

Mobile용 TFT-LCD 화면 검사장비 개발

Development of the Defect Inspection Equipment for Mobile TFT-LCD Modules

구영모* · 황만수**

Young Mo Koo* and Hwang Mansoo**

* 안양과학대학 IT학부

** 주식회사 에이앤아이

요 약

Mobile용 TFT-LCD는 근거리에서, 세밀한 관찰 작업용으로 사용되는 경우가 많아 높은 수준의 품질관리가 요구되고 있으나, 높은 휘도값, 큰 휘도편차, 높은 검사 정밀도 등의 특징을 가지고 있어 동일한 검사기준을 적용하여도 작업자 혹은 제조라인에 따라 판단의 차이가 있으며 정량적인 품질관리가 어렵다. 또한, 다품종 대량생산 추세에 따라 검사 속도, 작업자의 피로도, 검사 시야의 한계 등 육안검사의 문제점이 대두되고 있다. 본 논문은 Mobile용 TFT-LCD 화면의 품질관리 및 검사기준과 동일한 기준에 의거하여 현장에 적용하기 쉬운 탁상형의 Mobile용 TFT-LCD 화면 검사 장비를 개발하였다. 그리고 개발된 장비를 사용한 실험에서, 육안검사에 비하여 개선된 결과를 기반으로 안정적이고 수치화된 Mobile용 TFT-LCD 화면 품질 검사의 표준화 가능성을 제시한다.

키워드 : TFT-LCD, Mobile. 화면 검사 장비, 탁상형

Abstract

High level quality control is required for mobile TFT-LCD modules which are frequently used for fine observation. However, quantitative quality control is difficult. Defect inspection using naked eyes makes irregular inspection results. This paper developed desk type defect inspection equipment for mobile TFT-LCD modules using the same inspection criterion with that of naked eyes. From experiments using this equipments, possibilities of standardization in defect inspection equipment for mobile TFT-LCD modules are presented.

Key Words : TFT-LCD, Mobile. Defect Inspection

1. 서 론

액정 디스플레이(LCD: Liquid Crystal Display)는 현재 세계 평판 디스플레이(FPD: Flat Panel Display) 시장을 선도하고 있는 표시장치로 우리나라의 성장을 이끄는 주력 산업이다.[1] 우리나라는 2018년 디스플레이 분야 세계 최강국을 비전으로 패널·소재·부품·장비 산업의 동반 일류화를 목표로 하는 신성장동력 비전과전략 보고서를 채택한바 있는데 평판 디스플레이를 중심으로 디스플레이 분야 세계 시장은 지속 성장이 예상되며('07년:982억불 → '18년:2,226억불) 패널 시장의 성장과 함께 장비·소재의 시장규모도 확대('07년:550억불 → '18년:1,300억불)될 것으로 예상되고 있다.[2]

최근 평판 디스플레이 장비에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 이중 LCD 검사장비의 핵심이 되는

AOI(Automated Optical Inspection) 장비의 설계 및 제작에 관한 연구가 두드러진다 할 수 있다.[3-5] 이러한 연구에서는 LCD패널의 마크 인식을 위한 새로운 방식을 제안하기도 하였으며[6] 라인스캔 카메라와 영역카메라를 효과적으로 사용하여 TFT-LCD(Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display) 표면을 검사하는 방법[7]이나 TFT-LCD의 얼룩(Mura) 검출을 위한 방법[8]을 제안하였다.

대형 TFT-LCD화면을 대상으로 하여 작업자의 육안 판정검사 방법이 작업자의 컨디션 및 주위환경의 여러 가지 요소에 의해 판별기준이 다소 다르게 나올 수 있는 문제를 해소하기 위한 자동화된 결함 검출 방법이 제시된 바 있다.[9-11] 불량 Pixel의 밝기 값과 정상 Pixel의 밝기 값을 비교한 후 LCD의 주기성을 이용하여 결함을 검사하는 방법[9], 상하좌우 인접 패턴과의 차이를 이용하여 결함 검사하는 방법[10], LCD화면 전체의 밝기를 보정한 후 패턴 비교를 통해 결함 검사하는 방법[11] 등이 대형 TFT-LCD화면을 대상으로 한 대표적인 결함 자동 검출 방법이다.

