

화상처리를 이용한 OLED 디스플레이의 픽셀 불량 검사에 관한 연구

박경석[#], 신동원^{*}

Defect Inspection of the Pixels in OLED Type Display Device by Image Processing

Kyoung-Seok Park[#], Dong-Won Shin^{*}

(Received 17 March 2009; received in revised form 11 June 2009; accepted 24 June 2009)

ABSTRACT

The image processing methods are widely used in many industrial fields to detect defections in inspection devices. In this study an image processing method was conducted for the detection of abnormal pixels in a OLED(Organic Light Emitting Diode) type panel which is used for small size displays. The display quality of an OLED device is dependent on the pixel formation quality. So, among the so many pixels, to find out the faulty pixels is very important task in manufacturing processing or inspection division. We used a line scanning type BW(Black & White) camera which has very high resolution characteristics to acquire an image of display pixel patterns. And the various faulty cases in pixel abnormal patterns are considered to detect abnormal pixels. From the results of the research, the normal BW pixel image could be restored to its original color pixel.

Key Words : Image Processing(화상 처리), Inspection Devices(검사장비), OLED Display(유기발광 디스플레이), Line Scanning Camera(라인스캔 카메라), Display Pixel(디스플레이 픽셀)

1. 서 론

화상 처리를 이용한 검사시스템은 여러 분야에서 활용되고 있다^{[1]-[5]}. 화상 처리를 이용하여 회로기판 제작에서 납땜 불량 부분을 찾아내는 연구^[1]나 자동

화 조립공정 등에서 자동 배치 및 정렬 등의 연구^[2]는 오래전부터 응용되어 온 분야이다.

디스플레이 검사 분야 역시 화상 처리가 매우 중요한 분야이다. 일반적으로 디스플레이 화면에서 큰 결함은 금방 눈에 띄어서 쉽게 가려낼 수 있지만, 높은 품질과 관련된 미세 결함은 그 크기는 매우 작아서 쉽게 판별하기가 매우 어렵다.

기존 디스플레이 검사^{[3],[4]}에 관한 연구는 그 대상이 주로 양산이 진행 중인 LCD나 PDP 등을 위주로 이루어지고 있다. 그런데 현재 OLED(Organic Light Emitting Diode) 디스플레이가 차세대 디스플레이로

[#] 교신저자 : 금오공과대학교 기계공학부

E-mail : kspark@kumoh.ac.kr

^{*} 금오공과대학교 기계공학부

떠오르면서 대기업을 중심으로 양산화를 진행 중에 있으므로 이에 대비하여 검사시스템 또는 방법을 연구하는 것이 필요한 시기가 되었다.

PDP 검사에 관한 연구^[3]에서는 blob분석법을 이용하여 PDP의 ITO(Indium Tin Oxide)패턴에 있어서 30 μ m 이상의 pin-hole, substage, protrusion 등의 결함을 찾는 것을 목적으로 하였다.

Yoon^[4] 등의 연구에서는 공간 필터링 방법을 이용하여 LCD나 PDP의 전극 등 주기적으로 반복되는 패턴에 있어서 결함부위를 빠르게 찾아내는 방법을 제안하고 있다. 이 연구에서는 빛의 간섭에 의한 노이즈로 인해 실제 결함 부위를 효과적으로 찾아내는 것을 목적으로 한다.

OLED형 디스플레이는 LCD나 PDP와는 다른 원리를 가진 디스플레이 장치이다. OLED는 별도의 외부 광원을 필요로 하지 않고 자체적으로 R-G-B 각 색상별로 발광한다. 따라서 백그라운드 광원이 필요하지 않는 좋은 장점을 가지고 있다고 볼 수 있다.

본 연구는 OLED형 디스플레이에 있어서 제조 공정 중에 컬러 픽셀 즉, R-G-B에 개별 픽셀에 대한 결함 여부를 판단하고 찾아내는 것이 주요 목적이다. 그리하여 생산라인의 마지막 검수단계에서 필요한 검사 장치를 개발하는 데 도움을 주고자 한다.

