

CRT 패널의 체크 불량 검출을 위한 새로운 조명 시스템

A New Lighting System for the Inspection of Check Defect of CRT Panel

하 종 은*, 차 준 혁, 권 인 소
(Jong-Eun Ha, Joon-Hyuk Cha, and In-So Kweon)

Abstract : In this paper, we propose a lighting system for the stable detection of check defects of the CRT panel through the analysis of the lighting interaction between the lighting unit and the CRT panel. The check defect is very difficult to detect reliably because of its high sensitivity according to the direction of incident light. At first, we model the physical shape of check defects using SEM image. And then we apply physics based illumination model to investigate the optical characteristics of the check defect. Finally, we propose a lighting system for the stable detection of check defect. Experimental results show the feasibility of the proposed lighting system for check inspection.

Keywords : check defect, lighting model, CRT inspection

I. 서론

산업 현장에서는 완성된 제품의 품질 검사를 보다 신속하고 정확하게 수행할 수 있는 자동화 검사 시스템(automated inspection system) 개발을 위해서 많은 노력을 하여왔다[1~7]. 이러한 노력의 일환으로 최근에는 인간의 눈을 대신한 머신 비전(machine vision)을 이용하여 자동화 검사 시스템을 개발하려는 시도가 증가하고 있다. 하지만 검사 시스템이 100% 라는 높은 신뢰도를 요구하는 반면에 현재의 자동화 검사 방법은 이러한 요구를 만족시키지 못하고 있으며, 아직까지도 복잡하고 높은 신뢰도를 요구하는 부분에 대해서는 사람이 직접 검사를 하고 있다.

본 연구에는 CRT 제조 공정에서 발생하는 다양한 결함중 현재까지 안정적인 검출이 어려운 불량 항목중의 하나인 체크 불량에 대해 다루며 이의 유무 검사를 원활히 수행할 수 있는 조명 시스템에 대해 다루고자 한다.

검사기를 설계하기 위해 우선, 불량량의 기하학적 형상을 분석하도록 하며 이를 통해 불량량의 기하학적 형상을 모델링하도록 한다. 불량량의 기하학적 형상을 이용하여 광학 모델을 적용함으로써 체크 불량을 안정적으로 검출할 수 있는 조명 방식 및 조건을 제안하도록 한다.

실험을 통해 제안한 방식의 타당성을 보이도록 한다.

II. 체크 불량량의 기하학적 형상 분석

금이 간 형태의 결함은 유리 표면에 가는 금이 생기거나 충격에 의해 유리의 일부가 깨어져나간 형태의 결함을 말한다. 이러한 결함은 유리 브라운관 패널의 어느 곳에서나 발생 가능하며, 금이 간 경우에는 공정이 진행될수록 결함이 계속 자라나서 결국에는 유리 브라운관 패널이 깨어지는

심각한 문제를 일으킨다.

따라서 임의의 위치에 존재하는 금이 간 형태의 결함을 정확히 검출하는 것은 아주 중요한 문제가 아닐 수 없다.

결함 검출을 위한 조명 방식 선정을 위한 결함의 광반응 특성을 분석하기 위해 먼저 결함의 기하학적 형태를 살펴보기로 한다. 금이 간 형태의 결함은 아주 미세한 것부터 아주 큰 것까지 다양한 크기를 가지고 있으며, 쉽게 발견되지 않는다. 그림 1은 금이 간 형태의 결함을 기하학적으로 보다 정확히 모델링하기 위해 전자 현미경을 이용하여 유리 브라운관 패널의 표면에 존재하는 결함을 촬영한 것이다. 그림 1의 (a)는 결함의 폭을 알아보기 위해서 결함을 정면에서 촬영한 것으로 결함의 폭이 1~2 μ m 정도임을 확인할 수 있다. 그림 1의 (b)는 결함의 깊이를 살펴보기 위해서 결함을 측면에서 촬영한 것으로 시편의 절단면이 고르지 않아 정확한 결함의 깊이나 끝 모양을 알 수는 없으나 결함의 깊이가 적어도 50 μ m 이상임을 추정할 수 있다. 이로부터 유리 표면의 결함은 폭이 좁고 깊게 패인 홈의 형태라고 추정할 수 있으며, 홈의 마주보는 두 면이 이루는 각은 결함의 폭과 깊이로부터 대략 2.29° 이하로 추정할 수 있다. 두 면이 이루는 각 2.29° 는 폭이 2 μ m, 깊이가 50 μ m인 경우에 대해서 삼각 함수를 이용해 계산한 값이다.

결함은 폭이 1~2 μ m 정도인데 반해서 깊이는 50 μ m 이상으로 결함의 마주보는 두 면은 아주 좁은 간격으로 거의 평행하게 떨어져있다고 볼 수 있다. 따라서 결함의 끝 모양이 어떻게 생겼는지는 정확히 알 수 없으나, 결함의 깊이가 폭보다 상대적으로 매우 크기 때문에, 금이 간 형태의 결함을 그림 2와 같이 평행한 면이 마주보고 있는 홈의 형태라고 추정할 수 있으며, 홈의 내부에는 이물질이 존재하지 않고 오직 공기만이 있다고 가정한다. 그리고 유리가 금이 가거나 깨어진 경우는 그 면이 아주 날카롭고 부드럽다고 가정할 수 있다. 이로부터 금이 간 형태의 결함은 브라운관 패널의 유리 사이에 그림 2과 같이 경계면이 부드럽고 아주 얇은 공기층이 존재하는 형태라고 모델링할 수 있다.

