논문 2014-51-4-14

TFT-LCD 패널 영상에서 결함 가능성에 따른 순차적 결함 검출

(Sequential Defect Detection According to Defect Possibility in
TFT-LCD Panel Image)

이 승 민*, 김 태 훈*, 박 길 흠**

(SeungMin Lee, Tae-Hun Kim, and Kil-Houm Park[©])

요 약

TFT-LCD 영상에서 결함은 일반적으로 배경과 비교하여 밝기 차이가 큰 특징을 사용하여 검출된다. 본 논문에서는 휘도에 따른 결함 가능성이 높은 순으로 결함을 검출하는 순차적 결함 검출 방법을 제안한다. 제안한 방법은 배경과의 휘도 차이가 큰 결함은 정확히 검출하고, 배경과의 휘도 차가 작은 결함인 한도결함보다 신뢰있게 검출하여 과검출을 최소화할 수 있다. 실험을 통해 제안한 방법은 배경과의 휘도 차가 큰 결함뿐만 아니라 한도결함에 대해서도 우수한 검출 결과를 나타냄을 확인하였다.

Abstract

In TFT-LCD panel images, defects are typically detected by using a large difference in the brightness compared to the background. In this paper, we propose a sequential defect detection algorithm according to defect possibility caused by difference of brightness. By using this method, pixels with high defect probabilities are preferentially detected and defects with a large brightness difference are accurately detected. Also, limited defects with a small brightness difference is detected more reliably, eventually minimizing the degree of over-detection. We have experimentally confirmed that our proposed method showed an excellent detection result for detecting limited defects as well as defects with a large brightness difference.

Keywords : TFT-LCD, 결함 검출, 순차적 검출, 한도 결함

I. 서 론

TFT-LCD (Thin Film Transistor Liquid Crystal

Display)는 모니터, TV 및 휴대폰 등의 다양한 전자 기기에 사용됨으로써 주요 디스플레이로 각광받고 있다^[1]. TFT-LCD 모니터는 제조 과정에서 여러 종류의 불량 이 나타날 수 있으며 이러한 불량 의 선별은 초기에는 육안으로 검출되어 왔다. 하지만 육안을 통한 불량검출 은 검출률에 있어서 검사자의 숙련도 수준, 컨디션 등에 의해 불규칙적이며 판단에 주관적이기 때문에 신뢰성이 낮을 뿐만 아니라 검사자의 교육에 따른 비용과 검사 속도에 의한 한계로 TFT-LCD의 수요와 공급의 증가 에 있어서 큰 문제가 되어왔다. 이러한 문제를 해결하기 위해 개발되고 있는 자동 결함 검출 시스템은 검사자를

* 학생회원, ** 평생회원, 경북대학교 전자공학부
(Graduate School of Electronics Engineering,
Kyungpook National University)

© Corresponding Author(E-mail: khpark@ee.knu.ac.kr)

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

접수일자: 2013년12월20일, 수정일자: 2014년1월27일
수정완료: 2014년3월31일

통한 결함검출과 비교하면 객관적이며 환경의 영향을 받지 않아 신뢰성이 높을 뿐만 아니라 매우 짧은 검사 시간으로 생산성을 비약적으로 향상시킬 수 있게 되었다. 이와 같은 이유로 제조사들은 TFT-LCD의 생산성 증대를 위하여 카메라를 이용한 자동 결함 검출 시스템을 연구하여 적용하고, 신뢰성을 높이고 있다^[2-3].

그림 1은 $350\mu\text{m}/\text{pixel}$ 의 에어리어 카메라를 이용해 획득한 실제 저해상도 TFT-LCD 패널 영상과 이에 대한 3차원 영상으로써 얼룩성(Mura) 결함 검출에 용이하다^[4]. 획득된 TFT-LCD 패널 영상은 BLU(Back Light Unit)로 인한 불균일한 휘도 분포와 여러 가지 환경적인 요인으로 잡음 성분이 혼재되어 있다. 이러한 불균일한 휘도 분포와 잡음 성분은 TFT-LCD 결함 검출에서 과검출이나 미검출의 요인으로 작용하여 결함 검출의 건실성을 보장할 수 없다^[5]. 특히 한도 결함의 경우 배경과 결함의 휘도차가 매우 작기 때문에 일반적인 임계화 방법으로 결함을 신뢰성 있게 검출하는데 어려움이 있다.

