

특집논문 (Special Paper)

방송공학회논문지 제18권 제4호, 2013년 7월 (JBE Vol. 18, No. 4, July 2013)

<http://dx.doi.org/10.5909/JBE.2013.18.4.525>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

## 가버 웨이블렛 변환 및 DCT를 이용한 자동 TFT-LCD 패널 얼룩 검출

조 상 현<sup>a)</sup>, 강 행 봉<sup>b)†</sup>

### Automatic TFT-LCD Mura Defect Detection using Gabor Wavelet Transform and DCT

Sang-Hyun Cho<sup>a)</sup> and Hang-Bong Kang<sup>b)†</sup>

#### 요 약

최근 다양한 형태의 TFT-LCD의 수요가 증가함에 따라 LCD 생산 과정에서 얼룩결함을 검사하는 기술에 대한 관심이 높아지고 있다. 본 논문에서는 가버 웨이블렛 변환(Gabor wavelet transform) 및 이산 코사인 변환(Discrete Cosine Transform, DCT)을 이용한 TFT-LCD 패널의 얼룩(mura)을 자동으로 검출하는 방법을 제안한다. 제안한 방법은 DCT 변환 기반의 TFT-LCD 패널 영상의 참조 패널 영상을 생성한다. 원 영상과 생성된 참조 패널 영상에 대해서 실수 가버 웨이블렛 변환(real gabor wavelet transform)을 적용하여 패널 영상에 포함되어 있는 얼룩 결함을 검출하는데 방해가 되는 텍스처 정보를 제거하고 변환 영상간의 차영상을 이용하여 제거 결함 영역을 추출한다. 추출된 영역에 대해서는 정량적 평가 과정을 통해 보다 정확한 얼룩 검출을 수행한다. 실험결과는 제안한 방법이 기존의 방법에 비해 보다 정확하고 효율적으로 얼룩을 검출하는 것을 보여준다.

#### Abstract

Recently, mura defect inspection techniques are receiving attention in LCD production procedure since demands of TFT-LCD are growing. In this paper, we propose an automatic mura defect inspection method using gabor wavelet transform and DCT. First, we generate a reference panel image using DCT based method. For original panel image and generated reference panel image, we apply a gabor wavelet transform to eliminate texture information in images. Then, we extract mura defect regions from the difference image between gabor wavelet transform image of original panel and generated reference panel image. Finally, all mura defect regions are quantified to detect accurate mura defects. Experimental results show that our method is more accurate and efficient than previous methods.

Keyword : Mura defects, LCD inspection, automatic optical inspection, TFT-LCD, DCT.

a) 가톨릭대학교 컴퓨터공학과(Dept. of Computer Engineering, The Catholic University of Korea)

b) 가톨릭대학교 미디어공학과(Dept. of Digital Media, The Catholic University of Korea)

† Corresponding Author : 강행봉(Hang-Bong Kang)

E-mail: hbkang@catholic.ac.kr

Tel: +82-2-2164-4624

※ 본 논문은 지식경제부 산업융합원천기술개발사업으로 지원된 연구결과입니다[10041937, 시정환경 적응적 3D 입체 저작도구 및 렌더링 프로세스 개발]

※ 이 논문의 연구결과 중 일부는 'IPIU 2013'에서 발표한 바 있음.

· Manuscript received May 13, 2013 Revised July 10, 2013 Accepted July 25, 2013

## 1. 서론

최근, 스마트폰이나 스마트 패드와 같은 모바일 기기의 발전으로 인해 LCD 패널과 같은 평판 패널 디스플레이 수요가 급증함에 따라 LCD 패널의 불량률 검사하는 기술이 많은 주목을 받고 있다. 특히, LCD 생산과정에서 다양한 원인으로 인해 얼룩 결함(Mura defect)이 발생할 수 있는데 이러한 얼룩 결함을 검사하기 위해서는 많은 시간과 비용이 요구되어, 자동화된 LCD 얼룩 결함 검사 시스템에 대한 관심이 높아지고 있다.

일반적으로 LCD 패널의 얼룩 결함은 백라이트 모듈(backlight module), TFT array layer, 칼라 필터 등과 같은 많은 부품들의 비정상적인 광학적 비균일성에 의해 나타난다. 보통 얼룩 결함을 검출하기 위해서는 미리 구성해놓은 정상적 패턴 배경 영상으로부터 비균일성을 가지는 영역을 분리하는 방법을 이용한다. 하지만 다양한 원인에 의해 발생하는 LCD 패널의 얼룩 결함은 정상 패턴 영상과 비교해서 아주 약간의 밝기 차이를 가질 뿐만 아니라 크기 또한 일정하지 않으므로 이를 검사하고 검출하는 것은 매우 어려운 작업이다.