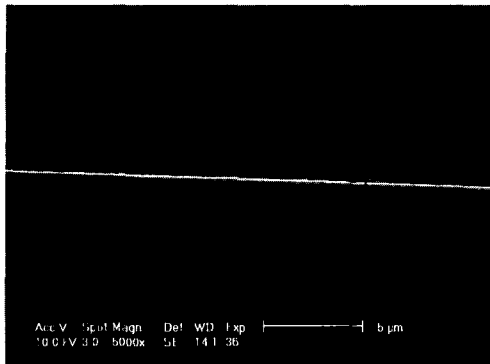
* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2004. 1. 2., 채택확정 : 2004. 4. 12

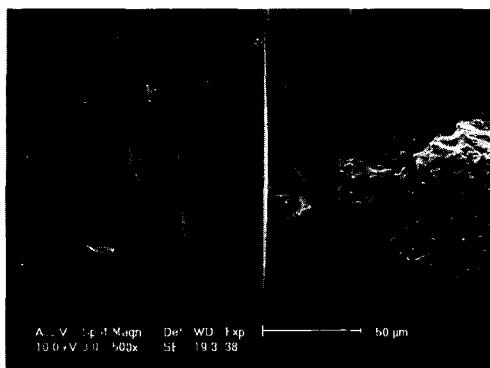
하종은 : 동명정보대학교 멀티미디어공학과(jeha@tit.ac.kr)

차준혁 : 대우전자(windcjh@dreamwiz.com)

권인소 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(iskweon@ee.kaist.ac.kr)



(a) 결함의 폭



(b) 결함의 깊이

그림 1. 전자 현미경으로 촬영한 금이 간 형태의 결함.
Fig. 1. Check defect image by SEM.

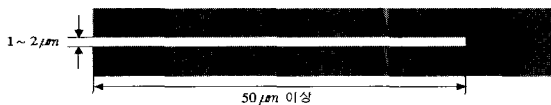


그림 2. 책 결함의 기하학적 모델.
Fig. 2. Geometric model of check defect.

III. 반사 모델의 적용에 의한 광반응 특성 분석

책 결함의 경우 전질의 전자 현미경 분석을 통해 알 수 있듯이 결함면의 특성이 매끄러운 면으로 가정할 수 있다. 본 절에서는 이러한 면에 적용할 수 있는 광학 모델의 적용을 통해 조명 조건을 찾을 수 있도록 한다. Torrance-Sparrow 모델은 빛의 경면 반사 에너지 분포를 기하 광학의 측면에서 모델링 한 것으로 컴퓨터 비전 분야에서 많이 사용되는 반사 모델 중 하나이며 이는 그림 3에 나타나 있다. Torrance-Sparrow 모델로부터 빛의 에너지 분포를 Fresnel 반사 계수와 기하학적 감쇠 계수, 그리고 물체 표면의 거칠 정도(roughness)로 표현할 수 있다. 경면 반사 에너지를 Torrance-Sparrow 모델[8,9]을 사용하여 영상 점의 밝기 값으로 나타내면 다음의 식과 같다.

$$I_{s,Torrance-Sparrow} = K_{s,Torrance-Sparrow} \cdot F(\theta'_i, \eta) \cdot \left[\frac{G(\theta_i, \theta_r, \phi_r)}{\cos \theta_r} \right] \cdot \exp(-m^2 \alpha^2) \quad (1)$$

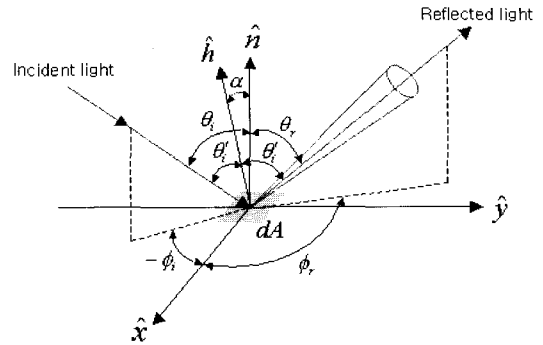


그림 3. 빛의 기하학적 반사 구조.
Fig. 3. Geometric mechanism of reflection of light.

여기서 $F(\theta'_i, \eta)$ 은 Fresnel 반사 계수로 θ'_i 는 극부 입사각, η 는 굴절률이며, $G(\theta_i, \theta_r, \phi_r)$ 는 기하학적 감쇠 계수이다. 그리고 $K_{s,Torrance-Sparrow}$ 는 Torrance-Sparrow 모델로부터 구해진 빛의 반사 에너지를 밝기 값으로 바꾸기 위한 비례 계수로 상수이며, m 은 물체 표면의 거칠 정도를 나타낸다. 물체의 표면이 부드러울수록 m 은 큰 값을 가지며, 이때 경면 반사 로브의 폭은 좁아져서 반사광의 분포는 델타 함수에 가까워진다.