기존의 대표적인 결함 검출 방법으로는 Otsu 방법^[6]과 평균과 표준편차를 이용한 방법^[7] 등이 있다. Otsu 방법은 영상의 히스토그램의 분포에 따라 자동적으로 설정된 임계값을 사용하여 결함을 검출하는 방법이다. Otsu 방법의 알고리즘은 간단하지만, 한도 결함이 많이 포함된 영상에 대해서는 많은 양의 과검출이 발생하는 문제점이 있다. 그리고 평균과 표준편차를 이용한 방법은 영상의 히스토그램에서 가장자리에 속하는 화소들일수록 결함 영역에 속할 가능성이 높다는 특징을 이용한 방법이다. 즉 평균과의 차가 클수록 결함 영역에 포함

된 화소일 가능성이 높으므로, 평균과 표준편차를 이용하여 결함 화소들을 검출한다. 이와 같은 방법은 결함이 배경과의 휘도 차가 큰 경우는 신뢰 있게 결함을 검출할 수 있으나, 배경과 유사한 휘도 값을 갖는 한도 결함을 검출하기 위해서는 과검출을 피할 수 없다. 이와 같이 기존의 결함 검출 방법들은 배경과의 휘도 차가 큰 결함은 신뢰 있게 검출할 수 있지만, 한도 결함을 검출하기 위해서는 과도한 과검출을 피할 수 없기 때문에 불합 분할 및 분류 과정에 많은 부담을 준다.

본 논문에서는 한도 결함을 건실하게 검출하기 위하여 휘도 차에 따른 결함 가능성이 높은 순으로 결함을 검출하는 순차적 결함 검출 방법을 제안한다. 제안한 방법은 영상 평탄화를 통해 전처리가 된 TFT-LCD 영상^[8]을 대상으로 한다. 먼저 순차적으로 결함을 검출함으로써 배경과의 휘도 차가 큰 결함은 정확히 검출하고, 배경과의 휘도 차가 작은 결함인 한도 결함 또한 신뢰 있게 검출하여 과검출을 최소화할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 제안한 방법에 대해 설명을 하고 III장에서는 제안 방법의 효용성을 입증하기 위해 인위적으로 생성된 TFT-LCD 패널 의사 영상과 실제 TFT-LCD 패널 영상에 대해 제안 방법의 우수성을 보인다. 그리고 마지막 IV장을 통해 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 결함 가능성에 따른 순차적 결함 검출

1. 평균과 표준편차를 이용한 결함 검출

그림 2(a)는 다양한 크기와 휘도 값을 갖는 결함들을 포함한 TFT-LCD 패널 의사영상이고, 그림 2(b)는 그

그림 1. 저해상도 TFT-LCD 패널 영상의 예
(a) 실제 획득 영상, (b) (a)의 3차원 영상
Fig. 1. Examples of a low-resolution TFT-LCD panel image. (a) Real acquisition image and (b) 3D image of (a).

그림 2. TFT-LCD 의사 영상
(a) 결함을 포함한 영상, (b) (a)의 히스토그램
Fig. 2. Pseudo TFT-LCD panel image.
(a) Image with defect and (b) Histogram of (a).

그림 3. 한도 결함을 포함한 TFT-LCD 유사 영상 (a) 한도 결함을 포함한 영상, (b) (a)의 히스토그램
Fig. 3. TFT-LCD similar image with limited defect. (a) Image with limited defect and (b) histogram of (a).