2. 검사 대상

2.1 대상체의 개요

유기(Organic) EL(Electro Luminescence) 또는 OLED의 제조 과정은 패턴 형성 공정, 박막 증착 공정, 봉지 공정, 그리고 모듈 조립 공정 등의 4단계로 크게 나누어 볼 수 있다. 그 중 새도우 마스크(Shadow Metal Mask)를 사용하는 박막 증착 공정에서는 픽셀(Pixel) 정렬 불량 등이 나타날 수 있고, 산소나 수분에 민감한 유기재료를 사용하는 봉지 공정에서는 검반점 불량(Dark Spot), 픽셀 크기 확장/수축 등의 불량이 발생할 가능성이 매우 크다.

이 때, 검사 장치를 활용해 봉지 공정 완료 후, 곧바로 검사하여 모듈 조립 공정 이전에서 불량을 필터링하는 것은 매우 중요하다. 만약, 이 과정에서 불량이 어느 정도 걸러진다면, 불량 모듈이 완성되는

제조 공정상의 손실을 최소화하여 원가 절감 효과를 크게 가져 올 수 있기 때문이다.

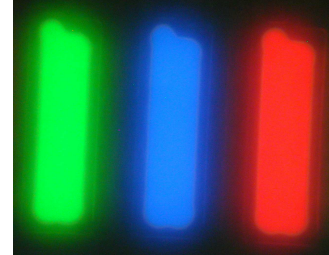


Fig. 1 Micro-scope view of normal color pixels



Fig. 2 Micro-scope view of abnormal color pixels

Fig. 1은 정상적인 OLED 디스플레이의 각 R-G-B 픽셀을 광학 현미경으로 100정도 확대하여 촬영한 것이고, Fig. 2는 비정상 픽셀을 촬영한 것이다.

그림들을 비교해 보면, Fig. 2의 비정상 적색 픽셀은 밝기가 매우 낮아서 거의 갈색에 가까운 색을 보이고 있다. 녹색도 밝기가 정상에 비해 다소 감소한 것을 보여준다. 청색은 부분적으로 흑점 또는 검반점(dark spot)이 픽셀 내에 분포한 것을 볼 수 있다.

이러한 불량검사를 품질 검사 인력을 통해 전수 검사한다면 불량을 정확히 판별해 낼 수는 있을 것이나 생산 효율적 측면에서는 매우 나쁜 결과를 가져오게 된다. 또한 검사장비 측면에서도 광학현미경과 같은 고배율 장비를 이용한다면 검사 정확도는 크게 높아질 수는 있을 것이나, 수많은 픽셀에 대해 화상처리 시간이 상당히 많이 걸리는 문제가 있다.

따라서 LCD 검사장비 등에서 많이 쓰이는 라인 스캔 방식의 흑백 카메라를 그대로 이용하여 고속의 정밀한 검사를 할 수 있는 장비의 개발은 매우 중요하다고 할 수 있다.

2.2 검사 알고리즘

Fig. 3은 본 연구에서 사용한 알고리즘의 순서도를 나타낸 것이다. 가장 첫 단계는 화상 취득 장비에 의해 얻어진 화상 데이터를 읽어오는 것이다. 읽어 들이는 파일의 화상 데이터 형태는 컬러포맷을 기본으로 하고 있으나, 흑백인 경우 R-G-B 데이터가 모두 동일하므로 한 가지의 색상데이터만 사용된다. 읽은 데이터는 프로그램 내부의 2차원 배열 데이터로 저장된다.

다음 단계는 배경으로부터 픽셀을 구별해 내는 단계이다. 기존에 사용되는 보통의 에지 검출 기법은 편미분 연산자 계산을 이용한다^[6]. 그리고 이 에지들을 연결하여 윤곽선을 만들고 대상체의 형태를 결정한다.