Fresnel 반사 계수를 알고 있는 경우에는 실험을 통해 반사된 빛의 밝기 변화를 측정하면 Torrance-Sparrow 모델로부터 물체 표면의 거칠 정도 및 기하학적 감쇠 계수를 계산할 수 있다. 하지만 빛의 분포 함수를 알고자 하는 경우에는 Fresnel 반사 계수 및 기하학적 감쇠 계수를 미리 알아야 하는데, 컴퓨터 비전이나 그래픽스 분야에서는 일반적으로 이들을 상수로 가정을 하며, 이로부터 얻은 빛의 분포 함수는 실제 빛의 분포와 큰 차이가 없다. 두 계수를 상수로 가정하고 빛이 1차원 상에서 진행되는 경우를 고려하면, Torrance-Sparrow 모델을 다음 식과 같이 보다 간단한 형태로 나타낼 수 있다.

$$I_{s,Torrance-Sparrow} = K'_{s,Torrance-Sparrow} \cdot \exp(-m^2 \alpha^2) \quad (2)$$

(2)에서 $K'_{s,Torrance-Sparrow}$ 는 (1)의 Fresnel 반사 계수 $F(\theta'_i, \eta)$ 와 기하학적 감쇠 계수 $G(\theta_i, \theta_r, \phi_r)$ 및 비례 계수 $K_{s,Torrance-Sparrow}$ 를 하나의 비례 계수로 나타낸 상수이다. 그림에서 \hat{v} 는 CCD 카메라 센서의 방향 벡터이며, \hat{s} 는 광원의 방향 벡터, \hat{n} 은 표면의 법선 벡터이다. 그리고 \hat{h} 는 통상 하프웨이 벡터(halfway-vector)라 부르며, \hat{v} 와 \hat{s} 의 벡터 합을 정규화한 벡터이다.

상기의 광학 모델의 적용 타당성을 알아보기 위한 실험 결과는 다음과 같다. 실험은 가장자리 부분에 발생한 금이 간 형태의 결함 표본(sample) 5개로 수행하였으며, 선택된 5개의 표본은 결함의 크기가 충분히 커서 반사된 빛을 명확히 측정할 수 있는 것들로 반사 모델을 정확히 확인할 수 있는 표본들을 선택하였다.

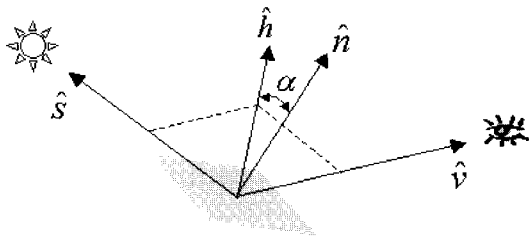


그림 4. 1차원 상에서의 빛의 기하학적 반사 관계.
Fig. 4. Geometry of reflection of light on 1D.

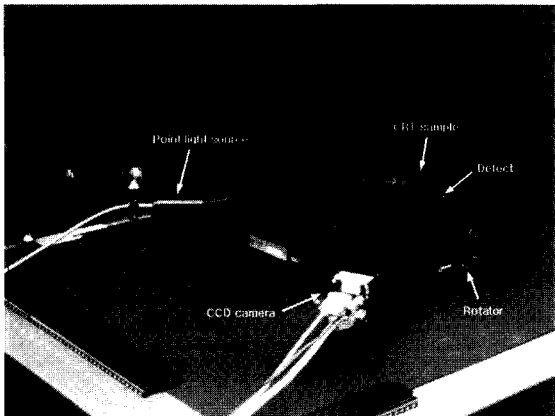


그림 5. 결함에서 반사된 빛의 분포 측정을 위한 시스템 구성.
Fig. 5. Measurement system of the reflected light distribution of the defect.

그림 5는 결함에서 반사된 빛을 측정하기 위해 사용한 시스템 구성이다. 조명은 점 광원을 사용하였으며, 반사된 빛의 분포 측정을 위해서 카메라를 회전체(rotator)에 붙여서 움직일 수 있도록 하였다. 실험에 사용한 카메라는 Basler A113CP 디지털 CCD 카메라이며, 렌즈는 초점 거리가 6~12mm인 줌 렌즈를 사용하였다. 영상 획득용 보드(frame grabber)는 EPIX 사의 PIXCI® D PCI Imaging Board를 사용하였다.

반사된 빛의 세기는 회전체를 1° 씩 움직여가며 카메라로 촬영한 영상으로부터 측정된 값이다. 그림 6에 나타난 결함 표면의 거칠 정도(roughness)를 나타내는 m 값은 측정된 빛의 분포 곡선을 상기의 광학 모델식에 적용하여 추정된 값으로, 모든 표본이 10이상의 큰 m 값을 가짐을 알 수 있다. 이는 결함을 기하 광학적으로 모델링할 때 가정된 바와 같이 결함 표면이 매우 부드러운 경면 반사 표면이라는 것을 의미한다.

IV. 책 결함 검출 조명 방식

책 결함이 가지는 광학 특성의 분석으로부터 이러한 형태의 결함은 빛의 반사 특성을 이용하여 검출하는 것이 유리함을 알 수 있다.