림 2(a)의 히스토그램으로 정규 분포와 유사한 형태를 갖는다. 이 영상은 결함이 없는 TFT-LCD 패널 영상에 다양한 크기와 휘도 값을 갖는 결함을 합성한 영상으로 얼룩성 결함이나 핀홀 결함과 같이 국부적 영역에 존재하는 결함검출에 중점을 두기 위하여 원형 결함을 생성하여 합성하였다. 중앙을 기준으로 위쪽으로 갈수록 휘도 값이 낮아지는 암결함이, 아래쪽으로 갈수록 휘도 값이 높아지는 휘결함이 존재한다. 또한 좌측에서 우측으로 갈수록 크기가 커지도록 하여 다양한 휘도값과 크기를 가지는 결함을 포함하도록 만들어진 의사영상이다. 그림 3(a)는 그림 2(a)와 유사하게 생성된 의사영상으로 결함들의 휘도값이 낮은 한도 결함들을 포함한다.

결함 영역은 배경 영역에 비해 휘도 값이 크거나 작으므로, 그림 2(b) 또는 그림 3(b)의 히스토그램에서 가장자리에 속하는 화소들일수록 결함 영역에 속할 가능성이 높아진다. 즉 평균과의 차가 클수록 결함 영역에 포함된 화소일 가능성이 높으므로, 평균과 표준편차를 이용하여 결함 화소들을 검출할 수 있다. 기존의 평균과 표준편차를 이용한 결함 검출 방법(STD: Standard deviation)에서는 주어진 영상 $I(x,y)$ 에서 식 (1)의 문턱 값(TH_H, TH_L)을 이용하여 TH_H 보다 큰 값을 갖거나 TH_L 보다 작은 값을 갖는 화소를 결함 화소로 검출한다.

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

여기서 m 은 $I(x,y)$ 의 평균이고, σ 는 $I(x,y)$ 의 표준 편차이고, k 는 $I(x,y)$ 에서 결함이 차지

그림 4. 그림 2의 영상에 대해 k 에 따라 검출된 결함 영상 (a) $k=3$, (b) $k=2.5$, (c) $k=2$, (d) $k=1.5$, (e) $k=1$, (f) $k=0.5$
Fig. 4. Detected defect images of Fig. 2. (a) $k=3$, (b) $k=2.5$, (c) $k=2$, (d) $k=1.5$, (e) $k=1$, and (f) $k=0.5$.

하는 비율을 정하는 변수이다. 식 (2)와 같이 결함 영상 $DI(x,y)$ 에서 밝은 결함인 휘 결함의 화소는 TH_H 보다 큰 값을 갖는 화소이고, 어두운 결함인 암 결함의 화소는 TH_L 보다 작은 값을 갖는 화소이다.

$$DI(x,y) = \begin{cases} 255, & I(x,y) \geq TH_H(k) \\ 0, & I(x,y) < TH_L(k) \end{cases} \quad (2)$$

여기서 휘 결함의 화소는 255, 암 결함의 화소는 0으로 정하였다. 그림 4는 그림 1의 영상에 대해 k 에 따라 검출된 결함을 나타낸다.

그림 4(a)~그림 4(d)에서 볼 수 있듯이 결함과 배경의 휘도 차가 상당히 큰 경우는 신뢰 있게 결함을 검출

할 수 있다. 그러나 그림 4(e)~그림 4(f)에서 볼 수 있듯이 결함의 휘도 값과 유사한 휘도 값을 갖는 배경 영역도 검출되어, 배경의 휘도 값과 유사한 휘도 값을 갖는 한도 결함은 검출하기가 매우 어렵다. 일반적으로 결함 검출 시에는 약간의 과검출을 통하여 과검출된 후보에 대한 블랍(Blob) 해석을 통해 결함을 검출한다. 하지만 그림 4를 통하여 k 값에 따라 검출 결과가 판이하게 다르며 영상에 따라 적합한 k 값이 달라지기 때문에 이상적인 k 값을 설정함에 어려움이 있음을 알 수 있다. 이에 본 논문은 결함 후보의 과검출을 최소화하여 블랍 해석의 부담을 줄이는데 그 목적이 있다.

2. 제안한 순차적 결함 검출

TFT-LCD 패널 영상에서 결함은 휘도 차에 의해 표현되므로 결함에 포함될 가능성이 높은 화소일수록 배경과의 휘도 차이가 크게 나타난다. 본 논문에서는 휘도 차이가 클수록 결함 가능성이 높은 특성을 이용하기 위하여 기존의 통계적 방법을 이용한 검출 방법에서 k 값을 검출된 영상의 평균과 표준편차에 따라 가변적으로 줌으로써 휘도 차이가 큰 결함부터 순차적으로 검출할 수 있다.