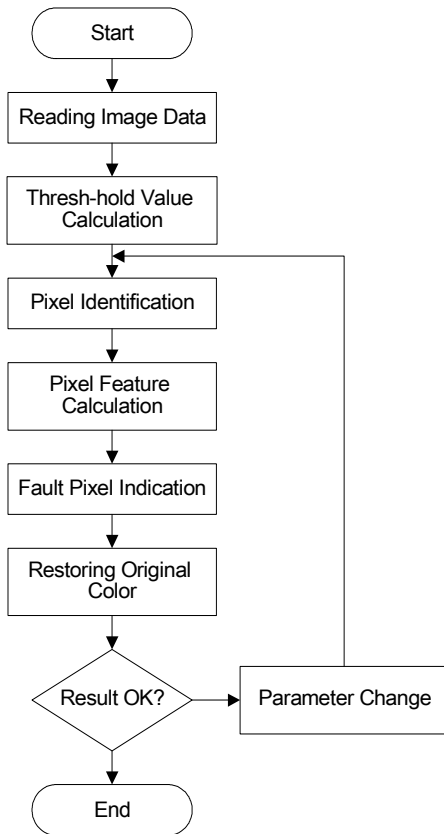


Fig. 3 Flowchart of the fault detection algorithm

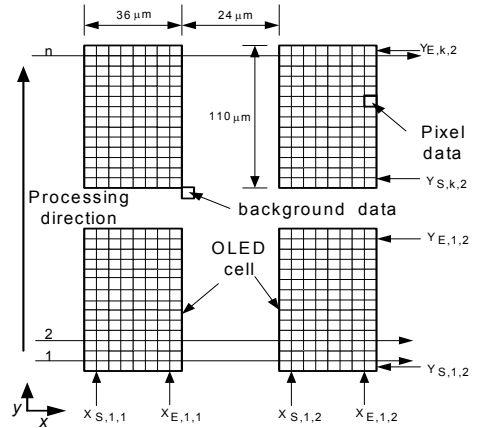


Fig. 4 Data processing sequence of pixel lines

그런데 이러한 방법들은 특정 형태와 관계없이 적용할 수 있는 일반화된 방법으로서 훌륭한 장점을 가지지만, 본 연구에 적용하게 되는 경우 시간이 많이 소모되고 오류가 발생한 픽셀에 대한 정보를 다루기가 어려운 상황이 발생한다. 특히 픽셀수가 많은 경우에는 시간이 너무 많이 소모되어 화상처리의 이점이 없어질 수 있다. 즉, 휴대폰용으로 사용되는 3cm X 4cm 정도 크기의 화면에 들어 있는 픽셀 수만 하더라도 대략 수 만개 정도가 되는데, 여기에 일반적인 형태 분석방법을 적용하기에는 상당한 어려움이 있다.

따라서 본 연구에서는 빠른 영상처리를 위해 픽셀의 형태가 4각형 형태임에 착안하여 각 라인별 픽셀 분석을 통해 일단 x축 방향으로 픽셀 영역을 추출해 내고 다시 y축으로 중첩하여 개별 픽셀의 4각형 범위를 인지하도록 알고리즘을 구성하였다.

픽셀의 범위를 인지하기 위한 처리순서와 방법을 Fig. 4에 나타내었다. 그림에서 큰 직사각형은 디스플레이의 각 픽셀이고, 작은 모눈 사각형은 카메라 스캔 픽셀을 나타낸다. 그림에서는 x방향으로 8개의 카메라 픽셀이 1개의 픽셀에 대응하는 것으로 나타나 있다. 그렇지만 이 비율은 줌렌즈의 배율에 의해 달라질 수 있다. 그림에서 1, 2, n은 라인별로 데이터를 처리하는 함을 나타낸 것이고, X_S 와 X_E 는 x방향으로 각 셀의 시작과 끝의 위치를 표시한다.

X_S , X_E , Y_S , Y_E 등의 좌표를 결정하기 위해서는 일단 배경과 셀을 구별하는 문턱치값(Threshold Value)

을 결정해야 한다. 본 연구에서는 문턱치값 계산을 다음의 식 (1)로 사용하였고, 식(1)의 결정을 위해서 식 (2), (3)의 전제 조건을 만족하는 경우로 제한하였다.