먼저 간단한 그림 7과 같은 검사 시스템을 생각해 볼 수 있다. 그림 7과 같이 점 광원을 이용하여 유리 브라운관 패널을 검사하면 결함이 존재하는 경우에는 결함에서 빛의 반

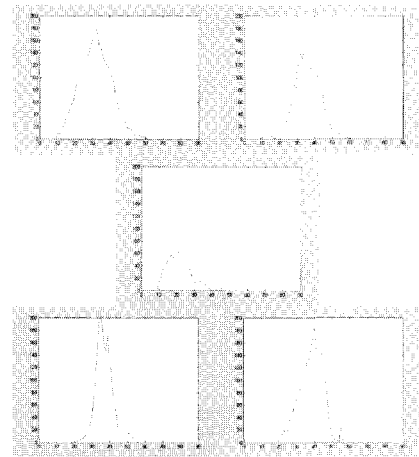


그림 6. 금이 간 형태의 결함에서 반사된 빛의 분포 및 표면의 거칠 정도(roughness) 측정 결과, 위로부터 $m=11.84, 14.54, 14.57, 24.72, 11.92$.
Fig. 6. Result of measurement of the distribution of the reflected light and roughness, from above $m=11.84, 14.54, 14.57, 24.72, 11.92$.

사가 일어나 1번 카메라에 결함이 밝게 나타난다. 이때 2번 카메라에서는 결함에서 빛이 반사되어 버리기 때문에 결함이 없는 부분에서보다 상대적으로 결함이 어둡게 나타나게 된다. 따라서 점 광원을 사용하여 유리 브라운관 패널의 전 영역을 검사함으로써 빛의 반사에 의해 밝게 나타나는 결함을 검출할 수 있다. 그러나 이 방법은 삼차원 형상을 지니는 유리 브라운관 패널의 특성상 전 영역 검사를 위한 조명 및 카메라의 구성이 어렵기 때문에 적절한 검사 방법이라 할 수 없다. 뿐만 아니라 점 광원을 사용하는 경우 결함에서 반사되는 빛의 분포가 그리 넓지 않기 때문에, 임의의 방향을 갖는 결함을 고정된 조명과 카메라 시스템으로 강인하게 검출하는 것은 불가능하다. 결국 그림 7과 같은 방법을 사용하려면 다양한 방향을 가지는 다수의 조명과 카메라가 필요하게 되는데, 이는 효과적인 방법이라 할 수 없다.

상기의 문제점을 해결하기 위한 방법으로는 확산 조명을 이용하는 방안이다. 확산 조명은 점 광원에 의해 물체의 표면에서 경면 반사된 빛의 분포가 델타 함수 혹은 이에 가까운 폭이 좁은 경면 반사 로브의 형태를 가지므로 정확한 검출이 어렵다는 문제를 해결하기 위한 것으로, 점 광원 앞에 원형의 확산기를 놓아 검사하고자 하는 부위에 넓은 범위의 입사각을 가지는 빛이 조사되게 함으로써 반사되는 빛의 분포를 그만큼 넓게 해준다. 따라서 확산 조명을 사용하게 되면 한 개의 고정된 카메라에서도 임의의 방향을 가지는 결함을 어느 정도 넓은 범위에서 강인하게 검출할 수가 있다. 하지만 확산 조명 역시 복잡한 유리 브라운관 패널의 전영역을 검사하기에는 조명과 카메라의 구성이 어렵다는 문제를 가지고 있다.

점 광원 대신에 그림 8와 같이 확산 조명(diffuse illumination)을 사용하면 넓은 영역을 한번에 검사할 수 있으며, 한 점에는 확산 조명과 같이 여러 개의 입사각을 가지는 빛이 조사되어 반사된 빛이 넓은 분포를 가지게 되는 장점이 있다.

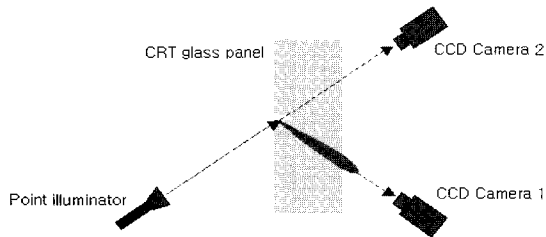


그림 7. 빛의 반사를 이용한 결함 검출.
Fig. 7. Detection of defect using reflection of light.

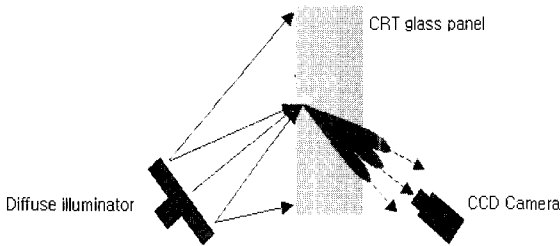


그림 8. 확산 조명(diffuse illumination)을 이용한 결함 검출.
Fig. 8. Detection of defect using diffuse illumination.

따라서 점 광원을 사용하는 것보다 검사 시간이 절약되며, 조명과 카메라의 구성이 쉬우면서도 더욱 강인하게 결함을 검출할 수가 있다.

하지만 그림 8와 같은 방법으로 유리 브라운관 패널의 가장자리 영역을 검사하기 위해서는 조명이나 카메라가 가장자리 부분을 사이에 두고 대칭인 위치에 있어야 한다. 따라서 조명과 카메라 중에 하나는 유리 브라운관 패널의 안쪽에 위치해야 하는데, 유리 브라운관 패널의 구조적 특성상 시스템의 구성이 어려운 문제점이 있다.

이런 문제점을 해결하고 보다 강인한 결함 검출을 위해서 본 논문에서는 그림 9와 같은 조명 방식을 제안한다.

