

## OSP 표면처리된 PCB 볼 패드용 CIELAB 색좌표 기반 검사 시스템

이한주<sup>1</sup> · 김창석<sup>2,†</sup>

<sup>1</sup>부산대학교 차세대기판학과, <sup>2</sup>부산대학교 인지메카트로닉스공학과

### Inspection System using CIELAB Color Space for the PCB Ball Pad with OSP Surface Finish

Han-Ju Lee<sup>1</sup> and Chang-Seok Kim<sup>2,†</sup>

<sup>1</sup>Department of Advanced Circuit Interconnection, Pusan National University, Geumjeong-gu, Busan 609-735, Korea

<sup>2</sup>Department of Cogno Mechatronics Engineering, Pusan National University, Geumjeong-gu, Busan 609-735, Korea

(Received December 31, 2014; Corrected March 11, 2015; Accepted March 27, 2015)

**초 록:** 본 연구에서는 OSP (organic solderability preservative) 표면처리된 PCB (printed circuit board) Cu 볼 패드의 변색을 검사하는 측정 시스템을 제안하였다. PCB 표면처리 중에서 OSP는 친환경적, 낮은 생산 비용 등의 장점으로 널리 이용되고 있으나 온도공정에 따른 변색이 발생하는 문제점이 있어서 접합 신뢰성 불량률의 한 원인이 되고 있다. 이러한 변색 불량률 장치를 비의존적 CIELAB 색좌표를 도입하여 분석하였다. 먼저, PCB 샘플을 검사하기 위해 적합한 측정 시스템을 표준 조명과 CCD 카메라를 이용하여 제작하고, 랩뷰 (labview) 프로그램을 이용하여 Cu 볼 패드의 변색을 검사하기 위한 이미지를 얻는 알고리즘을 제작하였다. 전체 PCB 이미지에서 이진화 (binarization) 및 외곽영역 추적 (edge detection) 영상처리 과정을 통하여 Cu 볼 패드만의 이미지를 획득하고, 장치 의존적인 RGB 색좌표에서 3x3 변환 행렬을 이용하여 CIELAB 색좌표로 변환하는 과정을 거친다. 본 측정 시스템을 이용하여 변색이 발생한 PCB 샘플을 분석한 결과 Cu 볼 패드만의 이미지를 대상으로 분석하면 연산에 소요되는 시간이 감소하고 측정 시스템의 오인식률을 감소시킬 수 있음을 실험적으로 증명하였다. 또한 CIELAB 색좌표 중 L\* (밝음-어두움의 정도), b\* (노랑-파랑의 정도)의 두 가지 기준의 조합이 Cu 볼 패드의 변색 검사에 적합한 색좌표로 분석되었다.

**Abstract:** We demonstrated an inspection system for detecting discoloration of PCB Cu ball pad with an OSP surface finish. Though the OSP surface finish has many advantages such as eco-friendly and low cost, however, it often shows a discoloration phenomenon due to a heating process. In this study, the discoloration was analyzed with device-independent CIELAB color space. First of all, the PCB samples were inspected with standard lamps and CCD camera. The measured data was processed with Labview program for detecting discoloration of Cu ball pad. From the original PCB sample image, the localized Cu ball pad image was selected to reduce the image size by the binarization and edge detection processes and it was also converted to device-independent CIELAB color space using 3x3 conversion matrix. Both acquisition time and false acceptance rate were significantly reduced with this proposed inspection system. In addition, L\* and b\* values of CIELAB color space were suitable for inspection of discoloration of Cu ball pad.

**Keywords:** CIELAB, OSP surface finish, Cu ball pad inspection system, image processing

## 1. 서 론

오늘날 전자제품의 고성능화, 고집적화를 위하여 PCB (printed circuit board)는 필수적인 부품이다. 이러한 PCB는 전자부품이나 칩 사이의 전기적인 접속을 위하여 Cu 볼 패드가 존재한다. 부품이 실장 되는 SMT (surface mount technology) 공정 이전에 Cu 볼 패드의 산화를 막고 물리기

계적, 화학적 특성을 향상시키기 위하여 Cu 볼 패드 상에 OSP (organic solderability preservative), HAL (hot air leveling), ENIG (electroless Ni & immersion gold), ENEPIG (electroless Ni & electroless palladium & immersion gold) 등의 다양한 표면처리를 선택적으로 사용한다. 특히 OSP를 이용한 표면처리방법은 친환경적이며 재 작업의 용이성, 낮은 생산비용 및 Cu 볼 패드와 솔더(solder) 계면특성에