$$B_{Th} = B_{L40,avg} \quad (1)$$

$$B_{L10,avg} > 5 \quad (2)$$

$$B_{H10,avg} > 5B_{L10,avg} \quad (3)$$

위 식에서 B 는 밝기를 나타내는데, 밝기 데이터는 8비트로서 0-255 사이의 값이다. 또한, L, H 는 각각 하위, 상위 레벨을 나타내고, avg 는 평균을 의미한다. 식 (1)에서 셀과 배경의 경계 문턱치값 B_{Th} 은 각 라인별 밝기 분포에서 하위 40%가 되는 값들을 평균하여 설정함을 의미한다. 식 (2)는 라인별 밝기 분포에서 어두운 쪽에 속하는 10%의 데이터를 선택하였을 때, 그 평균값이 5이상이어야 하는 조건을 나타낸 것이다. 식 (3)은 상위 데이터 10%의 평균값이 하위 10% 데이터 평균값보다 5배 이상이어야 한다는 조건으로서 이는 각 셀의 전체적인 밝기가 어느 정도 범위에 들어야 함을 의미하는 것이다.

이러한 설정 조건의 이유는 다음과 같다. 즉, Fig. 4에 나타낸 바와 같이 셀과 배경이 차지하는 길이 비율은 x 축으로 볼 때, 거의 6:4 정도이다. 따라서 밝기가 어두운 쪽 10%는 거의 확실히 배경의 밝기에 해당하는 것으로 볼 수 있을 것이다. 그런데 이 값이 너무 작다면 카메라의 스캔 자체에 문제가 있는 것으로 간주하겠다는 것을 의미한다.

이것은 문턱치 결정을 위한 데이터 영역에 정상적인 셀이 없이 배경만 있는 경우와 셀 자체 불량인 많은 영역이 있을 경우 등의 경우를 문턱치 결정과정에서 제외하기 위한 것이다.

다음 단계는 각 픽셀의 위치를 결정하는 단계이다. 셀은 2차원의 형태를 가지고 있으므로 셀의 위치는 그 중심을 x, y 위치좌표로 나타내는 것이 타당할 것이다. 일단 문턱치값으로 각 라인별로 셀의 x 방향으로 점유영역을 결정해 보면 완전한 사각형이 되지는 않는다. 즉, Fig. 5에서 볼 수 있듯이 X_S, X_E 의 중간 위치인 밝기중심 좌표가 y 축 상에서 동일하게 나타나지 않는다.

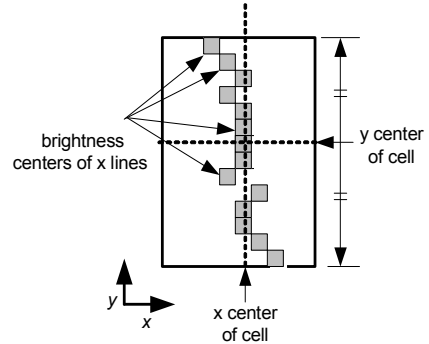


Fig. 5 Determination of the brightness centers

따라서 본 연구에서는 Fig. 5에서 표시한 것처럼 x 방향으로 가장 밝은 중심점을 먼저 찾아서 배열에 저장해 놓은 다음, y 방향으로 가장 높은 빈도를 보이는 위치를 최종적으로 픽셀의 x 중심 위치로 결정하였다. 셀의 y 방향 중심 위치는 앞에서 언급한 x 방향을 기준으로 찾은 밝기 중심점들의 y 축 중간값으로 결정하였다.

다음 단계는 각 셀들이 정상적인지 아니면 비정상적인 지를 판단해야 한다. 이를 위해서 각 픽셀 별로 특성값을 먼저 계산한다. 본 연구에서는 픽셀의 특성값으로 픽셀들의 밝기 적분값 M_k 와 밝기 변동값 S_k 을 선정하였다.

이들 값에 대한 계산식을 표현하면, 식 (4), (5), (6), (7)이 된다.

$$M_k = \frac{\sum_{j=Y_S}^{Y_E} \sum_{i=X_S}^{X_E} B_{i,j}}{(Y_E - Y_S)(X_E - X_S)} \quad (4)$$

$$M_{k,N} = \frac{\sum_{k=1}^N M_k}{N} \quad (5)$$

$$S_k = \sum_{j=Y_S}^{Y_E} \sum_{i=X_S}^{X_E} \| B_{i,j} - M_k \| \quad (6)$$

$$S_{k,N} = \frac{\sum_{k=1}^N S_k}{N} \quad (7)$$

식 (4)의 M_k 는 각 픽셀의 사각형 영역에 대해 밝기를 적분하여 평균하는 것을 나타낸다. 여기서 k 는 픽셀 개별 번호를 의미한다. 식 (5)는 이렇게 평균한 개별 픽셀 값들의 전체 평균을 다시 구한 것이다.