평판 디스플레이 시장의 약85% 정도를 차지하고 있는 TFT-LCD 패널은 단말기제품의 패널용용 사이즈에 근거하여 소형패널, 중형패널, 대형패널로 구분된다. 소형패널은 주로 Mobile, PDA, 디지털카메라, 디지털캠코더, 차량탑재 디스플레이장치 등 제품에 사용되는데 그 중 Mobile은 현

접수일자 : 2008년 11월 1일

완료일자 : 2009년 1월 21일

본 연구는 2007년도 안양과학대학 산학연 공동기술개발 컨소시엄 사업(중기청, 경기도, 안양시, (주)에이앤아이)에 의해 수행되었습니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

재 소형스크린의 가장 주요한 응용시장이다. Mobile용 디스플레이 장치로 TFT-LCD는 얇고 가벼우며 고화질, 고해상도, 저소비 전력 등의 장점을 가지고 있다. [12]

본 논문에서는 작업자의 육안 판정검사 방법에 사용하는 Mobile용 TFT-LCD 화면의 품질관리 및 검사기준과 동일한 기준에 의거한 검사결과를 구현하며, 현장에 적용하기 쉬운 탁상형의 Mobile용 TFT-LCD 화면 검사 장비 개발 방법을 제시한다. 그리고, 화면크기가 2.0인치인 176X220 해상도를 가지는 Mobile용 TFT-LCD화면 검사 결과를 제시한다.

2. Mobile용 TFT-LCD 화면 검사 시스템 구성

2.1 기구부 구성

본 논문에서는 현장에 적용하기 쉬운 탁상형의 Mobile용 TFT-LCD 화면 검사 장비 개발 방법을 제안한다. 이는 탁상형으로 장비의 크기와 가격을 낮춰 설치 공간과 도입비용을 최소화하기 위한 수요가 있기 때문이다. 그림 1에서와 같이 작업자가 앉아서 검사대상 모듈을 검사 Jig에 수작업으로 투입하고, 검사를 위한 패턴신호를 인가하기 위한 접촉핀들을 접촉시킨 후 인덱스를 180° 회전시켜 검사 카메라 밑에 위치하여 화면검사가 이루어지도록 한다. 모듈 검사시간을 정해진 시간 이내로 단축하기 위하여 그림 2에서와 같이 검사 Jig에 두 개의 모듈을 투입한 후 패턴신호를 인가하면 검사 카메라가 연속으로 검사작업을 수행하여 검사대상 모듈당 검사시간을 단축시킬 수 있도록 하였다. 그림 3은 이와같이 설계하여 제작된 검사장비의 외관을 나타낸다.