먼저 영상의 히스토그램이 정규 분포를 따른다면 식

그림 5. 제안 알고리즘의 블록도

Fig. 5. The block diagram of the proposed algorithm.

(1)과 식 (2)에 의해 검출된 결함 화소 수는 k 가 1일 때 총 화소 수의 32%, k 가 2일 때 5%, k 가 3일 때 0.3%이다. 따라서 고정된 k 를 사용하여 결함을 검출하면 k 에 따라 검출 결과가 크게 달라진다. 한편 큰 값의 k 에 의해 검출된 화소들은 작은 값의 k 에 의해 검출된 화소들에 비해 휘도차가 큰 화소들이므로 결함 영역에 포함될 확률이 높다. 이를 바탕으로 본 논문에서는 다수의 $k = \{k_0, k_1, k_2, \dots\}$ 를 사용하여 결함 가능성이 높은 순으로 결함 화소를 순차적으로 검출한다. 그림 5는 제안한 순차적 결함 검출 알고리즘의 블록도이다.

식 (1)과 식 (2)에 의해 결함 화소를 검출하고, 다음으로 검출된 결함 화소를 제외한 후 다시 남아있는 영상에 대한 m 과 σ 를 계산한다. 이 때 새롭게 구해진 m 과 σ 를 이용하여 결함 없는 참조 영상의 표준편차 σ_r 과의 비 σ/σ_r 에 따라 적응적으로 k 를 가변하여 결함 화소를 순차적으로 검출한다. 구체적인 방법은 다음과 같다.

1) 초기 조건을 다음과 같이 결정한다.

$$l = 0, j_1 = j_2 = j_3 = 1, I^0(x, y) = I(x, y), k_0 = 3$$

2) $\sigma_l > \sigma_r$ 경우 다음의 반복과정을 실행하며, $\sigma_l \leq \sigma_r$ 경우는 종료한다.

반복 과정: 영상 $I^l(x, y)$ 에서 k_l 에 대해 식 (3)과 식 (4)에 의해 결함 영상 $DI^l(x, y)$ 를 검출한다.

$$\begin{aligned} TH_H(k_l) &= m_l + k_l \sigma_l \\ TH_L(k_l) &= m_l - k_l \sigma_l \end{aligned} \quad (3)$$

$$DI^l(x, y) = \begin{cases} 255, & I^l(x, y) \geq TH_H(k_l) \\ 0, & I^l(x, y) \leq TH_L(k_l) \end{cases} \quad (4)$$

여기서 m_l 과 σ_l 은 $I^l(x, y)$ 의 평균과 표준편차이다. 다음으로 결함 검출의 신뢰를 높이기 위해 검출된 결함을 제거한 영상에서 결함을 검출한다. 검출된 결함 $DI^l(x, y)$ 를 제거한 영상 $I^{l+1}(x, y)$ 를 식 (5)와 같이 구한다.

$$\begin{aligned} I^{l+1}(x, y) &= I^l(x, y), \\ TH_L(k_l) &< I^l(x, y) < TH_H(k_l) \end{aligned} \quad (5)$$

k_{l+1} 값은 기본적으로 초기 k_0 값을 이용하지만 σ_{l+1} 과 σ_l 의 비율이 1인 경우, σ_{l+1} 과 σ_r 의 비율에 따라 다음과 같이 k_{l+1} 값이 가변되도록 설정한다.

