

◆특집◆ Display 제조 공정에 적용된 Machine Vision 사례

콘트라스트가 적은 평면 얼룩 검사를 위한  
조도 측정 및 조명 개선 방법 비교

류근호\*, 남택훈\*\*, 주효남\*\*\*, 고국원\*\*\*\*

Enhancement of Illumination Irregularity for the 2D Blot Detection  
Under Low Contrast

Keun-Ho Rew\*, Taek-Hoon Nam\*\*, Hyonam Joo\*\*\* and Kuk Won Ko\*\*\*\*

**Key Words** : Illumination Uniformity(조명 균일도), Machine Vision(머신 비전), Contrast Enhancement(콘트라스트 개선)

1. 서론

일반적으로 영상처리 분야, 특히 머신 비전의 경우, 현장 엔지니어들은 적절한 조명이 프로젝트 성공의 80%를 좌우한다고 믿어져 왔으며,<sup>1</sup> 이에 따라 머신 비전 분야에서 조명의 균일도를 높이기 위해 많은 연구개발이 이루어져 왔다.

근래 LCD, PDP 등의 화면 면적이 점점 늘어나는 추세에 따라 평판 디스플레이의 검사장비 또한 크기가 증가하고 조명 장치도 크기가 날로 증가하고 있지만 조명 균일도를 높이기 위해서는 조명 설계에서 많은 시행착오와 고가의 비용이 수반되며 하드웨어적인 조명 균일도 개선에도 한계가 있다.

따라서 영상처리 기술을 통한 소프트웨어적인 조명 균일도 향상 기술은 하드웨어에 대한 투자 비용 지출을 줄이므로 많은 연구가 수행되어져 왔다.

그러나, 콘트라스트(contrast)가 낮은 상태에서는 이러한 방법들 중 상당수가 효과를 발휘하지 못하게 되므로 이를 극복하기 위해 본 연구를 시작하게 되었다.

기존 연구를 살펴보면, Gonzalez 등<sup>2</sup>은 열림과 닫힘을 이용한 tophat 방법을 이용하여 조명이 불균일한 흑색 배경의 쌀알을 검출하였다. Taniguchi et al.<sup>3</sup> 그리고 Lee and Yoo<sup>4</sup>는 LCD에 발생하는 콘트라스트가 낮은 얼룩을 검출하는 연구를 수행하였고, Ryu 등<sup>5</sup>은 PCB 검사용 조명 장치의 설계에 대해 연구하였고, Dutre 등,<sup>6</sup> Forsyth 등,<sup>7</sup> Sonka 등<sup>8</sup> 영상 처리 관점에서 조명에 관한 연구를 집대성하였고, Davies<sup>9</sup>는 머신 비전 관점에서 조명의 설계 및 조명 불균일도에 대해 연구하였다.

본 연구는 LCD 유리 위의 얼룩검사를 위해 시작한 연구로서 LCD 유리와 비슷한 상황을 만들기 위해 2차원 평면 물체에 비추어지는 조명의 불균일도를 암실에서 측정하고 공통된 특징을 추출하여 이를 바탕으로 조명 불균일도를 개선하는 영상처리 기법을 적용하여 콘트라스트가 낮은 원 형태의 얼룩을 검출하는 연구를 실험적으로 수행하였다.

\* 호서대학교 로봇공학과  
Tel. 041-540-5805, Fax. 041-540-5808 Email khrew@hoseo.edu  
반도체, 디스플레이 장비의 영상 처리와 모터 제어, 특히 모터의 잔류 진동 제어 분야에 관심을 두고 연구를 하고 있다.  
\*\* 호서대학교 기계공학과  
\*\*\* 호서대학교 디스플레이공학부  
\*\*\*\* 선문대학교 제어계측공학과

## 2. 실험 장치 및 실험 방법

### 2.1 실험 장치

#### 2.1.1 조명 장치

아래 Fig. 1은 전체 실험 장치 중 조명 장치의 설계도이며, 본 연구에서는 고주파 형광등을 사용하였다.

