

# 순차적 결함 검출 방법에 기반한 TFT-LCD 결함 영역 검출

(TFT-LCD Defect Blob Detection based on Sequential  
Defect Detection Method)

이 은 영<sup>1)</sup>, 박 길 흠<sup>2)\*</sup>  
(Eunyoung Lee and Kil-houm Park)

**요 약** 본 논문에서는 순차적 결함 검출 방법을 이용하여 TFT-LCD의 결함 영역(Blob)을 효과적으로 검출하는 알고리즘을 제안한다. 먼저 결함과 배경 간의 휘도 차를 이용하여 영상의 각 화소들에 대한 결함 확률을 판단하고, 결함 확률에 따른 순차적 결함 검출 방법을 이용하여 결함 후보 화소를 검출한다. 여기서 결함 확률이란 결함 후보 화소가 검출된 단계에 따라 결함 영역에 포함될 가능성을 나타낸다. 형태학 연산을 적용함으로써 검출된 후보 화소들을 후보 결함 영역으로 형성하고, 각 후보 결함 영역에 대한 결함 가능성을 계산하여 결함 영역을 검출한다. 모의 TFT-LCD 영상을 생성하여 제안 방법의 타당성을 검증하고, 실제 TFT-LCD 영상에 적용함으로써 제안 알고리즘의 우수한 결함 검출 성능을 확인하였다.

**핵심주제어** : TFT-LCD, 결함 검출, 순차적 검출, 결함 확률

**Abstract** This paper proposes a TFT-LCD defect blob detection algorithm using the sequential defect detection method. First, for every pixel, a defect possibility is determined by the intensity difference and the defect candidates are detected according to the sequential defect detection method. For detected candidate pixels, the defect probability that indicates a potential included in the defect according to the each step. By applying the morphological operation, blobs are comprised of the detected candidates and the defect blobs are detected using the defect possibility of blobs. The validity of the proposed method was demonstrated a simulated image and also then it was tested a real TFT-LCD image. By the experimental results, the proposed method is very effective in TFT-LCD defect detection.

**Key Words** : TFT-LCD, Defect detection, Sequential detection, Defect probability

## 1. 서 론

\* Corresponding Author

이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임.  
(NRF-2013R1A1A2007984)

Manuscript received November 27, 2014 / Revised March 9, 2015 / Accepted April 03, 2015

1) 경북대학교 전자공학부

2) 경북대학교 전자공학부, 교신저자(khpark@ee.knu.ac.kr)

TFT-LCD(Thin Film Transistor Liquid Crystal Display)는 개인용 단말기와 상업성 디스플레이 등과 같은 IT 기기들의 핵심요소로 자리 잡고 있다[1-3]. TFT-LCD 산업은 다양한 응용 제품 산업에 광범위하게 적용되고 있으며, 이는 관련 업계 간의 시장 점유 경쟁이 심화되었음을 의미한다.

현재 TFT-LCD 산업 분야는 한계 수준의 기술 개

발보다 생산성 향상을 위한 비용 절감 방안을 모색하고 있는 실정이다[4-6]. 그러나 아직까지 국내외적으로 만족할만한 상용화 성공 사례가 나타나지 않고 있다. 이는 각 TFT-LCD 제품들의 조명 특성 및 구조적 상이함에 따른 기술 적용의 문제와 결함 및 불량 표준의 모호성에 의한 문제로 볼 수 있다. 그러나 제품에 대한 원가 절감 및 품질 향상의 필요성에 의해 TFT-LCD 결함 자동 인식 시스템에 대한 개발은 지속적으로 추진되고 있다.

TFT-LCD 결함 자동 인식 시스템은 획득된 TFT-LCD 표면 영상으로부터 전처리와 결함 검출, 검출된 결함의 특징점 추출과 이를 기반으로 한 결함 종류의 분류 및 인식으로 구성된다. TFT-LCD 획득 영상은 배경 영역의 불균일한 휘도 분포뿐만 아니라 액정의 불균일한 분포, 미세한 이물, 영상 획득 장비에 의한 잡음 및 공정상의 요인 등으로 인하여 배경 영역의 신호와 결함 이외에도 백색 잡음(White Noise)이 혼재되어 나타난다. 이러한 특성들은 TFT-LCD 영상에 존재하는 결함을 검출하는데 방해 요인으로 작용한다[7]. Fig. 1은 TFT-LCD 표면 영상을 나타낸다.



Fig. 1 Example of TFT-LCD surface image

TFT-LCD 영상의 결함을 검출하기 위한 알고리즘은 크게 주파수 영역에서의 접근 방식과 공간 영역에서의 접근 방식으로 나눌 수 있다[8]. 주파수 영역에서의 대표적인 방법은 CSF(Contrast Sensitivity Function)을 이용한 결함 검출 방법이 있다[9-10]. 이는 인간시각시스템을 이용한 방법으로 TFT-LCD 결함 검사가 육안에 의존적임을 고려할 때, 결함 검출