LCD 패널의 얼룩 결함을 검출하기 위한 영상 재구성 및 배경 제거 등의 다양한 방법이 제안되었다. Chen과 Chiang은 얼룩 결함을 검출하기 위해 임계값(threshold) 기반의 방법을 제안했다<sup>[1]</sup>. 이 방법은 매우 빠른 반면에 균일하지 못한 패턴 영상에 대해서는 좋은 결과를 얻지 못하는 단점이 있다. Nakano와 Mori는 웨이블릿 도메인(wavelet domain)에서의 영역 개선과 공간 도메인(spatial domain)에서의 임계값 기반 방법을 이용한 얼룩 검출 방법을 제안했다<sup>[2]</sup>. Oh 등은 directional filter bank를 이용한 방법을 제안했으며<sup>[3]</sup>, Song 등은 다양한 크기의 얼룩을 효율적으로 검출하기 위해 circle kernel 기반의 모폴로지 기반 방법을 제안했다<sup>[4]</sup>. 하지만 이 방법은 원 타입의 얼룩을 검출하는데 유용하지만 일반적인 얼룩을 검출하는데에는 제약이 있는 단점을 가지고 있다. Lee 등은 회귀 진단(regression diagnostics)과 Niblack's 임계값 기법을 이용한 얼룩 영역 추출 방법을 제안했다<sup>[5]</sup>, Lu와 Tsai는 패턴 영상의 주기적이고 반복적인 패턴 정보를 제거하기 위해 Singular Value Decomposi-

tion(SVD) 기반의 영상 재구성 방법을 제안했다<sup>[6]</sup>. Jiang 등은 휘도(luminance) 분산(variance)에 대한 분석 및 EWMA (Exponentially Weighted Moving Average)를 이용한 방법을 제안했으며<sup>[7]</sup>, Chen과 Chou는 DCT와 이산 웨이블릿 변환(Discrete Wavelet Transform, DWT)을 이용한 방법을 제안했다<sup>[8]</sup>. 또한 Tseng 등은 연속적으로 획득된 패널 영상들에 대한 다중 영상 누적(multi-image accumulation) 및 다중 해상도 배경차(multi-resolution background subtraction) 방법을 이용한 얼룩 결함 검출 방법을 제안했다<sup>[9]</sup>. 이러한 방법들은 기본적으로 원 영상에서의 전반적인 구조 패턴을 모델링하여 제거하는 과정을 통해 비정상적 영역을 추출하는 방법으로 정상 구조 패턴과 차이가 있는 얼룩을 검출할 수 있는 반면에 정확한 얼룩 검출을 위해서는 비교적 정확한 구조 패턴 모델이 요구되는 단점이 있다.

이러한 단점을 개선하기 위해 전반적인 정상 구조 패턴을 모델링하는 대신 얼룩 자체의 정보를 이용해 비정상 얼룩을 검출하는 방법들이 제안되었다. Chen과 Vese는 영상의 영역 정보 기반의 Active contour model을 이용한 방법을 제안했다<sup>[10]</sup>. Bi 등은 가버 필터와 Level set 방법을 이용한 방법을 제안했다<sup>[11]</sup>. 그들은 먼저 가버 웨이블릿 변환을 이용해 영상에서의 텍스처 정보를 제거하고 그 남은 정보들에 대해서 영상 분할을 위해 영역 기반 Active contour model을 이용한 Level set 방법을 이용했다. 최근에는 Jazi 등은 simulated annealing(SA) 알고리즘과 SVM 분류기를 이용한 얼룩 결함 검출 방법을 제안했다<sup>[12]</sup>. 하지만 이러한 방법들은 얼룩들이 가지는 다양한 특성을 반영해야 하므로 정상 구조 패턴을 이용하는 방법에 비해 보다 높은 계산 복잡도를 가지는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 이러한 얼룩 결함을 효율적으로 검출하기 위해 가버 필터링과 DCT를 이용한 방법을 제안한다. 제안한 방법은 기존의 방법과 유사하게 DCT 계수의 cut-off 방법을 이용해 원 영상에 대응되는 정상적 참조 패턴 영상을 생성한다. 하지만 패턴의 얼룩 결함을 보다 효율적으로 추출하기 위해 원영상과 참조 패턴 영상에 대해 가버 필터링을 적용해 필터 반응(filter response) 값의 차이를 이용한다. 마지막으로 각 추출된 얼룩 결함 영역에 대해 [13]에서 정의된 Measurement index for mura(Semi Mura, Semu) 값을

이용해 평가한 후 최종 얼룩을 검출한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 연구의 관련 연구에 대해 살펴보고, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 얼룩 결함 방법에 대해서 설명한다. 그리고 4장에서는 실험 결과를 기술하고, 마지막으로 5장에서는 결론을 기술한다.

## II. 가버 필터 및 DCT를 이용한 LCD 패널 얼룩 검출

### 1. 개요

그림 1은 본 논문에서 제안한 방법의 개요를 보인 것이다. 먼저 원본 영상에 대해, 노이즈 제거와 같은 간단한 전처리를 수행한다. 영상 내에 존재하는 정상적인 패턴 구조를 반영하기 위해 DCT 계수 cut-off를 이용해 정상 참조 패널 영상을 재구성하고, 영상 내에 포함되어 있는 얼룩 결함 정보를 반영하기 위해 가버 웨이블릿을 이용한다. 영상 내의 얼룩 결함은 참조 패널과 차이가 나타나는 영역이므로 참조 구성된 참조 패널 영상과 원영상에 대한 가버 웨이블릿 필터 영상간의 차연산을 수행하여 얼룩 결함 후보 영

역을 추출한다. 이진화된 차영상에 대해, 각 영역별로 다시 SEMU 값을 계산한 후 최종적으로 얼룩 결함을 검출한다.