<sup>†</sup>Corresponding author  
E-mail: ckim@pusan.ac.kr

© 2015, The Korean Microelectronics and Packaging Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

따른 충격특성 향상 등의 장점으로 표면처리 시장에서의 그 규모가 증가하고 있다. 그러나 OSP는 저 분자의 유기물로 다양한 온도공정으로 구성된 전자 패키징 공정에서 OSP 처리된 PCB Cu 불 패드는 변색이 발생하는 불량이 존재하며 이는 접합 신뢰성과 상관관계를 가지므로 전체 생산의 양산 수율에 미치는 영향이 매우 크다.<sup>1,2)</sup> 따라서 본 연구에서는 CIELAB 색좌표 이용하여 Cu 불 패드의 변색 불량을 검사하기 위한 측정 시스템을 제안하였다. CIELAB 색좌표는 국제조명위원회(Commission Internationale de l'Eclairage: CIE)에서 개발되어 조명과 관찰자에 대한 정보를 표준화하고, 표준 조명 하에서 표준 관찰자에 의해 관찰되는 색을 수치화한 것으로 보색이론과 3 원색이론을 바탕으로 하는 X, Y, Z 3자극치로부터 계산되며, 임의의 색은 명도(lightness)를 나타내는 L\*, 빨강-초록(redness-greenness)을 나타내는 a\*와 노랑-파랑(yellowness-blueness)의 정도를 나타내는 b\*로 나타나는 색좌표이다.<sup>3)</sup>

### 2. 측정 시스템

본 연구에서는 350 mm SRO (solder resist open), SMD (solder mask defined) 형식으로 설계된 BGA (ball grid array)용 PCB를 대상으로 전자 패키징 공정에서 Cu 불 패드의 변색이 발생한 PCB를 이용하였다. Fig. 1은 PCB Cu 불 패드의 변색 불량을 검사하기 위하여 제안된 측정 시스템의 흐름도이다. 본 연구에서 제안된 측정 시스템은 전체 PCB 이미지를 획득하는 하드웨어 부분과 획득한 전체 PCB 이미지를 분석에 적합하도록 Cu 불 패드만의 이미지로 가공하는 소프트웨어 부분으로 구성되어 있다.

전체 PCB 이미지를 획득하는 하드웨어 부분은 Fig. 2와 같다. 균일한 조명 환경을 위하여 외부의 빛을 차단하도록 측정 시스템을 설계하고 표준 조명(색온도 6500 K 형광등) 4개를 샘플단과 45°로 비추도록 배치하여 샘플단에 빛을 균일하게 조사하고 CCD 카메라(648×494 pixels)를 이용하여 이미지를 획득한다.<sup>4)</sup>

하드웨어 부분에서 획득한 전체 PCB 이미지를 Cu 불 패드 변색 불량을 분석하기에 적합한 Cu 불 패드만의 이미지

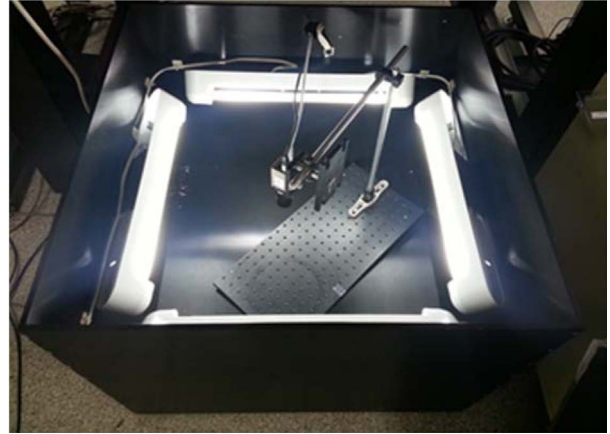


Fig. 2. The hardware part of the inspection system.