에 대한 개연성 있는 접근이 될 수 있다. 그러나 결함과 배경 신호의 주파수 대역이 유사할수록 배경 신호의 왜곡이 발생하며, 이는 결함이 배경 신호에 근접한 주파수 대역에 존재할 경우 견실한 결함 검출 성능을 보장할 수 없다. 또한 공간 영역 상의 대표적인 방법으로는 국부 영역의 표준편차를 이용한 결함 검출 방법이 있다[11-12]. 그러나 이러한 방법은 배경 영역 대비 그레이레벨 차가 작은 결함일수록 결함이 아닌 영역까지 과 검출이 발생하며, 국부 영역의 결함보다 큰 결함의 경우 결함 영역이 배경 영역으로 오인되는 경우가 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 순차적 결함 검출 방법[13]은 불균일한 휘도 분포가 제거된 TFT-LCD 영상에서 표준편차를 이용한 결함 검출 방법을 제안하였다. 이때 영상의 국부 영역이 아닌 영상 전체의 평균과 표준편차를 이용하였다. 순차적 결함 검출 방법은 결함과 과 검출의 가능성을 감소시키고 각 영상에 대한 적응적인 임계값을 획득할 수 있으나 결함 영역이 화소 단위로 검출된다. 그러나 결함 검출은 향후 결함의 특징점 추출과 분류를 위하여 연결된 영역으로 검출되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 순차적 결함 검출 방법을 이용하여 화소 단위의 결함을 검출하고, 검출된 결함 화소를 연결된 결함 영역으로 구성한다. 이때 결함 화소를 검출하는 과정에서 각 단계별 결함 가능성을 결함 확률로 계산하였다. 결함 확률이란 각 단계별로 검출된 결함 후보 화소가 결함에 포함될 가능성을 수치적으로 나타낸 것이다. 도출된 결함 확률로부터 각 결함 영역에 대한 결함 가능성을 계산함으로써 최종 결함 영역을 검출한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서 기존의 순차적 결함 검출 방법과 제안하는 결함 검출 기법을 설명하고, 3장에서는 제안 방법에 대한 성능을 검증한다. 마지막으로 4장을 통해 결론을 맺는다.

## 2. 결함 검출 기법

Fig. 2(a)는 다양한 크기와 휘도 값을 가지는 결함들을 포함한 모의 TFT-LCD 영상이며, Fig. 2(b)는 Fig. 2(a)에 대한 히스토그램을 나타낸다. 결함 영역은 배경 영역에 비해 휘도 값이 크거나 작으므로, Fig. 2(b)의 히스토그램에서 가장자리에 속하는 화소

들이다. 이는 영상의 평균과의 차가 클수록 결함 영역에 포함된 화소일 가능성이 높음을 의미하며, 영상의 평균과 표준편차를 이용하여 결함 화소들을 검출할 수 있다.

일반적인 TFT-LCD 결함 검출 방법은 낮은 임계값을 이용하여 결함 후보를 과 검출시키고, 과 검출된 결함 후보에 대한 결함 영역 해석(Blob Analysis)를 통해 결함을 검출한다. 그러나 과 검출된 결함 후보의 수가 많을수록 결함 영역 해석 과정에 상당한 부담을 주게 된다. 따라서 본 논문에서는 결함 영역 해석의 부담을 최소화하기 위하여 과 검출의 가능성을 줄이고, 결함 가능성을 이용하여 결함 영역을 건설하게 검출하는 방법을 제안한다.

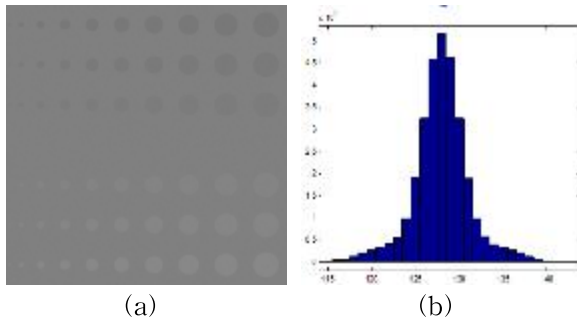


Fig. 2 (a) Simulated TFT-LCD surface image, (b) Histogram

### 2.1 휘도 차를 이용한 순차적 결함 화소 검출

국부 영역의 표준편차를 이용한 결함 검출 방법 [9-10]은 영상  $I(x,y)$ 에서 식 (1)에 의해 결정된 임계값을 이용하여 결함 화소를 검출한다.

$$\begin{aligned} TH_H(k) &= m + k\sigma \\ TH_L(k) &= m - k\sigma \end{aligned} \quad (1)$$

여기서  $m$ 와  $\sigma$ 는 각각 영상  $I(x,y)$ 의 평균과 표준편차를 의미하며,  $k$ 는 영상  $I(x,y)$ 에서 결함이 차지하는 비율을 정하는 변수이다.

그러나 검출된 결함은  $k$ 에 따라 검출된 영역이 다르게 나타난다. 높은  $k$ 에 의해 검출된 화소들은 낮은  $k$ 에 의해 검출된 화소들에 비해 결함 영역에 포함될 확률이 높다. 이러한 이유로 순차적 결함 검출 방법

[13-14]은 다수의  $k$ 를 이용하여 순차적으로 결함을 검출한다.

먼저 결함이 없는 TFT-LCD 영상의 표준편차를  $\sigma_r$ 이라고 할 때 실제 TFT-LCD 영상  $I(x,y)$ 의 표준편차  $\sigma$ 가  $\sigma_r$ 보다 큰 경우 영상  $I(x,y)$ 에 결함이 포함되어 있다고 가정한다. 결함 검출을 위한 순차적 알고리즘은 다음과 같다.

1) 초기 조건 :

$$I^0(x,y) = I(x,y), \quad l = 0, \quad j = 1, \quad k_0 = 3$$

2) 반복 과정 실행 :  $\sigma_l > \sigma_r$

3) 종료 조건 :  $\sigma_l \leq \sigma_r$

반복 과정 :  $l$ 번째 영상  $I^l(x,y)$ 에 대하여  $k_l$ 을 이용하여  $l$ 번째 결함 영상  $DI^l(x,y)$ 을 검출한다. 이는 아래의 식 (2)와 식(3)을 통해 획득된다.

$$\begin{aligned} TH_H(k_l) &= m_l + k_l\sigma_l \\ TH_L(k_l) &= m_l - k_l\sigma_l \end{aligned} \quad (2)$$

$$DI^l(x,y) = \begin{cases} 255, & I^l(x,y) \geq TH_H(k_l) \\ 0, & I^l(x,y) \leq TH_L(k_l) \end{cases} \quad (3)$$

여기서  $m_l$ 과  $\sigma_l$ 은 각각 영상  $I^l(x,y)$ 의 평균과 표준편차를 나타낸다.