### 2. DCT를 이용한 참조 패널 영상 구성

불량화소와 같은 얼룩 결함은 일반적인 패널과 차이를 보이는 부분이므로 이를 검출하기 위해 정상 패널을 나타내는 참조 패널을 생성한다. 참조 패널 영상을 생성하기 위해 본 논문에서는 2D-DCT를 이용한다. 일반적으로 크기가  $M \times N$ 인 2D 영상의 DCT와 IDCT는 다음과 같이 정의된다.

$$\text{DCT} : C(u) = \alpha(u)\alpha(v) \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x,y) \times \cos\left[\frac{\pi(2x+1)u}{2M}\right] \cos\left[\frac{\pi(2y+1)v}{2N}\right] \quad (1)$$

$$\text{IDCT} : f(x,y) = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} \alpha(u)\alpha(v) C(u,v) \times \cos\left[\frac{\pi(2x+1)u}{2M}\right] \cos\left[\frac{\pi(2y+1)v}{2N}\right] \quad (2)$$

$$\begin{aligned} x &= 0,1,2, \dots, M-1; & u &= 0,1,2, \dots, M-1; \\ y &= 0,1,2, \dots, N-1; & v &= 0,1,2, \dots, N-1; \end{aligned}$$

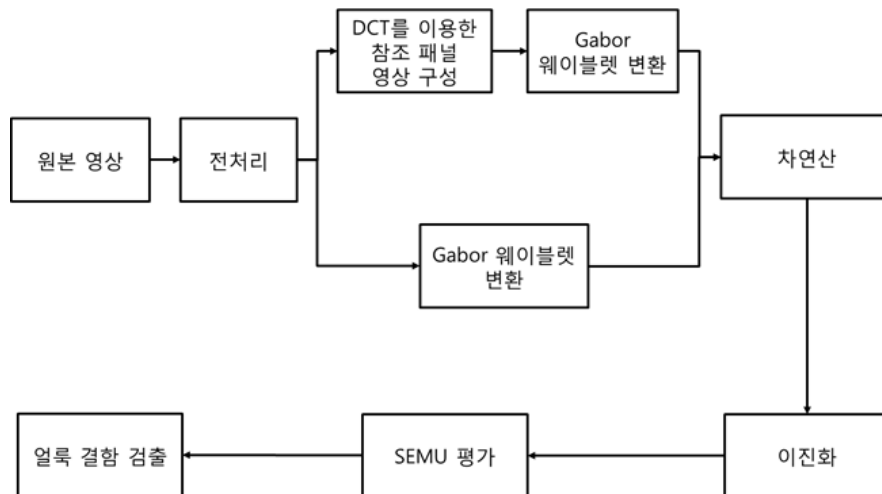


그림 1. 제안한 방법의 개요  
 Fig 1. Overview of proposed method

$$\alpha(u) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{M}} & \text{for } u=0 \\ \sqrt{\frac{2}{M}} & \text{for } u \neq 0 \end{cases} \quad \alpha(v) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{N}} & \text{for } v=0 \\ \sqrt{\frac{2}{N}} & \text{for } v \neq 0 \end{cases}$$

DCT 계수 중  $C(u,0)$ 와  $C(0,v)$ 는 영상의 중요 부분을 나타낸다. 따라서 참조 배경 영상은 이러한 주요 주파수는 유지시키고 다른 주파수는 제거하여 생성한다. 여기에 영상을 획득하는 과정에서 나타나는 패널 영상 내에 수평 혹은 수직 줄무늬(stripe)에 대한 정보를 반영하기 위해 DCT 계수에 대해 다음과 같은 필터를 적용한다.

$$C_R(u,v) = \begin{cases} C(u,v) & \text{if } u < F_u, v < F_v \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

여기서,  $F_u = \operatorname{argmin}_u C(u,0)$ ,  $F_v = \operatorname{argmin}_v C(0,v)$ 이다.

계산된 DCT 계수들에 대해 필터를 적용한 후 2-D IDCT를 이용해 배경 영상을 생성한다. 그림 2는 입력 패널 영상에 대하여 생성된 참조 패널 영상의 예를 보인 것이다. 그림 2-(a)는 얼룩 결함(붉은색 사각형)을 포함하는 패널 영상을 나타낸 것이다. 그림 2-(b)에서 DCT 계수 cut-off 으로 인해 얼룩 결함이 대부분 제거된 정상적 패널 구조 패턴 정보를 포함하는 참조 패널 영상이 생성됨을 확인할 수 있다.

### 3. 가벼 웨이블릿을 이용한 얼룩 영역

LCD 패널 영상에서 얼룩 결함을 검출하는데 방해 요소인 반복적으로 나타나는 수평, 수직 라인과 같은 텍스처 정보를 억제하고 얼룩 결함의 정보를 강조하기 위해 본 논문에서는 가벼 웨이블릿 변환을 이용한다.