로 가공하고, CIELAB 색좌표로 변환된 이미지를 얻는 소프트웨어 부분은 랩뷰(Labview)로 제작하였다. 소프트웨어 부분의 첫 번째 단계는 CCD 카메라로 획득한 전체 PCB 이미지를 그레이 레벨(gray level)로 변환하고 이진화(binartization)를 진행하여 Cu 불 패드를 포함한 관심영역(region of interest : ROI) 이미지를 획득하는 단계이다. 두 번째 단계는 관심영역 이미지에서 실제 Cu 불 패드만의 이미지를 획득하는 단계로 라플라시안 필터(Laplacian filter)를 이용하여 관심영역 이미지의 외곽영역 추적(edge detection)하고 이 부분을 제거하는 단계이다. 마지막 단계는 두 번째 단계에서 획득한 Cu 불 패드만의 이미지를 장치 의존적인 RGB 색좌표에서 3×3 변환 행렬을 이용하여 CIELAB 색좌표로 변환하는 단계이다.

#### 2.1. CIELAB 색좌표로의 변환

본 연구에서 제안하는 PCB Cu 불 패드 검사를 위한 측정 시스템은 CIELAB 색좌표를 이용하여 Cu 불 패드의 변색 여부를 검사함으로써 높은 신뢰성을 가지는 것을 가장 큰 특징으로 한다.<sup>3)</sup> 왜냐하면 조명 환경이나 촬영 조건에 따라 변하는 CCD 카메라에서 얻어지는 RGB 색좌표에 비하여 표준 색도계(Chromameter)에 의하여 얻어지는 CIELAB 색좌표는 원리적으로 장치 비의존적 신뢰성 확보가 가능

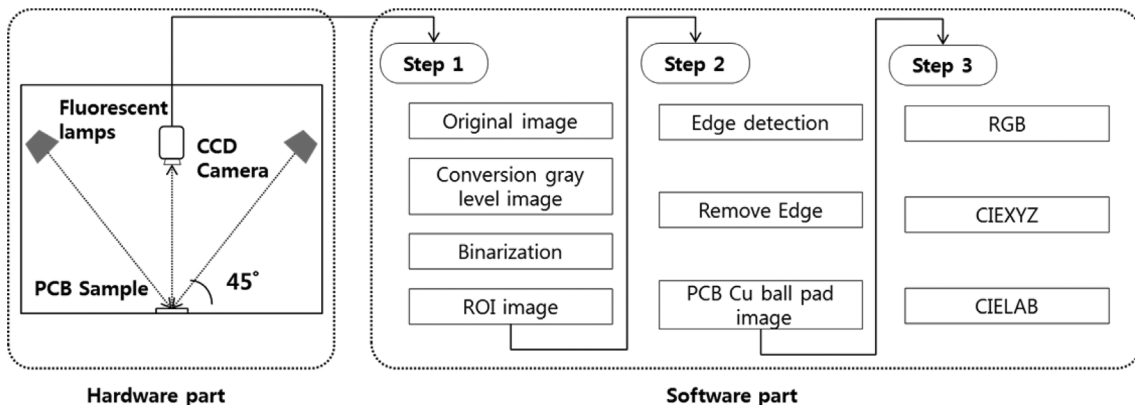


Fig. 1. Schematic representation of the inspection system using CIELAB color space.

하기 때문이다. CIELAB 색좌표로 변환하기 위해서는 색좌표 변환식이 필요하며 (1)을 이용하여 CCD 카메라에서 얻은 RGB 색좌표를 CIEXYZ 색좌표로 변환하는 과정을 거친다. 이때 3×3 변환 행렬을 획득하기 위하여 비용 함수 최소화 방법(cost function minimization method)을 이용하여 특정 조명 환경 하에 최적화된 특정 3×3 변환 행렬을 획득하는 단계를 거치는 것이 필요하다. 비용 함수 최소화 방법은 두 영역의 색좌표들 사이에 최적화된 한가지 변환 관계를 반복적으로 행렬화 하여 얻는 방법이며, 이렇게 얻어진 3×3 변환 행렬을 통해 장치 의존적이던 원래 색좌표가 장치 비의존적인 새로운 색좌표로 바뀌게 된다.<sup>5)</sup> 이렇게 얻어진 CIEXYZ 색좌표는 (2)를 이용하여 CIELAB 색좌표로 변환한다. 이때  $X_n, Y_n, Z_n$ 은 표준 조명의 3 자극치 값이다.<sup>4,5)</sup>