그림 9의 조명 구조를 사용하게 되면, 유리 브라운관 패널의 바깥쪽에 조명과 카메라가 위치하기 때문에, 검사 시스템의 구성이 용이한 이점이 있다. 뿐만 아니라 전방향으로 빛이 균일하게 나가는 확산 조명을 사용하므로 검사 부위에 입사하는 빛의 입사각이 넓게 분포되어 결함에서 반사되는 빛의 분포가 넓어지는 장점이 있다. 따라서 고정된 한대의 카메라를 가지고 임의의 방향성을 가지는 결함을 강인하게 검출할 수 있다. 유리 브라운관 패널 표면의 법선 벡터와 동일한 방향을 가지는 결함이 존재하는 경우에 대해서 제안한 검사 방법을 사용하는 경우에 결함에서 반사되는 빛의 분포는 다음과 같이 계산할 수 있다.

한 줄기의 빛이 결함에 입사하는 경우 결함에서 반사되는 빛의 분포는 Gaussian 분포 혹은 Gaussian 분포들의 합으로 나타낼 수 있다. 그리고 확산 조명의 길이를 l , 조명과 결함 사이의 거리를 d , 유리의 두께를 w 라 하면, 결함에 조사되는 빛의 최대 입사각 θ_{i_max} 는 (3)으로부터 계산할 수 있다. 따라서 결함에 조사되는 빛의 입사각 θ_i 는 $0 \leq \theta_i \leq \theta_{i_max}$ 의 범위를 갖는다.

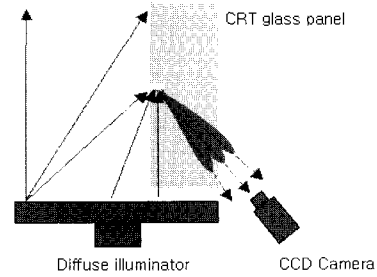


그림 9. 책 불량 검출을 위한 제안 조명 방법.
Fig. 9. Proposed light system for detection of check defect.

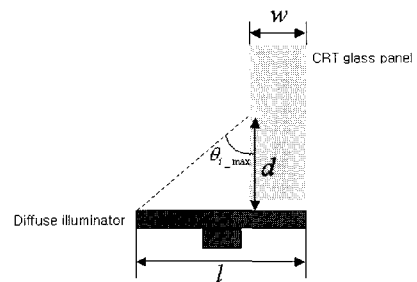


그림 10. 결함에 조사되는 빛의 입사각.
Fig. 10. Incident angle of light on the defect.

$$\theta_{i_max} = \tan^{-1}\left(\frac{l-w}{d}\right) \tag{3}$$

확산 조명에서 나오는 빛이 전방향에 대해 동일한 휘도를 가지며 확산 조명에서 나온 빛의 에너지가 손실되지 않고 유리 브라운관 패널에 도달한다고 가정하면, 결함에 조사되는 빛의 분포는 단위 함수의 형태가 된다. 따라서 확산 조명을 사용할 경우에 결함에서 반사되는 빛의 분포는 확산 조명으로부터 결함에 조사된 빛의 분포 함수와 반사되는 빛의 분포 함수의 중첩 적분의 형태가 된다. 한 줄기의 빛이 입사할 때 결함에서 반사되는 빛의 분포 범위를 $2\theta_{r_max}$ 라 하면, 확산 조명으로부터 입사한 빛이 결함에서 반사되었을 때 반사된 빛의 분포 범위는 $(2\theta_{r_max} + \theta_{i_max})$ 가 된다. 따라서 결함을 검출할 수 있는 카메라 방향의 범위는 검사하는 유리면이 FOV(field of View)내에 있는 경우에 이론적으로 0° 에서 $(\theta_{r_max} + \theta_{i_max})$ 사이가 된다. 따라서 확산 조명의 길이를 적절히 선택하면 결함 검출 가능 범위를 원하는 대로 조절할 수가 있다.

결함에서 반사된 빛을 강인하게 측정하기 위해서는 카메라의 위치 및 방향을 잘 선정해야 한다. 확산 조명을 사용하면 결함에서 반사된 빛의 분포가 넓어지기 때문에 결함의 위치나 방향에 크게 영향을 받지 않는 카메라 구성을 찾을 수 있다. 하지만 검사 영역이 넓고 유리 브라운관 패널의 각 점에서 카메라로 반사되는 빛의 방향은 조금씩 다르기 때문에, 검사 영역의 모든 점에서 빛이 반사되어 나오는 각도가 그림 11에서 보인 것과 같이, 0° 보다는 크고 $(\theta_{r_max} + \theta_{i_max})$ 보다는 작게 되도록 카메라의 위치를 선택할 필요가 있다. 뿐만

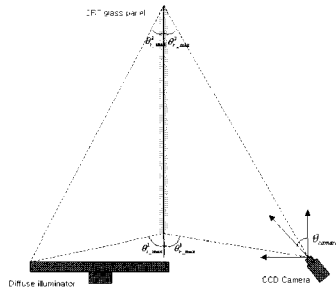


그림 11. 카메라의 구성 조건.
Fig. 11. Configuration of camera.

아니라 이러한 범위 내에서 검사 영역이 카메라의 FOV(Field Of View)에 있어야 하기 때문에 구성 가능한 카메라의 방향은 0° 보다는 훨씬 커지게 된다. 다음의 그림 11은 유리 면의 검사를 위한 카메라의 구성 조건을 보여준다.