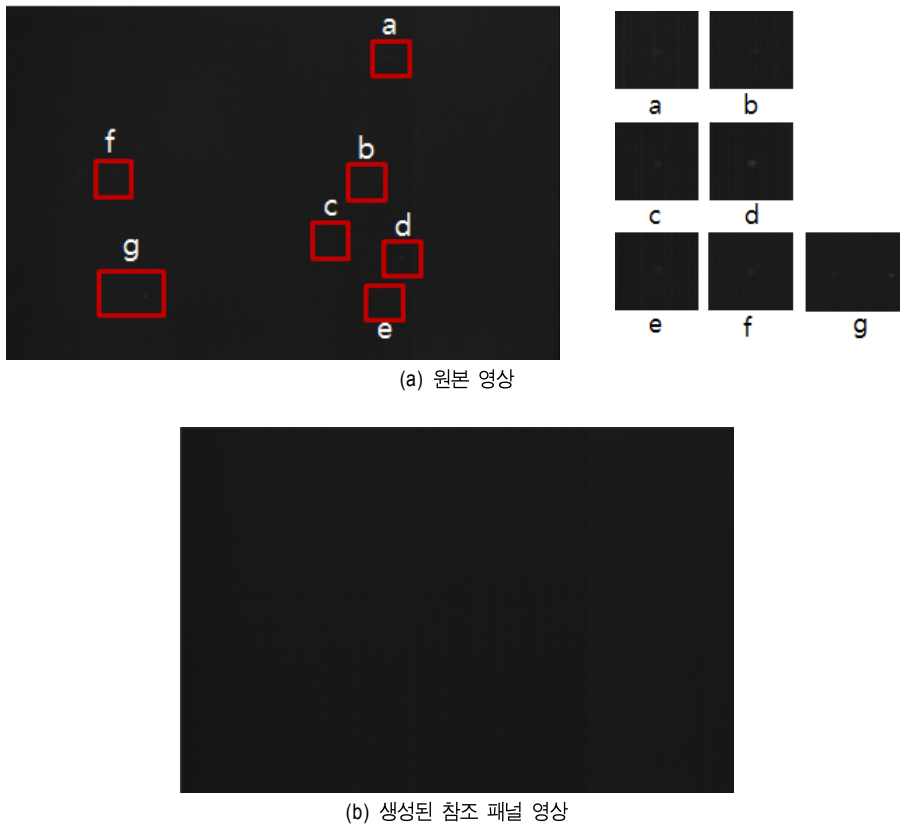


그림 2. 생성된 참조 패널 영상의 예  
Fig. 2. Example of reconstructed reference panel image

일반적으로 원래 가버 필터는 2D 가우시안 함수와 복소 함수에 의해 다음과 같이 정의된다.

$$h(x, y) = g(x, y) \exp[(2\pi j(u_0x + v_0y)] \quad (4)$$

여기서,  $(u_0, v_0)$  은 특정 공간 주파수.

$g(x, y)$ 은 2D 가우시안 함수이고 다음과 같이 정의된다.

$$g(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\left(\frac{x}{\sigma_x}\right)^2 + \left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right]\right\} \quad (5)$$

여기서  $(\sigma_x, \sigma_y)$ 은  $x$  축과  $y$  축 방향으로의 표준편차이다.

2D 가버 필터 함수는 복소수 함수이므로 다음과 같이 실수 부분과 허수 부분으로 나눌 수 있다.

$$h_{real}(x, y) = g(x, y) \cos [2\pi f(x \cos \theta + y \sin \theta)] \quad (6)$$

$$h_{imag}(x, y) = g(x, y) \sin [2\pi f(x \cos \theta + y \sin \theta)] \quad (7)$$

여기서,  $f$ 는 주파수,  $\theta$ 는 회전각, 그리고  $u_0 = f \cos \theta$ ,  $v_0 = f \sin \theta$  이다.

이 중 실수 부분 가버 필터는 우 가버 필터 (even gabor filter)라고도 하는데 기존 연구들에 의하면 허수(imaginary)

부분에 비해 텍스처를 분류하는데 유용하다. 따라서 본 논문에서는 텍스처 제거를 위해 실수 가버 필터링 (real gabor filtering) 방법을 이용한다. 따라서 임의 방향의 실수 가버 필터는 다음과 같이 정의된다.

$$h_{real}(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x'^2}{\sigma_x^2} + \frac{y'^2}{\sigma_y^2}\right)\right] \times \cos [2\pi f(x' \cos \theta + y' \sin \theta)] \quad (8)$$

여기서  $x' = x \cos \theta + y \sin \theta$ ,  $y' = -x \sin \theta + y \cos \theta$  이고,  $\theta$ 는 회전 각도이다.

앞의 가버 필터를 이용해 실수 가버 웨이블릿(real gabor wavelet) 변환은 다음과 같이 정의된다.

$$I_{H_{m,n}}(x, y, t) = I(x, y, t) * h_{m,n}(x, y) \quad (9)$$

$m = 1, 2, \dots, M$   $n = 1, 2, \dots, N$

여기서  $I(x, y, t)$ 는 입력 영상,  $I_{H_{m,n}}(x, y, t)$ 은 출력 영상,  $M$ 은 주파수의 수,  $N$ 은 방향 수, \* 은 컨볼루션 연산을 의미한다.