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.724 & 0.133 & 0.105 \\ 0.346 & 0.803 & -0.178 \\ -0.029 & -0.123 & 1.256 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$L^* = \begin{cases} 116 \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - 16 & \text{if } \frac{Y}{Y_n} > 0.008856 \\ 903.3 \left( \frac{Y}{Y_n} \right) & \text{if } \frac{Y}{Y_n} \leq 0.008856 \end{cases} \quad (2)$$

$$a^* = 500 \left( f \left( \frac{X}{X_n} \right) + f \left( -\frac{Y}{Y_n} \right) \right)$$

$$b^* = 200 \left( f \left( \frac{Y}{Y_n} \right) + f \left( -\frac{Z}{Z_n} \right) \right)$$

$$f(t) = \begin{cases} (t)^{1/3} & \text{if } t > 0.008856 \\ 7.787(t) + \frac{16}{116} & \text{if } t \leq 0.008856 \end{cases}$$

## 2.2. 이진화 및 외곽영역 추적 영상처리

CCD 카메라를 통하여 획득한 전체 PCB 이미지의 모든 픽셀을 색좌표 변환식을 이용하여 연산하면 많은 양의 픽셀이 수학적 연산을 수행하므로 색좌표 변환에 걸리는 시간이 증가 하게 된다. 따라서 수학적 연산을 수행하는 픽셀 수를 줄이기 위하여 이진화를 적용하였다.<sup>6,7)</sup> 이진화는 그레이 레벨로 변환된 전체 PCB 이미지에서 임계값(threshold) 이상의 레벨을 가지는 관심영역의 픽셀을 '1'로 그 외 영역을 '0'으로 대체시키는 방법이다. Fig. 3과 같이 이진화를 통하여 관심영역 이외의 픽셀이 제거되면, 색좌표 변환식을 통한 수학적 연산에 참여하는 픽셀 수가 전체 PCB 이미지의 픽셀 수에 비해 13.7%로 감소하고 CIELAB 색좌표로의 변환에 걸리는 시간이 20.7%로 단축되었다.

이진화를 통하여 얻은 관심영역 이미지 중 실제 Cu 불 패드에 해당하는 영역은 그보다 작다. 따라서 Cu 불 패드의 변색을 검사하기 위해서는 관심영역 이미지에서 실제 Cu

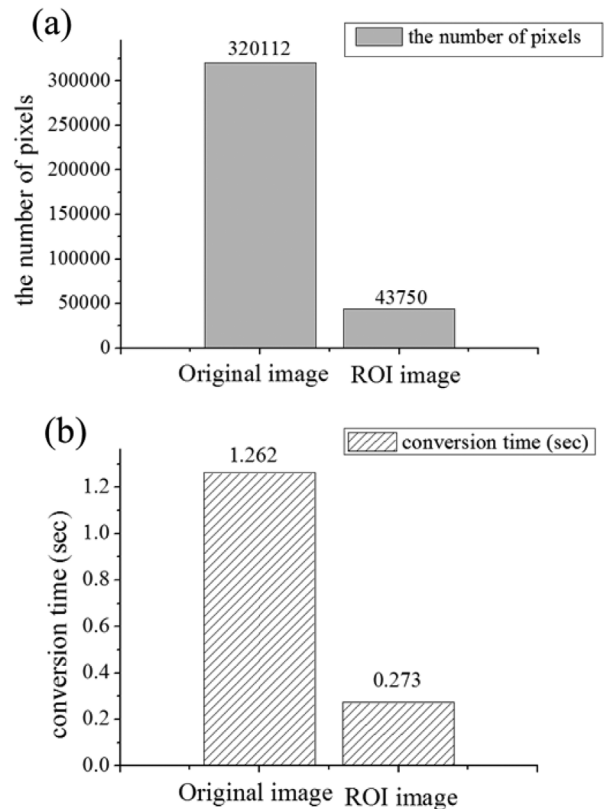


Fig. 3. Comparison of original image and ROI image regarding (a) the number of pixels and (b) conversion time.

