

〈논 문〉

인쇄회로기판의 패턴 검사용 조명장치 설계

나현찬* · 노병옥** · 유영기*** · 조형석****

(1995년 5월 31일 접수)

Design of a Lighting System for PCB Visual Pattern Inspection

Hyun-Chan Na, Byung-Ok Rho, Yung-Kee Ryu and Hyung-Suck Cho

Key Words : Spectral Reflectance(반사율 스펙트럼), Reflection Property(반사특성), Reflection Model(반사모델), Illumination Uniformity(조명균일도)

Abstract

Automated visual inspection(AVI) capability has become an important key component in the automated manufacturing system. In such a visual inspection system an intensity(or color) image of a scene is quickly affected by optical property of objects, condition and roughness of surface, lens and filters, image sensor property and lighting system. In particular, the lighting system design is the most important factor, since it affects overall performance of the visual system. For fast and cheap automated visual inspection system it is important to obtain the good image quality which results from careful attention to the design of the lighting system. In this paper, the lighting subsystem of AVI system is analysed for the inspection of printed circuit board(PCB) patterns. The spectral reflectance of materials, which are composed of PCB, is measured for choosing the light source. The reflection property is theoretically obtained by a reflection model and also obtained by experiments which measure intensity,with varying the viewing direction of image sensor and the lighting direction of illuminator. The illumination uniformity of a ring-type illuminator is measured with varying the diameter of illuminator and the distance between object and illuminator. The lighting system is designed based upon the experimental results and theoretical analyses.

1. 서 론

생산관련 기술중 화상처리를 이용한 자동검사기술은 그 중요성이 점차 커지고 있다. 시각인식시스템은 많은 잡음(noise) 요소를 가지고 있다. 센서

에 의해 받아들여지는 화상은 대상물체의 광학특성, 표면의 상태와 거칠기, 광원의 종류와 모양, 조명방법, 광학계의 구조, 센서의 특성 등에 의해 많은 영향을 받는다. 또한 시각인식시스템은 처리해야 하는 정보가 많아 고속처리를 위해서는 고가의 정보처리시스템이 필요하다. 그러므로 저가의 고속 시각인식시스템을 위해서는 근본적으로 양질의 화상(얼고자 하는 정보가 쉽게 분리될 수 있는 화상)을 얻는 것이 매우 중요하다. 즉, 잡음이 없는 양질의 화상을 얻어 간단한 화상처리 알고리즘

*LG산전(주)

**선문대학교 산업공학과

***선문대학교 전자공학과

****회원, 한국과학기술원 기계공학과

으로 원하는 정보를 빠르게 찾을 수 있다.

시각인식시스템은 조명장치부에 따라 화상의 질이 매우 다르므로 양질의 화상을 얻기 위해서는 조명장치부를 잘 설계하여야 한다. 양질의 화상을 얻기 위해서는 우선 대상물체의 광학특성을 알아내고, 이 특성을 이용하여 좋은 화상을 얻기 위한 조명장치부의 설계조건을 찾아야 한다. 이러한 예로 Reynolds와 Hageniers⁽¹⁾는 경면물체의 표면굴곡이나 움푹 들어간 곳(dent)을 검사하기 위해, 카메라 주위에 점광원을 설치하고 입사광을 회귀반사시키는 회귀반사(retro-reflective) 재료로 만들어진 스크린을 사용하여 물체표면에서 두 번 반사된 빛을 센서로 받아 경면물체의 표면굴곡이나 움푹 들어간 곳(dent)이 어떻게 나타나게 좋은 화상을 얻었다. Yasuhiko Hara 등⁽²⁾은 인쇄회로기판(printed circuit board)의 패턴검사를 위해 인쇄회로기판의 에폭시(epoxy: base material)가 구리와 달리 짧은파장의 빛에 의해 여기되면 긴파장의 형광을 발광하는 특성을 이용하였다. 광학필터를 사용해 짧은파장의 빛을 물체에 입사시키고 긴파장의 빛을 센서로 받아 구리 패턴부는 어둡고 에폭시부는 밝은 화상을 얻었다. 이와 같은 시스템들은 대상물체의 광학특성을 분석하고 그 특성에 맞게 조명장치부를 설계하여 양질의 화상을 얻었다.

본 논문에서는 화상처리를 이용한 인쇄회로기판 패턴 검사장치의 조명장치부를 설계하였다. 이를 위해 먼저 인쇄회로기판 제조공정중의 중간생산물(Fig. 12)을 대상으로 실험을 통하여 대상물체의 반사특성과 조명장치의 조명균일도를 분석하였다. 빛의 파장변화에 따른 대상물체의 반사율(spectral reflectance)을 측정하여, 그 결과로부터 광원을 선정하였고, 입사광의 입사각과 카메라의 관측각의 변화에 따른 대상물체의 반사세기를 측정하여 각 물체의 반사특성모델을 얻었다. 또한 링 조명장치에 대해 카메라의 FOV(field of view)내의 조명균일도를 측정하여 조명장치의 특성을 고찰하였다. 그리고 이러한 대상물체의 반사특성과 조명장치의 특성을 이용하여 양질의 화상을 얻을 수 있도록 인쇄회로기판 패턴 검사용 조명장치부를 설계하였다.

2. 검사 대상물체의 반사특성

2.1 광원 선정

물체의 반사특성은 광원에 따라 다르다. 즉, 입

사광의 파장이 달라지면 반사율(reflectance)도 달라진다. 그러므로 시각인식시스템에 사용될 광원을 선정하기 위해서는 빛의 파장변화에 따른 대상물체의 반사특성을 알아야 한다. 빛의 파장 변화에 따른 물체의 반사특성은 물성치로 알려져 있는 경우도 있다. 그러나 물체의 표면상태에 따라서도 반사특성은 변하기 때문에 대상물체를 직접 측정하는 것이 좋다.

Fig. 1의 6종류의 대상물체에 대하여 입사광의 파장 변화에 따른 반사율의 변화를 측정하였다. 각각의 대상물체를 평면의 시편으로 만든 후 밀폐된 구 내부에 넣고 입사광을 평면 시편의 법선과 0°(법선과 같은 방향)가 되게 입사시키고 반사광의 세기를 측정하는 O/D(zero direction)방식의 반사율 측정기(한국원사적물시험검사소 소장)를 사용하여 입사광의 파장을 360 nm~1020 nm까지 변화시키며 반사율을 측정하였다.