결함 검출의 신뢰를 높이기 위해 다음 단계 영상  $I^{l+1}(x,y)$ 를 이용한 결함 검출은  $DI^l(x,y)$ 에서 검출된 영역을 제외하고 종료 조건을 만족할 때까지 반복 과정을 수행한다.

$l+1$ 번째 영상  $I^{l+1}(x,y)$ 에 대한  $k_{l+1}$ 은  $\sigma_{l+1}$ 와  $\sigma_l$ 의 비율에 따라 가변되도록 설정한다.

1)  $\frac{\sigma_{l+1}}{\sigma_l} = 1$  : 식(3)에 의해 검출된 결함의 화소가 없으므로  $k_{l+1}$ 을 감소시켜야 한다.  $\sigma_{l+1}$ 와  $\sigma_r$ 의 비율이 높은 영상은 그렇지 않은 영상에 비해 포함된 결함의 화소 수가 많거나 배경과의 휘도 차이가 크다는 것을 의미하므로  $k_{l+1}$ 의 변화량을 크게 한다. 반면  $\sigma_{l+1}$ 와  $\sigma_r$ 의 비율이 낮은 영상은  $k_{l+1}$ 을 작게

변화 시킨다. 이를 기반으로  $k_{l+1}$ 을 식 (4)과 같이 조절하며,  $k_{l+1}$ 에 의해 검출된 화소가 존재할 때까지  $k_{l+1}$ 을 변경시킨다.

$$k_{l+1} = \begin{cases} k_0 - w_1 \times j, \frac{\sigma_{l+1}}{\sigma_r} \geq 3 \\ k_0 - w_2 \times j, 1.5 \leq \frac{\sigma_{l+1}}{\sigma_r} < 3 \\ k_0 - w_3 \times j, 1 < \frac{\sigma_{l+1}}{\sigma_r} < 1.5 \end{cases} \quad (4)$$

여기서  $w_1, w_2, w_3$ 은 각 경우에 대한  $k_l$ 의 변화량을 조절하는 가중치이며,  $w_1 > w_2 > w_3$ 이 되도록 가중치를 설정한다.  $k_l$ 을 변화시켰음에도 불구하고 검출되는 화소가 없는 경우  $j$ 를 증가시킨 후 반복 과정을 반복한다.

2)  $\frac{\sigma_{l+1}}{\sigma_l} \neq 1$  : 식(3)에 의해 검출된 결함의 화소가 존재하므로  $k_{l+1}$ 를 초기  $k_0$ 로 설정하고,  $j$ 를 1로 설정하여  $l+1$  단계를 반복한다.

최종적으로 검출된 결함 영상  $DI(x,y)$ 는 아래의 식 (5)과 같이 구성한다.

$$DI(x,y) = \bigcup_{i=0}^{l-1} DI^i(x,y) \quad (5)$$

### 2.2 결함 확률을 이용한 결함 검출

앞서 언급한 순차적 결함 검출 방법은 결함에 포함될 가능성이 높은 화소부터 순차적으로 검출하는 기법이다. 이는 순차적 기법의 각 단계가 높아질수록 검출되는 화소들이 결함에 포함될 가능성이 낮다는 것을 의미한다. 또한 결함의 휘도 특성에 의해 TFT-LCD 영상에 포함된 결함은 영상의 히스토그램에서 가장자리에 위치한다. 따라서 각 단계별 임계값을 설정하기 위한  $k$ 가 높을수록 검출된 화소가 결함에 포함될 가능성이 높음을 의미한다. 이러한 사실을 기반으로 본 논문에서는 순차적 결함 검출 방법을 이용하여 결함 화소를 검출함에 있어서 각 단계별 검출된 화소들의 결함 가능성을 결함 확률로 표현하였다.

제안 방법은 Fig. 3과 같이 순차적 결함 검출 기법을 이용한 후보 결함 화소 검출, 결함 후보 영역 추출, 결함 확률 및 가능성 계산 그리고 결함 가능성 변화율을 통해 결함을 검출하는 과정으로 구성된다.

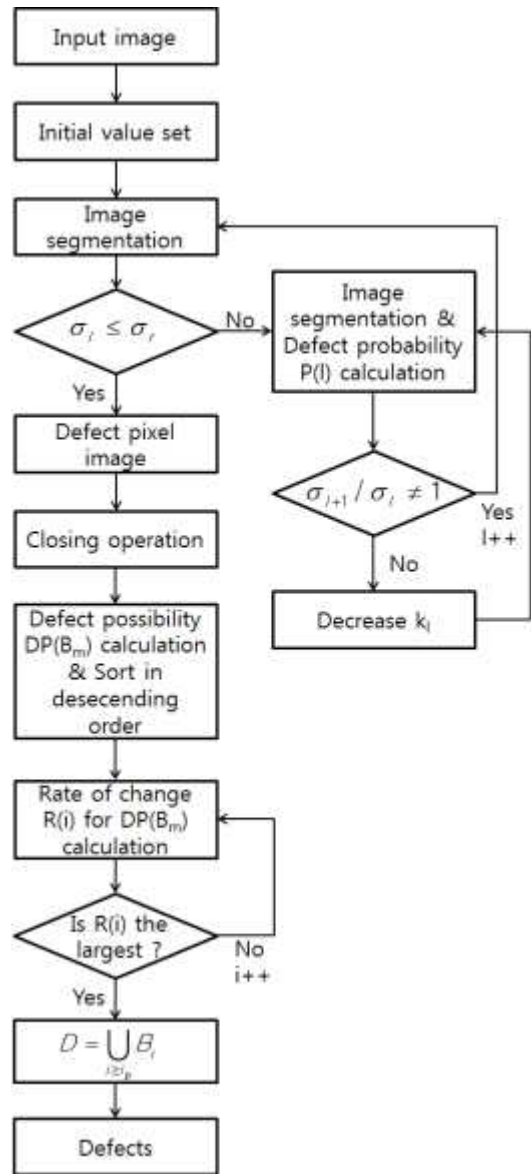


Fig. 3 Flowchart for proposed method

앞 절의 반복 과정의  $l$ 번째 단계에서  $k_l$ 에 의해 검출된 결함 화소들  $DI^l(x,y)$ 가 결함에 포함될 가능성  $P(l)$ 을 아래의 식 (6)과 같이 계산한다.

$$P(l) = \omega_l \prod_{i=0}^l P_i \quad (6)$$

여기서  $\omega_l$ 은  $l$ 번째 검출된 결함의 확률의 가중치를 의미하고,  $P_i$ 는  $k_i$ 에 의해 결정되는  $i$ 번째 확률이다.