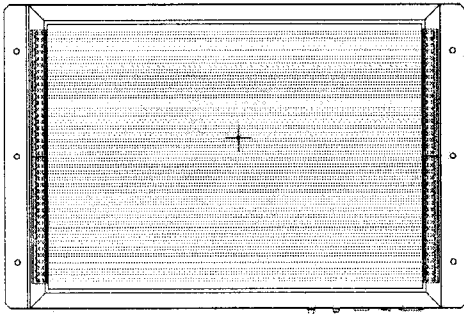


Fig. 1 Ultrasonic illumination module

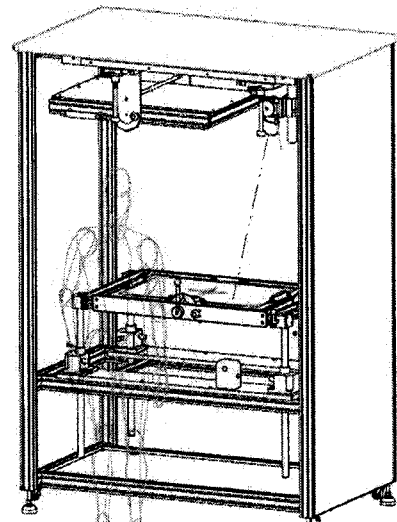
EEFL 형광 조명은 기존의 형광 조명과는 달리 전극이 외부에 있어 흑화 현상이 발생하지 않아 수명이 길고 고효율의 특성을 가진다. 또한 전압 강하가 매우 적기 때문에 다수의 관을 한 개의 구동 장치로 동시 동작시키는 것이 가능하다.

본 논문에서 쓰인 조명 장치는 주파수가 45 kHz이고 조도가 약 25,000 lux인 고주파 형광 조명으로서 길이는 가로 780 mm, 세로 535 mm이다.

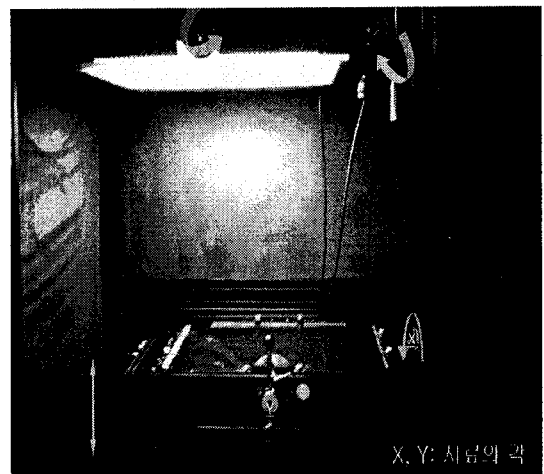
#### 2.1.2 영상 취득 장치

본 연구에서 영상 취득을 위해서 Fig. 2와 같이 압실 기능이 구비된 영상 취득 장치를 이용하였다. 영상 취득 시 수동으로 검사 대상물을 x축과 y축 중심으로 회전이 가능하고 높이 조절은 조명과 검사 대상의 거리가 300~1000 mm 까지 가능하여 줌 렌즈의 사용도 가능하다. 조명 장치와 카메라 또한 수동으로 좌우 이동이 가능하며, 카메라는 각도 조절 및 측정 대상과의 거리 측정이 가능하다.

본 영상 취득 장치에서는 외부의 빛이 내부로 들어가지 않도록 하였고, 조명에서 나온 빛이 내벽에 반사되어 샘플에 도착하는 것을 방지하기 위해 내벽을 검은 스폰지로 두르고, 시료 고정대는 무광택 흑색 도료로 착색했다.



(a) layout of image capture equipment



(b) photograph of image capture equipment

Fig. 2 Image capture equipment

## 2.2 실험 방법

### 2.2.1 조명 측정 방법

조명 측정을 위해 690 x 385 mm의 판을 제작하여 가로 69mm, 세로 7.7 mm 마다 조도를 측정하였다. 조도계는 Minolta 사의 T-10 모델을 이용하여 조도를 측정하였다. 조명과 측정을 한 면과는 중심이 일치하여 직광이 되도록 각도를 조절하였다. 조명 장치와 측정할 판이 놓일 검사물 지지대 또한 수평을 이루도록 하였고, 조명 장치와 조도계와의 거리가 각각 500, 800mm가 되었을 때 측정하였다.