서로 다른 채널을 통해 출력된 영상들은 다음과 같이 합쳐져서 구해진다.

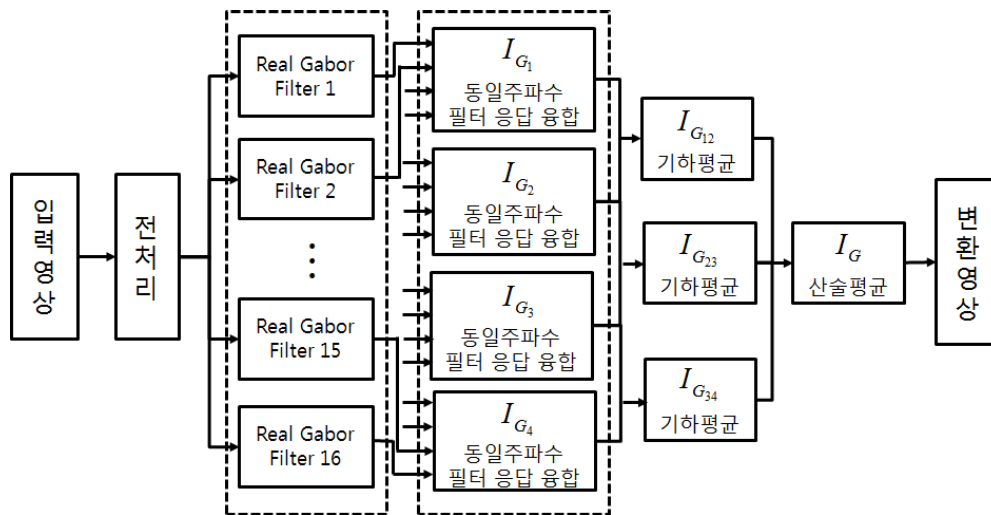


그림 3. LCD 영상에서의 얼룩 결함 추출을 위한 가버 웨이블릿 변환과정  
 Fig 3. Gabor wavelet transform to detect mura defect of LCD

$$I_{G_m} = \left( \sum_{n=1}^N I_{G_{m,n}}^2 \right)^{1/2} \quad (10)$$

$$I_{G_{12}} = (I_{G_1} \cdot I_{G_2})^{1/2} \quad (11)$$

$$I_G = \frac{1}{3} (I_{G_{12}} + I_{G_{23}} + I_{G_{34}}) \quad (12)$$

여기서,  $m=1,2,\dots,M$  ( $M=4, N=4$ )

실제 LCD 영상의 텍스처 특성을 고려해서 본 연구에서는 4개의 방향( $\theta = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ )과 4개의 주파수( $f = 1/15, 1/30, 1/60, 1/120$ )를 이용해 총 16개의 필터를 적용한다. 그림 3은 16개 필터를 이용해 영상을 필터링하고 융합하는 과정을 보인 것이다.

#### 4. 추출 얼룩 결함 영역들에 대한 평가

LCD 영상에서의 얼룩 결함을 추출하기 위해 생성된 참조 패널 영상과 가버 웨이블릿 변환 영상과의 절대 차 연산 (absolute subtraction operator)을 이용한다. 단순한 절대 차 연산을 통해 얻어진 영상에는 단순 영상 노이즈가 포함되어 있기 때문에 영상 노이즈로 인해 유발된 영역을 제외한 실제 얼룩을 검출하기 위해, 본 논문에는 각 얼룩 결함 영역에 대해서 Semiconductor Equipment and Materials

International(SEMI) 표준에서 정의된 SEMU 값을 계산하여 검출 영역에 대한 신뢰도를 판단하다.

$$SEMU = \frac{|C_X|}{C_{jnd}} = \frac{\frac{|I_M - I_B|}{I_B}}{\frac{1.97}{S^{0.33} + 0.72}} \quad (13)$$

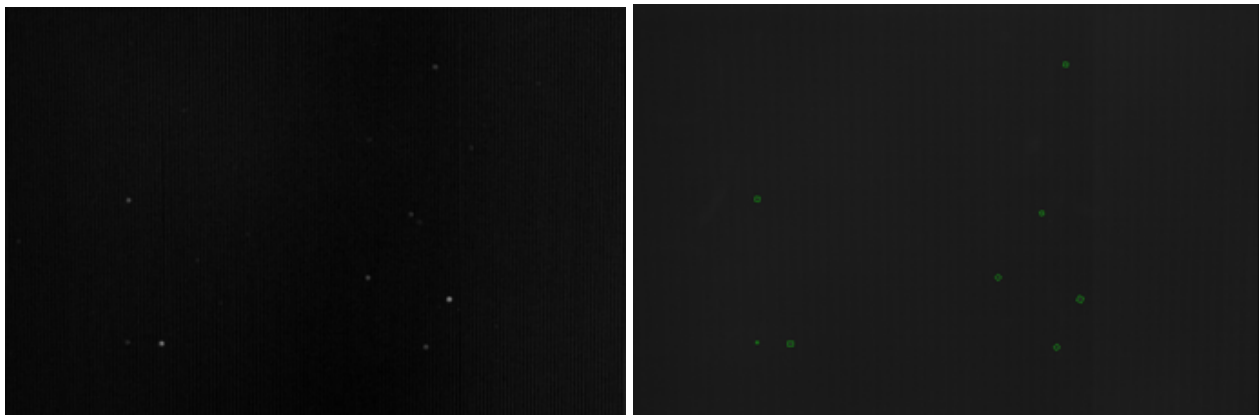
$C_X$  는 영상의 명암값,  $C_{jnd}$  는 검출을 위한 최소 명암값,  $I_M$  은 얼룩의 평균 화소값,  $I_B$ 는 배경 영상의 평균 화소값이다.

