

# ALT 기법을 이용한 ITO 코팅유리의 결함 검출 기법 개발

김면희<sup>#</sup>, 이상룡<sup>\*</sup>

## Development of Scratch Detecting Algorithm for ITO Coated Glass using Adaptive Logical Thresholding Method

Myun-Hee Kim<sup>#</sup> and Sang-Ryong Lee<sup>\*</sup>

### ABSTRACT

This research describes a image-processing technique for the scratch detecting algorithm for ITO coated glass. We use the modified logical thresholding method (called adaptive logical thresholding method) for binarization of gray-scale glass image. This method is useful to the algorithm for detecting the scratch of ITO coated glass automatically without need of any prior information of manual fine-tuning of parameters.

**Key Words** : Scratch detecting (결함검출), Adaptive logical thresholding method (적응논리쓰레싱기법), Image processing (화상처리), Organic EL (유기 EL), ITO coated glass (ITO 코팅 유리)

### 1. 서론

현대 사회에 들어서 IT 및 Mobile 기술의 발달과 수요에 힘입어, 이들의 인터페이싱 장치에 이용되는 평판디스플레이 장치의 수요가 폭발적으로 늘고 있는 추세이다. 이들 평판디스플레이 장치에서 가장 큰 부분을 차지하고 있는 것은 LCD 나 TFT 모듈이라고 할 수 있으나, 대형화 추세에 힘입어 PDP 장비가, 소형, 경량, 저전력 소모를 위한 유기 EL 장치가 차세대 평판디스플레이 장치로서 각광 받고 있다.

이에 발맞추어 평판디스플레이 장치의 제조업체에서는 PDP 및 유기 EL 장치의 제조, 개발에 많은 투자를 하고 있으며, 이를 위하여 많은 연구가 수행되고 있다.

본 연구에서도 Mobile 장비에 대한 수요가 급증하고 있는 유기 EL 용 장비의 모재에 해당하는 ITO(Indium Tin Oxide) 코팅유리의 표면연마공정에 대한 자동화 검사를 위한 기초 연구를 수행하고자 한다.

아직은 도입기의 기술이며 제조기술에 대한 연구의 진행이 대부분이라서 특허의 출원이 활발한 상태인데, 이들의 현황을 살펴보면, 대부분, 유기 EL 을 이용하여 발광소자를 구성하는 방식에 대한 특허, 구성된 소자를 이용하는 방법에 관련된 특허, 그리고 재료에 대한 특허로서, 제조공정 및 검사공정에 이용 가능한 특허 및 연구는 미약한 실정이다. 하지만 제품의 생산의 측면에서 보면 생산라인에서 100% 양품을 생산할 수는 없으므로, 제품의 품질관리는 검사공정에 의지할 수

접수일: 2002 년 10 월 14 일; 게재승인일: 2003 년 7 월 11 일

<sup>#</sup> 교신저자: 경북대학교 기계공학과

Email: ipconfig@chollian.net, Tel: (053) 952-2229

<sup>\*</sup> 경북대학교 공과대학 기계공학부

밖에 없고, 매우 중요한 공정이라 할 수 있다.

유기 EL 에 이용되는 ITO 코팅유리는 유리표면에 ITO 코팅을 수행하고 이를 연마하여, 양질의 표면을 가지도록 제작한 유리인데, 이 위에 발광층을 구성하여 유기 EL 을 제작하게 된다.

현재 생산라인에서는 ITO 코팅유리의 검사공정 중 결함(스크래치, 돌기부 등)에 대한 검사는 모두 육안검사에 의존하고 있는데 본 연구에서는 이러한 육안검사를 영상처리를 이용한 자동화 검사로 대체하기 위한 영상처리 기법을 제시하였다.

이를 위하여, 표면계측을 위한 광학식 화상회득장치를 구성하였으며, 조명의 영향을 줄이고, 스크래치를 검출하기 위하여 Adaptive logical thresholding(이하 ALT) 기법<sup>1</sup>을 응용한 스크래치 검출 알고리즘을 제시하였다.