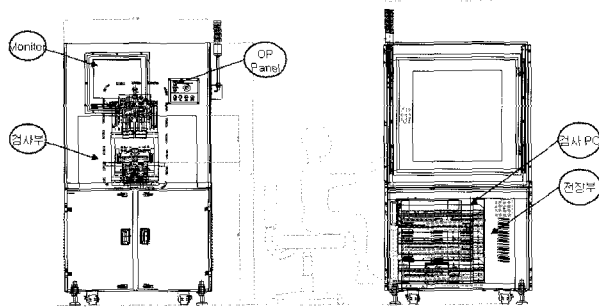


그림 1 검사장비 설계도

Fig. 1. Layout of defect inspection equipment

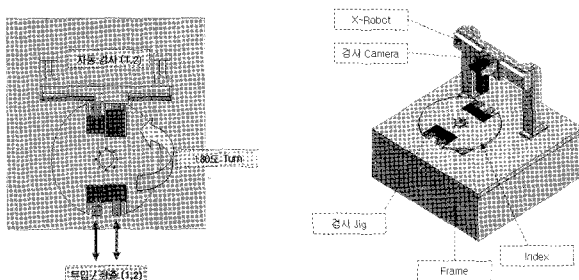


그림 2. 검사부 구성 및 각부 명칭

Fig. 2. Test module layout and name of each part

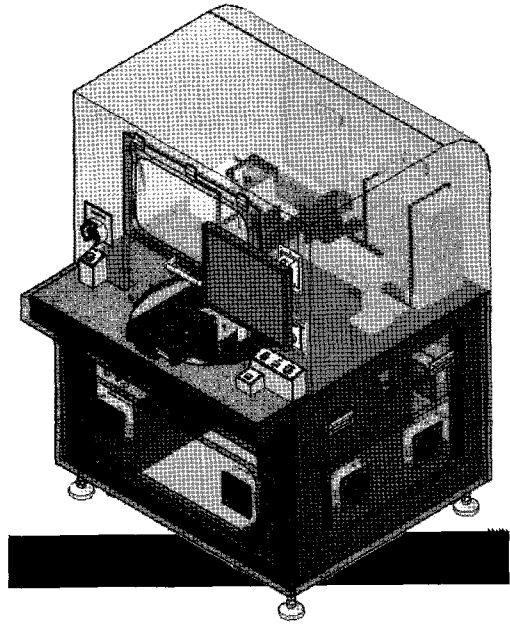


그림 3. 검사장비 외관

Fig. 3. Appearance of test equipment

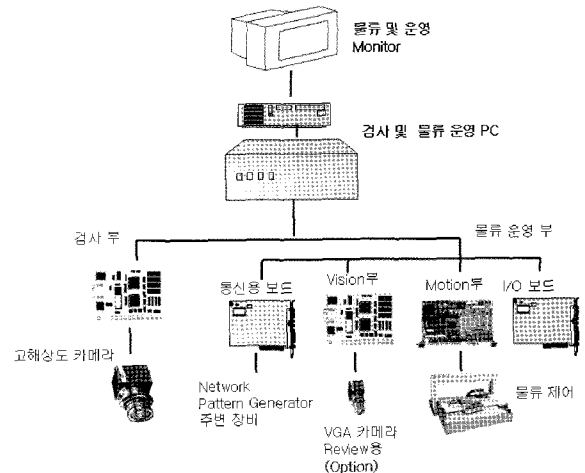


그림 4. 하드웨어 구성도

Fig. 4. Hardware block diagram

2.2 전장부 구성

본 논문에서는 사용자 편의성이 증대된 윈도우즈 환경의 MMI(Man-Machine Interface)구성을 가지는 반자동시스템의 검사 장비를 개발하기 위해 그림 4와 같은 하드웨어 구성을 하였다. 하나의 산업용제어기(3.2GHz, 2 CPU, 2G 메모리)를 사용해 검사 및 물류 운영 작업을 할 수 있도록 하였다. 윈도우즈2000을 오퍼레이팅 시스템으로 사용하였으며 하드웨어는 그림 4와 같이 검사부와 물류 운영부로 크게 양분해서 구성하였다.

검사부는 본 논문의 핵심부로 검사장비의 검사 분해능을 결정하는 매우 중요한 역할을 한다. 검사대상 TFT-LCD 모듈의 픽셀불량을 검사하기 위해 고해상도 흑백 카메라(4008 X 2672 픽셀)와 배율 0.6배의 광학계를 사용하였다. 패턴 발생기와의 통신을 위한 통신용 보드, 검사카메라 이

동 및 정렬을 위한 모션 제어부, 시스템 내외부 신호 입출력을 위한 I/O 보드 그리고 접촉핀의 접촉상태 확인 등을 위한 선택사양으로 별도의 카메라를 사용하는 비전부 등으로 물류 운영부를 구성하였다.