그림 4는 참조 패널 영상과 가버 웨이블릿 변환 영상과의 절대 차 연산 영상과 SEMU값 평가에 의해 최종적으로 검출된 얼룩 결함의 예를 보인 것이다.

### III. 실험 결과

제안한 방법은 Visual Studio 2010과 OpenCV 라이브러리를 이용해 구현했다. LCD 패널의 RGB 채널별로 2단계로 점등하여 고해상도 흑백 카메라를 이용해 촬영하여 2432\*1624해상도의 268개 테스트용 LCD 패널 영상 DB를 구축했다.

그림 5는 제안한 방법을 이용해 얼룩 결함 검출 결과의



(a) 절대 차 영상

(b) SEMU 값 평가 후 검출된 얼룩 결함

그림 4. LCD 영상에서 검출된 얼룩 결함  
Fig 4. Detected mura defect in LCD image

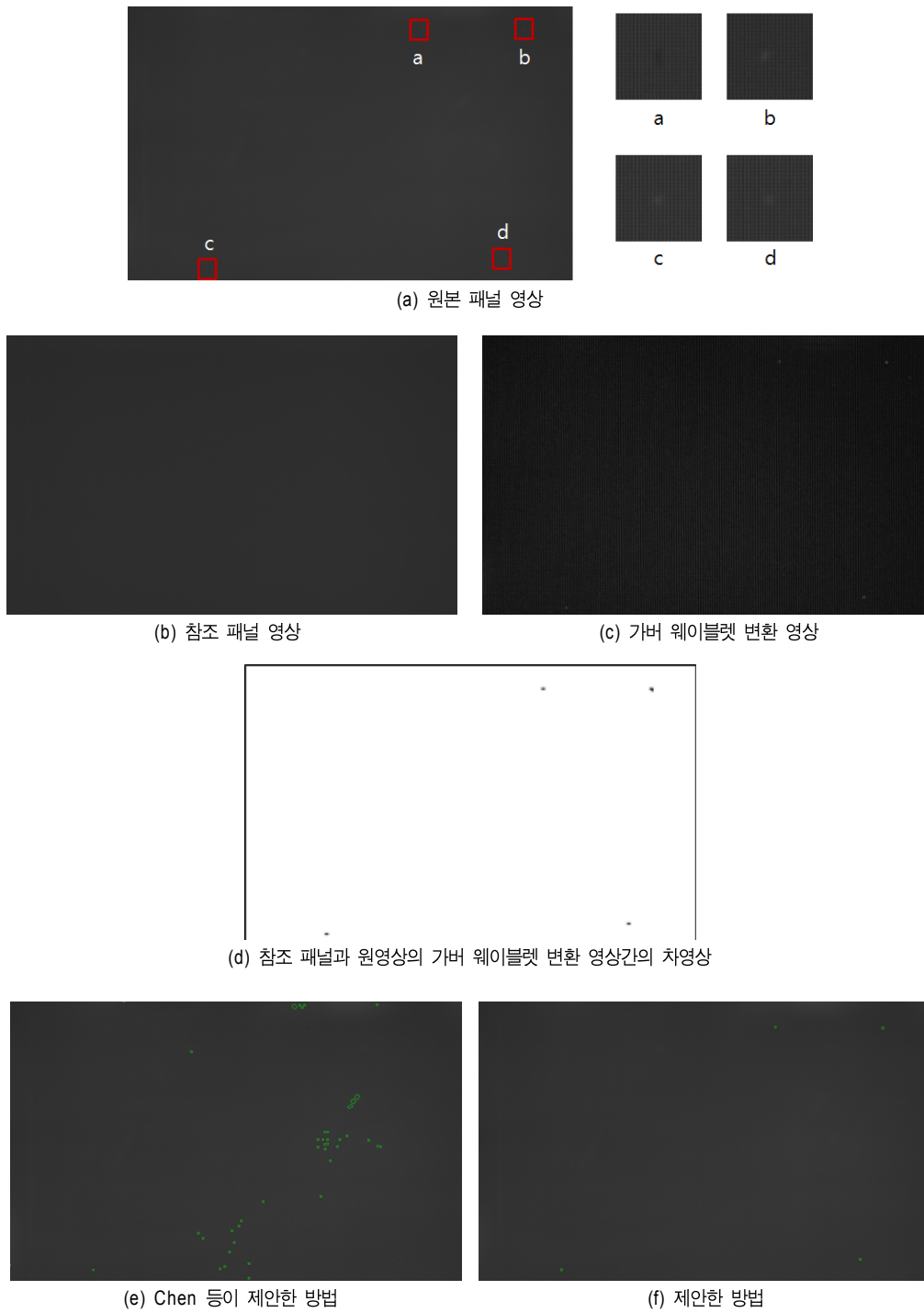


그림 5. LCD 영상에서의 얼룩 결함 검출 결과  
 Fig 5. Result of mura defect detection in LCD image

