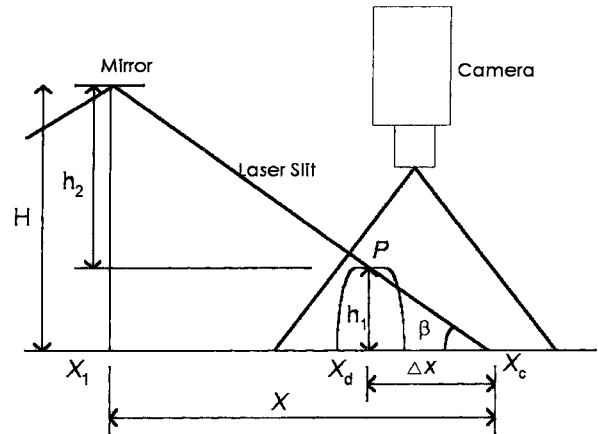


그림 11. Spot Laser의 3각 측량 구조.  
Fig. 11. Triangulation measurement by spot laser.

따라서 Solder Paste의 높이는 PCB위에 주사된 Slit Laser의 위치와 Paste위에 주사된 위치의 차이가 각 Line의 각도 위치에 따른 비율로 변하게 된다. 위의 식에서 각도성분의 계산은 미리 알고 있는 시료를 이용하여 Look Up Table을 작성한다.

### 3.3 높이검사

Solder Screen Printer의 초기 Setup시에 발생하는 Paste의 높이 불균형, Screen Mask의 변형과 인쇄하는 압력에 따라 발생하는 높이 변화를 검사하기 위해서 높이를 측정해야 한다. Paste 높이는 Laser Slit이 주사된 후 Pad 밑면에서 인쇄된 Paste까지의 높이가 영상에 변이 좌표로 나타난다. 여기서 높이의 변이는 Paste의 인쇄 상태에 따라 생기지만 PCB의 상태 조건에 따라서도 생긴다. PCB의 상태 조건에 따라 생기는 높이 변형의 유형과 높이 기준점이 될 수 있는 후보지 결정이 높이 검사의 가장 중요한 요소로 작용한다. PCB 자체의 원인에 의해 발생하는 높이의 변형 원인은 다음과 같다.

- PCB마다 휨 상태가 다르다.
- Clamping에 따라 다르다.
- PCB의 색과 Substrate에 따라 다르다.
- Pad의 변형

다양한 PCB자체의 변형에 대응할 수 있는 높이의 기준점이 되는 후보지는 Copper, Solder Pad, Traces, Board, Mask, Silk 등이 있다. 전체 PCB를 Scan한 후 얻어진 높이 정보에서 각 검사부분에 대한 높이 정보의 통계적인 처리와 곡률 분포로부터 앞에서 언급한 높이의 기준 위치들이 결정된다. 본 연구에서는 순수 Board가 있는 부분에서 생성되는 Slit의 균일성을 통계적으로 처리하여 높이의 기준점을 삼는다. 결국 높이와 부피에 대한 정보는 이 높이 기준점으로부터의 정보가 되는 것이다. 그림 12는 Solder Paste가 인쇄된 영상이다. 그림 12영상에서 다중 Slit광을 Scan한 후 얻어진 높이 Profile 영상이 그림 13이다. 학습에서 정해진 검사 영역 내에서 Scan이 이루어진다. 그리고 그림 14는 높이 영상에서 Solder Paste가 인쇄된 영역을 추출한 것이다. 다중 Slit광을 주사함으로써 얻어진 충분한 높이 정보 해상도로부터 Paste가 인쇄된 영역을 정확하게 추출하였다. 그림 15는 Paste 높이 정보를 3차원으로 표현한 것이다. QFP(Quad Flat Package)

IC의 각 Lead에 대한 높이가 명확히 그려지고 있다. 이러한 높이 측정과정을 통하여 얻어진 3차원 정보를 이용하여 높이의 정보와 부피를 산출하여 기준치와 비교하여 검사를 수행한다.

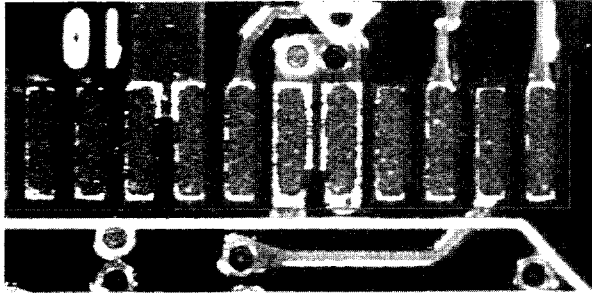


그림 12. Solder Paste가 인쇄된 영상.  
Fig. 12. An image of solder paste printed.

