

Frequency Domain Pre-Processing for Automatic Defect Inspection of TFT-LCD Panels

南炫道[†] · 南承旭^{*}
(Hyun-Do Nam · Seung-Uk Nam)

Abstract - Large-sized flat-panel displays are widely used for PC monitors and TV displays. In this paper, frequency domain pre-filter algorithms are presented for detection of defects in large-sized Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display(TFT-LCD) panel surfaces. Frequency analysis with 1-D, 2-D FFT methods for extract the periodic patterns of lattice structures in TFT-LCD is performed.

To remove this patterns, frequency domain band-stop filters were used for eliminating specific frequency components. In order to acquire only defected images, 2-D inverse FFT methods to inverse transform of frequency domain images were used.

Key Words : Automatic Defect Inspection, Flat Panel Display, Vision, Frequency Domain Filters

1. 서 론

비전을 이용한 TFT-LCD 패널의 결함 검출은 LCD 생산 공정 자동화에 있어서 주요한 요소로 부각 되고 있다. 패널의 결함 중 편흔, 스크래치 등 사람의 눈으로 확인이 불가능한 마이크로 결함을 검출하기 위한 전기적 또는 광학적 기법들은 TFT-LCD 패널의 각각의 픽셀을 테스트한다는 장점을 가지지만, 각각의 픽셀을 검사하기 위해서는 패널을 디자인할 때 측정에 사용되는 프로브들이 개별적으로 디자인 되어야 한다는 단점을 가지므로, 이미지 비교, 패턴 매칭 등의 비전 기술에 기초를 둔 패널 결함 검출 기술이 발전되어왔다[1-3].

TFT-LCD 공정에 있어서 TFT 어레이는 TFT와 커패시터, 이를 연결하는 수직의 데이터 라인과 수평의 게이트 라인으로 구성되는데, TFT-LCD 패널 표면의 기하학적 영상이미지에 독특한 격자무늬를 형성하며, 수평으로 동일한 간격에 반복성을 가진다. 즉, 일정한 화소 값의 피크가 일정하게 반복된다. 이러한 반복적인 격자무늬는 패널의 결함을 검출하는데 많은 어려움을 야기한다.

본 논문에서는 이러한 TFT-LCD의 구조적 특징을 이용하여 자동화 검출을 위한 전처리 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 결함만을 나타내게 되어 결함 검출을 쉽게 하는 새로운 전처리 기법을 제안하였다.

2. TFT-LCD 패널의 구조 및 특징

TFT-LCD 패널은 그림 1과 같이 TFT 어레이와 칼라 필터 기판으로 구성되며 주변부에 드라이버 IC를 포함한 구동 회로부가 설치 되어있으며, TFT 어레이와 필터 어레이 사이에 액정 층이 첨가된 형태로 되어 있다.

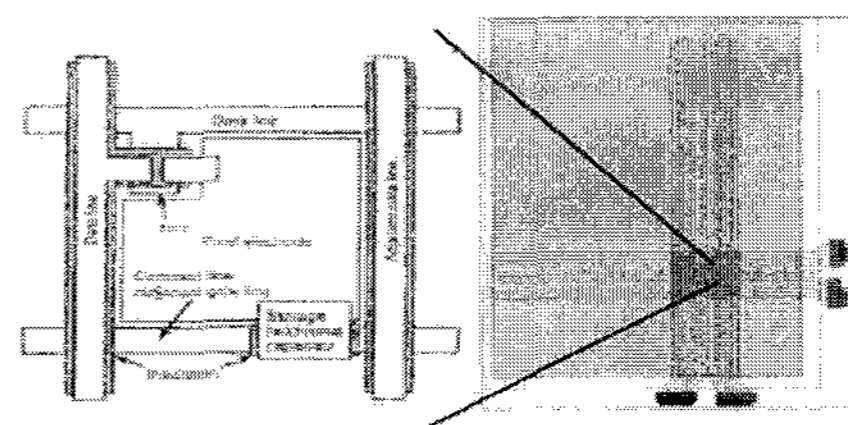
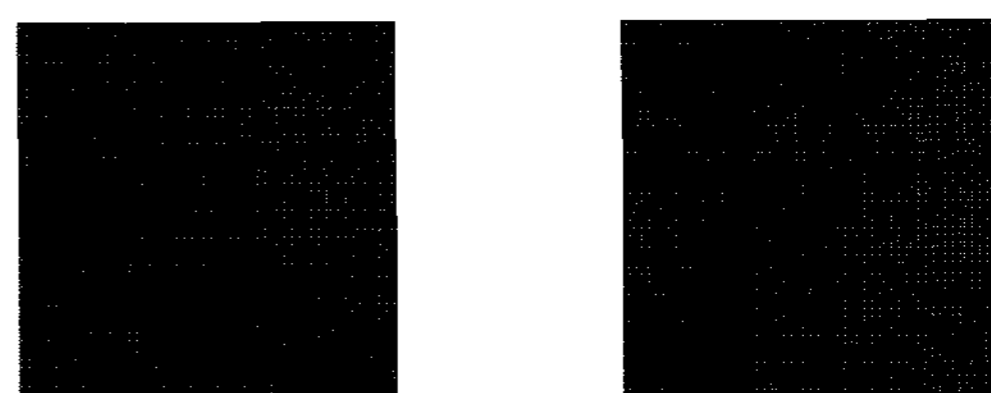