측정결과는 Fig. 2와 같다. Fig. 2를 보면 구리는 본래의 색인 가지광선의 적색(파장이 600 nm 이상)영역과 적외선 영역에서 높은 반사율을 가짐을 알 수 있다. 폴리미드(polyimide) 코팅 물체는 폴리미드 본래의 색인 청색(파장이 400 nm~470 nm)영역에서 약간 높은 반사율을 보이고, 630 nm 이상의 영역에서 매우 높은 반사율을 보인다. PSR(photo surface resistance)-copper 코팅 물체는 본래의 색인 녹색(파장이 470 nm~580 nm)영역에서

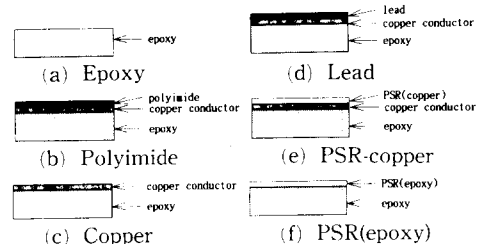


Fig. 1 Structure of specimens

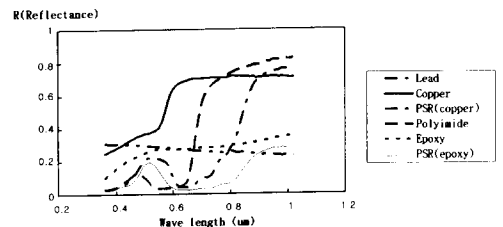


Fig. 2 Spectral reflectance of specimens obtained by experiments

약간 높은 반사율을 보이고, 800 nm 이상의 영역에서 매우 높은 반사율을 보인다. 예폭시는 전체적으로 긴 파장(500 nm 이상)에서 반사율이 높다. PSR(photo surface resistance)-epoxy 코팅 물체는 본래의 색인 녹색(파장이 470 nm~580 nm)영역에서 약간 높은 반사율을 보이고, 850 nm 이상의 영역에서 매우 높은 반사율을 보인다. 남은 본래의 색에서 알 수 있듯이 가시광선 영역에서 거의 비슷한 반사율을 보인다.

인쇄회로기판에서 패턴부는 구리(또는 납)로 되어 있다. 또한 여섯 종류의 대상 물체 모두가 긴 파장(700 nm 이상) 영역에서 비교적 높은 반사율을 보인다. 그러므로 인쇄회로기판의 패턴 검사장치에 알맞는 광원은 긴파장의 빛을 사용하는 것이 좋을 수 있다. 측정 결과로부터 인쇄회로기판 패턴 검사용 시각인식시스템의 광원은 구입 및 제작, 설치가 용이하고 600 nm 이상의 파장이 강한 할로겐램프를 선정하였다.

2.2 검사 대상물체의 반사특성 모델

2.2.1 반사 이론

반사는 표면반사(surface reflection)와 내부반사(body reflection 또는 internal scattering)로 나눌 수 있다. 내부반사는 난반사 로브(diffuse lobe) 요소이고, 표면반사는 전반사 로브(specular lobe)와 전반사 스파이크(specular spike) 요소이다. 즉, 반사는 난반사 로브와 전반사 스파이크 그리고 전반사 로브의 세 가지 요소로 이루어져 있다고 할 수 있다.

난반사 로브요소는 Lambertian reflectance 모델로 설명할 수 있는데, 이는 입사광이 표면을 침투하여 불균일한 표면 내부의 매질에 의해 여러 번 반사 굴절된 후 표면 밖으로 반사되는 현상으로 빛의 방출에너지는 모든 방향에 걸쳐 동일하다. Lambertian reflectance 모델식은 다음과 같다.

$$L_r = K_{diff} \cdot \max[0, (L_i \cdot d\omega_i \cdot \cos\theta_i)] \quad (1)$$

여기서,

L_r : 물체의 광휘(radiance)

L_i : 광원의 광휘(radiance)

$d\omega_i$: 입체각(solid angle)

θ_i : 광원의 천정각(zenith angle)

K_{diff} : 입사에너지에 대한 난반사 에너지의 비

전반사 로브요소는 Torrance-Sparrow⁽³⁾의 기하광학 반사모델로 설명할 수 있다. 물체표면은 미소평면의 집합이고 입사광의 파장이 미소평면에 비해 작으며, 입사광은 광선의 집합이고 광선은 미소평면에서 입사각과 반사각이 같도록 반사된다고 가정한다. 이러한 가정하에서 반사모델은 기하학적 해석에 의해 유도될 수 있다. 반사모델 식은 다음과 같다.

$$L_r = K_{spec} \cdot \frac{L_i \cdot d\omega_i}{\cos\theta_r} \cdot e^{-\frac{a^2}{2a\alpha^2}} \quad (2)$$

여기서,

a : 미소평면의 법선각

σ_α : a 의 표준편차

K_{spec} : 입사에너지에 대한 전반사 로브에너지의 비

전반사 스파이크요소는 입사각과 반사각이 같은 방향으로만 산란없이 입사광이 완전반사되는 것이다. 그러므로 전반사 스파이크요소는 임펄스(impulse) 함수로 단순화시켜 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$L_r = K_{ss} \cdot \delta(\theta_i - \theta_r) \cdot \delta(\phi_r) \quad (3)$$

여기서,

θ_r : 센서의 천정각(zenith angle)

ϕ_r : 센서의 방위각(azimuth angle)

K_{ss} : 입사에너지에 대한 전반사 스파이크 에너지의 비

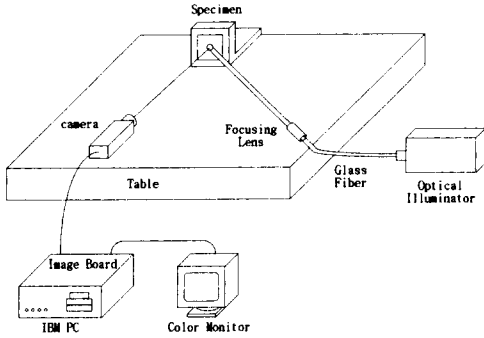
반사는 위에서 설명한 세 가지 요소로 이루어져 있으므로 각각의 모델식을 합하여 아래와 같이 물체의 반사특성을 표현할 수 있다.^(4,5)

$$L_r = K_{diff} \cdot \max[0, (L_i \cdot d\omega_i \cdot \cos\theta_i)] + K_{spec} \cdot \frac{L_i \cdot d\omega_i}{\cos\theta_r} \cdot e^{-\frac{a^2}{2a\alpha^2}} + K_{ss} \cdot \delta(\theta_i - \theta_r) \cdot \delta(\phi_r) \quad (4)$$