검사하려는 유리 면의 끝이 카메라와 이루는 각을 $\theta_r^1_{max}$, $\theta_r^2_{max}$ 라 하면, 전 영역을 검사하기 위해서는 카메라가 유리 면과 이루는 각이 $\theta_r^2_{max}$ 보다 크고 $\theta_r^1_{max}$ 보다는 작아야 한다. 그리고 이때 $\theta_r^2_{max}$ 는 결합에서 반사된 빛이 카메라에 보일 수 있는 FOV내에 있어야 한다.

V. 실험 결과

제안한 확산 조명을 사용할 경우에 반사된 빛의 분포를 점 광원을 사용한 경우와 비교함으로써, 제안한 조명의 효율성을 검증한다. 실험은 하나의 결합 표본에 대해서만 수행하였으며, 시스템의 구성은 그림 5와 동일하다. 실험에 사용한 확산 조명은 230*60mm 크기의 적색 LED 조명이다. 확산 조명과 그림 11로부터 확산 조명과 결합 간의 거리 d 는 255mm이며, θ_i_{max} 는 42° 이다.

동일한 결합에 대해 점 광원과 확산 조명에 의해 반사된 빛의 분포는 그림 12과 같다.

그림 12에 나타난 실험 결과로부터 반사된 빛의 최대값을 비슷하게 맞춘 경우 점 광원에 의해 반사된 빛의 분포보다 확산 조명에 의해 반사된 빛의 분포가 13° 가량 넓음을 확인할 수 있다. 점 광원의 입사각이 30° 이므로 확산 조명의 최대 입사각은 점 광원의 입사각보다 12° 가 크다. 확산 조명을 사용하면 점 광원을 사용한 것보다 결합에서 반사된 빛의 분포가 12° 만큼 더 넓어져야 하는데, 그림 12의 실험 결과로부터 결합에서 반사된 빛의 분포가 이론적으로 예측한 것과 거의 동일하다는 것을 확인할 수 있다. 그리고 확산 조명을 사용한 경우 카메라의 위치가 0° 에 가까워질수록 예상과 달리 빛의 세기가 감소하는데, 이는 카메라와 유리 브라운관 패널의 가장자리가 평행에 가까워져서 결합이 FOV(Field Of View)에서 벗어나기 때문이다. 위 실험 결과로부터 확산 조명을 사용하면 결합에서 반사된 빛의 분포가 넓어져서 입의 방향을 가지는 결합을 보다 강인하게 검출할 수 있음을 확인할 수 있다.

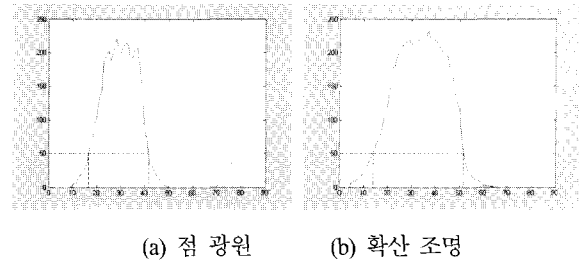


그림 12. 점 광원과 확산 조명에 의해 반사된 빛의 분포 곡선.
Fig. 12. Distribution light by point illumination and diffuse illumination.

제안된 조명 방식에 의한 책 불량 검출 시스템은 그림 13과 같다.

실험은 카메라가 유리 브라운관 패널의 가장자리와 10° , 30° , 50° 의 각을 이루는 경우에 대해서 수행하였다. 그리고 결과로 제시하는 표본들은 다수의 실험 결과 중에 결합의 위치에 따라 대표적인 표본 3개를 선별한 것으로 결합의 위치가 카메라로부터 선두, 중앙, 후단부에 존재한다. 카메라가 유리 브라운관 패널의 가장자리 전체를 FOV내에 두기 위해서는 적당히 유리 브라운관 패널과 떨어져 있어야 한다. 따라서 유리 브라운관 패널의 가장자리 각 점에서 반사된 빛이 카메라 방향으로 나오는 각은 모두 다르다. 그러므로 조명과 가까운 부분일수록 반사된 빛이 카메라로 들어오는 경우 반사각은 카메라 방향이 유리 브라운관 패널의 가장자리와 이루는 각도보다 크며, 조명과 먼 부분에서 반사되어 들어오는 빛이 이루는 각은 작게 된다.

이로부터 결과 영상을 보면 결합이 조명에 가까이 있는 경우, 결합에서 반사된 빛이 카메라로 반사되어 들어오는 각도는 카메라와 유리 브라운관 패널의 가장자리가 이루는 각도보다 크다. 따라서 카메라가 가장자리와 이루는 각이 커질수록 결합에서 반사되어 나오는 빛의 세기는 작아진다. 반대로 결합이 조명으로부터 멀리 떨어져있는 경우에는, 결합에서 반사되어 나오는 빛이 카메라로 들어오는 각도가 카메라와 가장자리가 이루는 각도보다 작다. 그러므로 결과 영상을 보면 카메라가 유리 브라운관 패널의 가장자리와 이루는 각이 커질수록 반대로 결합에서 반사되어 나오는 빛의 세기가 증가한다.