형광 조명은 켜지고 난 후 일정 시간 후에 안정된 조도에 다다르므로 형광 조명을 켜지 15분 후에 조도를 측정을 하였다.

### 2.2.2 측정 시료 제작 방법

실험을 위해 백색 A4 용지에 powerpoint를 이용하여 가로 5개, 세로 3개의 속이 채워진 원을 그렸다. 각 행의 음영은 각각 1, 2, 3 %의 3줄이며, 각 원의 지름은 좌측부터 20, 17.5, 15, 12.5, 10 mm 이며, 잉크젯 프린터를 사용하여 시료를 출력하였다.

### 2.2.3 영상 취득 방법

카메라는 Canon 사의 powershot S31S를 사용하였다. 셔터 스피드 1/40, 조리개 F8.0으로 고정하고, 해상도는 1600 x 1200 해상도로 영상을 취득한 후, 1024 x 1024 화소로 잘라서 영상을 처리하였다.

## 3. 실험 결과

### 3.1 조도 측정 결과

아래 Fig. 3~4와 같이 조도는 가운데가 밝고, 가장자리는 어두운 경향을 보이는데 이는 일반적으로 조명에서 흔히 나타나는 양상이다.

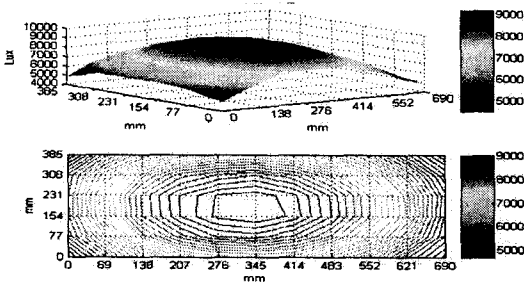


Fig. 3 Illumination distribution at 500 mm distance

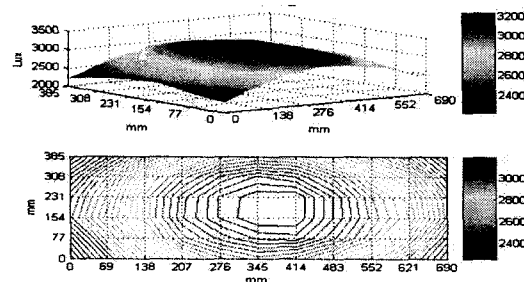


Fig. 4 Illumination distribution at 800 mm distance

조도 측정 결과 Fig. 3과 Fig. 4의 조도 분포처럼 거리가 500 mm일 때와 800 mm일 때 서로 다른 결과를 관찰할 수 있다.

거리 500 mm에서 측정한 조도는 최고 9180 lux, 최소 4520 lux로 4660 lux 조도 불균일도가 존재하였다. 또한, 거리 800 mm에서 측정한 조도는 최고 3230 lux, 최소 2220 lux로 조도 불균일도가 1010 lux 차이가 관찰되었다.

거리가 각각 500, 800 mm에서 조도 차이가 Fig.5의 결과로서 Fig. 3과 Fig. 4와 같이 가운데의 조도 차이가 크고, 가장자리가 적은 분포를 가짐을 관찰할 수 있으며, 조도 차이가 심한 중심부는 약 5950 lux 차이가 발생하며, 가장자리는 약 2160 lux 차이가 발생한다.