## 2. 실험

### 2.1 유기 EL 과 ITO 코팅유리

유기 EL 은 아래의 Fig. 1 에서 보는 바와 같이 유리기판 위에 증착된 투명전도성 금속막(ITO)이 Anode(양극)로 사용되며, 그 위에 유기 박막을 증착한 뒤 Cathode(음극)로 사용되는 금속합금을 증착한 적층형 구조로 구성되며, 유기 박막에 양극과 음극을 통하여 주입된 전자와 정공이 재결합하여 여기자를 형성하고, 형성된 여기자로부터의 에너지에 의해 특정 파장의 빛이 발생되어 발광하는 메커니즘을 가지고 있다.

그러나 유기 EL 의 발광 효율은 ITO 증착 과정에서 발생하는 각종 오염물질 및 불균일한 증착현상 때문에 ITO 표면상에 미세한 표면균열 또는 원주형상의 돌기가 형성되어 이들에 의해 유기 박막층의 정상적인 증착이 방해되므로 발광 효율이 현저하게 낮아지거나 흑점(Dark spot)이 형성되어 불량이 발생하는 주요 요인으로 작용한다. 그리고

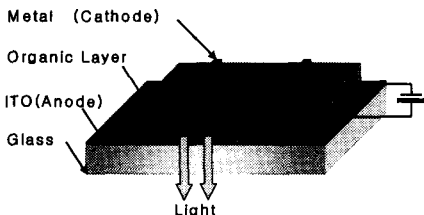


Fig. 1 The structure of organic EL

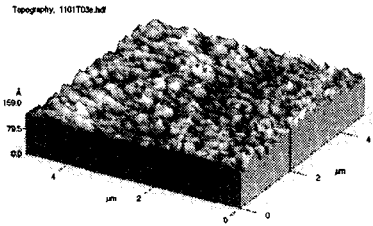


Fig. 2 The surface of ITO coated glass (using AFM)

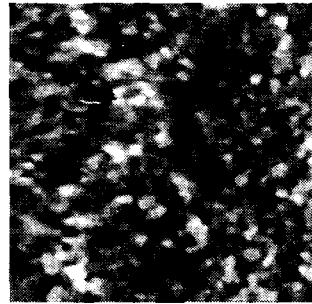


Fig. 3 The surface of ITO coated glass (using SEM)

제조공정중의 불순물의 유입 등의 요인으로 스크래치가 발생하여, 불량이 되는 경우도 있다. 그러므로 유리기판 위에 ITO 코팅작업이 완료된 후 ITO 의 표면을 정밀하게 연마하여 일정한 수준의 평면도(300Å 이하) 및 표면조도(50Å 이하)를 유지하여야 한다.

Fig. 2 와 Fig. 3 은 양호한 상태의 연마가 끝난 ITO 코팅유리의 표면을 AFM 과 전자현미경을 통하여 촬영한 영상을 보인다. Fig. 2 를 살펴보면 가로세로 5 µm 정도의 영역의 ITO 코팅면의 높이분포를 3 차원적으로 나타낸 것이며 z 축의 크기는 Å 단위로 표현되어 있다.

ITO 코팅 유리의 연마는 클리닝룸 내에서 이루어짐으로 먼지 및 오염물질의 유입은 환경적으로 관리가 되고, 연마후 유리 표면에 남을 수 있는 연마입자 및 연마액은 초음파 세정을 통하여 씻어내게 된다. 여기서 유리표면 상태인 적정한 조도와 평탄도를 얻는 것은 연마조건을 통하여 달성되지만, 만일에 있을 수 있는 오염물질의 유입이나 취급의 문제로 인하여 발생하는 스크래치의 검출은 육안 검사법을 이용하여 수행하고 있다.

Fig. 4 는 취급상 발생한 스크래치의 전형적인 예를 보인다.

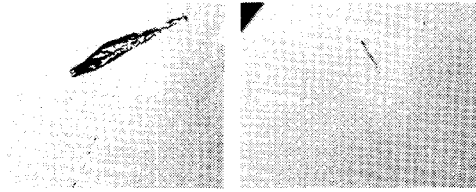


Fig. 4 The scratch of ITO coated glass

2.2 광학식 표면 결함 검출장치

표면결함을 검출하기 위한 장치의 대표적인 구분은 접촉식으로 피측정물에 촉침을 접촉시켜 표면의 형상을 읽어내는 방식과, 비접촉식으로 피측정물의 광학적 확대를 이용하여 영상을 통한 검출을 하는 방식이 있을 수 있다. 여기서 접촉식 측정장치는 촉침에 의한 피측정물의 접촉부 표면의 미소파괴가 일어날 수 있으며, 촉침의 이송운동 상태에서 구동계에서 발생하는 진동에 의한 노이즈 등의 영향 등의 문제점을 안고 있다. 따라서, 본 연구에서는 비접촉식을 이용한 광학식 표면 결함 검출장치를 구성하였으며, 그 개요를 Fig. 5 에 보인다.