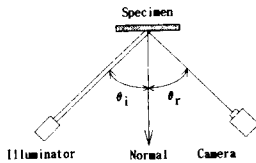
2.2.2 반사특성 실험 및 반사모델^(6,7)

양질의 화상을 얻기 위한 조명방향과 센서의 위치를 결정하기 위해서는 입사광의 입사각과 센서의 관측각이 변함에 따른 대상물체의 반사특성을 알아야 한다.

측정 대상물체는 Fig. 1과 같은 여섯 가지이며 실험장치는 Fig. 3(a)와 같다. 광원은 할로겐램프, 광섬유, 집광렌즈를 이용하여 직경 8mm의 평행광



(a) Schematic diagram of the experimental system



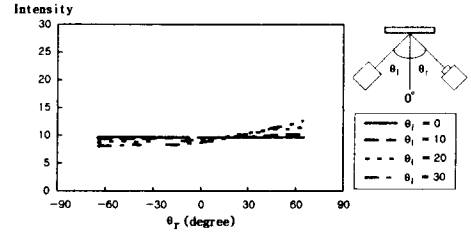
(b) Basic diagram of the experiment

Fig. 3 Experimental system of the reflection property

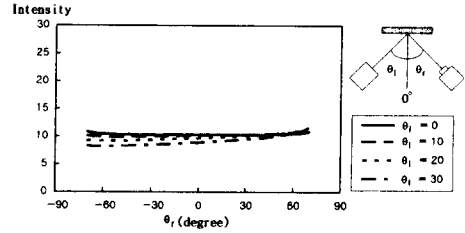
을 만들어 사용했다. 센서는 흑백(B/W) CCD 카메라를 사용하였으며, 센서의 게인(gain)은 일정한 상태를 유지하기 위해 고정시켰다. 영상보드는 DT2867(제작회사: DATA TRANSLATION)을 사용하였다. 주변광의 영향을 없애기 위해 모든 실험은 암실에서 하였다. 카메라에 사용한 렌즈는 초점거리가 25 mm인 고정 초점렌즈를 사용하였으며, 렌즈에 확대링(Extensin Ring)을 연결하여 카메라에 부착하였다. 또한 렌즈의 수차에 대한 영향을 줄이기 위해 조리개를 최소(F16)로 하였다.

실험은 Fig. 3(b)와 같이 입사광의 광축, 대상물체의 표면 법선벡터, 카메라의 광축이 한 평면에 있도록 설치($\phi_r=0^\circ$)하여 입사광의 입사각(θ_i)을 0° , 10° , 20° , 30° 로 변화시키고, 카메라의 관측각(θ_r)을 -65° 에서 65° 까지 2.5° 로 변화시키며 카메라로 영상을 얻어 밝기값을 측정하였다.

실험결과로부터 알 수 있는 반사특성을 고찰하고 실험에서 얻은 측정값으로부터 2.2.1의 반사이론식 (4)를 사용하여 반사모델식을 얻었다. 먼저 σ_a 를 0.01° 에서부터 0.01° 씩 증가시키며 실험에서 얻은 측정값을 이용하여 오차가 최소가 되는 $K_{diff} \cdot K_{spec} \cdot K_{ss}$ 을 구하였다(상용 프로그램인 Mathematica를 사용하였다). 그래서 각각의 σ_a 에 대한



(a) Experimental data



(b) Estimated data

Fig. 4 Reflection property of the epoxy

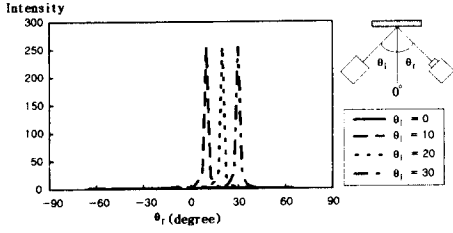
식을 얻은 후 각각의 식에 대하여 다시 실험에서 얻은 측정값을 이용하여 오차의 제곱의 합을 구하고 그 값이 가장 작은 식을 반사모델식으로 얻었다.

에폭시의 반사특성: Fig. 1(a)와 같은 구조의 물체이며, 실험결과를 Fig. 4(a)와 같다. 실험결과로부터 에폭시는 난반사 로브요소가 지배적이고 전반사 로브요소가 미약하며 전반사 스파이크요소는 없음을 알 수 있다. 즉, 입사광의 입사각(θ_i)의 변화에 따른 밝기값의 변화가 다른 물체에 비해 작다. 이와 같은 난반사 로브요소에 의한 반사는 입사광이 직선편광된 빛이라도 반사광은 편광특성을 유지하지 못한다. 실험결과에 의한 반사특성 모델식은 다음의 식 (5)와 같다. Fig. 4(b)에 모델링 결과를 보였다.

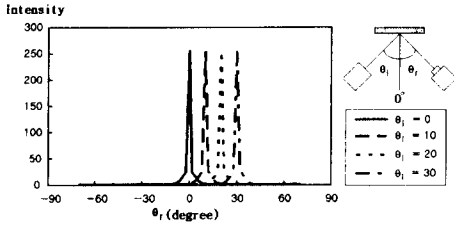
$$L_r = 8.35518 \cdot \cos \theta_i + \frac{1.92401}{\cos \theta_r} \cdot e^{-\frac{\alpha^2}{2a^2}}$$

$$\sigma_a = 27.00^\circ \quad (5)$$

폴리미드코팅 물체의 반사특성: Fig. 1(b)와 같은 구조의 물체이며 실험결과를 Fig. 5(a)와 같다. 실험결과를 보면 $\alpha \neq 0^\circ$ ($\theta_r \neq -\theta_i$)인 방향에서는 반사광의 세기가 매우 약하나 전반사방향($\alpha=0^\circ$, $\theta_r = -\theta_i$)에서는 강한 전반사 스파이크요소가 있음을 알 수 있다. 즉 물체의 표면이 균일하고 매끄러운 경면에 가깝다고 할 수 있다. 상대적으로 난반