그림 1. TFT-LCD의 구조
Fig. 1. Structure of TFT-LCD

TFT 어레이는 픽셀마다 설치된 TFT와 커패시터, 그리고 이들을 격자 형태로 연결하는 수직의 게이트 라인과 평행의 데이터 라인으로 구성된다.



(a) Non defected (b) Defected

그림 2. TFT-LCD 패널의 이미지
Fig 2. Panel images of TFT-LCD

이러한 구조적 특징은 그림 2(a)와 같이 특유의 격자무늬

[†] 교신저자, 正會員 : 檀國大學校 工科大學 電子電氣工學部 教授

E-mail : hdnam@dankook.ac.kr

^{*} 學生會員 : 檀國大學校 大學院 電氣工學科

接受日字 : 2008年 3月 11日

最終完了 : 2008年 5月 16日

를 가지며 매크로 결함과 마이크로 결함을 동시에 가지는 패널의 표면 이미지는 그림 2(b)와 같다.

그림 2(a)의 임의의 수평라인의 화소 값을 분석하여 각각 화소에 대한 이미지 화소값을 나타내면 그림 3과 같이 주기적 피크 값의 연속으로 나타난다.

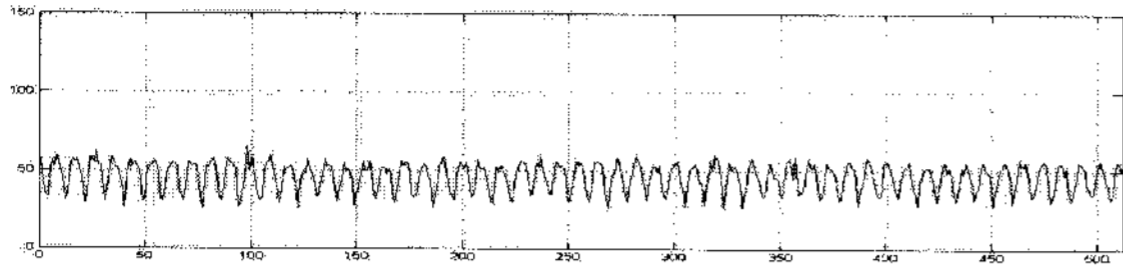


그림 3. TFT-LCD 패널의 임의의 수평라인이미지 화소 값
Fig. 3. Parallel line pixel image values of TFT-LCD panels

3. TFT-LCD 패널 이미지의 푸리에 변환

TFT-LCD 패널의 화소 값은 그림 3과 같이 주기적인 피크 값으로 나타나며 그 간격은 그림 1의 수평의 데이터 라인의 간격과 같다. 또한 수평라인의 화소 값들은 그림 4(a)와 같은 화소 값들이 9개를 주기로 반복되어 나타나나, 그림 2(b)와 같이 결함이 있는 TFT-LCD 패널 이미지의 화소값은 결함이 있는 부분에서 그림 4(b) 또는 그림 4(c)와 같은 화소 값들이 나타나게 되어 결함이 있는 부분은 주기성에 위배된다[1].