TFT-LCD 표면 영상의 히스토그램이 정규분포를 따른다고 가정하면  $k_i$ 에 의해 검출된 화소들의 결함 확률을 식 (7)과 같이 계산할 수 있다.

$$P_i = \int_{m_i - k_i \sigma_i}^{m_i + k_i \sigma_i} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_i} e^{-\frac{(x - m_i)^2}{2\sigma_i^2}} dx \quad (7)$$

이때 결함 화소를 검출하기 위한 단계가 증가할수록 검출된 화소들이 결함 영역에 포함될 가능성은 낮아진다. 따라서 이러한 사실을 바탕으로 가중치  $\omega_l$ 은 식 (8)과 같이 결정한다.

$$\omega_l = e^{-\beta l} \quad (8)$$

여기서  $\beta$ 는 가중치의 변화량을 조절하는 상수이다.

$l$ 번째 단계에서 검출된 화소에 대한 결함 확률을 계산한 후,  $l+1$ 번째 영상에 대한  $k_{l+1}$ 을 결정한다.

이때  $k_{l+1}$ 는 영상  $I^{l+1}(x, y)$ 에 대한 표준편차  $\sigma_{l+1}$ 과  $\sigma_r$ 의 비율에 의해 결정됨을 앞 절의 식 (4)를 통해 나타내었다. 식 (4)는  $\sigma_{l+1}$ 과  $\sigma_r$ 의 비율에 따라  $k_{l+1}$ 을 변화시킨다. 즉  $\sigma_{l+1}$ 과  $\sigma_r$ 의 비율이 높을수록  $k_{l+1}$ 의 변화량을 크게 하고,  $\sigma_{l+1}$ 과  $\sigma_r$ 의 비율이 낮을수록  $k_{l+1}$ 의 변화량을 작게 한다. 이러한 특성을 반영하여 식 (4)를 아래의 식 (9)와 같이 변형하였다.

$$k_{l+1} = k_0 - \alpha \times \frac{\sigma_{l+1}}{\sigma_r} \quad (9)$$

여기서  $\alpha$ 는  $k_l$ 의 가변 정도를 결정하는 상수이다.

앞서 설명한 순차적 결함 검출 방법의 종료 조건을 만족할 때까지 각 단계별 검출된 결함 후보 화소  $DI^l(x, y)$ 와  $DI^l(x, y)$ 에 대한 결함 확률을 계산한다. 최종적으로 검출된 결함 화소 영상  $DI(x, y)$ 는 결함

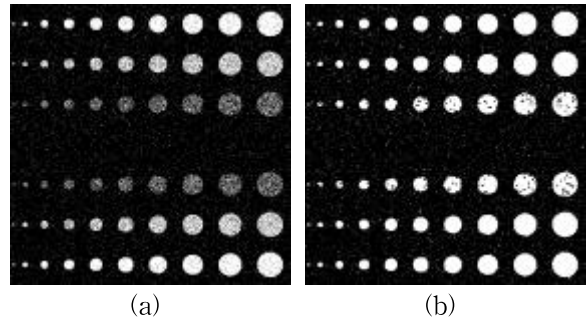


Fig. 4 Detected blob images; (a) detected defect pixels image, (b) detected defect blobs image

을 구성하는 화소들과 배경에 의한 화소들로 이루어져 있으며, 미 검출된 화소들에 의해 연결된 결함 영역(Blob)으로 나타나지 않는다. 따라서 본 논문에서는 식 (10)과 같이 형태학적 닫힘(Closing) 연산을 이용하여 인접한 화소들을 하나의 결함 영역으로 구성하고, 불규칙적으로 섞여있는 잡음을 제거한다.

$$DB(x, y) = (DI \oplus S) \ominus S \quad (10)$$

여기서  $\oplus$ 와  $\ominus$ 는 각각 팽창과 침식 연산을 나타내며,  $S$ 는 각 연산에 사용되는 구조요소(Structure element)이다.

Fig. 4는 휘도 차를 이용한 순차적 결함 화소 검출 기법에 의해 검출된 휘 결함과 암 결함 영상을 닫힘 연산을 이용하여 결함 영역으로 구성한 결과이다. Fig. 4는 결함을 효과적으로 검출하였지만 잡음에 의한 과 검출이 발생하였음을 보여준다. 따라서 이러한 잡음 영역을 제거하고, 결함만을 검출하기 위하여 각 결함 영역에 대한 결함 확률을 계산한다. 결함 확률은 순차적 결함 검출 방법의 각 단계별 검출된 결함 화소를 이용한다.

순차적 결함 검출 방법을 이용한 결함 화소들의 후보군이 검출되면 앞서 언급한 형태학적 연산을 통하여 각 화소들을 연결된 결함 영역으로 구성하고, 각 결함 영역들에 대한 결함 여부를 판단하는 결함 가능성을 계산한다. 검출된 결함 영역들의 결함 가능성은 동일 결함 영역을 구성하는 화소들이 가지는 결함 확률을 더함으로써 결정되고 이를 수식으로 나타내면 식 (11)과 같이 표현한다.

$$DP(B_m) = \sum_{j=1}^n P(j) \quad (11)$$

여기서  $P(j)$ 는 TFT-LCD 표면 영상에 포함된  $m$  번째 결함 영역  $B_m$ 를 구성하는  $j$ 번째 화소의 결함 확률을 나타낸다.