(a) Experimental data



(b) Estimated data

Fig. 5 Reflection property of the polyimide

사 로브요소와 전반사 로브요소는 매우 약함을 알 수 있다. 이와 같은 표면반사는 입사광이 직선편광된 빛이면 반사광도 편광특성을 유지한다. 실험결과에 의한 반사특성 모델식은 다음과 같다. Fig. 5(b)에 모델링 결과를 보였다.

$$L_r = 1.18102 \cdot \cos \theta_i + \frac{27.1203}{\cos \theta_r} \cdot e^{-\frac{\sigma^2}{2\sigma_a^2}} + 255 \cdot \delta(\theta_i + \theta)$$

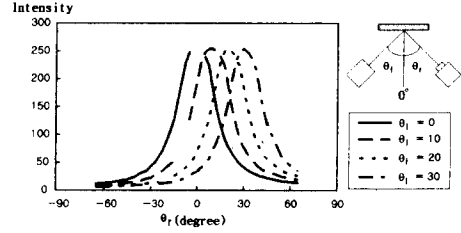
$$\sigma_a = 1.77^\circ \quad (6)$$

구리박막의 반사특성 : Fig. 1(c)와 같은 구조의 물체이며 실험결과는 Fig. 6(a)와 같다. 결과를 보면 구리박막은 난반사 로브 요소는 미약하고 전반사 로브요소가 지배적이며 전반사 스파이크요소는 없음을 알 수 있다. 즉 표면반사가 매우 작지도 너무 크지도 않음을 알 수 있다. 전반사 방향 근처에서 세기가 강한 반사를 보이고 α 가 커지면 반사광의 세기도 많이 약해짐을 알 수 있다. 표면반사가 강하므로 입사광이 직선편광된 빛이면 반사광도 편광특성을 유지한다. 실험결과에 의한 반사특성 모델식은 다음과 같다. Fig. 6(b)에 모델링 결과를 보였다.

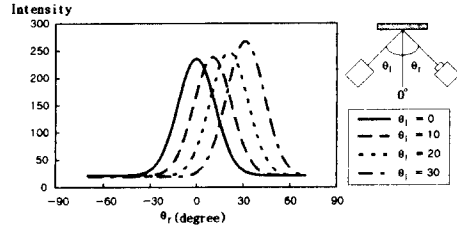
$$L_r = 21.7924 \cdot \cos \theta_i + \frac{214.014}{\cos \theta_r} \cdot e^{-\frac{\sigma^2}{2\sigma_a^2}}$$

$$\sigma_a = 5.88^\circ \quad (7)$$

납의 반사특성 : Fig. 1(d)와 같은 구조의 물체이며 실험결과는 Fig. 7(a)와 같다. 결과를 보면 납은 난반사 로브요소는 미약하고 전반사 로브요소가

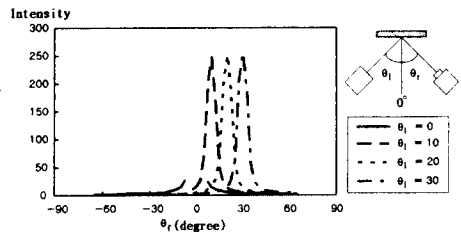


(a) Experimental data

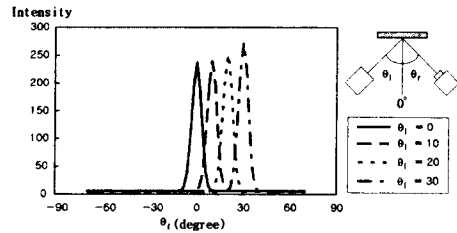


(b) Estimated data

Fig. 6 Reflection property of the copper



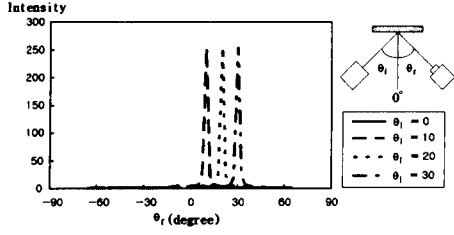
(a) Experimental data



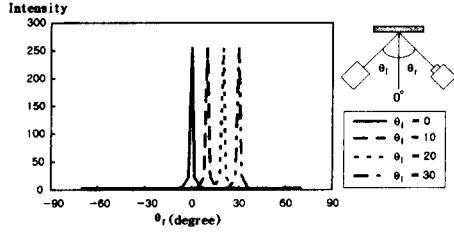
(b) Estimated data

Fig. 7 Reflection property of the lead

지배적이며 전반사 스파이크요소는 없음을 알 수 있다. 납은 구리박막과 비슷한 반사특성을 보인다. 그러나 난반사 로브요소가 구리박막에 비해 약하고, 전반사 로브요소는 구리박막보다 세며 σ_a 가 작다. 표면반사가 강하므로 입사광이 직선편광된 빛이면 반사광도 편광특성을 유지한다. 실험결과에 의한 반사특성 모델식은 다음과 같다. Fig. 7(b)에 모델링 결과를 보였다.



(a) Experimental data



(b) Estimated data

Fig. 8 Reflection property of the PSR(photo surface resistance)-copper

$$L_r = 5.35545 \cdot \cos \theta_i + \frac{231.662}{\cos \theta_r} \cdot e^{-\frac{\alpha^2}{2a^2 z^2}}$$

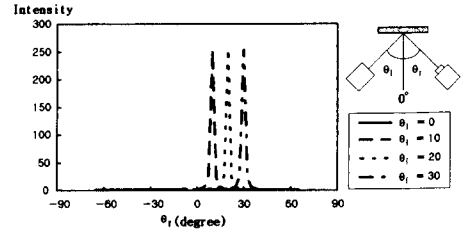
$$\sigma_\alpha = 1.53^\circ \quad (8)$$

PSR(photo surface resistance)-copper 코팅 물체의 반사특성 : Fig. 1(e)와 같은 구조의 물체이며 실험 결과는 Fig. 8(a)와 같다. 실험결과를 보면 $\alpha \neq 0^\circ$ ($\theta_r \neq -\theta_i$)인 방향에서는 반사광의 세기가 매우 약하나 전반사 방향에서는 강한 전반사 스파이크요소가 있음을 알 수 있다. 즉, 물체의 표면이 균일하고 매끄러운 경면에 가깝다고 할 수 있다. 상대적으로 난반사 로브요소와 전반사 로브요소는 매우 약함을 알 수 있다. 이 물체는 폴리미드코팅 물체와 반사특성이 비슷하다. 표면반사가 강하므로 입사광이 직선편광된 빛이면 반사광도 편광특성을 유지한다. 실험결과에 의한 반사특성 모델식은 다음과 같다. Fig. 8(b)에 모델링 결과를 보였다.