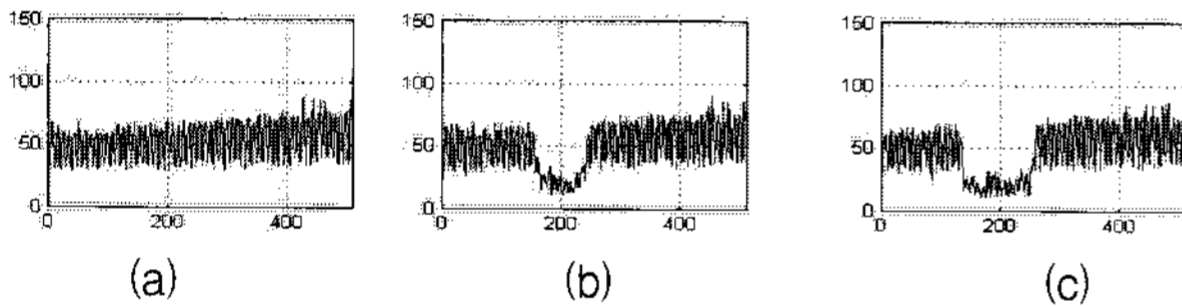


그림 4. 수평 라인의 화소 값
Fig. 4. Parallel line pixel image values

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 y 의 픽셀 위치 x 의 화소 값을 $f_y(x)$ 라 하면, 1-D 푸리에 변환 식은 (1)식과 같다.

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

여기서, 주파수 변수 $u=1,2,3,\dots,N-1$ 이다.

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

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

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

그림 2의 (a)와 (b)를 1-D 푸리에 변환하여 분석해보면 각각 그림 5 (a) 및 (b)와 같은 결과를 얻을 수 있으며, 결함이 있는 부분의 스펙트럼이 저주파 대역에서 정상적인 패널의 스펙트럼과 차이를 보이는 것을 알 수 있다. 그림 5(a)에서 나타나는 주파수 스펙트럼은 패널 특유의 격자무늬의 규칙성

때문에 나타나는 것으로 그림 5(b)에서 이것을 제거하면 결함 부분만 나타나므로 결함을 검출할 수 있다.

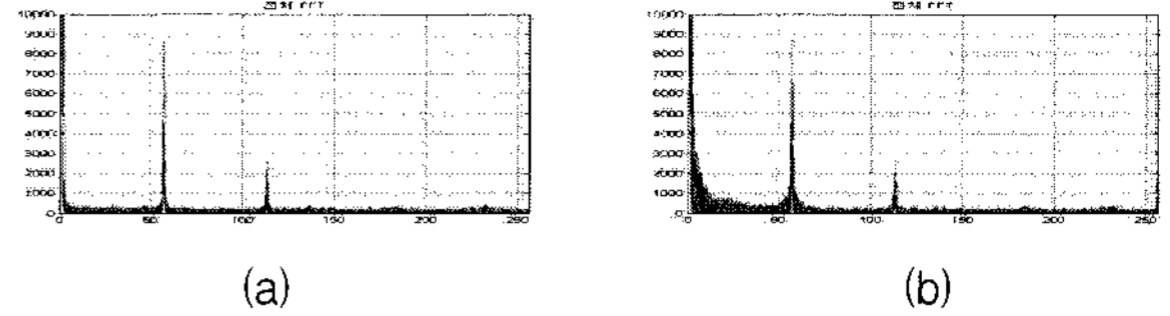


그림 5. 수평라인 화소값의 1-D 푸리에 변환
Fig. 5. 1-D Fourier transform of parallel line pixel values

2-D 푸리에 변환을 이용하여 2-D 이미지의 주파수 분석을 하면 TFT-LCD 패널 표면의 격자무늬를 2차원적 평면으로 나타낼 수 있다[4]. 패널의 2-D 이미지를 $f(u, v)$ 라 하면 2-D 푸리에 변환은 (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 6은 그림 2의 2-D 푸리에 변환 이미지이다.

