

## 프리필터를 이용한 TFT-LCD 패널의 자동 결함 검출

남승욱\*, 서성대\*, 남현도\*, 안동준\*\*  
 단국대학교 전기공학과\*, 아주자동차대학 자동차계열\*\*

### Automatic Defect Inspection of TFT-LCD Panels Using a Pre-Filter

Seung-Uk Nam\*, Sung-Dea Seo\*, Hyun-Do Nam\* Dong-jun Ahn  
 Dept. of Electrical Engineering Dankook University\* Div. of Automobile, Ajou Motor College\*\*

**Abstract** - In this paper, we proposed pre-filter algorithms which using frequency domain analysis method, for the detections of defects in large-sized Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display(TFT-LCD) panel surfaces. We performed frequency analysis with 1-D, 2-D FFT methods for extract periodic patterns of lattice structures in TFT-LCDs. To remove this patterns, band-stop filters were used for eliminating specific frequency components. In order to acquire only defected images, we used 2-D inverse FFT methods which can be reverts images that remains defects.

#### 1. 서 론

TFT-LCD(Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display)는 저 전력 소모와 넓은 범위의 색상 디스플레이 성능으로 인하여 널리 사용되어지고 있다. LCD 평면 디스플레이의 질적 향상을 위하여 TFT-LCD 패널의 결함을 찾는 것은 LCD 생산에 있어서 주요한 요소로 부각되고 있다. 기존에는 이러한 결함을 육안으로 검출하는 방법을 사용하고 있어 자동화 시스템에 적합한 결함 검출 방법들이 연구되어지고 있다.[1]-[3]

TFT-LCD 패널의 표면 결함은 비주열적인 오류를 야기할 뿐 아니라 패널 동작에 있어서 전기적 오류의 원인이 된다. 패널의 결함은 크게 두 종류로 볼 수 있는데, 고르지 못한 색감, 얼룩 등 사람의 눈으로 검출 가능한 결함을 매크로 결함(Macro defect)이라 하며, 핀 홀 스크래치 등 육안으로 확인이 어렵거나 불가능한 결함을 마이크로 결함(Micro defect)이라 한다.

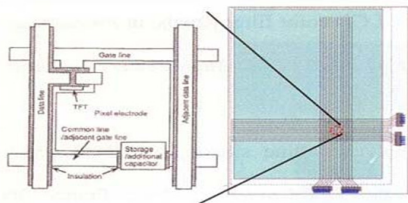
TFT-LCD 공정에 있어서 TFT-Array는 TFT와 Capacitor 이를 연결하는 수직의 Data 라인과 수평의 Gate 라인으로 구성된다. 이러한 TFT-Array는 TFT-LCD 패널 표면의 기하학적 영상이미지에 독특한 격자무늬를 형성하며, 수평으로 동일한 간격에 반복성을 가진다. 즉, 일정한 화소 값의 피크가 일정하게 반복된다.

본 논문에서는 이러한 TFT-LCD의 구조적 특징을 이용하여 자동화 검출을 위한 결함 검출 알고리즘을 제안하였는데, 결함을 갖고 있는 TFT-LCD 패널의 2-D 영상이미지에서 푸리에 변환을 이용하여 격자무늬를 형성하는 주기적인 특정 주파수 성분을 검출하여 제거한 다음, 푸리에 역변환을 이용하여 이미지를 복원하면 격자무늬가 제거되고 매크로 결함과 마이크로 결함만을 나타내는 결함 검출 방식을 제안하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 TFT-LCD 패널의 구조 및 특징

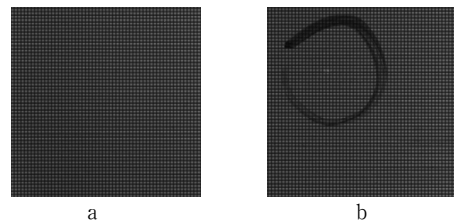
TFT-LCD 패널은 TFT-Array와 Color-Filter 기판으로 구성되며 주변부에 Driver IC를 포함한 구동회로부가 설치 되어있다. 패널은 TFT-Array와 Filter-Array 사이에 액정 층이 첨가된 형태로 되어 있다.



<그림 1> TFT-LCD의 구조

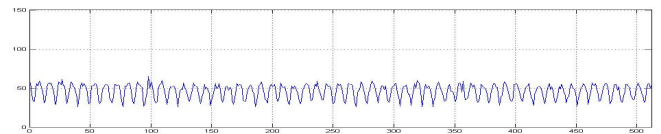
TFT-Array는 픽셀마다 설치된 TFT와 Capacitor, 그리고 이들을 Matrix 형태로 연결하는 수직의 Gate 라인과 평행의 Data 라인으로 구성된다. 이러한 구조적 특징은 <그림 2>와 같은 TFT-LCD 패널 이미

지에 특유의 격자무늬를 형성한다.