① $\frac{\sigma_{l+1}}{\sigma_l} = 1$: 식 (4)에 의해 검출된 결함 화소가 없으므로 k_{l+1} 값을 줄여야 한다. 한편 배경과의 밝기 차이가 크고 그 수가 많은 결함을 포함한 영상은 배경과의 밝기 차이가 작고 그 수가 적은 결함을 포함한 영상에 비해 표준편차가 크다. 그리고 σ_{l+1} 과 σ_r 의 비율이 높은 영상은 비율이 낮은 영상에 비해 포함된 결함의 화소 수가 많거나 배경과의 휘도 차이가 큼을 나타내어 k_{l+1} 값의 변화를 크게 하고, 반대의 경우도 성립한다. 이를 바탕으로 k_{l+1} 을 σ_{l+1} 과 σ_r 의 비율에 따라 세 가지 경우로 나누어 구하는 식 (6)을 제안한다.

$$k_{l+1} = \begin{cases} k_0 - w_1 \times j_1, & \frac{\sigma_{l+1}}{\sigma_r} \geq 3 \\ k_0 - w_2 \times j_2, & 1.5 \leq \frac{\sigma_{l+1}}{\sigma_r} < 3 \\ k_0 - w_3 \times j_3, & 1 < \frac{\sigma_{l+1}}{\sigma_r} < 1.5 \end{cases} \quad (6)$$

여기서 w_1, w_2, w_3 는 세 경우에 대한 k_{l+1} 값의 변화 폭을 나타내는 가중치들이다. $\sigma_{l+1} \geq 1.5\sigma_r$ 경우는 $l+1$ 번째 영상에는 결함의 화소 수가 많거나 배경과의 휘도 차이가 큰 결함이 포함되어 있다는 의미이고, $\sigma_r < \sigma_{l+1} < 1.5\sigma_r$ 경우는 $l+1$ 번째 영상에는 배경과의 휘도 차이가 작은 한도 결함이 포함되어 있다는 의미이다. 따라서 $w_1 > w_2 > w_3$ 의 관계가 되도록 w_1, w_2, w_3 를 설정한다. 그리고 j_1, j_2, j_3 를 각각 1 증가시키고, l 을 1 증가시켜 위의 반복과정을 계속한다.

② $\frac{\sigma_{l+1}}{\sigma_l} \neq 1$: 식 (4)에 의해 검출된 결함 화소가 있으므로 k_{l+1} 값을 k_0 로 고정한다. 그리고 j_1, j_2, j_3 를 1로 설정하고, l 을 1 증가시켜 위의 반복과정을 계속한다. 마지막으로 순차적으로 검출된 결함 영상들 DI^l 을 모두 합친 결과 영상 $DI(x, y)$ 를 식 (7)과 같이 구한다.

$$DI(x, y) = \sum_{i=0}^{l-1} DI^i(x, y) \quad (7)$$

그림 6은 그림 2의 영상에 대해 반복 과정에서 검출된 결함 영상들이다. 그림 6에서 볼 수 있듯이 반복 과정에서 배경과의 휘도차이가 커서 결함 영역에 포함될 확률이 높은 화소들이 우선적으로 검출됨을 알 수 있다.

그림 6. 반복 과정에서 검출된 결함 영상들
(a) $DI^0(x, y)$, (b) $DI^1(x, y)$, (c) $DI^2(x, y)$,
(d) $DI(x, y)$

Fig. 6. Detected defect images through iteration.

(a) $DI^0(x, y)$, (b) $DI^1(x, y)$, (c) $DI^2(x, y)$
and (d) $DI(x, y)$.

III. 실험 및 고찰

본 실험에서는 제안한 방법의 성능을 평가하기 위하여 인위적인 결함을 합성한 TFT-LCD 의사 영상과 실제 패널 영상을 사용하였다. TFT-LCD 패널 영상은 $350\mu\text{m}/\text{pixel}$ 의 에어리어 카메라를 이용하여 획득되었다. 영상 내에 포함된 결함은 TFT-LCD 생산 공정상에서 가장 빈번하게 발견되는 결함인 얼룩성 결함이며, 한도 결함을 포함한다. 사용된 시료는 약 14~20인치의 소형 TFT-LCD 패널로서, 실험의 편의를 위해 획득 영상의 패널 내부 영역을 512×512 화소 크기로 선택하여 실험 영상을 구성하였다.