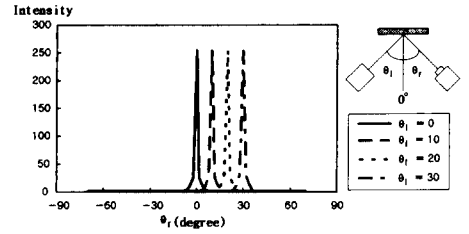
$$L_r = 2.28744 \cdot \cos \theta_i + \frac{26.4391}{\cos \theta_r} \cdot e^{-\frac{\alpha^2}{2a^2 z^2}} + 255 \cdot \delta(\theta_i + \theta)$$

$$\sigma_\alpha = 1.42^\circ \quad (9)$$

PSR(photo surface resistance)-epoxy 코팅 물체의 반사특성 : Fig. 1(f)와 같은 구조의 물체이며 실험 결과는 Fig. 9(a)와 같다. 실험결과를 보면 $\alpha \neq 0^\circ$ ($\theta_r \neq -\theta_i$)인 방향에서는 반사광의 세기가 매우 약하나 전반사 방향에서는 강한 전반사 스파이크요소가 있음을 알 수 있다. 이 물체는 폴리미드코팅 물



(a) Experimental data



(b) Estimated data

Fig. 9 Reflection property of the PSR(photo surface resistance)-epoxy

체, PSR-copper 코팅 물체와 반사특성이 비슷하다. 표면반사가 강하므로 입사광이 직선편광된 빛이면 반사광도 편광특성을 유지한다. 실험결과에 의한 반사특성 모델식은 다음과 같다. Fig. 9(b)에 모델링 결과를 보였다.

$$L_r = 1.37120 \cdot \cos \theta_i + \frac{33.03}{\cos \theta_r} \cdot e^{-\frac{\alpha^2}{2a^2 z^2}} + 255 \cdot \delta(\theta_i + \theta)$$

$$\sigma_\alpha = 1.29^\circ \quad (10)$$

3. 조명 균일도

3.1 조명 균일도 실험

시각인식시스템의 시각인식부를 설계하기 위해서는 대상물체의 광학특성뿐만 아니라 조명장치의 특성도 알아야 한다. 가장 좋은 조명장치는 카메라의 FOV(field of view) 영역전체를 균일하게 같은 세기로 조명하여야 한다. 조명장치를 수학적으로 모델링하여 균일한 조명을 할 수 있도록 설계하는 것은 매우 어렵고 실제로 제작된 조명장치의 특성이 설계대로 만들어지기도 어렵다. 그러므로 실험을 통하여 제작된 조명장치의 특성을 알아내는 것이 좋다. 즉, 제작된 조명장치의 설치조건이 변할 때 카메라의 FOV(field of view) 영역내의 조명 균일도가 어떻게 변하는지를 알고 조명 균일도가 좋은 설치조건을 알아내야 한다. 인쇄회로기판은 높이

변화가 매우 작아 평면에 가깝지만 패턴의 경계부분에서 그림자가 생기거나 전반사 스파이크가 발생하기 쉽다. 인쇄회로기판의 패턴 검사에서는 패턴의 경계부분이 깨끗해야 한다. 패턴은 경계부분이 모든 방향에 존재하므로 조명장치의 모양은 링모양이 가장 좋다. 그래서 패턴의 경계부분을 잘 얻기 위하여 링모양의 조명장치를 사용하였다. 링조명장치의 설치조건(링조명의 지름과 대상물체와의 거리)이 변함에 따른 조명 균일도를 실험을 통하여 분석하고 좋은 조명 균일도를 위한 링조명장치의 설치조건을 찾았다.

Fig. 10(a)와 같이 할로젠램프와 광섬유를 사용하여 링조명장치를 구성하였다. 조명 균일도를 측정하기 위하여 대상물체는 완전 난반사 재질에 가까운 종이로 하였다. Fig. 10(b)와 같이 지름(D)이 62 mm, 100 mm인 두 가지 링조명장치에 대해 대상물체로부터 링조명장치까지의 높이(H)를 60 mm ~ 200 mm로 변화시키면서 화상을 얻었다. 화상의 중심은 카메라의 중심과 같은 축상에 있고 대상물체의 평면 법선과 카메라의 광축을 평행하게 설치하였다. 카메라에 사용한 렌즈는 초점거리가 25

mm인 고정 초점렌즈를 사용하였으며, 렌즈에 확대링(extensin ring)을 연결하여 카메라에 부착하였다. 또한 렌즈의 수차에 대한 영향을 줄이기 위해 조리개를 최소(F16)로 하였다. 화상전체에서 밝기값을 표준화하고 표준화된 밝기값의 표준편차를 계산하였다.