식 (11)로부터 결정된 각 결함 영역의 결함 가능성을 이용하여 이웃 결함 영역에 대한 결함 가능성의 변화율에 따라 최종 결함 영역을 선택한다. 먼저 검출된 결함 후보 결함 영역들에 대하여 결정된 결함 가능성을 크기순으로 정렬시킨다. 결함 가능성의 크기순으로 정렬된 결함 영역들 중  $i$ 번째 이웃한 결함 영역들에 대한 결함 가능성 변화율  $R(i)$ 를 아래의 식 (12)와 같이 계산한다.

$$R(i) = \frac{SDP(B_i)}{SDP(B_{i-1})} \quad (12)$$

여기서  $SDP(B_i)$ 와  $SDP(B_{i-1})$ 는 결함 가능성의 크기순으로 정렬된 결함 영역들 중  $i$ 번째와  $i-1$ 번째에 위치한 결함 영역의 결함 가능성을 의미한다.

이웃한 결함 영역들에 대한 결함 가능성 변화율에 대하여 변화율이 가장 크게 나타나는 곳을 결함과 배경 성분 및 잡음의 경계로 결정한다. 이는 결함 가능성의 크기에 대한 거리 값을 이용하는 것이 아니라 결함 가능성의 변화 속도가 급격히 변화하는 값을 이용한 것이다. 결정된 경계로부터 최종적으로 검출된 결함 영역은 식 (13)과 같이 나타낸다.

$$D = \bigcup_{i \geq i_b} B_i \quad (13)$$

여기서  $i_b$ 는 변화율이 가장 높게 나타나는 지점을 의미하며,  $B_i$ 는  $i$ 번째 결함 영역을 나타낸다.

### 3. 실험결과

실험 영상은 제안 방법의 성능을 평가하기 위하여 실제 TFT-LCD 영상을 사용하였으며, 결함의 종류는 얼룩성 결함으로 실제 TFT-LCD 패널 생산 공정

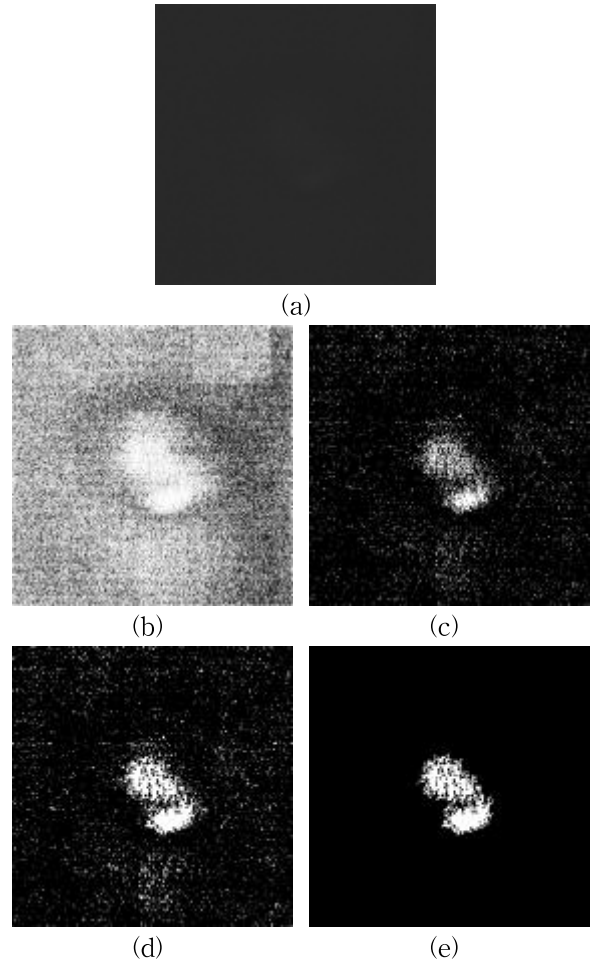


Fig. 5 Result of proposed method for real TFT-LCD surface image; (a) original image, (b) histogram equalization, (c) existing method (sequential defect detection method), (d) candidate blobs, (e) proposed method (final defect detection)

상에서 가장 빈번하게 발견되는 결함이다. 또한 실험 환경은 CPU Intel (R) Core i5 @2.67GHz, RAM 4GB이다.

Fig. 5는 실제 TFT-LCD 영상에 기존 방법과 제안 알고리즘을 적용한 결과를 보여준다. Fig. 5(a)는 배경의 불균일한 분포를 제거한 원 영상이며, Fig. 5(b)는 신호 해석의 용이성을 위하여 Fig. 5(a)에 대한 히스토그램 평활화 영상이다. Fig. 5(c)는 기존의 순차적 결함 검출 방법을 이용하여 검출된 결함을 나타내며, Fig. 5(d)는 검출된 결함후보 영역을 나타낸다. Fig. 5(e)는 제안 방법을 이용하여 검출된 결함