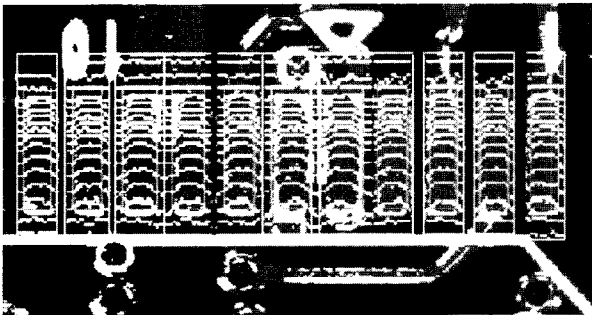


그림 13. 다중 Slit 광이 주사된 후 얻어진 높이 Profile영상.  
Fig. 13. A height profile image after multiple slit ray projection.

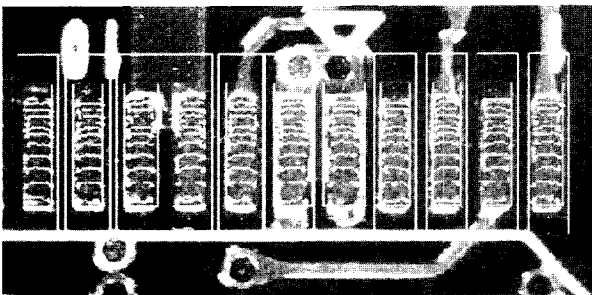


그림 14. 높이 영상에서 얻어진 Solder Paste 인쇄 영역 영상.  
Fig. 14. Solder paste printing area obtained from height profile image.

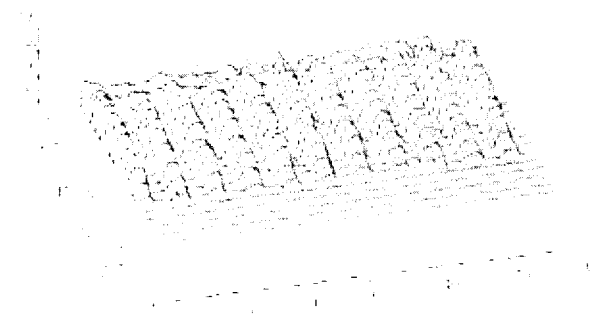


그림 15. Solder Paste의 높이 측정 결과.  
Fig. 15. Results of solder paste height measurements.

IV. 실험 및 성능 고찰

본 연구에서 개발된 다중광 Slit 주사장치와 제어 그리고 높이 측정 알고리즘을 Solder Paste 검사장치에 구현하였다. 검사장치의 측정과 검사 성능을 Test하기 위하여 PCB조립 생산Line에 투입하여 수개월 동안 Field Test를 거쳤다. 그리고 정확한 성능을 검증하기 위하여 다음과 같은 Laser Sensor인 측정 기준기와 본 개발의 측정 데이터와 비교 검증하였다.

기준 측정기로서 사용된 측정센서는 일본 Anritsu사 KL135B의 Point Laser Sensor이며 이 센서의 측정 정밀도는 6 $\mu$ m이다. Laser Sensor로 측정시 PCB면이 경면이기 때문에 측정값의 변화가 Pad의 가장자리에서 심하게 나타났다. 따라서 변화가 거의 없이 정확하게 측정되는 Slik를 기준 Pad 근처에서 기준위치로 설정하고 기준위치인 Silk와 Pad를 함께 포함되는 Scan 범위를 설정후 측정을 수행하였다. 따라서 기준 측정기의 높이 측정치는 PCB Base의 기준위치가 되는 Silk 부분과 Pad위에 인쇄된 Paste의 위치와의 거리이기 때문에 본 연구에서 개발된 검사장치의 측정치와 비교를 할 때는 정규화를 시킨 후 비교하였다. 수개월 동안 측정 비교한 결과가 표 2에 있다. 그리고 그림 16은 기준측정장치의 측정값과 검사기 측정값의 비교를 그래프로 표현한 것인데 거의 비슷하게 측정되고 있다. 인쇄된 Paste의 두께는 일반적으로 200 $\mu$ m 정도이다. 따라서 14 $\mu$ m 정도의 측정분해능은 Paste를 검사하기에 우수한 분해능이며 기준값과의 최대 차이는 -40 $\mu$ m~46 $\mu$ m로서 전체 Paste 높이의 약 20% 정도이다. 이 정도는 검사 기준오차에서 크게 벗어나지 않으므로 검사하기에는 무

표 2. 기준 측정기와의 비교.

Table 2. Comparison with a reference measurement system.

측정 항목	측정값
기준값과 최대 차이	-40 $\mu$ m~46 $\mu$ m
평균 오차	14 $\mu$ m

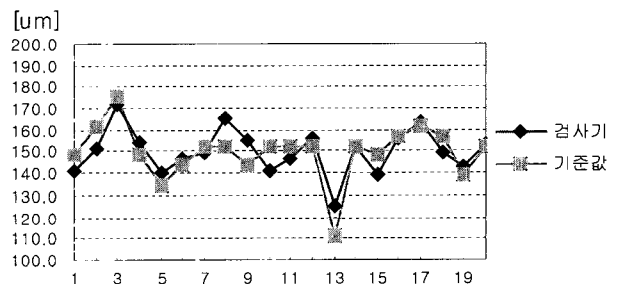


그림 16. 기준측정장치의 측정값과 검사기 측정값의 비교.  
Fig. 16. Comparison with measurement values of a reference measurement system.