구성된 광학식 표면 결함 검출장치의 세부 사양은 다음과 같다. 스크래치를 검출하기 위하여 스크래치의 크기에 따른 시야를 확보하고, 충분한 정밀도를 가지며, 영상의 왜곡을 최소화 하기 위하여 배율이 0.5~2 배로 가변되는 Progressive zoom lens 를 이용한 가변배율을 구현하였으며, 이를 통과한 광을 확대렌즈를 통과하여 확대영상을 얻도록 구성하였다. 배율이 높아질수록 영상이 어두워지므로 출력 150W 급의 할로겐 램프(모델명:MHF-150L)를 이용하여 조명장치를 구현하였다. 그리고 이를 조사시키기 위한 동축조명장치를 구현하였다. 동축조명을 조사하지 않는 경우는 영상에서 그림자가 발생하여 양질의 영상을 얻지 못하게 된다. CCD 카메라(XC-75)와 영상획득보드(Meteor)를 이용하여 영상획득장치를 구성하였다. 단일 영상으로 전체 ITO 코팅유리를 계측하지 못하기 때문에 2 자유도를 가지는 X-Y 테이블을 이용하여 진직도 0.1 μm 를 확보하고, 유리를 이동시켜가며 부분적인 검사를 수행하도록 하였다. Fig. 6 에 그림에 구성된 실험장치를 보인다.

구성된 광학식 표면 결함 검출 장치를 통하여 얻어진 스크래치와 돌기부의 결함의 영상을 Fig. 7 에 보인다. 이 영상은 연마된 ITO 코팅유리를 육안

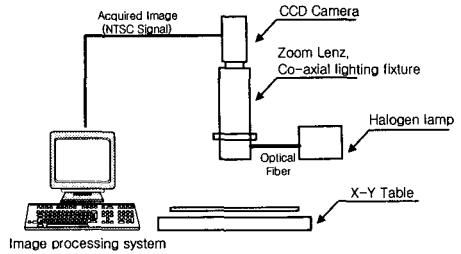
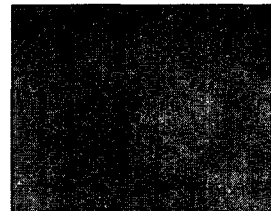


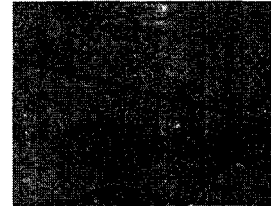
Fig. 5 The schematic of test equipment



Fig. 6 The test equipment



(a) Typical glass image



(b) Scratched glass image (case 1)



(c) Scratched glass image (case 2)

Fig. 7 The captured image using test equipment

검사하여 찾아낸 결함부위와 결함이 없는 영상을 본 연구를 위하여 구성된 영상획득장치를 통하여 얻은 영상이며, (a)는 결함이 없는 유리의 영상이며, (b)는 가는 폭의 스크래치가 발생한 유리의 영상이고, (c)는 스크래치와 돌기부가 동시에 존재하는 영상이다.

### 2.3 캘리브레이션

획득된 영상이 실제 의도한 시야범위를 확보하였는지를 확인하기 위하여 1mm 기준 스케일을 촬영하여 영상의 정밀도를 측정하여 보았다. 촬영시 조건은 Zoom lens 배율 최대로 하여, 픽셀의 정밀도를 최대로, 시야범위를 최소로 하였을 경우를 이용하였다. 이 조건하에서 픽셀의 정밀도는 4.7  $\mu\text{m}$ 의 정밀도를 가져야 한다.