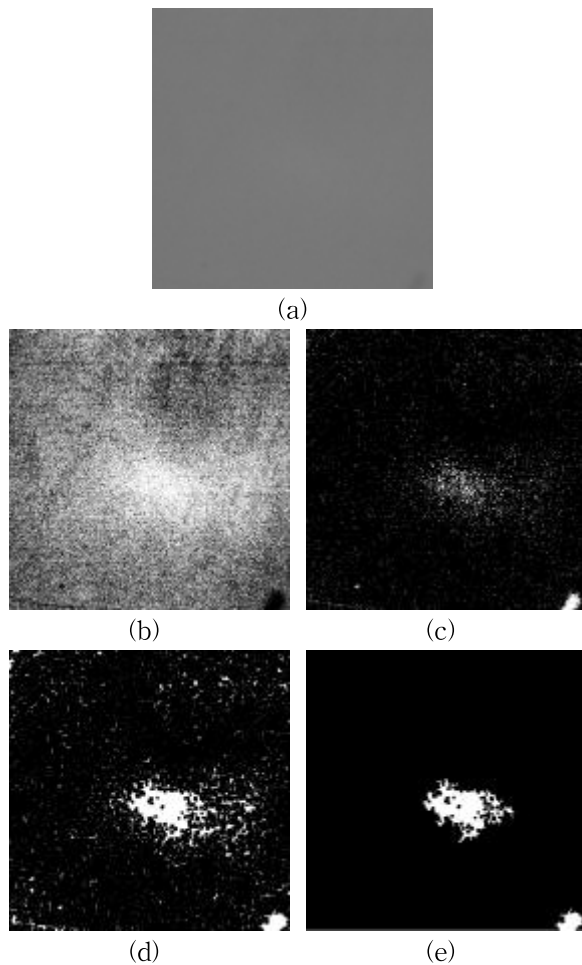


Fig. 6 Result of proposed method for real TFT-LCD surface image; (a) original image, (b) histogram equalization, (c) existing method (sequential defect detection method), (d) candidate blobs, (e) proposed method (final defect detection)

을 나타낸다. Fig. 5는 기존의 결함 검출 기법에 비하여 결함을 영역 단위로 검출함으로써 더욱 신뢰 있는 결함 검출이 가능하게 하였다. 또한 영상에 포함된 잡음을 효과적으로 제거하였다.

Fig. 6은 배경보다 밝은 휘 결함과 배경보다 어두운 암 결함을 동시에 포함하고 있는 영상에 적용한 결과를 보여준다. Fig. 6(a)는 암 결함과 휘 결함을 포함하고 있는 원 영상이며, Fig. 6(b)는 원 영상에 대한 히스토그램 평활화 영상이다. Fig. 6(c)와 Fig. 6(d)는 각각 기존의 순차적 결함 검출 방법을 이용하여 검출된 결함 화소와 형태학적 연산을 이용하여

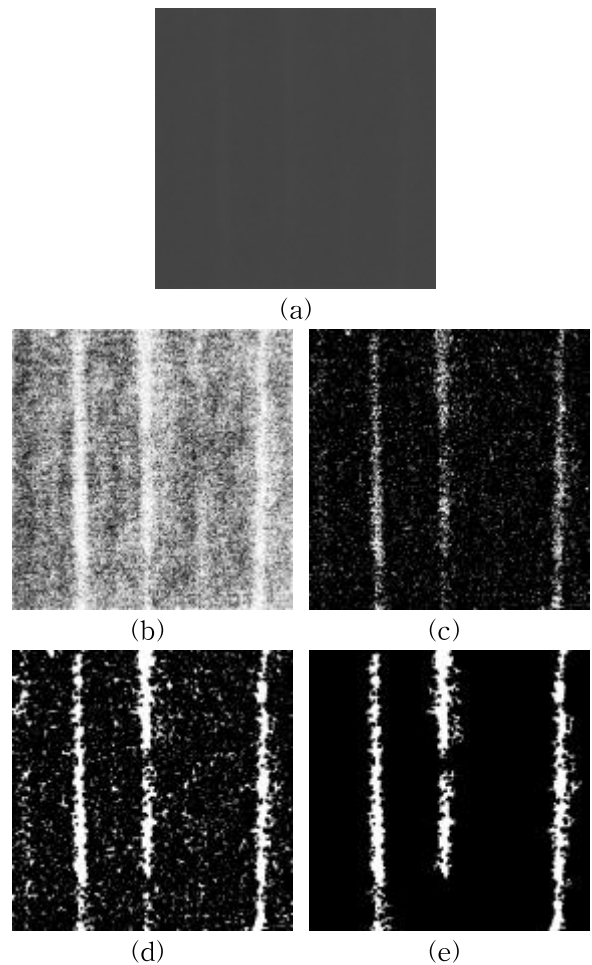


Fig. 7 Result of proposed method for real TFT-LCD surface image; (a) original image, (b) histogram equalization, (c) existing method (sequential defect detection method), (d) candidate blobs (e) proposed method (final defect detection)

획득된 결함 영역을 나타낸다. Fig. 6(e)는 제안 방법을 적용하여 획득된 최종 결함 검출 결과를 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이 영상에 포함된 결함 영역은 견실하게 검출되었으며, 배경 성분 또한 효과적으로 억제하였다.

Fig. 7은 다른 형태의 결함을 포함하고 있는 실제 TFT-LCD 표면 영상에 기존 방법과 제안 방법을 적용한 결과를 보여준다. Fig. 7(a)와 Fig. 7(b)는 각각 원 영상과 원 영상에 대한 히스토그램 평활화 영상이다. Fig. 7(c)는 기존의 순차적 결함 검출 방법을 이용하여 검출된 결함을 나타내며, Fig. 7(d)는 형태



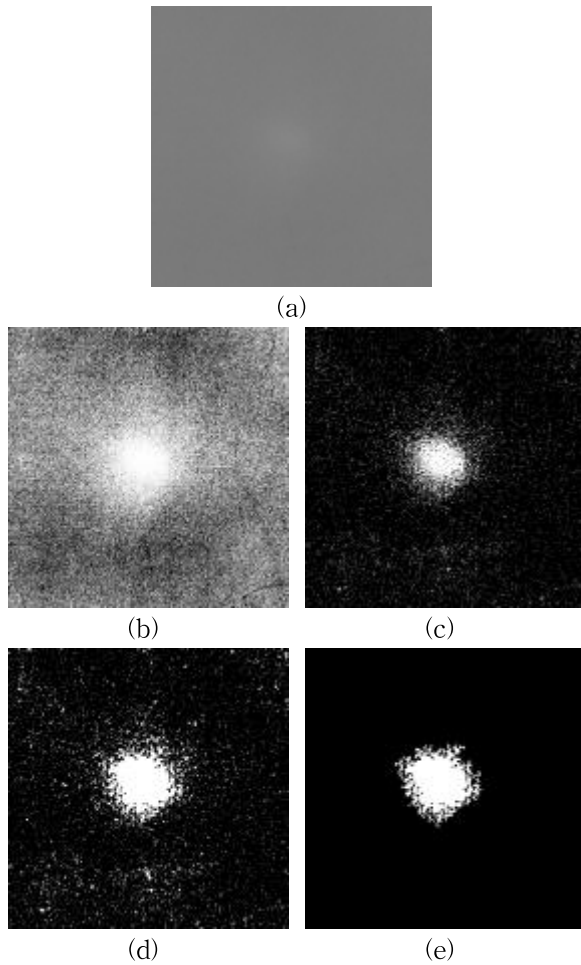


Fig. 8 Result of proposed method for real TFT-LCD surface image ; (a) original image, (b) histogram equalization, (c) existing method (sequential defect detection method), (d) candidate blobs, (e) proposed method (final defect detection)