3.2 실험결과

실험결과는 Fig. 11과 같다. Fig. 11에서 가로축은 입사광의 입사각(θ_i)을 나타내고 세로축은 화상의 표준화된 밝기값의 표준편차를 나타낸다. 표준편차가 작으면 카메라 FOV(field of view) 영역내의 조명 균일도가 좋다. 실험결과를 보면, 지름이 62 mm인 링조명장치는 θ_i 가 작을 때(링조명장치의 높이가 높을 때)가 θ_i 가 클 때(링조명장치의 높이가 낮을 때)보다 조명 균일도가 더 좋다. 지름이 100 mm인 링조명장치는 조명균일도가 지름이 62 mm인 링조명장치보다 좋다. 또한 θ_i 가 $20^\circ \sim 33^\circ$ (높이가 80 mm ~ 120 mm)인 영역이 상대적으로 조명이 덜 균일함을 알 수 있다. 그러므로 조명의 균일도를 좋게 하려면 지름이 62 mm인 링조명장치

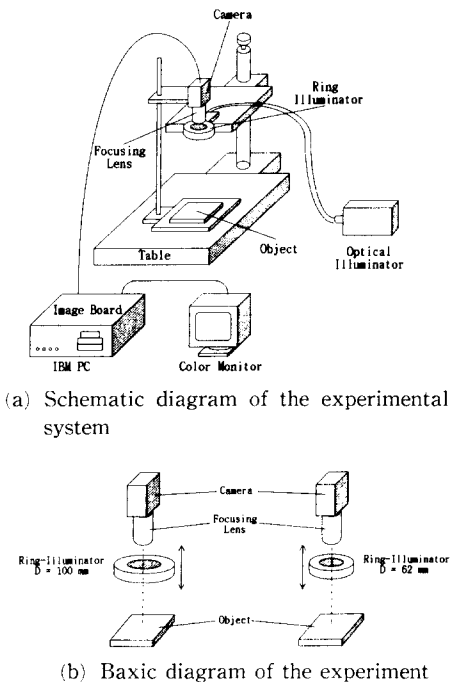


Fig. 10 Experimental system of the illumination uniformity

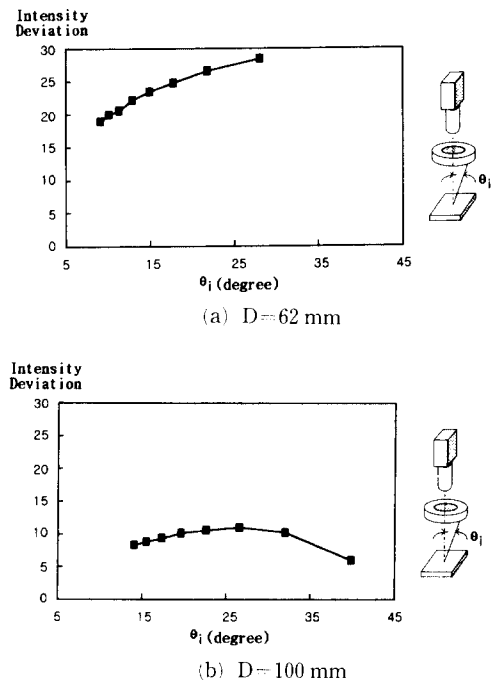


Fig. 11 Experimental data of the illumination uniformity

는 θ_i 가 15°보다 작도록 설치하여야 한다. 즉, 높이가 140 mm~200 mm이어야 한다. 지름이 100 mm인 링조명장치는 θ_i 가 20°보다 작거나 33°보다 크도록 설치하여야 한다. 즉, 높이가 80 mm보다 낮거나 120 mm보다 높아야 한다.

4. 조명장치 설계

반사특성이 다른 물체가 섞여 있는 경우에 영상에서 각각의 물체를 쉽게 구별하기 위해서는, 반사특성의 차이를 이용하는 조명을 사용하여 양질의 화상을 얻을 수 있다. 여기서는 반사특성 모델, 편광특성, 조명 균일도 실험결과를 이용하여 양질의 화상을 얻기 위한 조명장치를 설계한다.

Fig. 12와 같이 인쇄회로기판 제조공정중의 중간생산품은 Fig. 1의 여섯 종류의 대상물체가 서로 섞여 있다. 그러므로 여기서는 실제품인 구리박막 위에 일부분이 폴리미드로코팅되어 있는 드라이필름보드와 에폭시와 구리박막이 섞여 있는 에칭보드, 그리고 PSR(Photo Surface Resistance)이 남아 섞여 있는 보드 세 가지에 대하여 조명장치를 설계한다.

4.1 드라이필름보드에 대한 조명장치 설계

드라이필름(dryfilm) 보드는 Fig. 12(a)와 같은 구조의 물체이다. 앞에서 살펴 보았듯이 폴리미드는 전반사 스파이크가 주요한 반사요소이고, 구리박막은 전반사 로브가 주요한 요소이다. 이러한 특성의 차이를 이용하면 폴리미드부분과 구리부분을 쉽게 구별할 수 있다. 반사특성 모델을 이용하여 두 물체의 반사특성을 비교해 보면, $|\theta_r| \leq 40^\circ$, $\theta_i \neq 0^\circ$ 인 경우에 두 물체의 반사특성이 크게 다름을 알 수 있다. 편광특성은 폴리미드와 구리가 비슷하다. 이러한 특성의 차이를 이용하여 조명하면 구리부분은 밝고 폴리미드부분은 어두운 화상을 얻을 수 있다.

조명 균일도 실험결과에서 지름이 62 mm인 링조

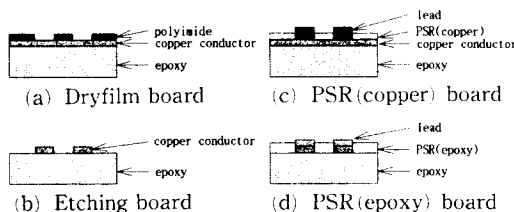
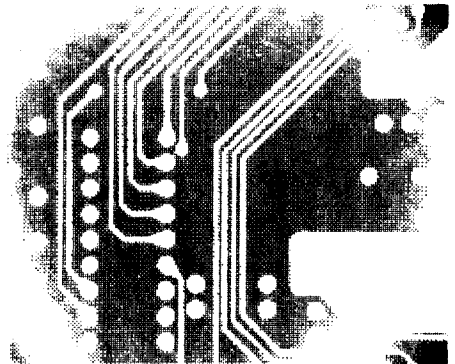


Fig. 12 Cross section of the PCB boards

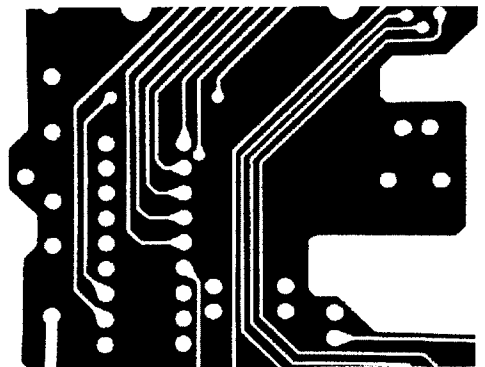
명은 조명 균일도가 θ_i 가 작아야 좋다. 그러나 θ_i 가 작으면 폴리미드부분에서 전반사 스파이크 반사가 일어나게 된다. 그러므로 지름이 62 mm인 링조명은 드라이필름보드에 적합하지 않다. 지름이 100 mm인 링조명은 조명 균일도가 θ_i 가 20°보다 작거나 33°보다 큰 때가 좋다. 즉, 높이가 80 mm보다 낮거나 120 mm보다 높아야 한다. 조명 균일도 실험결과와 반사모델에 의한 결과를 모두 만족하게 하려면 높이를 140 mm~180 mm로 하여야 한다. 즉, 드라이필름보드는 지름이 100 mm인 링조명을 140 mm~180 mm 높이로 설치하여야 좋은 화상을 얻을 수 있다. Fig. 13에 화상을 보였다.