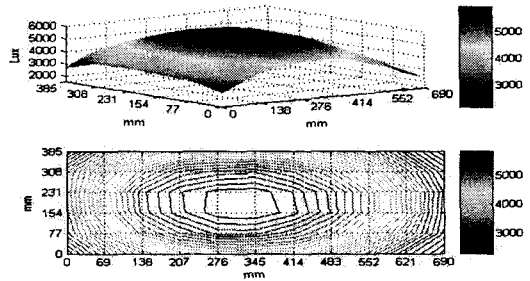


Fig. 5 Difference of illumination distribution

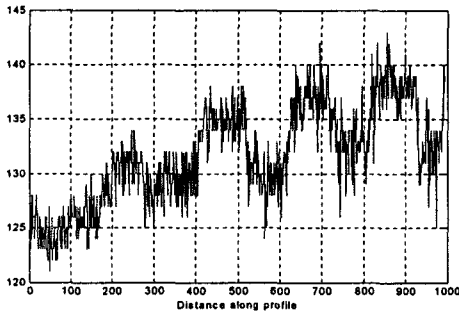
위의 실험 결과를 통해 조명과 시료와의 거리가 멀어질수록 조도 차이가 적어지지만 조도의 최대, 최소 값은 어두워진다는 것을 알 수가 있다. 또한, 조도 불균일도는 볼록함수의 성질을 지니고 있음을 관찰할 수 있다.

### 3.2 영상 취득 결과

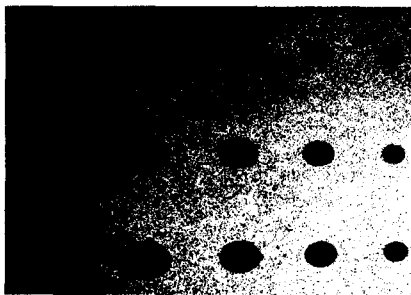
아래 Fig. 6은 조명과 시료와의 거리가 800 mm 일 때의 흑백 변환 영상과 실선 위치의 라인 프로파일(line profile)을 구한 결과이다.



(a) original image



(b) line profile of (a)



(c) thresholded image of (a)

Fig. 6 Images at 800 mm with black blots

Fig. 6을 보면 조명 불균일에 의해서 우측으로 갈수록 점점 밝아지며, 원형 얼룩과 배경과의 gray scale 값 차이는 5 정도임을 관찰할 수 있다. 이렇게 낮은 콘트라스트 차이는 (c)에서와 같이 다양한 크기, 다양한 명도의 원형 얼룩들의 인식을 어렵게 만든다.

#### 4. 영상 처리 방법 및 결과

##### 4.1 영상 처리 방법

본 연구에서 취득한 영상을 아래 Fig. 7 흐름도와 같이 조명 불균일도를 제거하도록 영상 처리하였다.

tophat 변환법은 조명 불균일도를 제거하기 위해 널리 사용되는 방법<sup>2</sup>으로서 열림(opening)을 이용하여 영상의 조명 영상을 얻고, 이를 원 영상에서 빼서 조명 불균일도를 제거하는 방법이다. 열림을 사용할 때는 disk 타입을 사용하였고, 크기는 55 화소였다.

저주파통과필터법은 조명 분포 함수가 공간적으로 천천히 변하고 관찰하고자 하는 대상은 빨리

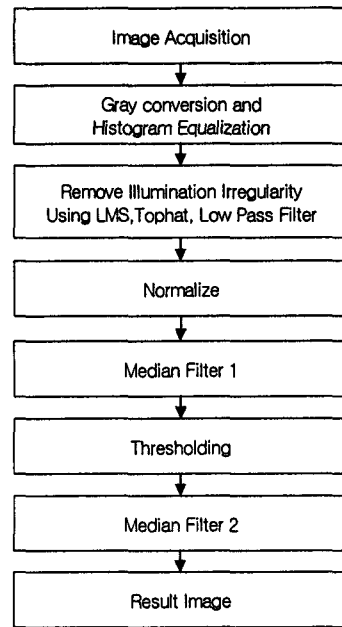


Fig. 7 Flow chart of illumination enhancement

변하는 성질을 이용하여 저주파통과필터를 거치면 조명 영상이 얻어지고, 이를 원영상에서 빼면 더욱 선명한 영상을 얻게 되는 원리를 이용한 것이다. 본 연구에서는 표준편차는 3.0인 Gaussian 함수를 사용하였다.

최소자승법은 2차원 함수와 영상 값과의 차이를 최소화하는 방법으로 빠르고 잡음을 타지 않으며, 선택할 파라미터가 없는 장점이 있다.