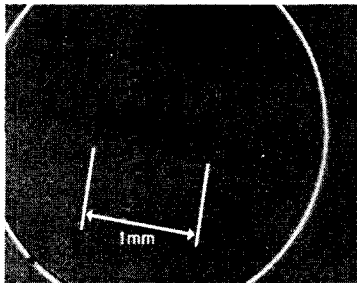


Fig. 8 The scale image using test equipment

여기서 스케일의 전체의 길이는 1mm이며 이 크기는 약 212 픽셀의 거리를 가진다. 따라서 계산상으로 각 픽셀간의 최대 정밀도는 4.7  $\mu\text{m}$ 임을 확인할 수 있었고, 영상의 가로크기가 640 pixel 임으로 이를 통하여, 가로방향의 시야범위가 3mm임을 확인할 수 있었다. 따라서 개발된 광학식 표면 검출 장치를 통하여 기존에 육안으로 검출하던 표면 결함 스크래치(폭 10  $\mu\text{m}$ )를 성공적으로 검출할 수 있을 것이라고 판단할 수 있었다.

## 3. 화상처리를 이용한 결함검출

### 3.1 화상처리 알고리즘

본 연구에서 이용한 화상처리 알고리즘은 다음의 Fig. 9와 같은 순서도를 따른다.

먼저 얻어진 영상을 동일한 밝기 분포를 가지도록 하기 위하여 히스토그램 평활화 기법<sup>2</sup>을 적

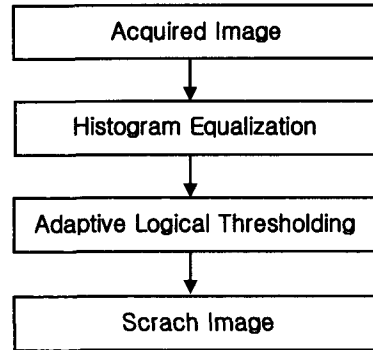


Fig. 9 The algorithm of image processing

용한 이후, 비균일 조명의 영향을 제거하며, 스크래치부분만을 영상으로 나타내기 위한 ALT (Adaptive logical thresholding) 기법<sup>1</sup>을 적용한다. 이 ALT 기법은 영상의 형태로 보존된 문서의 잡음제거를 위하여 제시된 방법이었는 데, 스크래치를 문서에서의 글자정보처럼 간주하고 잡음을 ITO 코팅 유리의 영상으로 간주하여 영상처리를 수행하는 함으로써 본 연구에서 유용하게 이용될 수 있었다. 이 과정을 거치게 되면 유리의 부분은 1로 스크래치 부분은 0으로 그 픽셀의 값이 변화되게 된다 (이진영상으로 결과가 표현된다.). 따라서, 결과 영상에 0의 픽셀이 존재하면, 스크래치가 있다고 판단할 수 있다.

#### 3.1.1 ALT(Adaptive Logical Thresholding)

그림자와 같은 다양한 저품질 영상이나 비균질의 배경, 복잡한 배경형상과 잡음영상을 이진화 하면서 발생하는 문제점은 흔히 이용되는 Global threshold algorithm<sup>3</sup>으로는 극복할 수 없다. 이 근본적인 이유는 국부적으로 밝기의 분포가 다른 영상을 단일값으로 Threshold 할 때의 한계가 있기 때문이다. 일반적으로 이러한 특징을 가지는 영상을 잘못된 값을 이용하여 Threshold 된 결과는 잘못된 특징과 균일한 SW(Stroke Width)의 정보를 잃어버릴 수도 있다. 여기서 SW는 영상정보속에 있는 Runs(동일한 값이 연속적으로 이어져 있는 길이들)들을 대표하여 처리하는 값을 의미하며 대부분의 경우 Runs의 빈도가 가장 높은 값을 의미한다 (Run-length histogram에서의 최대값). 따라서 영상의 특징은 배경과 Stroke width 분석, 지역 국부적인 Threshold 값의 선택을 통하여 정확도를 향상시

킬 수 있다.

영상에서 특징물의 평균 또는 최대 SW 가 결정되어 진다면 영상은 정확하게 Threshold 될 수 있다. 왜냐하면 높게 구성된 SW 의 구성은 대부분의 영상에서 빈번히 나타나기 때문이다. 저품질의 Quasi-bimodal local histogram 어떤 영역을 찾고 그 때 Local run-length 정보는 Quasi-bimodal local histograms 과 함께 선택된 Local 영역들로부터 run-length histogram 을 추출할 수가 있다<sup>4, 5, 6</sup>. 그 SW 정보와 배경잡음은 Run-length histogram 분석에 의해 이루어질 수 있다. 여기서 선택된 영상영역을 분석하고 특징물 또는 다른 물체들과 연관된 Runs 들만 분석한다. 1 차원 배열에서 Run-length histogram 을 유도한다.