학적 연산을 이용하여 결함 화소를 결함 영역으로 구성하여 나타낸 영상이다. Fig. 7(e)는 제안 방법에 대한 최종 결함 검출 결과이다. 앞선 실험 결과들과 마찬가지로 기존의 순차적 결함 검출 방법에 비하여 TFT-LCD 표면 영상에 포함된 잡음을 효과적으로 억제하면서 결함만을 효과적으로 검출함을 알 수 있다.

Fig. 8 또한 실제 TFT-LCD 영상에 포함된 결함 검출 결과를 보여준다. 앞선 결과들과 마찬가지로 배경 성분 및 잡음을 배제하면서 결함 영역만을 견실하게 선택함을 보여준다.

Fig. 6(d)에 포함된 각 후보 결함 영역들에 대한

결함 가능성을 높은 순서로 정렬하여 Table 1로 나타내었다. 또한 인접한 결함 가능성 사이에 대한 결함 가능성 변화율을 나타내었다. Table 1에서 상위에 위치한 2개의 결함 영역은 결함에 해당하는 결함 영역들로 영상에 포함된 잡음보다 결함 가능성이 높게 나타남을 알 수 있으며, 결함과 잡음의 경계에 해당하는 부분은 가장 높은 변화율을 가짐을 확인할 수 있다.

Table 1 Defect possibility of blobs in Fig. 6

$i$	Blob number	Defect possibility $DP(B_i)$	Ratio $R(i)$
1	987	922.4478	
2	1996	564.4730	1.6342
3	1625	43.7463	12.9033
4	1465	36.6810	1.1926
5	1379	27.2646	1.3454
6	441	24.0993	1.1313
7	2	21.8582	1.1025
⋮	⋮	⋮	4.0941

Table 2 Defect possibility of blobs in Fig. 7

$i$	Blob number	Defect possibility $DP(B_i)$	Ratio $R(i)$
1	442	303.5752	
2	1731	303.2550	1.0419
3	852	170.8188	1.7778
4	924	96.4103	1.7106
5	2	28.8582	5.0774
6	1449	23.5651	1.6430
7	1	15.7220	1.1718
⋮	⋮	⋮	1.3543

또한 Table 2는 Fig. 7의 영상에 포함된 각 결함 영역들의 결함 가능성을 나타내었다. 앞선 결과와 마



찬가지로 상위에 위치한 4개의 결합 영역들이 TFT-LCD 표면 영상에 포함된 결합을 의미하고, 결합과 배경 성분을 결정하는 기준이 되는 결합 가능성 변화율이 가장 높은 값을 가짐을 알 수 있다. 이때 Table 1과 Table 2를 구성하는 결합 가능성과 변화율은 앞선 정의한 식 (11)과 식 (12)에 의해 결정된다.

Table 3은 결합 분할의 정확도를 의미하는 SP (Segmentation Performance) 지수[15]를 나타낸다. SP 지수는 그 값이 0에 가까울수록 알고리즘의 결과와 사람이 직접 손으로 분할할 영역이 완전히 일치함을 의미하며, SP 지수는 아래의 식으로 계산된다.

$$SP = \frac{cnt(S_A \cup S_M) - cnt(S_A \cap S_M)}{cnt(S_A \cup S_M)} \quad (14)$$

여기서  $S_A$ 와  $S_M$ 은 각각 알고리즘에 의해 검출된 결합 영역의 화소들의 집합과 사람이 손으로 정의한 결합 영역의 화소 집합을 의미한다.  $cnt()$  함수는 인자의 전체 개수를 정의하는 함수를 의미한다.

Table 3의 결과는 사람에 의한 결합 분할 결과에 의해 가변적임을 감안하여도 제안 방법이 기존 방법에 비해 결합을 건실하게 검출함을 알 수 있다.

Table 4는 각 실험 영상에 대한 알고리즘의 실행 시간을 계산하여 표현하였다. 각 영상에 대한 실행 시간은 평균적으로 0.5초 내의 실행 시간이 소요됨을 확인할 수 있다. 이는 제안 알고리즘이 실시간 처리가 가능함을 보여주며, TFT-LCD 결합 자동 인식 시스템의 내부 알고리즘으로써 충분한 활용 가능성이 있음을 알 수 있다.

수행된 실험을 통하여 제안된 각 결합 영역에 대한 결합 가능성과 결합 가능성 변화율이 결합 영역을 검출함에 있어서 분별력 있는 척도임을 알 수 있다.

앞서 언급하였듯이 본 논문의 최종 목표는 결합 영역 해석의 부담을 최소화하기 위하여 잡음 및 과검출을 줄이는 것이다. 따라서 실제 실험 결과에 약간의 과검출이 발생한다하더라도 이는 향후 결합 영역 해석 단계에서 추가적으로 제거될 것이다. 그러나 제안 방법은 이전 방법에 비하여 과검출이 상당히 감소하였음을 확인할 수 있다.