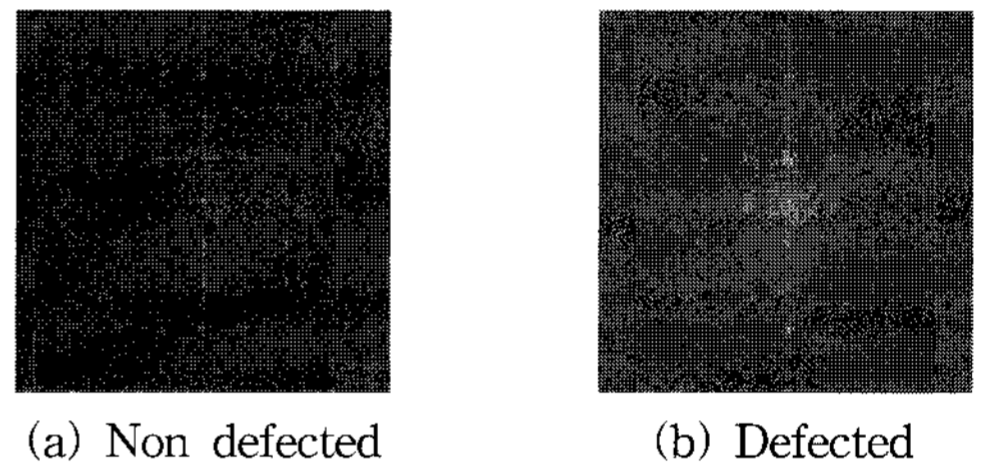


그림 6. 수평라인 화소값의 2-D 푸리에 변환
Fig. 6. 2-D Fourier transform of parallel line pixel values

4. 주파수 영역에서의 필터링

푸리에 변환을 이용하여 TFT-LCD 패널의 구조상 특징에 의해서 나타나는 격자무늬의 주파수 성분을 주파수 영역에서의 대역저지필터를 이용하여 제거하면 격자무늬를 형성하는 특유의 주파수 성분과 그 고조파 성분을 제거함으로써 격자무늬를 제거할 수 있다. 패널의 격자 무늬를 제거하면 결함 성분만 남게 되어 결함을 쉽게 검출할 수 있다.

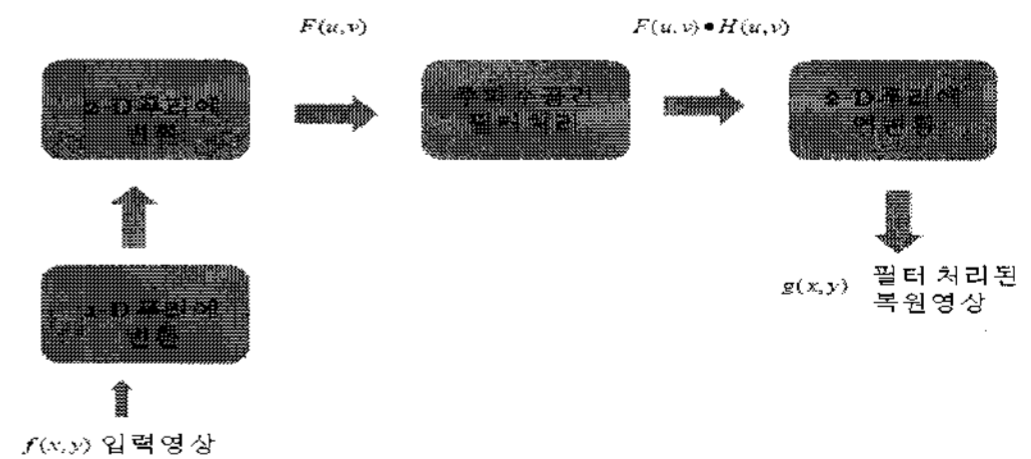


그림 7. 주파수 영역 필터링 흐름도
Fig. 7. Flow chart of frequency domain filtering

그림 7은 푸리에변환 및 주파수 영역에서의 필터링 연산 순서도이다. TFT-LCD 패널의 이미지를 입력 받은 후 1-D 푸리에 변환하여 주파수 특성을 분석한 후, 2-D 푸리에 변환하여 주파

수 영역에서 필터를 이용하여 주파수성분을 제거한다. 마지막으로 푸리에 역변환을 이용하여 영상을 복원한다. 복원 영상에는 격자무늬를 제거한 결함만 포함하는 영상을 얻을 수 있다.

2-D 버터워스 대역 정지 필터는 (4)식 같이 표현된다.