위의 세 가지 방법 이진 영상으로 변환할 때, 문턱 처리(thresholding)는 Otsu 방법<sup>10</sup>에 의하여 결정하였다.

##### 4.2 영상 처리 결과

아래 Fig. 8-10는 각각 tophat 변환법, 저주파통과필터법, 최소자승법을 사용하여 조명 불균일이 존재하는 영상을 처리한 결과이다.

Fig. 8을 보면 tophat 변환법으로 영상처리를 한 결과로서, (a)는 히스토그램 평활화 결과이며, (b) 열림 처리를 하여 조명만 따로 뽑아낸 결과이며, (c)는 이를 뺀 결과이며, (d)는 (c)를 다시 히스토그램 평활화한 영상이다. 최종 결과 (e)를 보면 원형 얼룩뿐만 아니라 배경 잡음까지 같이 감지하는 결과를 관찰할 수 있다.

일반적으로 tophat 방법은 관찰하고자 하는 대상체의 크기가 대체로 일정하고, 대상체와 배경과의 콘트라스트 차이가 클 때 좋은 성능을 보여준다고 알려져 있으므로<sup>2, 7-9</sup> 본 연구와 같이 관찰 대상체의 크기와 명도가 변하고 배경과의 콘트라스트 차이가 작은 경우에 사용하기에 적합하지 않음을 알 수 있다.

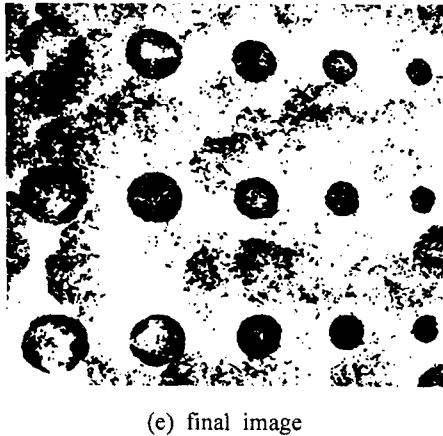
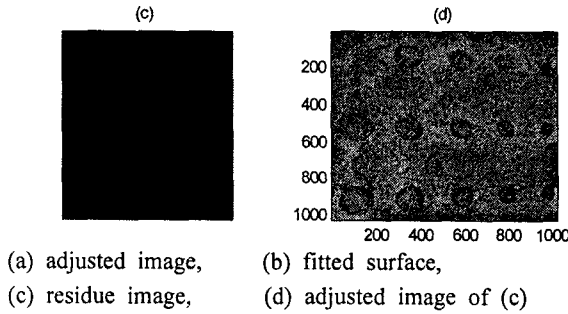
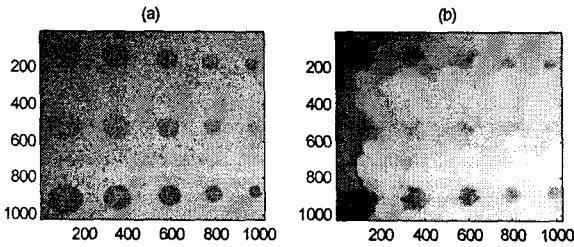


Fig. 8 Results with tophat method

Fig. 9는 저주파통과필터법으로 영상처리를 한 결과로서, (a)는 히스토그램 평활화 결과이며, (b) 저주파 통과필터를 거친 영상이며, (c)는 이를 뺀 결과이며, (d)는 (c)를 다시 히스토그램 평활화한 영

상이다. 최종 이진 영상 Fig. 9(e)를 보면, 조명이 급격히 어두워지는 좌측 위에서는 원형 얼룩을 감지하지 못함을 알 수 있는데, 이는 일반적으로 알려진 저주파 통과 필터의 일반적인 특성<sup>2, 7-9</sup>과 일치한다.