예를 보인 것이다. 그림 5-(a)의 원본 패널 영상 (b)는 DCT 변환기법에 의한 재구성된 참조 패널 영상을 보인 것이다. DCT 계수 cut-off에 의해 원 영상의 중요 요소를 제외한 나머지 요소를 제거함으로써 얼룩 결함과 구별되는 참조 패널 영상이 생성되었음을 확인할 수 있다. (c)는 가버 웨이블릿 변환 영상을 보인 것이다. 가버 웨이블릿 필터 반응에 의해 얼룩 결함 영역이 보다 강조되었음을 확인할 수 있다. (d)는 참조 패널 영상과 가버 웨이블릿 변환 영상간의 절대 차 영상을 보인 것이다. 마지막으로 (e)는 Chen 이 제안한 방법의 결과 (f)는 SEMU 값을 이용한 영역 평가 후 최종 얼룩 결함을 검출한 결과이다. 그림 5-(e)와 (f)에서 볼 수 있듯이 Chen의 방법에 비해 가버 웨이블릿 필터링에 의해 영상의 텍스처 정보와 얼룩 결함의 필터 반응 정보를 이용한 제안한 방법이 LCD 패널 영상에 있는 얼룩 결함들을 효과적으로 검출함을 확인할 수 있다.

그림 6은 다양한 LCD 패널 영상에 대해 제안한 방법에 의해 검출된 얼룩 결함들의 예를 보인 것이다.

표 1은 268개 테스트 영상에 대해서 제안한 방법과 최근에 제안된 기법 중 하나인 Chen 등<sup>[8]</sup>이 제안한 방법과의 성능 비교 결과를 보인 것이다. 테스트용 LCD 패널 영상으로부터 수작업을 통해 각 패널 영상에 포함된 얼룩 결함을 찾아 ground truth로 하고, 제안한 방법에 의해 검출된 얼룩 결함과 비교하여 precision, recall 및 F1-measure 값을 계산했다. 표 1에서 F1-measure 값을 비교해 보면, 제안한 방법이 전반적인 구조 패턴 정보 뿐만 아니라 얼룩정보를 활용하여 기존의 Chen 등이 제안한 방법에 비해 보다 좋은 성능을 보여줌을 확인할 수 있다.

표 1. 얼룩 결함 성능 비교 결과

Table 1. Comparison result of performance in mura defect detection methods

Method	Precision	Recall	F1-measure
Chen et al.[8]	0.71	0.57	0.63
Our method	0.91	0.83	0.87

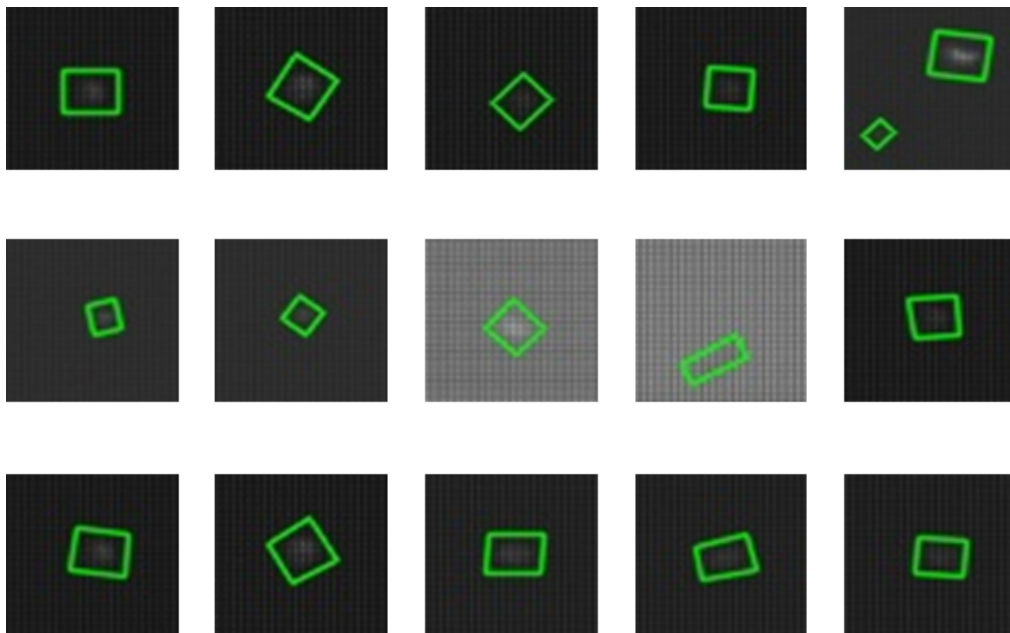


그림 6. 다양한 LCD 영상에서의 얼룩 결함 검출 예  
Fig 6. Examples of mura defect detection in various LCD images