여기서 N 은 스캔 픽셀의 전체 개수를 의미한다. 식 (6)의 S_k 는 1개의 픽셀에 대해서 평균값을 이용해 밝기 변동치의 절대값을 적분하는 것이다. 검반점불량이 있는 경우, 이 값은 식 (7)의 전체 평균값($S_{k,N}$)보다 크게 나타날 것이므로 불량픽셀을 판단할 수 있다.

다음으로 필요한 것은 색상 구별이다. 흑백 카메라로 스캔하면 R-G-B는 각 색상 별로 밝기가 다르게 나타난다. 따라서 단순 픽셀 밝기로 보면, 밝기가 낮은 적색 픽셀은 항상 불량픽셀이 되는데, 이는 바람직하지 않다. 그런데 동일 색상이 y 축으로 항상 반복되고, x 축으로는 매 3번째마다 반복되는 것을 이용하면 R-G-B 라인은 쉽게 찾아낼 수 있다.

밝기의 평균값과 변동값 비교를 통해 불량 픽셀을 구별해내는 조건을 표현한 것이 식 (8), (9)이다.

$$M_k \leq W_{M,color} \times M_{k,N,color} \quad (8)$$

$$S_k \geq W_{S,color} \times S_{k,N} \quad (9)$$

여기서 $W_{M,color}$, $W_{S,color}$ 값은 불량을 판단하는 각 색상(color=red, green, blue)별 가중치 계수이다. 정상적인 셀에 대해 불량이 발생한 셀은 밝기가 다소 어둡게 나타난다. 따라서 어느 셀의 밝기 평균값이 동일한 색상을 가진 셀 전체의 평균값 $M_{k,N,color}$ 보다 $W_{M,color}$ 정도의 비율보다 낮다면, 그 셀은 불량셀로 판단할 수 있다는 것이다. 또한, 적분값 S_k 값이 크게 나타나는 픽셀들은 흑점을 포함하고 있을 확률이 높아지므로 불량으로 볼 수 있다.

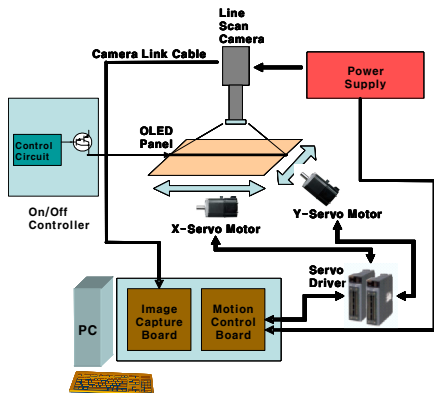


Fig. 6 Schematic diagram of the inspection system

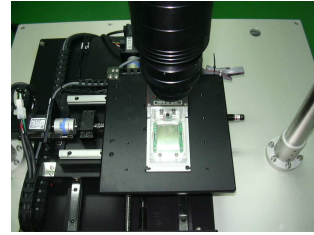


Fig. 7 Photograph of the experimental set-up



Fig. 8 Photograph of the fault pixel region

3. 검사 장치 구성

Fig. 6은 검사 장치의 구성도를 나타낸 것이다. 라인스캔 카메라는 DALSA사의 Piranha HS-80-08k를 사용하였다. 카메라의 픽셀사이즈는 $7\mu\text{m} \times 7\mu\text{m}$ 이고, 검사 대상 픽셀의 크기는 약 $40\mu\text{m}$ 정도이므로 픽셀 측정 비율이 약 6:1 정도가 되는데, 이는 측정에 다소 낮은 해상도이다. 그런데 본 장비에 사용된 카메라 앞의 줌렌즈의 배율이 2배이므로 관찰픽셀과 대상 픽셀의 비율이 10:1 이상의 비율을 가질 수 있었다.