불 패드 이외의 외곽영역 픽셀을 제거하는 과정이 필수적이다. 본 연구의 측정 시스템에서는 이진화된 관심영역 이미지에 라플라시안 필터를 이용하여 관심영역 이미지의 외곽영역을 추적하고 이를 제거해줌으로써 Cu 불 패드만의 이미지를 획득하였다. Fig. 4의 (a)는 본 연구의 측정 시스템을 이용하여 얻은  $L^*$  값의 2D Intensity 이미지이다. (I)은 외곽영역을 제거하지 않은 관심영역 이미지이고, (II)

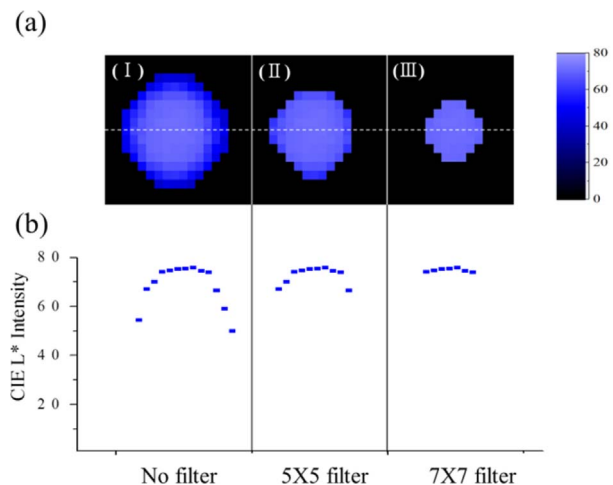


Fig. 4. (a)  $L^*$  2D intensity images and (b)  $L^*$  cross-sectional 1D intensity profiles of Cu ball pad depending on the Laplacian filter.

와 (III)은 각각 5×5 와 7×7 라플라시안 필터를 적용하여 외곽영역을 제거한 Cu 볼 패드만 이미지를 나타낸 것이다. 원형의 시료 형상에 맞추어 균일한 방향성의 영역제거를 위하여 라플라시안 필터를 사용하였으며, 제안된 측정 시스템을 통하여 관심영역 이미지의 외곽영역 추적에 적용되는 5×5와 7×7 라플라시안 필터를 Fig. 4의 (b)와 같이 1D Intensity 횡단면에서 분석한 본 결과 7×7 라플라시안 필터가 실제 Cu 볼 패드의 이미지를 획득하는데 5×5 라플라시안 필터 보다 적합함을 확인하였다.

### 3. 측정 시스템 실험 및 결과

제안된 측정 시스템이 Cu 볼 패드의 변색 불량을 검사하기에 적합한지를 분석하기 위하여 부분적으로 변색이 발생한 PCB 샘플에서 Cu 볼 패드의 변색 여부에 따라 각 6개씩 총 12개의 Cu 볼 패드를 선정하고 측정 시스템을 이용하여 분석하였다. CCD 카메라를 통해 얻은 전체 PCB 이미지인 Fig. 5에서 (1-6)은 변색이 발생하지 않은 Cu 볼 패드이고 (7-12)는 변색이 발생한 Cu 볼 패드이다.

변색 여부에 따라 선정된 12개의 Cu 볼 패드에 관하여 이진화 및 외곽영역 추적 영상처리 과정을 통하여 획득한 Cu 볼 패드만의 이미지를 CIELAB 색좌표로 변환하였다. 그리고 12개 각 Cu 볼 패드에 해당하는 픽셀들에서의 L\*, a\*, b\* Intensity 평균 값 및 표준편차를 비교 분석한 결과는 Fig. 6과 같다. 변색이 발생하지 않은 Cu 볼 패드들의 L\* Intensity 평균값들이 균일한 값을 가지는데 반해, 변색이 발생한 Cu 볼 패드들의 L\* Intensity 평균값들은 훨씬 차이나는 값의 분포를 가지는 것을 알 수 있다. 또한 b \*

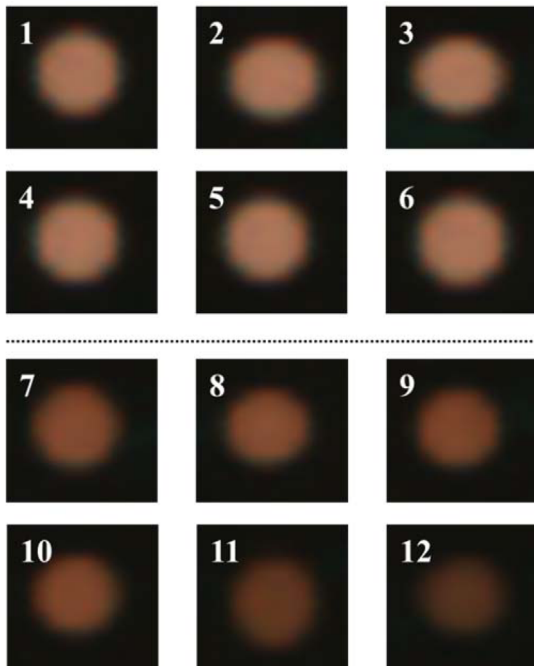


Fig. 5. The obtained images of normal Cu ball pads (1-6), and discolored Cu ball pads (7-12) using inspection system.