ALT(Adaptive logical threshold)는 몇 개의 근접한 pixel 들에 대한 이웃한 어떤 국소지역 평균으로 처리된 pixel 또는 부드럽게 처리된 gray level 의 비교를 기본으로 하고 있다. 한번 이상의 비교 결과는 미분으로 간주될 수 있기 때문에, 미분을 사용하는 픽셀 레이블링(Labeling), 검출(Detection), 추출(Extraction)과 거의 비슷한 결과를 얻을 수 있으며, SW 를 이용한 영역의 설정을 통한 논리적인 국소영역의 크기의 선택을 가능하게 할 수 있다. 이 기법은 다음의 그림 Fig. 10 에서 보는 바와 같이  $(2SW+1) \times (2SW+1)$  영역에 집중된 4 점  $P_i, P'_i, P_{i+1}, P'_{i+1}$  에 대한 국소 지역 평균을 Gray level 또는 부드럽게 된 Gray level 과 동시에 비교함으로써 각각의 픽셀을 처리한다.

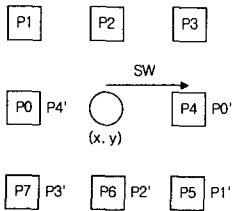


Fig. 10 The local area pixel structure

여기서 이진화하기 위하여 다음의 수식을 이용한다.

$$b(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } \bigvee_{i=0}^3 [L(P_i) \wedge L(P'_i) \wedge L(P_{i+1}) \wedge L(P'_{i+1})] \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$P'_i = P_{(i+4) \bmod 8}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, 7$$

$$ave(P) = \frac{1}{(2SW+1)^2} \sum_{-SW \leq i \leq SW} \sum_{-SW \leq j \leq SW} f(P_{x-i}, P_{y-j})$$

$$L(P) = ave(P) - f(x, y) > T \tag{1}$$

여기서 SW 는 미리 지정된 최대 Stroke width 이며, T 는 미리 지정된 Threshold 값을 의미한다. 개선된 ALT 에서는 3.1.2 절에서 언급하는 바와 같이 이 T 값을 자동적으로 계산하여 정하게 된다.

### 3.1.2 ALT 의 개선

ALT 방법의 성능은 계산을 하는 영역의 크기와 그 영역에 따른 Threshold level 값으로 표현되는 T 값에 따라 결정이 된다고 할 수 있다. 이 값들의 변화에 따라 그 성능이 결정됨으로 이 값들의 결정하는 알고리즘의 개선은 전체 성능의 향상을 가져올 수 있다. 이 과정을 요약하면 다음과 같다.

Stroke width 에서  $R_{\max}(i) = \max_{i \in I} R(i), i \neq 1$  의 경우  $SW=1$  로 결정할 수 있다. 여기서  $R(i)$  는 Run-length histogram 의 함수를 의미한다. 이렇게 영상전체에 해당하는 Stroke width 를 결정한 이후에 이를 부분적으로 개선해가면서(계산하는 영역의 크기를 가변하면서), 이에 따라 T 를 다시 계산하여 적용시키게 된다. 이 과정은 다음과 같다.

아래의 수식에서  $f()$  로 나타내어지는 함수는 선택된 영역에서의 영상량(Gray level)의 분포함수를 의미하며,  $ave()$  함수는 평균값을 의미한다.

1.  $(2SW+1) \times (2SW+1)$  의 영역안에서

$$f_{SW-\max}(x, y) = \max_{x_i, y_i \in (2SW+1) \text{ window}} f(x_i, y_i) \text{ 와}$$

$$f_{SW-\min}(x, y) = \min_{x_i, y_i \in (2SW+1) \text{ window}} f(x_i, y_i) \text{ 를}$$

계산한다.

2.  $|f_{SW-\max}(x, y) - ave(P)| > |f_{SW-\min}(x, y) - ave(P)|$  를 계산한다.