<그림 2> TFT-LCD 패널의 이미지

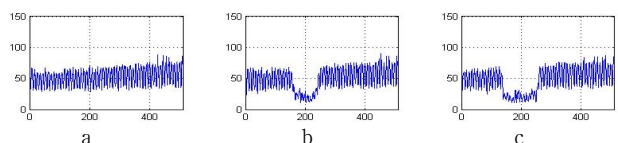
<그림 2> a의 임의의 수평라인의 화소 값을 분석해보면 <그림 3>과 같은 주기적 피크 값의 연속으로 나타난다.



<그림 3> TFT-LCD 패널의 임의의 수평라인이미지 화소 값

##### 2.2 TFT-LCD 패널 이미지의 푸리에 변환

TFT-LCD 패널의 화소 값은 <그림 3>과 같이 주기적인 피크 값으로 나타나며 그 간격은 <그림 1>의 수평의 Data 라인의 간격과 같다. 또한 수평라인의 화소 값들은 9개를 주기로 반복되어 나타난다. <그림 3> b는 결함이 있는 TFT-LCD 패널 이미지이다. <그림 4>는 <그림 3> b의 화소 값을 나타낸 것으로 결함이 있는 부분은 주기성에 위배됨을 확인할 수 있다.[1]



<그림 4> 같은 수직 주기성을 가지는 수평 라인의 화소 값

이러한 특징을 1-D 푸리에 변환을 이용하여 분석하면 패널 격자무늬의 주파수 성분을 분석할 수 있다.[2] 1-D 푸리에 변환은 2-D 푸리에 변환 보다 주파수 분석이 용이하다. 패널의 이미지에 y의 픽셀 위치 x의 화소 값을  $f_y(x)$ 라 하면, 1-D 푸리에 변환 식은 (1)식과 같다.

$$F_y(u) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} f_y(x) \cdot \exp[-j2\pi ux/M] \quad (1)$$

여기서, 주파수 변수  $u=1, 2, 3, \dots, N-1$ 이다.

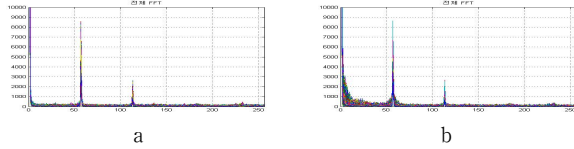
$F_y(u)$ 의 파워스펙트럼  $P_y(u)$ 은 (2)식과 같다.

$$P_y(u) = |F_y^2(u)| = R_y^2(u) + I_y^2(u) \quad (2)$$

여기서,  $R_y(u)$ 는  $F_y(u)$ 의 실수부,  $I_y(u)$ 는  $F_y(u)$ 의 허수부이다.

<그림 2>를 푸리에 변환하여 분석해보면 <그림 5>와 같은 결과를 얻을 수 있으며, 이를 분석해 보면 저주파 대역에서 확인한 차이를 보이는

것을 알 수 있다.



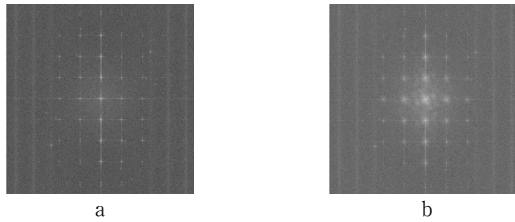
〈그림 5〉 1-D 푸리에 변환의 파워스펙트럼

1-D 푸리에 변환으로 특유의 격자무늬의 주파수 특성을 파악하고, 주파수 제거를 위하여 필터링 하기 전에 2-D 푸리에 변환을 이용하여 2-D 이미지의 주파수분석을 한다.[4]-[5] 패널의 2-D 이미지를  $f(u, v)$ 라 하면 (3)식과 같다.

$$F(u, v) = \frac{1}{N} \frac{1}{M} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} f(x, y) \cdot \exp[-j2\pi(\frac{ux}{N} + \frac{vy}{M})] \quad (3)$$

여기서,  $u=1, 2, 3, \dots, N-1$   $v=1, 2, 3, \dots, M-1$

〈그림 6〉은 〈그림 2〉의 2-D 푸리에 변환 이미지이다.