그림 14의 결과로부터 넓은 FOV를 요구하는 유리 브라운관 패널의 가장자리 검사를 위해서는, 가장자리의 어떠한 위치에 결합이 있더라도 결합에서 반사되어 나오는 빛을 볼 수 있는 카메라의 위치 선정이 중요한 문제임을 다시 한번 확인할 수 있다. 그리고 실험 결과로부터 카메라와 유리 브라운관 패널이 30° 정도의 각을 이루는 위치에서 가장자리의 모든 점에서 반사되어 나오는 빛을 검출할 수 있음을 알 수 있다. 이 경우에 조명에 가장 가까운 가장자리 끝부분이 카메라와 이루는 각은 50° 정도이며, 조명과 가장 먼 지점이 카메라와 이루는 각은 22° 정도가 된다. 물론 이런 각도 범위는 카메라와 유리 브라운관 패널의 위치 및 거리에 따라 조금씩 달라지는데, 거리가 너무 멀 경우에는 카메라와 유리

브라운관 패널이 이루는 각도 범위가 줄어들게 된다. 하지만 이런 경우에는 유리 브라운관 패널이 카메라 영상에 작게 보이므로 카메라의 해상도가 그만큼 높아져야 하는 문제점이 있다.

책 불량률의 경우 기존의 머신 비전 분야에서 널리 쓰이는 투과 조명 방식을 사용할 경우 책 불량 자체의 미세함으로 인해 불량률의 추출하기 위한 특징치가 분명한 영상을 얻기가 어렵다. 본 연구에서는 책 형상의 분석과 반사 모델의 적용을 통해서 책 불량률 안정적으로 검출할 수 있는 조명 방식을 제안하였다. 제안된 조명 방식에 의한 책 불량률 이미지의 경우 간단한 처리를 통해 쉽게 책 불량률 검출할 수 있다.

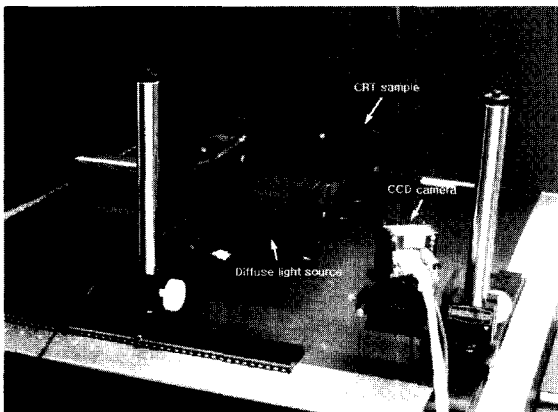
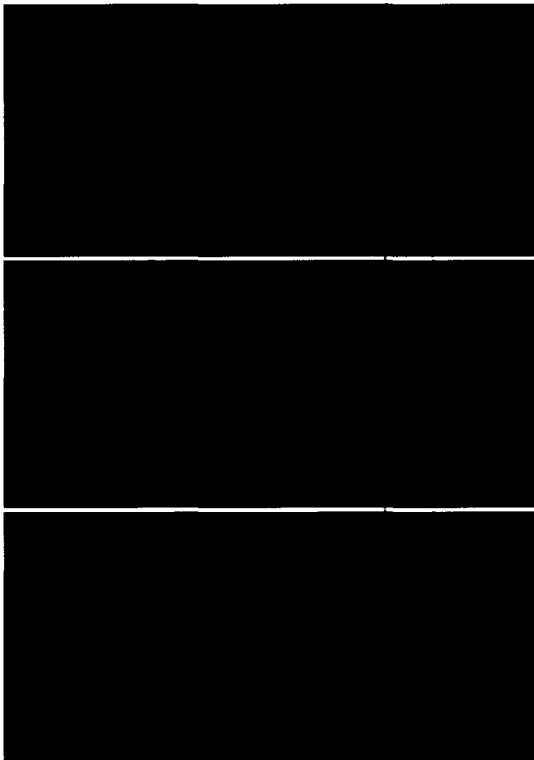
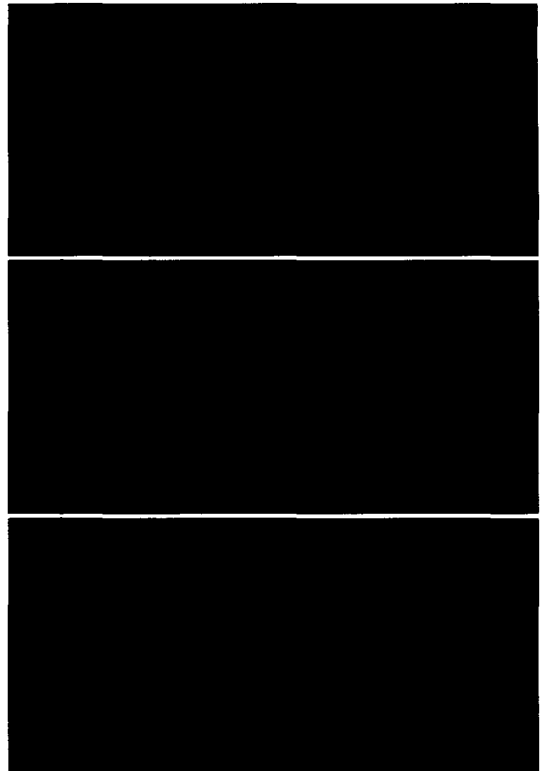