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

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.

5. 실험 및 결과 고찰

기존의 2차원 영상이미지를 이용한 결함 검출 방법인 패턴 매칭 방법은 패턴을 검사하기 위해서 비교할 이미지를 미리 저장하고 있어야 하나, 본 논문에서는 기존의 방법과 달리 비교 이미지가 필요 없이 2차원 영상이미지를 직접적인 검사 이미지로 사용한다.

TFT-LCD 패널의 비주얼적인 결함 검출을 위한 실험 영상 이미지로 512×512 크기의 2차원 영상을 사용하였다. 실험 영상이미지를 얻기 위한 시스템의 조명 시스템은 실험에 사용된 TFT-LCD 패널의 Backlight를 사용하였다. 그림 8은 전체 시스템의 흐름도이며, 그림 9는 본 연구를 위하여 제작된 시스템 및 카메라 장치이다. 시스템 카메라는 1000만 화소의 CCD 디지털 카메라를 사용하였으며 지그 부분은 패널 안착기와 패턴 발생기로 인버터로 구성되어져있다.

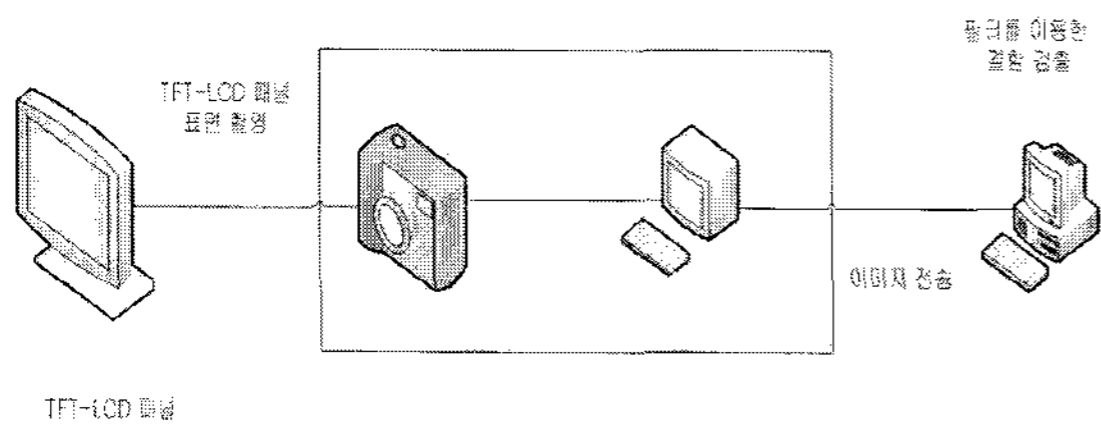


그림 8. 결함 검출 시스템 블록선도

Fig. 8. Block diagram of defect detection systems

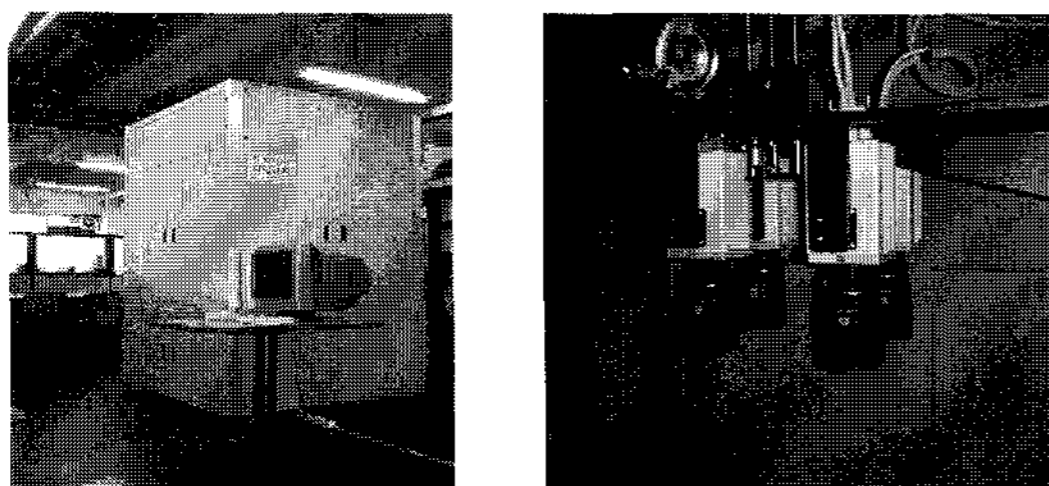
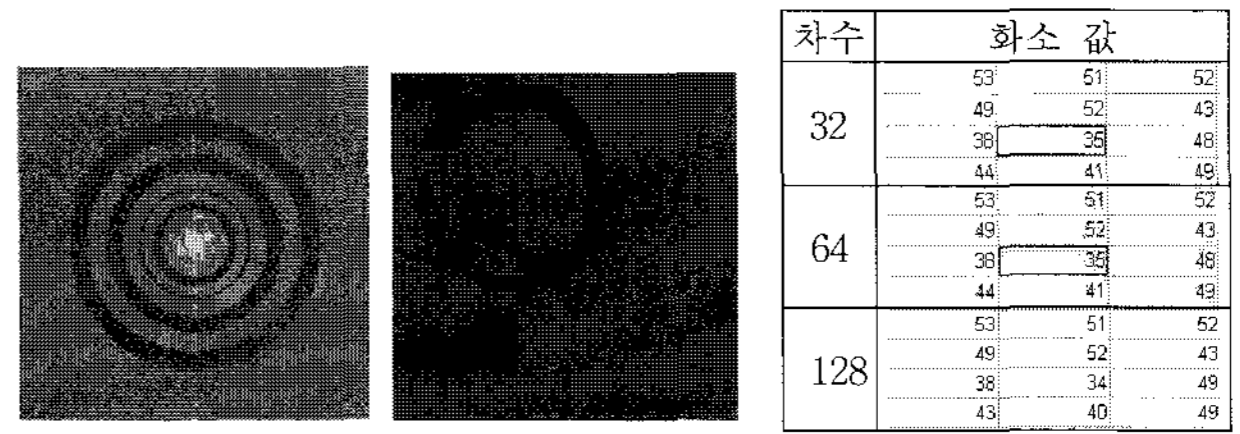


그림 9. 결함 검출 장치 및 카메라

Fig. 9. Defect detection system and cameras

그림 10 (a), (b)는 64차 대역 정지 필터를 사용한 경우의 2-D 스펙트럼과 복원 이미지이다 격자무늬가 거의 제거된 것을 알 수 있다. 그림 10(c)에서 보듯이 필터의 차수가

32-128 일 때, 미세결함이 있는 부분의 화소 값이 주변부와 차이가 나서 효과적으로 결함을 검출할 수 있었다.



(a) 2-D spectrum (b) Inverse 2-D FFT (c) Pixel values

그림 10. 수평라인 화소값의 2-D 푸리에 변환