4.2 에칭보드에 대한 조명장치 설계

에칭보드는 Fig. 12(b)와 같은 물체이다. 에폭시는 전반사 로브가 주요한 반사요소이고 구리박막은 전반사 로브가 주요한 반사요소이다. 반사특성 모델을 비교해 보면, $|\theta_r| \leq 40^\circ$ 인 경우에 반사특성이 크게 다름을 알 수 있다. 이러한 조건으로 조명하



(a) D = 62 mm and H = 160 mm

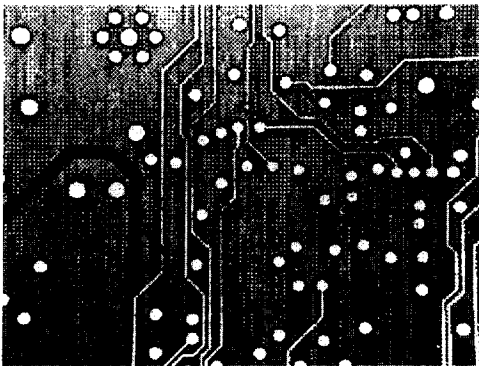


(b) D = 100 mm and H = 160 mm

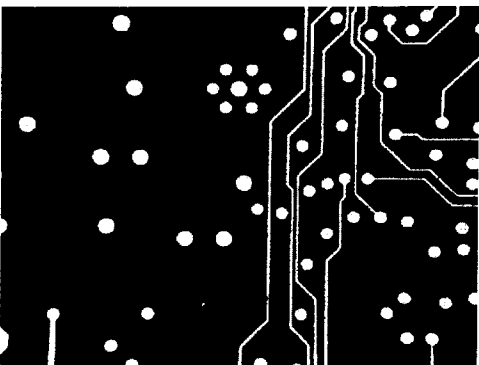
Fig. 13 Dryfilm board image

면 구리부분은 밝고 에폭시부분은 어두운 화상을 얻을 수 있다. 또한 에폭시는 편광성을 유지하지 못하고 구리는 편광성이 유지되는 차이를 이용하면 구리부분은 어둡고 에폭시부분은 밝은 화상을 얻을 수 있다.

조명 균일도 실험결과에서 지름이 62 mm인 링조명은 조명 균일도가 θ 가 작아야 좋다. 반사모델에 의한 결과와 조명특성 실험결과를 모두 만족하게 하려면 높이를 160 mm~200 mm로 하여야 한다. 지름이 100 mm인 링조명은 조명 균일도가 θ 가 20° 보다 작거나 33° 보다 클 때가 좋다. 즉 높이가 80 mm보다 낮거나 120 mm보다 높아야 한다. 조명 균일도 실험결과와 반사특성 모델에 의한 결과를 모두 만족하게 하려면 높이를 140 mm~200 mm로 하여야 한다. 즉 애칭보드는 지름이 62 mm인 링조명을 160 mm~200 mm 높이로 설치하거나, 지름이 100 mm인 링조명을 140 mm~200 mm 높이로 설치하여야 좋은 화상을 얻을 수 있다. Fig. 14에 화상을 보였다.



(a) D=100 mm and H=60 mm



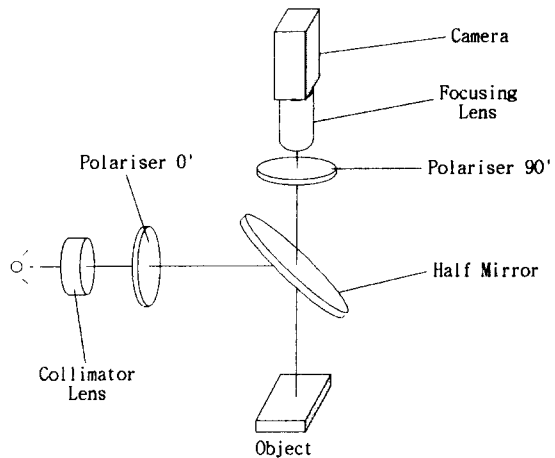
(b) D=62 mm and H=160 mm

Fig. 14 Etching board image

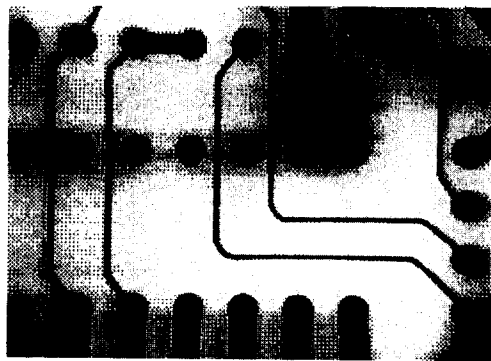
에폭시는 난반사가 주요한 반사요소이므로, Fig. 15(a)와 같은 조명장치를 사용하여 조명하여도 반사광은 편광된 빛이 아니다. 반대로 구리는 전반사가 주요한 반사요소이므로 Fig. 15(a)와 같은 조명장치를 사용하여 조명하면 반사광은 편광된 빛이다. 이렇게 반사된 빛을 카메라 앞에 다른 또하나의 편광판을 통하여 카메라로 수광하면 편광된 빛의 세기를 작게하여 수광할 수 있다. 즉, 구리에서 반사된 빛의 세기를 작게하여 수광할 수 있다(8). 이러한 에폭시와 구리의 반사특성의 차이를 이용하여 Fig. 15(a)와 같은 조명장치를 사용하면 Fig. 15(b)와 같은 좋은 화상을 얻을 수 있다.