표 3. 검사 시스템의 성능.

Table 3. Performance of the inspection system.

항 목	성 능
높이 측정 반복 정밀도	18 $\mu$ m
높이 측정 시간	1500pixels/33ms
전체 검사 속도	15~30Pads/sec

리가 없는 데이터이다.

개발된 시스템의 성능은 표 3에 나와 있다. Camera의 FOV는 약 9mm이며 여기서 얻어진 높이의 반복 정밀도는 18 $\mu$ m 정도로 측정되었다. 그리고 Paste의 높이 정보를 취득하는 속도는 영상 Frame Rate로 처리가 가능하여 한 영상을 처리하는데 약 30ms가 걸린다. 따라서 30ms 동안에 한 장의 영상 Frame에서 얻어지는 높이정보의 수는 3개의 라인에서 얻기 때문에 약 1500점이 된다. 전체적인 검사속도는 15~30 pads/sec로 현장에서 on-line 적용할 수 있는 빠른 속도이다.

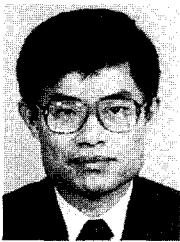
### V. 결론

본 연구는 PCB 조립 생산 공정의 검사 공정의 하나인 Solder Paste 인쇄 상태 검사시스템을 개발하는 것이다. PCB 조립 공정에서 발생하는 납땜의 불량 중에서 Paste 인쇄의 불량 원인에 의해 발생하는 것이 가장 많으며, 이 납땜 불량을 납 인쇄 후 부품 장착 전에 원천적으로 검사하는 것이 필요하다. Paste검사 중에서 위치나 도포상태도 중요하지만 납의 과소를 검사하는 것이 제일 중요하며, 납의 과소 측정 은 인쇄 부분의 크기와 높이를 측정하여 부피를 구함으로써 가능해진다. 본 검사 시스템은 2D 영상인식 기법을 이용하여 인쇄의 위치와 상태를 검사한 후, Paste의 높이 측정을 위해 가장 효과적인 방식인 Slit광을 이용하였으며, 높이 측정 속도를 높이기 위해 다중 Slit을 사용하였다. 다양한 변화 요인을 지니고 있는 PCB 영상에서 높이 정보를 취득함으로써 면적과 위치정보만을 가지고 검사하는 2D방식의 한계를 넘

어 부피 정보를 이용한 방법으로 Solder Paste의 인쇄상태를 성공적으로 검사하였다. 그리고 본 검사 시스템이 안정적으로 동작하기 위해서 실제 PCB 조립 생산 공정에 투입되어 충분한 Field Test를 통하여 유용성을 검증하였다.

### 참고문헌

- [1] David J. Clark, "Solder paste process control," *Circuit Assembly*, Jan., 1995.
- [2] Chuck Gamble, "3-D laser inspection technology," *SVS Technical Reports*, 1995.
- [3] Charles-Henri Mangin, "Where quality is lost on SMT boards," *Circuit Assembly*, Feb., 1991.
- [4] S. F. Krmani and G. D. Foote, "Solder paste critical parameter measurement in surface mount boards using model-based vision processing techniques," *Proc. Applied Machine Vision '94*, Society of Manufacturing Engineers, Minneapolis, Minnesota, June 6-9, 1994.
- [5] L. di Stefano and F. Boland, "Solder-paste inspection by structured light methods based on phase measurement," *Proc. SPIE vol. 2899, Automated Optical Inspection for Industry*, pp. 702-713, 1996.
- [6] J. L. Horijon, F. C. Couweleers, and W. D. van Amstel, "Large-scale high-resolution 3D laser scanner for solder-paste inspection," *Proc. SPIE, vol. 2774, Design and Engineering of Optical Systems*, pp. 526-534, 1996.
- [7] 吉澤 徹, 光 三次元計測, 新技術コミュニケーションズ, 1999.



조 태 훈

1958년 8월4일생. 1981년 서울대학교 전자공학과 학사. 1983년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사. 1991년 Virginia Polytechnic Institute & State University 박사. 1992년~1998년 LG산전 연구소 책임/수석 연구원.

1998년~현재 한국기술교육대학교 정보기술공학부 조교수. 연구분야 : 컴퓨터비전, 영상처리 및 해석, 패턴인식, 신경망.



허 병 회

1964년 5월 27일생. 1988년 한양대학교 전자통신공학과(공학사). 1990년 한양대학교 전자통신공학과(공학석사). 1999년 LG산전연구소(책임연구원). 2001년~현재 ㈜알티솔루션 대표이사. 관심분야는 RTOS, Embedded System, Machine Vision, Network.