#### IV. 결 론

본 논문에서는 가버 웨이블렛 변환과 DCT를 이용해 효율적으로 LCD 패널의 얼룩 결함을 검출하는 방법을 제안했다. 제안한 방법은 LCD 패널 영상을 DCT 변환과 DCT 계수 cut-off 방법을 통해 참조 패널 영상을 생성하고, 참조 패널 영상과 원 영상간의 가버 웨이블렛 변환 차이를 이용했다. DCT 방법을 이용해 생성된 정상적 패턴 구조를 나타내는 참조 패널 영상 정보와 가버 웨이블렛 필터링으로 인해 나타나는 텍스처 정보를 이용하여 원 영상의 얼룩 결함을 효과적으로 표현하여 보다 높은 검출 성능을 보였다.

하지만 제안한 방법은 기존의 제안된 기술에 비해 계산량 증가로 인한 처리시간 지연과 얼룩 결함 검출을 위한 영상 이진화 과정에서 임계값 (threshold value)을 경험적으로 정해줘야 하는 단점을 가지고 있으므로 이를 개선하는 연구가 추가적으로 필요하다.

#### 참 고 문 헌

[1] S.-H. Chen and Y.-M. Chiang, "Automatic inspection of mura defect in color filter, Proc. of INFORMS Int. Conf., Hong Kong, China, 2006.  
[2] 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.223-238, 2004.  
[3] H.Nakano and Y.Mori, Measurement method for low-contrast non-

uniformity in liquid crystal displays by using multi-wavelet analysis, SPIE Conf. on Optical Diagnostics, Bellingham, WA, pp.588013-1-588013-6, 2005.  
[4] Y. Song, D. Choi, and K. Park, "Morphological Blob-Mura Defect Detection Method for TFT-LCD Panel Inspection," Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol. 3215, pp. 862-868, 2004.  
[5] J. Y. Lee and S. I. Yoo, "Automatic detection of Region-Mura defect in TFT-LCD," IEICE Trans. Inform. Syst., vol. E87-D, no. 10, pp.2371 - 2378, 2004.  
[6] C. J. Lu and D. M. Tsai, "Automatic defect inspection for LCDs using singular value decomposition," Int. J. Adv. Manuf. Technol., vol. 25, pp. 53 - 61, 2005.  
[7] B. C. Jiang, C. C.Wang, and H. C. Liu, "Liquid crystal display surface uniformity defect inspection using analysis of variance and exponentially weighted moving average techniques," Int. J. Prod. Res., vol. 43, no. 1, pp. 67 - 80, 2005.  
[8] L. C. Chen and C. C. Kuo, "Automatic TFT-LCD mura defect inspection using discrete cosine transform-based background filtering and 'just noticeable difference' quantification strategies," Meas. Sci. Technol., vol. 19, pp. 1 - 10, 2008.  
[9] Din-Chang Tseng, You-Ching Lee, Cheng-En Shie, "LCD Mura Detection with Multi-image Accumulation and Multi-resolution Background Subtraction," ICIC Vol.8, No.7, JULY 2012.  
[10] T. F. Chan and L. Vese, "Active contours without edges," IEEE Trans. Image Process., vol. 10, no. 2, pp. 266 - 277, Feb. 2001.  
[11] Xin Bi, Chung Zhuang, Han Ding "A New Mura Defect inspection way for TFT-LCD using level set method" IEEE Signal processing letters, Vol 16, No 4, April 2009  
[12] Ali Yousefian Jazi, J. Jay Liu, Hokyung Lee, Automatic Inspection of TFT-LCD Glass Substrates Using Optimized Support Vector Machines, IFAC, July 2012.  
[13] Definition of Measurement Index (SEMU) for Fumiance Mura in FPD Image Quality Inspection SEMI D31-1102, 2002.

---

#### 저 자 소 개



#### 조 상 현

- 2003년 : 가톨릭대학교 수학과 졸업
- 2005년 : 가톨릭대학교 컴퓨터 공학과 석사 졸업
- 2005년 ~ 현재 : 가톨릭대학교 컴퓨터 공학과 박사 과정
- 주관심분야 : 컴퓨터 비전, 패턴인식, 컴퓨터 그래픽스, Human factor

---

저 자 소 개



강 행 봉

- 1980년 : 한양 대학교 전자공학과 졸업
- 1986년 : 한양대학교 대학원 전자공학과 석사
- 1989년 : Ohio State Univ. 컴퓨터공학 석사
- 1993년 : Rensselaer Polytechnic Institute 컴퓨터공학 박사
- 1994년 ~ 1997년 : 삼성종합기술원 수석연구원
- 1997년 ~ 현재 : 가톨릭대학교 디지털미디어학부 교수
- 2005년 : UC Santa Barbara Visiting Professor
- 주관심분야 : 컴퓨터비전, 컴퓨터그래픽스, HCI, 인공지능, 기계학습