3.  $|f_{SW-\max}(x, y) - ave(P)| > |f_{SW-\min}(x, y) - ave(P)|$  이라면  $(2SW+1) \times (2SW+1)$  의 영역은 더욱 낮은 gray level 을 포함하고 있다. 이 경우 T 는 다음과 같이 계산한다. 여기서  $\alpha$  값은 아래식의 성능을 조절하기 위한 설정치이다.

$$T = \alpha \left( \frac{2}{3} f_{SW-\min}(x, y) + \frac{1}{3} ave(P) \right) \quad (2)$$

4.  $|f_{SW-\max}(x, y) - ave(P)| < |f_{SW-\min}(x, y) - ave(P)|$  이라면  $(2SW+1) \times (2SW+1)$  의 영역은 더욱 높은 gray level 을 포함하고 있다. 이 경우  $T$  는 다음과 같이 계산한다.

$$T = \alpha \left( \frac{1}{3} f_{SW-\min}(x, y) + \frac{2}{3} ave(P) \right) \quad (3)$$

5.  $|f_{SW-\max}(x, y) - ave(P)| = |f_{SW-\min}(x, y) - ave(P)|$  의 경우는 다음과 같다.

- $f_{SW-\max}(x, y) = f_{SW-\min}(x, y)$  라면 영역의 크기를  $(2SW+3) \times (2SW+3)$  으로 확장하고 1 단계로 돌아간다. 그러나 영역은 확장된 영역을 이용한다. 또한 새로운 영역에서의 결과가  $f_{SW-\max}(x, y) = f_{SW-\min}(x, y)$  이라면 계산되는 점은 배경으로 간주하고  $T$  는 다음의 식과 같이 구한다.

$$T = \alpha \cdot ave(P) \quad (4)$$

- $f_{SW-\max}(x, y) \neq f_{SW-\min}(x, y)$  라면 영역의 크기  $(2SW+1) \times (2SW+1)$  에 높고 낮은 gray level 이 포함되었다고 가정할 수 있다. 이 경우에도 역시  $(2SW+3) \times (2SW+3)$  으로 영역의 크기를 확장하고 1 단계로 돌아간다. 그러나 영역은 확장된 영역을 이용한다. 새로운 영역에서  $f_{SW-\max}(x, y) \neq f_{SW-\min}(x, y)$  과  $|f_{SW-\max}(x, y) - ave(P)| = |f_{SW-\min}(x, y) - ave(P)|$  을 만족하면 그때의  $T$  는 다음의 식과 같이 구한다.

$$T = \alpha \cdot ave(P) \quad (5)$$

위와 같은 과정을 각 픽셀당 순차적으로 적용함으로써 영역의 크기와  $T$  값을 영상의 국소부위에 맞추어 계산을 수행하게 됨으로 ALT 의 효과를 배가시킬 수 있다.

### 3.2 개발 S/W

본 연구의 영상처리를 위하여 Microsoft Visual

C++ 6.0 을 이용하여 Windows 환경에서 동작하는 프로그램을 구현하였다. 작성된 프로그램은 영상처리 기법에 관한 다양한 알고리즘을 탑재하여 여러가지 영상처리 기법을 적용할 수 있도록 구성하였다. 다음의 그림에 본 연구를 위하여 작성된 영상처리 프로그램의 실행예를 보인다.

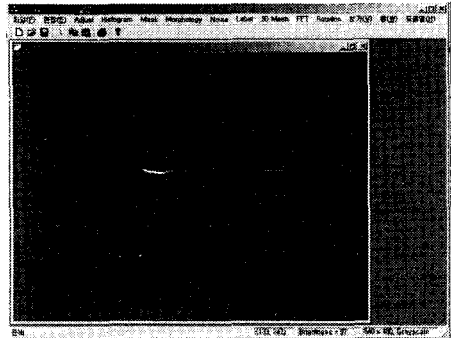


Fig. 11 The image processing software

### 3.3 적용예

Fig. 12 에 전형적인 스크래치 영상의 형태와 각각의 화상처리 알고리즘을 적용시킨 결과를 보인다. 여기서 Fig. 12 (a)는 화상 획득 장치를 통하여 획득된 영상을 보였으며 순서대로 돌기부근에 의한 스크래치, 스크래치와 돌기부가 공존하는 결합, 가는형의 스크래치를 보이고 있으며, (b)는 Global threshold 기법을 적용시킨 결과를 보인다. 그림에서 보여지는 바와 같이 동축조명장치를 사용하였음에도 불구하고 조명의 영향에 의하여 전체적인 얼룩이 관찰되는 것을 확인할 수 있다. 이러한 얼룩들은 스크래치 영상이 아님에도 불구하고, 스크래치로 인식되는 결과를 가져올 수 있으므로, 스크래치 영상을 망가뜨리지 않으면서 제거하여야만 한다. (c)의 그림에 본 연구에서 적용한 알고리즘인 Adaptive logical threshold 기법을 적용한 결과를 보였다. 성공적으로 스크래치의 영상을 망가뜨리지 않으면서도 광원에 의한 영향을 배제할 수 있음을 확인할 수 있다. 미소한 영상에 대하여 검토한 결과 3pixel 미만의 점들은 이 영상처리의 과정에서 사라짐을 확인할 수 있었다. 화상 획득장치의 정밀도가 픽셀당 4.7  $\mu\text{m}$  이며, 돌기부근에 의한 스크래치형태에서 작은 돌기의 폭이 3 픽셀미만이었으므로, 본 화상처리기법은 최소 15  $\mu\text{m}$  의 결합까지 검출할 수 있다고 판단된다. 개발