그림 7(a) 영상은 실제 평탄한 배경을 갖고 결함이 없는 TFT-LCD 패널 영상에 크기와 밝기가 다른 11개의 결함을 합성한 영상이고, 그림 7(b)는 그림 7(a)의 히스토그램 평활화 영상이다. 그림 7(c)~그림 7(e)는 기존의 평균과 표준편차를 이용한 방법으로 검출된 결함 영상들이며 각각 k 값이 1.5, 1, 0.5일 때 결함 영상들이다. 그림에서 알 수 있듯이 고정된 k 값을 사용하여

그림 7. 평탄한 TFT-LCD 패널 영상에 결함을 합성한 영상에 대한 결함 검출 결과 (a) 입력 영상, (b) (a)의 히스토그램 평활화, (c) $k=1.5$ 일 때 STD 방법의 결함 영상, (d) $k=1$ 일 때 STD 방법의 결함 영상, (e) $k=0.5$ 일 때 STD 방법의 결함 영상, (f) 제안방법의 결함 영상

Fig. 7. The detection result of defects for the TFT-LCD flattened image with synthesized defects. (a) Input image, (b) histogram equalization of (a), (c) the defect image using the STD method with $k=1.5$, (d) the defect image using the STD method with $k=1$, (e) the defect image using the STD method with $k=0.5$ and (f) the defect image using the proposed method.

검출된 결함은 그 신뢰가 높지 않다. 특히 배경과의 밝기 차이가 크지 않는 한도 결함은 검출하기가 매우 어렵다. 그림 7(f)는 제안한 방법으로 검출된 결함 영상이며, 영상에서 알 수 있듯이 k 값을 적응적으로 가변시키면서 순차적으로 결함을 검출함으로써 기존 방법에 비해 검출된 결함의 신뢰가 높다. 특히 결함의 과검출이 많

그림 8. 실제 LCD 평탄화 영상의 제안한 방법 적용 결과 (a) 입력 영상 1, (b) 히스토그램 평활화, (c) 라인 프로파일, (d) Otsu 방법의 결함 영상 (e) $k=1$ 일 때 STD 방법의 결함 영상, (f) 제안방법의 결함 영상

Fig. 8. The result of the proposed method of real LCD flattened image. (a) Input image 1, (b) histogram equalization, (c) line profile, (d) the defect image using the Otsu method, (e) the defect image using the STD method with $k=1$ and (f) the defect image using the proposed method.

이 발생하지 않음을 알 수 있다. 결론적으로 기존의 평균과 표준편차를 이용한 결함 검출은 입력 영상에 따라 적합한 임계값을 선정하기가 어려워 검출된 결함의 신뢰가 높지 않고, 제안한 결함 검출 방법은 입력 영상에 따라 k 값을 적응적으로 가변시키면서 순차적으로 결함을 검출하여 기존 방법에 비해 검출된 결함의 신뢰가 높다.

그림 8(a)는 실제 평탄한 배경을 갖는 TFT-LCD 패널 영상의 예 1이며, 그림 8(b)는 그림 8(a)에 대한 히

그림 9. 실제 LCD 평탄화 영상의 제안한 방법 적용 결과 (a) 입력 영상 2, (b) 히스토그램 평활화, (c) 라인 프로파일, (d) Otsu 방법의 결함 영상 (e) $k=1$ 일 때 STD 방법의 결함 영상, (f) 제안방법의 결함 영상

Fig. 9. The result of the proposed method of real LCD flattened image. (a) Input image 2, (b) histogram equalization, (c) line profile, (d) the defect image using the Otsu method, (e) the defect image using the STD method with $k=1$ and (f) the defect image using the proposed method.

스토그램 평활화 영상이다. 그림 8(c)는 그림 8(a)의 표기부분의 라인 프로파일을 나타낸다. 그림 8(d)는 Otsu 방법을 이용한 결함 영상이고, 임계값이 낮게 설정되어 대부분의 배경영역이 결함으로 검출이 되었다. 그림 8(e)는 기존의 평균과 표준편차를 이용한 방법에서 $k=1$ 일 때의 결함 영상이고, 배경영역에 있는 잡음 성분이 많이 과검출되었다. 그림 8(f)는 제안한 방법을 이

용한 결함 영상이다. 그림에서 알 수 있듯이 결함영역은 잘 검출되었고, 배경영역에 있는 잡음 성분의 과검출이 많이 줄어들었다.