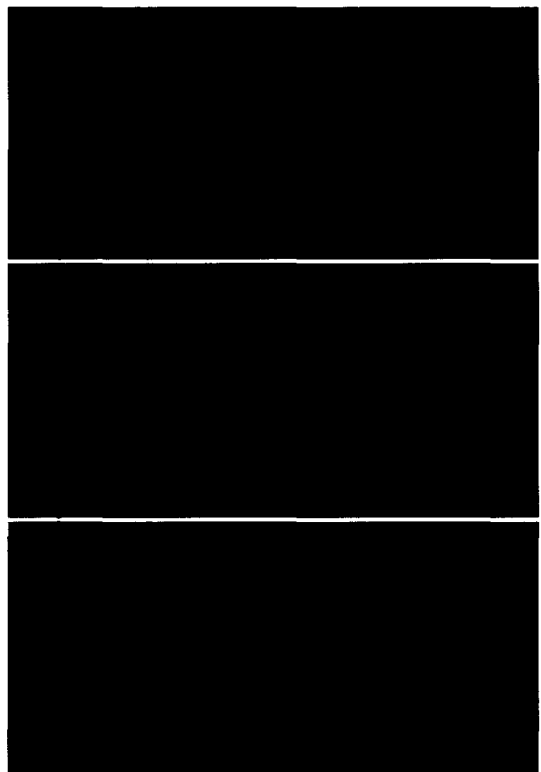
그림 13. 금이 간 형태의 결함 검출을 위한 시스템 구성.
 Fig. 13. Configuration of system for the detection of the defect type of crack.



(a) 카메라 방향 10°



(b) 카메라 방향 30°



(c) 카메라의 방향 50°

그림 14. 불량률의 위치가 카메라로부터 각각 선두,중앙,후단부에 위치할때의 이미지.

Fig. 14. Image acquired when defect locates at front, middle, and rear from camera.

VI. 결론 및 향후 과제

CRT 관넬 불량중 검출이 어려운 책 불량량의 자동 검사를 위한 조명 시스템을 제안하였다. 먼저 책 불량량의 기하학적 형태를 고찰후 광학 모델을 적용하여 책 불량을 안정적으로 검출할 수 있는 조명 시스템을 제안하였다.

제안 조명 시스템의 경우 관넬의 네 면에 존재하는 책 불량량의 검출에서는 유용하게 쓰일 수 있으나 코너상에 존재하는 책 불량량의 경우에는 추가적인 연구가 필요하다. 코너상에 존재하는 책 불량량의 경우 법선 벡터의 변화가 $0^\circ \sim 45^\circ$ 이기 때문에 제안된 조명 방식으로는 대처하기 어려운 문제가 발생한다.

참고문헌

- [1] M. Arsenault, J. Bentz, J.-L. Bouchard, D. Cotnoir, S. Verreault and X. Maldague, "Glass fragments detector for a jar filling process", *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, vol. 2, pp. 759-762, 1993.
- [2] J. Caron and L. Duveubourg, "Defect detection by recursive filters in packaging industry", *Proceedings of 1997 International Conference on Information, Communications and Signal Processing*, vol.2, pp. 1189-1193, 1997.
- [3] H. Chen and L.B. Wolff, "Polarization phase-based method for material classification and object recognition in computer vision", *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 128-135, 1996.
- [4] E. R. Davies, "Principles and design graphs for obtaining uniform illumination in automated visual inspection", *Sixth International Conference on Image Processing and Its Applications*, vol. 1, pp. 161-165, 1997.
- [5] P. Geveaux, J. Miteran, S. Kohler, F. Trucheter and E. Renier, "A lighting characterization by a reliable method. application to defect detection by artificial vision in industrial field", *Industrial Electronics Society Proceedings of the 24th Annual Conference of the IEEE*, vol. 3, pp. 1242-1245, 1998.
- [6] <http://www.illuminationtech.com>
- [7] M. Katafuchi, M. Sano, S. Ohara and M. Okudira, "A method for inspecting industrial parts surfaces based on an optics model", *Machine Vision and Applications*, vol. 12, issue 4, pp. 170-176, 2000.
- [8] K. Torrance and E. Sparrow, "Theory for off-specular reflection from rough surfaces", *Journal of the Optical Society of America*, vol. 57, pp. 1105-1114, 1967.
- [9] S. K. Nayar, K. Ikeuchi and T. Kanade, "Surface reflection: Physical and geometrical perspectives", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 13, no. 7, pp. 611-634, 1991.



하 종 은

1968년 11월 20일생. 1992년 서울대학교 기계공학과 졸업. 1994년 서울대학교 기계공학과 석사. 2000년 한국과학기술원 기계공학부 박사(Computer Vision). 2000. 2~2002. 8 삼성코닝 2002.08~현재 동명

정보대학교 멀티미디어공학과 재직. 관심분야는 자율보정을 통한 삼차원 복원, 마크프리 모션 캡처, 인공 지능.



차 준 혁

1976년 10월 13일. 2000년 연세대학교 전자공학과 졸업. 2002년 한국과학기술원 전자전산학과 졸업. 2002. 2~현재 대우전자 Digital Research Center. 관심분야는 머신비전, 멀티미디어 신호 처리.

권 인 소

제어 · 자동화 · 시스템공학 논문지 제 4 권 제 3 호 참조.