저주파통과필터법을 적용한 결과는 tophat 방법을 적용한 결과에 비해 원형 얼룩을 원형으로 감지하였지만, 조명이 급격히 어두워졌을 때, 원형이 커졌을 때는 조명 때문에 어두워진 것과 원형 얼룩을 분간하지 못했다. 본 논문에는 생략했지만, 영상과 조명을 회전시켜서 얻은 영상을 처리하였을 때도 마찬가지로 결과를 얻을 수 있었고, 원형 얼룩의 색깔을 바꾸거나, 조명에 녹색 필터를 달고 실험한 영상 실험결과에서도 마찬가지로 저주파통과필터 방법이 tophat 방법보다 우수한 성능을 보였다.

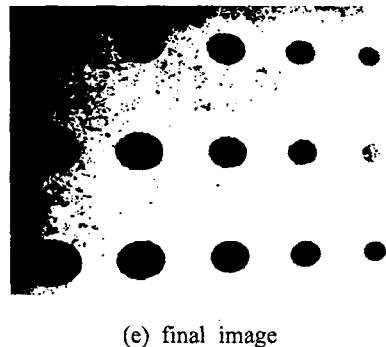
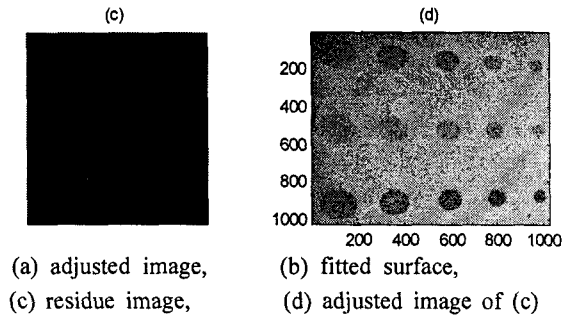
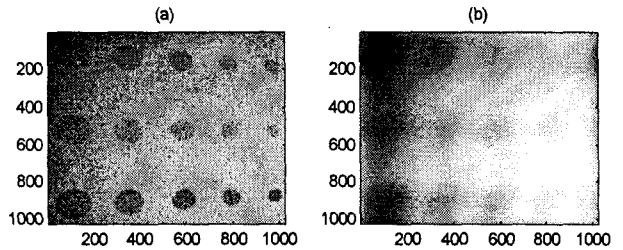
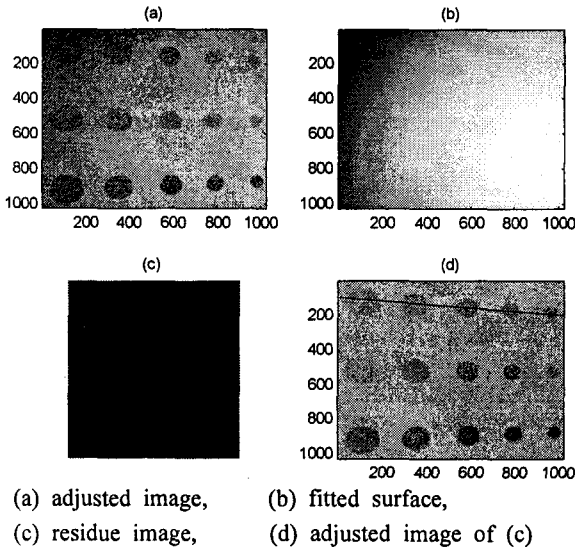
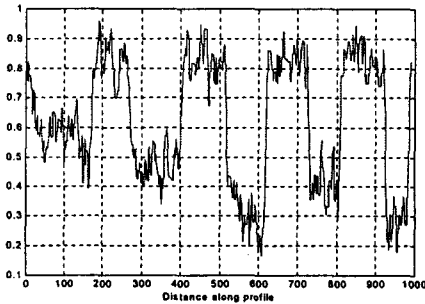


Fig. 9 Results with LPF method

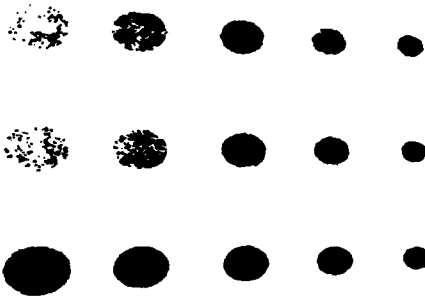
Fig. 10은 2차 함수를 이용한 최소자승법으로 영상처리를 한 결과로서, (a)는 히스토그램 평활화 결과이며, (b) 최소자승법으로 얻은 조명 평면이며, (c)는 이를 뺀 결과이며, (d)는 (c)를 다시 히스토그램 평활화한 영상이고, (e)는 (d)에서 라인 프로파일을 얻은 영상이고, (f)는 최종 영상이다.