Table 3 Comparison SP

Figure	Existing method	Proposed method
Figure 5	0.7608	0.4778
Figure 6	0.8365	0.3806
Figure 7	0.7652	0.4341
Figure 8	0.7052	0.3448

Table 4 Execution time for the experiment images

Figure	Execution time (s)
Figure 5	0.486
Figure 6	0.436
Figure 7	0.422
Figure 8	0.598
Average	0.486

#### 4. 결론

본 논문에서는 TFT-LCD의 결합 블랍을 효과적으로 검출하는 방법을 제안하였다. 적응적인 임계값을 설정하기 위하여 결합과 배경의 휘도 차를 이용하여 각 화소에 대한 결합 가능성을 판단하고, 결합 가능성이 높은 화소부터 순차적으로 검출하였다. 이때 단계별 검출된 화소가 결합에 포함될 확률을 계산하였으며, 획득된 결합 화소 영상들로부터 잡음을 제거하고, 결합 영역을 생성하기 위하여 형태학적 연산을 수행하였다. 각 후보 결합 영역에 대한 최종 결합 확률을 계산한 후 이를 이용하여 TFT-LCD의 결합을 건실하게 검출하였다. 본 논문에서 제안한 방법을 통해 검출된 결합 영역은 기존 방법에 비해 효과적으로 잡음을 억제하고, 결합 영역을 검출함을 확인할 수 있었으며, SP 지수 비교를 통해 제안 방법이 기존 방법에 비해 정확한 결합 검출이 가능함을 보여준다. 알고리즘에 대한 평균 실행시간은 0.5초 이내로 산업 현장에서 적용 가능함을 알 수 있다. 이러한 실험 결과들을 통해 획득된 결과 영상들은 제안 방법이 결합 검출에 매우 효과적임을 알 수 있다. 또한 최종적으로 결합의 종류를 판단하기 위하여 검출된

결함 후보군에 대한 결함 영역 해석 및 결함 분류에 대한 연구를 진행할 예정이다.

## References

- [1] J. Jang, S. K. Lim and M. H. Oh, "Technology Development and Production of Flat Panel Displays in Korea," Proceedings of the IEEE, Vol. 90, No. 4, pp. 501-513, 2002.
- [2] L. E. Tannas. Jr., "Evolution of Flat Panel Displays," Proceedings of the IEEE, Vol. 82, No. 4, pp. 499 - 509, 1994.
- [3] Y. C. Cho, B. J. Choi, and J. O. Yoon, "A Study on the Development of Backlight Surface Defect Inspection System using Computer Vision," Journal of the Korea Industrial Systems Research, Vol. 12, No. 3, pp. 116-123, 2007.
- [4] Y. Ishii, "The World of Liquid-Crystal Display TVs-Past, Present and Future," Journal of Display Technology, Vol. 3, No. 4, pp. 351-360, 2007.
- [5] L. Y. Pan, S. C. Chang, M. Y. Liao and Y. T. Lin, "The Future Development of Global LCD TV Industry", Management of Engineering and Technology, Vol. 5-9, pp. 1818-1821, 2007.
- [6] C. B. Moon, Y. H. Ahn, H. Y. Lee, B. M. Kim, and D. W. Oh, "Implementation of Automatic Detection System for CCFL's Defects based on Combined Lighting," Journal of the Korea Industrial Systems Research, Vol. 15, No. 2, pp. 69-80, 2010.
- [7] J. H. Oh and K. H. Park, "TFT-LCD Defect Enhancement using Frequency Sensitivity of HVS," Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea, Vol. 44-SP, No. 5, pp. 20-27, 2007.
- [8] H. Wang, S. Z. Li and Y. Wang, "Face Recognition under Varying Lighting Conditions using Self Quotient Image," Proceedings of the IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition(FGR'04), pp. 819-824, 2004.
- [9] J. H. Oh, B. J. Yun, S. Y. Kim and K. H. Park, "A Development of the TFT-LCD Image Defect Inspection Method Based on Human Visual System," IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Science, Vol. E91, No. 6, pp. 1400-1407, 2008.
- [10] J. H. Oh, W. S. Kim, C. H. Han and K. H. Park, "Defect Detection of TFT-LCD Image using Adapted Contrast Sensitivity Function and Wavelet Transform," IEICE Transactions on Electronics, Vol. E90-C, No. 11, pp. 2131-2135, 2007.
- [11] J. H. Oh, D. M. Kwak, K. B. Lee, Y. C. Song, D. H. Choi and K. H. Park, "Line Defect Detection in TFT-LCD using Directional Filter Bank and Adaptive Multilevel Thresholding," Key Engineering Materials, Vol. 270-273, pp. 233-238, 2004.
- [12] W. S. Kim, D. M. Kwak, Y. C. Song, D. H. Choi and K. H. Park, "Detection of Spot-Type Defects on Liquid Crystal Display Modules," Key Engineering Materials, Vol. 270-273, pp. 808-813, 2004.
- [13] S. M. Lee, T. H. Kim and K. H. Park, "Sequential Defect Detection according to Defect Possibility in TFT-LCD Panel Image," Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea, Vol. 51, No. 4, pp. 799-806, 2014.
- [14] E. H. Gu and K. H. Park, "A TFT-LCD Defect Detection Method based on Defect Possibility using the Size of Blob and Gray Difference," Journal of the Korea Industrial Information Systems Research, Vol. 19, No. 6, pp. 43-51, 2014.
- [15] S. G. Sun and H. W. Park, "Segmentation of forward-looking infrared image using fuzzy thresholding and edge detection," Optical Engineering, Vol. 40, No. 11, pp. 2638-2645, 2001.



**이 은 영** (Eunyoung Lee)

- 정회원
- 동아대학교 전기전자컴퓨터학부  
공학학사
- 경북대학교 전자공학부 공학석사
- 경북대학교 전자공학부 박사과정
- 관심분야 : 영상신호처리, 패턴인식



**박 길 흠** (Kil-houm Park)

- 정회원
- 경북대학교 전자공학과 공학학사
- 한국과학기술원 전자공학과 공학  
석사
- 한국과학기술원 전자공학부 공학박사
- 경북대학교 전자공학부 교수
- 관심분야 : 영상신호처리, 컴퓨터비전