4.3 PSR 보드에 대한 조명장치 설계

PSR(photo surface resistance) 보드는 Fig.

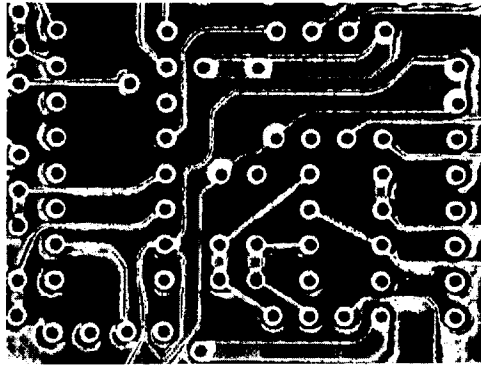


(a) Schematic diagram of the polarization system

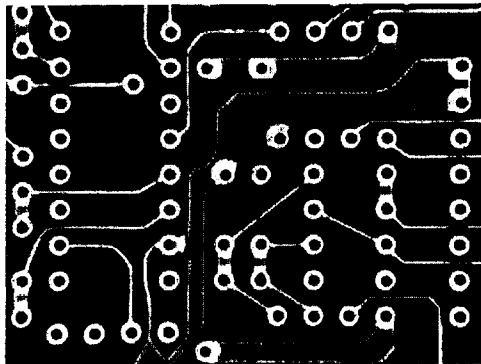


(b) Image case of using the polarized light

Fig. 15 The polarized light for the etching board



(a) D=62 mm and H=170 mm



(b) D=100 mm and H=140 mm

Fig. 16 PSR(photo surface resistance) board image

12(c), (d)와 같은 물체이다. 납과 PSR-epoxy, PSR-copper는 모두 경면에 가까운 반사특성을 갖고 있음을 알 수 있다. 즉, 납은 전반사 로브(specular lobe) 요소가 매우 강하고 PSR-epoxy, PSR-copper는 전반사 스파이크(specular spike) 요소가 매우 강하다. 이러한 반사특성을 갖는 물체는 반사를 이용하여 좋은 화상을 얻기가 매우 힘들다. 또한 세가지 물체의 편광특성도 비슷하여 편광을 이용하기도 어렵다. 반사특성 모델을 비교하면 $|\theta_i| \leq 10^\circ$, $\theta_i \neq 0^\circ$ 인 영역에서 밝기차가 큼을 알 수 있다. 그러나 PSR-epoxy와 PSR-copper이 만나는 경계부분에서 PSR에 의해 곡률을 갖기 때문에 하이라이트(highlight)가 생기게 된다. Fig. 16은 이러한 현상을 잘 보여주고 있다.

5. 결 론

시각인식시스템은 처리해야 하는 정보량이 많기 때문에 입력화상을 좋게하면 화상처리 알고리즘이

간단해지고 시스템의 제작비도 낮출 수 있다. 그러므로 입력화상의 질을 좌우하는 조명장치부의 설계는 매우 중요하다. 조명장치부는 대상물체, 시스템의 작업내용, 시스템에 의한 제한조건에 알맞게 설계되어야 한다.

본 연구에서는 인쇄회로기판 제조 공정중의 중간 제품을 검사하기 위한 시각인식시스템의 조명장치 설계를 위한 대상물체의 반사율 스펙트럼(spectral reflectance)를 측정하여 광원을 할로겐 램프로 선정하고, 대상물체의 반사특성을 실험을 통하여 알아내고 반사특성 모델을 얻었다. 또한 링조명 장치에 대하여 조명균일도를 측정하였다. 그리고 반사특성 모델, 편광특성, 그리고 조명균일도 실험결과를 이용하여 양질의 화상을 얻을 수 있는 조명 장치를 설계하였다.

드라이필름(dryfilm)보드는 지름이 100 mm인 링조명을 140 mm~180 mm 높이로 설치하여 구리패턴은 밝고 폴리머는 어두운 좋은 화상을 얻었다. 에칭보드는 지름이 62 mm인 링조명을 160 mm~200 mm 높이로 설치하거나, 지름이 100 mm인 링조명을 140 mm~200 mm 높이로 설치하여 구리패턴은 밝고 에폭시는 어두운 좋은 화상을 얻었다. 또한 편광조명을 사용하여 에폭시는 밝고 구리패턴이 어두운 화상을 얻었다. PSR보드는 구성 물체의 반사특성이 비슷하여 편광 및 반사를 이용한 방법으로는 좋은 화상을 얻기 어려움을 알았다.

참고문헌

- (1) Reynolds, R. L. and Hageniers, O. L., 1990, "A Rigorous Optical Theory of the DSIGHT Phenomena," *SPIC*, Vol. 1332, pp. 88~96.
- (2) Yasuhiko Hara, Hideaki Doi, Koichi Karasaki and Tadashi Iida, 1988, "A System for PCB Automated Inspection Using Fluorescent Light," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, Vol. 10, No.1, Jan.
- (3) Torrance K. E. and Sparrow, E. M., 1967, "Theory for Off-Specular Reflection from Roughened Surfaces," *Journal of the Optical Society of America*, Vol. 57, No. 9, pp.1105~1114, Sep.
- (4) Nayar, S. K., Ikeuchi and Kanade, T.K., 1990, "Determining Shape and Reflectance of Hybrid

- Surfaces by Photometric Sampling," *IEEE Trans On Robotics and Automation*, Vol. 6, No. 4, pp.418~431.
- (5) Nayar, S. K., Ikeuchi, K. and Kanade, T., 1991, "Surface Reflection: Physical and Geometrical Perspectives," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.13, No.7, pp.611~634.
- (6) 나현찬, 1994, "광학 특성을 이용한 인쇄회로기판의 패턴 검사용 조명장치 설계," 한국과학기술원 석사학위논문.
- (7) 나현찬, 유영기, 조형석, 노병욱, 1994, "반사 특성을 이용한 인쇄회로기판의 패턴 검사용 조명장치 설계," 대한기계학회 '94 추계학술대회 논문집 (I), pp. 887~872.
- (8) Wolff L. B. and Boult, T. E., 1991, "Constraining Object Features Using a Polarization Reflectance Model," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.13, No.7, pp. 635~657.