(a) adjusted image, (b) fitted surface,  
(c) residue image, (d) adjusted image of (c)



(e) line profile of (d)



(f) final image

Fig. 10 Results with LMS method

최종 이진 영상 Fig. 10 (d)를 보면, Fig. 6(b)보다 콘트라스트 차이가 커짐을 관찰할 수 있는데, 이는 조명 불균일도를 효과적으로 없애주었기 때문이다. (e)를 보면, 좌측 위의 원형 얼룩이 일부 흐려졌지만 지름 20~10 mm에 이르는 다양한 크기, 1~3%를 갖는 다양한 명도의 원형 얼룩을 효과적으로 감지함을 관찰할 수 있다.

Fig. 10의 최소자승법 결과는 Fig. 8의 tophat 방법, Fig. 9의 저주파통과필터 방법에 비해서 원형 얼룩 감지 성능이 뛰어난을 관찰할 수 있다.

### 5. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 조도계를 사용하여 조도 분포를 암실에서 측정하였고, 조도가 불록 함수의 성질을 지니고 있음을 실험적으로 보였다.

또한, tophat 변환법, 저주파통과필터법, 최소자승법을 사용하여 조도 균일도 개선 실험을 한 결과, 최소자승법은 다양한 크기, 다양한 명도의 원형 얼룩을 효과적으로 감지함을 보여주었다.

본 연구결과는 LCD 유리 기판이나 컬러 필터에서 발생하는 콘트라스트가 낮은 얼룩을 검사할 때 사용할 수 있을 것으로 예상된다. 향후, 본 연구를 연장하여 3차원 입체에 존재하는 조명 불균일도 개선 알고리즘을 연구할 계획이다.

### 후 기

본 연구는 산업자원부 지방기술 혁신사업 (RTI04-01-02) 지원으로 수행되었음.

### 참고문헌

1. Dechow, D., "Integrating Machine Vision Systems manual from the Vision Show West 2005," Automated Imaging Association, 2005.
2. Gonzalez, R. C., Woods, R. E. and Eddins, S. L., "Digital Image Processing Using MATLAB," Prentice-Hall Pub., Ch. 2-3, 2004.
3. Taniguchi, K., Ueta, K. and Tatsumi, S., "A Mura Detection Method," Pattern Recognition, Vol. 39, No. 2, pp. 1044-1052, 2006.

4. Lee, J. Y. and Yoo, S. I., "Automatic Detection of Region-Mura Defect in TFT-LCD," IEICE TRANS. INF. & SYST., Vol. E87-D, No. 10, pp. 2371-2378, 2004.
5. Na, H. C., Ryu, Y. K., Rho, B. O. and Cho, H. S., "Design of a Lighting System for PCB Visual Pattern Inspection Using Reflectance Property," Trans. of the KSME(B), Vol. 18, No. 1, pp. 867-872, 1994.
6. Dutre, P., Bekaert, P. and Bala, K., "Advanced Global Illumination," AK Peters Pub., Ch. 6-7, 2003.
7. Forsyth, D. and Ponce, J., "Computer Vision - a Modern Approach," PrenticeHall Pub., Ch. 5, 2003.
8. Sonka, M., Hlavac, V. and Boyle, R., "Image Processing, Analysis, and Machine Vision," Brooks/Cole Pub., Ch. 9, 1999.
9. Davies, E. R., "Machine Vision - Theory Algorithms Practicalities," Elsevier Pub., Ch. 27, 2005.
10. Otsu, N., "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms," IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 9, No. 1, pp. 62-66, 1979.