〈그림 6〉 2-D 푸리에 변환의 파워스펙트럼

1-D 푸리에 변환에서 분석한 격자무늬의 주파수 대역을 이용하여 2-D 주파수 대역에서 격자무늬를 형성하는 주파수 성분과 그 고조파성분들을 제거하기 위한 버터워스 대역 정지 필터는 (4)식 같이 표현된다.

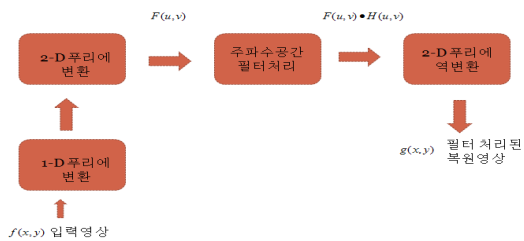
$$H(u, v) = \frac{1}{1 + \left[ \frac{D(u, v)W}{D_0^2} \right]^2} \quad (4)$$

여기서,  $D(u, v) = \sqrt{u^2 + v^2}$ 이고,  $D_0$ 는 원점에서의 거리 즉 차단 주파수이다.  $n$ 은 필터 차수이며,  $W$ 는 대역폭이다.

(4)식에서  $n$ 이 커질수록 필터 차단특성은 좋아지나, 이상 필터에 근접하여 깃스 현상으로 인하여 이미지가 흐려지거나 왜곡되는 현상이 일어난다.

### 2.3 실험 및 결과 고찰

본 논문에서 제안한 결함 검출 알고리즘의 유용성을 보이기 위하여 〈그림 2〉의  $512 \times 512$  크기의 매크로 결함과 마이크로 결함을 포함하는 TFT-LCD 패널 이미지를 실험 이미지로 적용하였다. 〈그림 7〉은 결함 검출 알고리즘의 순서도를 보인 것이며, 〈표 1〉은 대역 정지 필터의 차수에 따른 실험 결과를 보인 것으로 각 경우에 따라 매크로 결함에 대한 검출 특성이 양호한 것으로 보이고 있다. 〈표 2〉는 각 경우에 따라 마이크로 결함에 대한 검출 특성을 분석 한 것으로 32, 64차인 경우가 비교적 양호한 특성을 보이고 있다.



〈그림 7〉 시스템 처리 흐름도

### 3. 결 론

본 논문에서는 TFT-LCD 패널의 다양한 마이크로 결함 및 매크로 결함의 검출을 위하여 푸리에 변환을 이용하여 TFT-LCD 패널 영상 이미지의 특유의 격자무늬의 주파수 특성을 분석하고, 대역 정지 필터를 사용하여 격자무늬를 형성하는 주파수 대역과 그 고조파들을 제거하고, 푸리에 역변환을 이용하여 TFT-LCD 패널의 결함을 검출하는 알고리즘을 제안하였다. 기존 공정에서 TFT-LCD 패널의 결함 검출은 대부

분 육안에 의해서 이루어 졌으나, 제안한 알고리즘은 자동화 공정에 적합하다고 할 수 있으며 검출 공정에서의 불량률 감소에 크게 기여할 것으로 기대된다.

〈표 1〉 필터 차수 별 결과 영상

차수	2-D 파워스펙트럼	복원 이미지
16차		
32차		
64차		
128차		

〈표 2〉 필터 차수 별 마이크로 결함 검출 특성

차수	화소 값		
	16	51	49
32	50	52	43
	43	40	52
	38	35	48
	44	41	49
64	53	51	52
	49	52	43
	38	35	48
	44	41	49
128	53	51	52
	49	52	43
	38	34	49
	43	40	49



본 연구는 중소기업청에서 시행한 2005년 기술혁신개발사업의 결과임

### [참 고 문 헌]

[1] Oh, J.H Kwak, D.M Lee, K.B Song, Y.C Choi, D.H and Park, K.H "Line defect detection in TFT-LCD using directional filter bank and adaptive multilevel thresholding", Key Engineering Materials, Volume 270, 270-273, 2004  
 [2] Du Ming Tsia, Chung Yu Hung, "Automatic Defect Inspection of Patterned TFT-LCD Panels Using 1-D Fourier Reconstruction and Wavelet Decomposition" International Journal of Production Research, Volume 43, pages 4589 - 4607 2005,  
 [3] Chi Jie Lu, Du Ming Tsai "Defect Detection of Patterned TFT-LCD surface Using Independent Component Analysis" 中國工業工程學會 2004  
 [4] Gonzalez, R.C and Woods, R.E "Digital Image Processing" Prentice-Hall : New Jersey 2002  
 [5] 이문호 "Visual C++을 이용한 실용 영상 신호처리" 대영사 2006