된 프로그램을 이용하여 획득된 1 장의 영상에 대한 스크래치 유무를 판별하는데는 5 초의 시간이 걸렸는데 이는 유리전체를 검사할 시에는 매우 많은 시간을 소모하게 되는 단점이 있었다.

가능하다는 단점이 있는데 이는 향후 보완되어야 할 것으로 판단된다.

### 참고문헌

1. Yang, Y. and Yan, H., "An Adaptive Logical Method for Binarization of Degraded Document Image," *Pattern Recognition* 33, pp. 787-807, 2000.
2. Gonzalez, R. C., *Digital Image Processing*, Addison-Wesley, 2001.
3. Sahoo, P. K., Soltani, S., "A Survey of Thresholding Technique," *Comput. Vision Graphics Image Process.* 41, pp. 233-400, 1988.
4. Deravi, F., Pal, S. K., "Gray Level Thresholding using Second Order Statistics," *Pattern Recognition Lett.* 1, pp. 417-422, 1983.
5. Kamel, M., Zhao, A., "Extraction of Binary Character/Graphics Images," *Graphical Model Image Process* 55 (3), pp. 203-217, 1993.
6. Kittler, J., Illingworth, J., "Threshold based on a Simple Image Statistics," *CVGIP* 30, pp. 125-147, 1985.

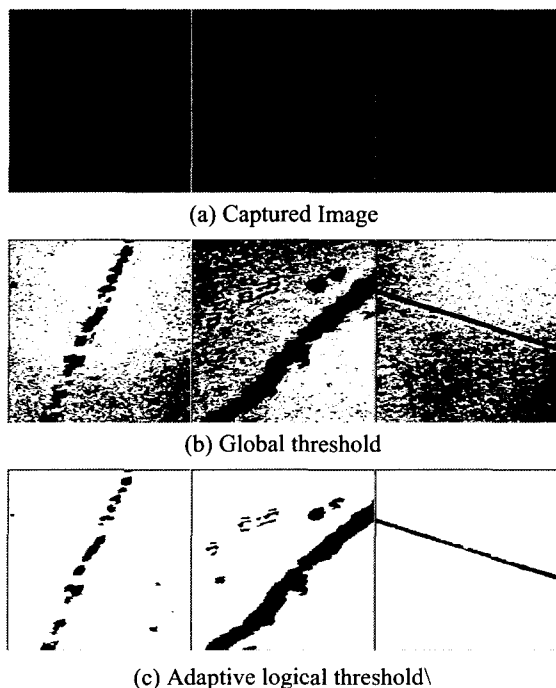


Fig. 12 The result of image processing

### 4. 결론

본 연구에서는 육안 검사에 의존하고 있는 유기 EL 용 ITO 코팅유리의 결함검사를 자동화 하기 위하여, 화상처리 기법을 도입하여 결함을 검출하는 방법을 제시하였다.

손상된 그림형태의 문서파일을 복원하기 위하여 제시된 알고리즘인 ALT 방법을 응용하여, 스크래치를 최소 15  $\mu\text{m}$  의 크기까지 검출할 수 있었으며, 확대에 의하여 발생하는 조명의 영향도 줄일 수 있었다.

이 방법은 유기 EL 용 ITO 코팅 유리의 검사 뿐만 아니라, 스크래치에 의하여 불량률이 많이 발생하는 LCD 용 유리의 검사에도 응용이 가능할 것으로 판단된다.

제안된 방법의 한계는 계산시간이 많이 걸리며, 유리판의 전체검사가 아닌 부분적인 검사만이