Fig. 10. 2-D Fourier transform of parallel line pixel values

6. 결 론

본 논문에서는 TFT-LCD 패널의 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 격자무늬를 제거하여 결함을 검출하기 쉽게 도와주는 전처리 알고리즘을 제안하였다.

제안한 전처리 알고리즘을 결함 검출기법에 적용한 결과, 점결함, 선결함 및 얼룩 결함에 대해서 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

기존 공정에서 TFT-LCD 패널의 결함 검출은 대부분 육안에 의해서 이루어 졌으나, 제안한 알고리즘은 자동화 공정에 적합하다고 할 수 있으며 검출 공정에서의 불량률 감소에 크게 기여할 것으로 기대된다.

감사의 글

이 연구는 2006 학년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음

참 고 문 헌

- [1] Oh J.H et als, "Line defect detection in TFT-LCD using directional filter bank and adaptive multilevel thresholding," Key Engineering Materials, pp.270-273, 2004.
- [2] Du M.T., Chung Y.H., "Automatic defect inspection of patterned TFT-LCD panels using 1-D Fourier reconstruction and Wavelet decomposition," Int. J. of Production Res., pp.4589-4607, 2005.
- [3] Chi J.L. and Du M.T., "Defect detection of patterned TFT-LCD surface using independent component analysis," 中國工業工學會, 2004.
- [4] Gonzalez, R.C., Woods, R.E. and Eddins S.L., *Digital Image Processing using Matlab*, Prentice Hall, 2004.