Fig. 7은 실제 실험 장치의 검사대를 보여주고 있다. 상단에 줌렌즈를 장착한 카메라가 설치되어 있고, 검사대상체는 X-Y 이송대 위에 놓여져 있다. 일단 검사 대상체의 이송속도는 최대 10mm/s 정도이다. 휴대폰 디스플레이 경우 화면 크기가 대략 $3\text{cm} \times 4\text{cm}$ 정도 되는데, y 축으로 3cm를 한 번 지나가는데 3초 정도 소요되고, 한 번에 x 축 크기의 1/2 정도 스캔할 수 있으므로 2번 지나간다면 전체 화면을 1회 스캔하는 데 최소 6초 정도의 시간이 필요하게 된다.

Fig. 8는 OLED 디스플레이에 결함이 발생한 부위의 실제 사진이다. 화면의 우측 하단 부분에 결함 부분이 보이고 있는데, 사진에서 적색사각형으로 표시한 부분이다. 이 부분은 제조공정 상에서 발생한 결함은 아니고, 디스플레이 조작 과정에서 고전압이나 쇼트 등으로 인해 과전류가 흐르게 되면서 일부 픽셀들이 열화로 와전과손이 되거나 부분적으로 손상을 입은 부분들이다. 이 부분에 대해 본 연구의 불량화소 검출방법을 적용시켜 보았다.

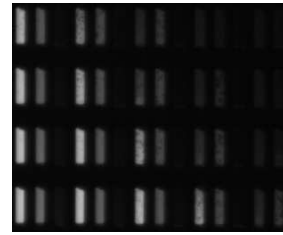
4. 결과 분석 및 고찰

Fig. 9는 Fig. 8의 일부분을 확대한 것인데, 화상 처리 과정의 단계를 간략하게 보여주고 있다. 먼저 Fig. 9(a)는 정상과 비정상 픽셀이 혼재하는 부분의 최초 스캔이미지를 보여준다. x 방향으로 보면, 규칙적으로 세 번째 픽셀들이 보이지 않고 있는데, 이 부분은 적색픽셀들이 완전 소실되었기 때문이다. 나머지 두 종(녹색, 청색)의 픽셀들도 부분적으로 손상을 입어서 픽셀 내에 검반점들이 많이 보이고 있다. 검반점의 형태도 픽셀에 따라 부분적으로 약하게 나타나는 곳도 있으나 검반점이 픽셀 전체에 걸쳐 대부분으로 나타나는 픽셀도 보이고 있다. 따라서 Fig. 9(a)는 OLED형 디스플레이에서 나타날 수 있는 여러 종류의 불량 픽셀들을 모두 한 번에 잘 표현하고 있다고 볼 수 있다.

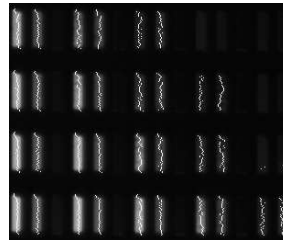
Fig. 9(b)는 앞 절에서 설명한 바대로 x 방향으로 각 라인 별로 밝기 분석을 통해 각 픽셀의 중심 위치를 밝은 점으로 위치를 표시해 놓은 것이다.

Fig. 9(c)는 앞 절에서 제시한 불량 픽셀 판정에 따라 불량이 생긴 픽셀들을 작은 적색 사각형 박스로 표시한 것이다. 픽셀이 있어야 할 위치에 빠진 픽셀, 밝기가 평균보다 어두운 픽셀, 부분적으로 손상을 입은 픽셀들이 대부분 표시되고 있다.

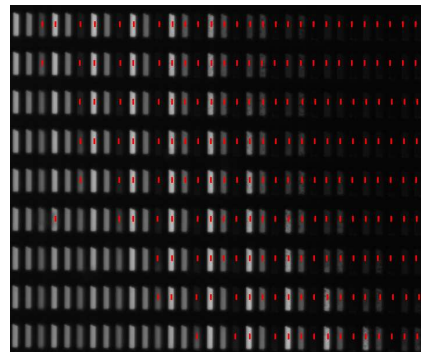
Fig. 9(d)는 밝기 평균값 분석을 통해 색상을 원래대로 환원시켜 본 것인데, 실제 컬러 이미지와 상당히 유사하게 나타나고 있다. 이 점은 고가의 컬러 스캔 카메라를 굳이 쓰지 않더라도 흑백 스캔 카메라로도 그에 상당하는 효과를 거둘 수 있음을 알 수 있다.