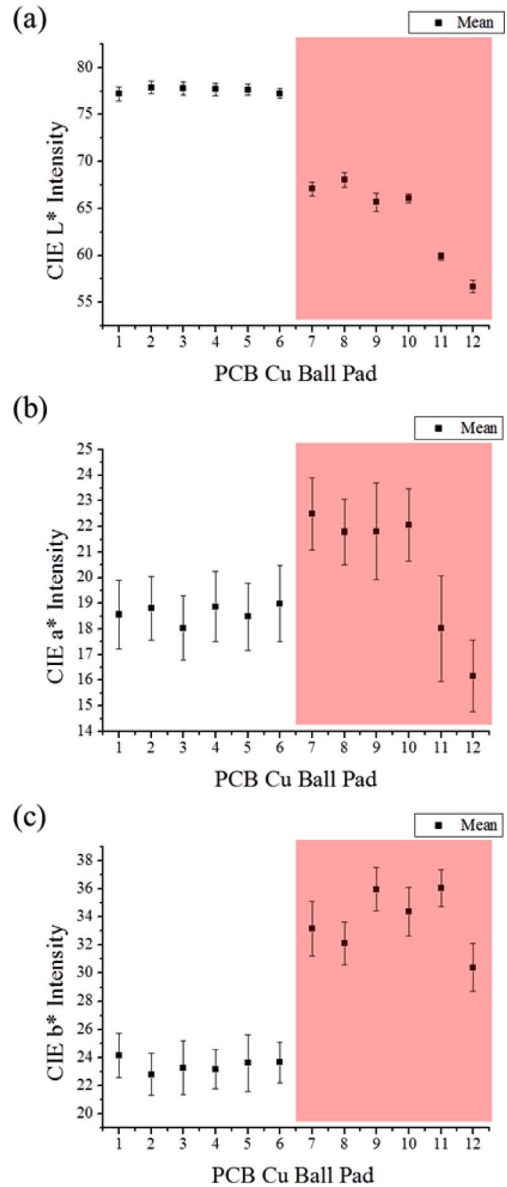


Fig. 6. An averaged CIE intensity values of PCB Cu ball pads (a) L\* (b) a\* and (c) b\*.

Intensity 평균값들의 분포에서도 비슷하게 두 분포 군의 뚜렷한 경계가 관찰이 된다. 반면에 a\* Intensity 평균값들의 분포는 일관된 형태를 띠지 못하고 표준편차 범위도 넓음을 알 수 있다. 따라서 분석 결과 Cu 볼 패드의 변색 여부에 따라 L\*, b\* 의 두 가지 기준의 조합이 정량적인 변색 여부를 검사하기에 적합한 색좌표로 분석되었다.

변색 여부를 검사하기에 적합한 L\* 색좌표를 이용하여 Fig. 7의 (a)와 같이 부분적으로 변색 불량 발생 PCB 샘플을 본 측정 시스템을 이용하여 CIELAB 색좌표로 변환된 이미지를 획득하고 L\*=70 을 기준으로 양/불 판정을 진행한 검사 결과 이미지는 Fig. 7(b)와 같다. Fig. 6(a)에서 보듯이 변색이 발생하지 않은 Cu 볼 패드들의 L\* Intensity 평균값들이 77 근처 영역과 변색이 발생한 Cu 볼 패드들의 L\* Intensity 평균값들이 55~67 근처 영역 간의 경계 값인 70의 L\* 값을 기준으로 그 이상인 경우 '1(검은색)' 이하는