그림 9(a)는 실제 평탄한 배경을 갖는 TFT-LCD 패널 영상의 예 2이며, 그림 9(b)는 그림 9(a)에 대한 히스토그램 평활화 영상이다. 그림 9(c)는 그림 9(a)의 표기부분의 라인 프로파일을 나타낸다. 그림 9(d)는 Otsu 방법을 이용한 결함 영상이고, 임계값이 높게 설정되어 대부분의 결함이 검출이 되지 않은 것을 알 수 있다. 그림 9(e)는 기존의 평균과 표준편차를 이용한 방법에서 $k=1$ 일 때의 결함 영상이고, 배경영역에 있는 잡음 성분이 많이 과검출되었다. 그림 9(f)는 제안한 방법을 이용한 결함 영상이다. 그림에서 알 수 있듯이 결함영역은 잘 검출되었고, 배경영역에 있는 잡음 성분의 과검출이 많이 줄어들었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 TFT-LCD 패널 영상에서 배경 신호가 제거된 평탄화 영상에 대하여 결함 가능성에 따른 순차적 결함 검출 방법을 제안하였다. 결함 가능성에 따른 순차적 결함 검출 방법은 순차적으로 결함을 검출함으로써 배경과의 휘도 차가 큰 결함은 정확히 검출하고, 배경과의 휘도 차가 작은 결함인 한도 결함도 보다 신뢰 있게 검출할 수 있었다. 제안한 방법은 실제 TFT-LCD 패널 영상에 대하여 우수한 실험 결과들도 출하였으며 기존의 방법들과의 비교를 통해 과검출이 크게 줄어들어 불량 분할 및 분류에 매우 유용함을 확인하였다. 향후 검출된 결함 후보군에 대해 잡음 제거, 결함 분할 및 분류 등의 연구가 진행되어야 한다.

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] S. W. Sohn, G. T. Ryu and H. D. Bae, "An Image Processing Technique for Polarizing Film Defects Detection," *Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea*, Vol. 45, no. IE-2, pp. 20-27, 2008.

- [3] J. H. Ko, "LCD Defect Detection using Neural-network based on BEP," *Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea*, Vol. 48, no. IE-2, pp. 26-31, 2011.
- [4] Y. C. Chuang and S. K. S. Fan, "Automatic TFT-LCD Mura Inspection Based on Studentized Residuals in Regression Analysis," *Industrial Engineering & Management Systems*, Vol. 8, no. 3, pp. 148-154, 2009.
- [5] G. B. Lee, C. G. Lee, S. Y. Kim and K. H. Park, "Adaptive surface fitting for inspection of FPD devices using multilevel B-spline approximation," *21st International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications*, Vol. 2, pp. 205-208, 2006.
- [6] N. Otsu, "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 9, No. 1, pp. 62-66, 1979.
- [7] 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.
- [8] M. Lysaker, S. Osher and X. C. Tai, "Noise Removal Using Smoothed Normals and Surface Fitting," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 13, No. 10, pp. 1345-1357, pp. 2004.

— 저 자 소 개 —

이 승 민(정회원)

2010년 경북대학교 수학과 학사 졸업.

2012년 경북대학교 수학부 석사 졸업.

현 재 경북대학교 IT대학 전자공학부 박사과정.

<주관심분야 : 패턴인식, 신호처리>

김 태 훈(정회원)

2004년 부산외국어대학교 컴퓨터 전자공학과 학사 졸업.

2009년 경북대학교 산업공학과 회로 및 시스템공학 석사 졸업.

2014년 경북대학교 IT대학 전자공학부 박사 졸업.

<주관심분야 : 영상처리, 패턴인식, 생체신호처리>

박 길 흠(정회원)

1982년 경북대학교 전자공학과 학사 졸업.

1984년 한국과학기술원 전기전자공학과 석사 졸업.

1990년 한국과학기술원 전기전자공학과 박사 졸업.

현재 경북대학교 IT대학 전자공학부 교수.

<주관심분야 : 영상신호처리, 패턴인식, 영상압축>