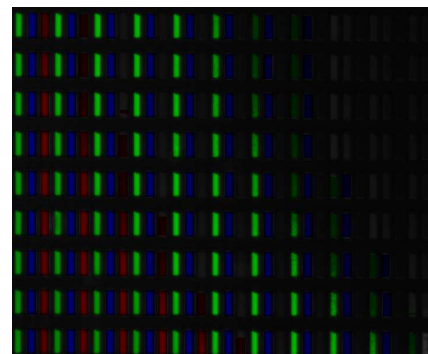
(a)Original scan data



(b)Marking of the brightness center



(c) Indication of the fault pixels(small red box)



(d) Recovery of the original pixel color

Fig. 9 Image processing results

본 연구에서는 Fig. 8의 적색사각형으로 표시한 부분에 대해서만 화상처리를 수행해 보았으므로 한계가 분명히 있을 것으로 판단된다. 그러나 OLED형 디스플레이는 특성상 화소가 LED처럼 빛을 내는 종류이므로 Fig. 9에 나타낸 종류 이외의 불량이 발생되는 경우는 매우 드물 것으로 생각된다. 물론, 상용화를 위해서는 이 외에도 여러 가지 많은 기능들을 포함해야 할 것으로 판단되나, 본 연구에서 제시한 판별 로직은 매우 큰 의미가 있을 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구는 OLED타입 디스플레이의 픽셀 검사 방법에 관한 것으로서 픽셀의 밝기에 결함이 있거나 픽셀에 부분적인 미세 검란점 손상이 있는 경우 이를 찾아내는 알고리즘을 제시하였으며 실제 경우에 적용해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1)양산라인에서의 고속 검사를 위해서 기존의 예지검출방식과는 달리 본 연구에서는 픽셀의 형태가 4각형 형태임에 착안하여 일단 x축 방향으로 픽셀 영역을 추출해 내고 다시 y축으로 중첩하여 픽셀의 범위를 인지하도록 알고리즘을 구성하였다.

(2)본 연구에서는 정상픽셀인 경우에 배경과 픽셀의 길이비가 6:4로 일정한 사실에 기초하여 픽셀과 배경을 구별하는 에지의 문턱치를 밝기 분포의 40%에 해당하는 값을 설정하였고 경계영역을 비교적 빠르게 계산하는 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

(3)실제 불량픽셀이 발생한 OLED 패널을 이용한 실험을 통하여 본 연구에서 제시한 픽셀의 밝기 평균값과 편차값을 비교하는 조건이 실제로 적용이 가능함을 알 수 있었는데, 단순밝기가 아니라 원래의 색상의 밝기까지도 고려하여 불량픽셀을 구별해 낼 수 있었다.

후 기

본 연구는 금오공과대학교 학술연구비지원에 의하여 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Dong-Won Shin and Kyoung-Seok Park, "A Study on the development of Inspection System of SMD Mounted on Cream Solder Using Machine Vision," J. of KSMPE, Vol. 2, No 2, pp. 67-74, 2003.
2. Dong-Won Shin, "Automatic Alignment and Mounting of FPCs Using Machine Vision," J. of KSMPE, Vol. 6, No 3, pp. 24-30, 2007.
3. Dong-Seon Yoon and Seung-Woo Kim, "Rapid Defect Inspection of Display Device with Optical Spatial Filtering," Int. J. of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 1, No. 1, pp. 56-61, June 2000,
4. Jun-Yeob Song, Hwa-Young Park, Hyun-Jong Kim, and Yeon-Wook Jung, "Development of Defect Inspection System for PDP ITO Patterned Glass," Int. J. of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 7, No. 3, pp. 18-23, 2006.
5. Hyoung-Seok Kim, and Byung-Ryong Lee, "Real-Time Pipe Fault Detection System Using Computer Vision," Int. J. of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 7, No. 1, pp. 30-34, 2006.
6. Ha, Y. h., Lim, J. G., Nam, J. Y. and Kim, Y. S., "Digital Image Processing," Ge-reen Pub, pp. 420-423, 1998.