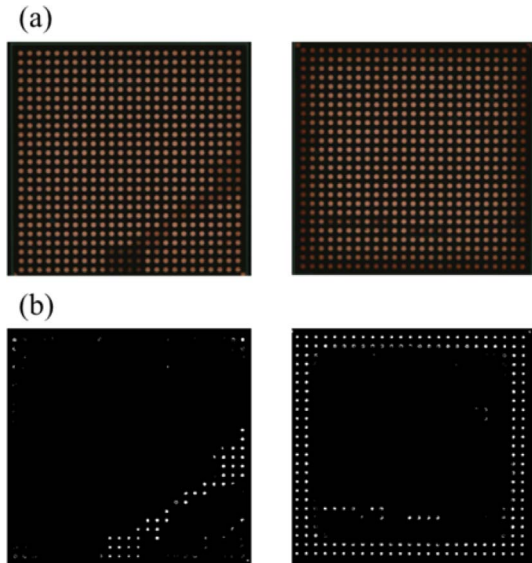


Fig. 7. The obtained image using the inspection system (a) original image and (b) binarized image with  $L^*=70$ .

‘0 (흰색)’으로 나타내면 변색 여부를 이진화된 이미지를 통하여 직관적으로 판별할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 OSP 표면처리된 PCB Cu 불 패드의 변색을 검사하는 측정 시스템을 제안하였다. 측정 시스템은 하드웨어 부분과 소프트웨어 부분으로 구성되어 있다. 하드웨어 부분은 표준 조명과 CCD 카메라로 구성되어 있으며 전체 PCB 이미지를 획득하는 부분이다. 소프트웨어 부분은 획득한 전체 PCB 이미지에 이진화 및 외곽영역 추적 영상처리를 적용하여 Cu 불 패드만의 이미지를 획득하는 단계와 CIELAB 색좌표로 변환하는 단계로 구성되어 있다. 제안된 측정 시스템을 이용하면 관심 있는 Cu 불 패드만의 이미지를 대상으로 변색 여부를 판별하기 때문에 색좌표 변환식에 참여하는 픽셀 수는 전체 PCB 이미지 픽셀 수에 비하여 감소하고 색좌표 변환에 걸리는 시간 역시 단축된

다. 변색 여부에 따라 12 개의 PCB Cu 불 패드를 선정하고 측정 시스템 이용하여 분석한 결과 CIELAB 색좌표 중  $L^*$ ,  $b^*$ 가 Cu 불 패드의 변색을 검사하는데 적합한 색좌표로 분석되었다. 수행된 연구결과를 통하여, 제안된 측정 시스템을 이용하여 PCB Cu 불 패드의 변색 불량을 이미지를 통하여 직관적으로 검사할 수 있음을 확인할 수 있었다.

#### 감사의 글

본 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비 (2년)에 의하여 수행되었습니다.

#### References

1. H. S. Lee and M. S. Yi, "Fabrication Process and CTQ Analysis of Organic Solderability Preservatives (OSP) Finish on Cu Pad for SMT", *J. Microelectron. Packag. Soc.*, 14(1), 1 (2007).
2. M. Y. Kim, "Three-dimensional Machine Vision System based on moire Interferometry for the Ball Shape Inspection of Micro BGA Packages", *J. Microelectron. Packag. Soc.*, 19(1), 81 (2012).
3. C. H. Son, K. H. Park, C. H. Lee and Y. H. Ha, "Implementation of the Color Matching Between Mobile Camera and Mobile LCD Based on RGB LUT", *J. Inst. Electron. Eng. Korea S.*, 43(3), 25 (2006).
4. F. Pedreschi, J. Leon, D. Mery and P. Moyano, "Development of a computer vision system to measure the color of potato chips", *Food Res. Int.*, 39(10), 1092 (2006).
5. C. S. Kim, M. K. Kim, B. J. Jung, B. Choi, W. Verkruysse, M. Y. Jeong and J. S. Nelson, "Determination of an Optimized Conversion Matrix for Device Independent Skin Color Image Analysis", *Lasers Surg. Med.*, 37(2), 138 (2005).
6. F. Wang, L. Man, B. Wang, Y. Xiao, W. Pan and X. Lu, "Fuzzy-based algorithm for color recognition of license plates", *Pattern Recogn. Lett.*, 29(7), 1007 (2008).
7. S. Singh and M. Bharti, "Image Processing Based Automatic Visual Inspection System for PCBs", *IOSR J. En.*, 2(6), 1451 (2012).