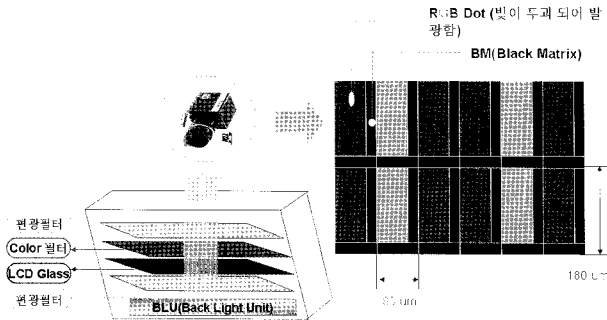


그림 5. LCD 구조 및 Dot 크기
Fig. 5. LCD structure and dot size

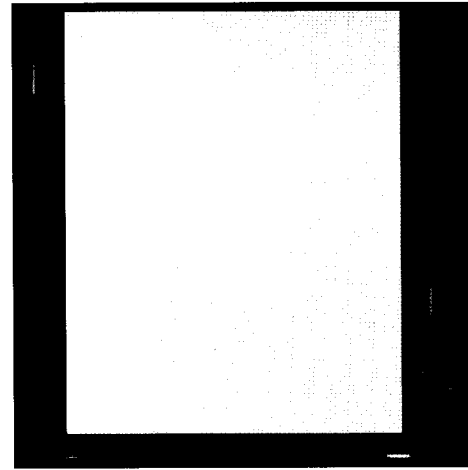


그림 6. 검사영역 및 회전인식 화면
Fig. 6. Test region and alignment screen

2.3 검사대상 LCD

검사대상 LCD구조 및 LCD Dot의 크기는 LCD의 BM(Black Matrix)을 포함하여 그림 5와 같다. 본 논문에서 사용한 고해상도 흑백 카메라(4008 X 2672 픽셀)와 배율 0.6배의 광학계로 검사대상 LCD모듈을 검사할 경우 CCD 카메라 1 픽셀의 가로 길이(CCD_X) = 9μm, CCD 카메라 1 픽셀의 세로 길이(CCD_Y) = 9μm, LCD R도트의 가로 길이(LCD_{RX}) = 60μm, LCD R도트의 세로 길이(LCD_{RY}) = 180μm 그리고, 광학계의 배율(M) = 0.6에서 식(1)과 식(2)에 의해 LCD R도트 하나가 고해상도 흑백 카메라에서 표현되는 고해상도 흑백 카메라의 가로방향 CCD 픽셀 수(N_{CCDX})와 고해상도 흑백 카메라의 세로방향 CCD 픽셀 수(N_{CCDY})를 각각 구하면 N_{CCDX} = 4, N_{CCDY} = 12로 구할 수 있다.

$$N_{CCDX} = LCD_{RX} \times M \div CCD_X \quad (1)$$

$$N_{CCDY} = LCD_{RY} \times M \div CCD_Y \quad (2)$$

즉, LCD의 BM(Black Matrix)을 포함하여 LCD R도트 하나의 가로길이 60μm가 고해상도 흑백 카메라에서는 4개의 픽셀로 나타나고, LCD R도트 하나의 세로길이 180μm가 고해상도 흑백 카메라에서는 12개의 픽셀로 나타나므로 이 검사장비의 픽셀 해상도는 15μm가 된다.

3. 검사알고리즘

3.1 검사영역 및 회전인식

화면 검사 전처리 과정으로 검사대상 TFT-LCD 모듈의 영역을 결정하고 TFT-LCD 모듈의 Dot와 고해상도 흑백 카메라의 픽셀을 동일한 방향으로 정렬시킬 필요가 있다. 이를 위해 주어진 FOV(Field Of View ; 60mm × 40 mm)에서 검사할 TFT-LCD모듈의 영역을 찾기위해 모퉁이 점을 찾아 회전각도 만큼 정렬 후 검사 영역에 대한 정보를 얻는다. 그림 6의 검사영역 및 회전인식 화면에서 좌상 모퉁이의 좌표를 (x1, y1) 이라 하고 좌하 모퉁이의 좌표를 (x2, y2)라 하면 식 (3)에 의해 회전 각 θ를 구한다. 그림 7은 검사영역 및 회전인식을 위해 사용한 프로그램 흐름도를 나타낸다.

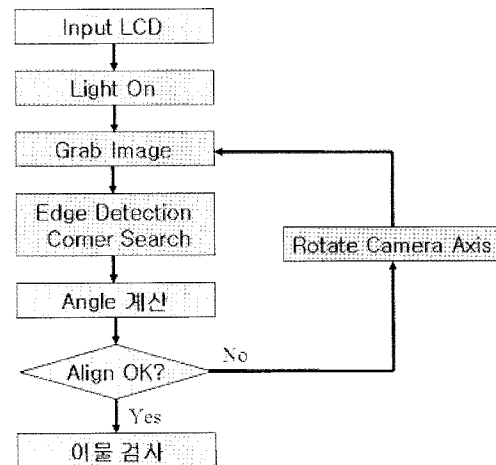


그림 7. 검사 및 회전 정렬 흐름도
Fig. 7. Test and Alignment flowchart

$$\tan\theta = (x_2 - x_1) \div (y_2 - y_1) \quad (3)$$

3.2 Dot High off 검사

Dot High off 검사란 고해상도 흑백 카메라로 TFT-LCD 모듈의 R, G, B, White 패턴을 입력 받았을 때 TFT-LCD 모듈에서 불량픽셀이 발생하여 검게 나타나는 픽셀의 유무 및 위치를 검사하는 항목이다. 이를 위해 본 논문에서는 인접패턴과 차분하여 픽셀 최소값을 구한 후 결과 값의 픽셀 최대값을 구하는 방법을 사용하였다. 이를 위해서는 앞의 검사영역 및 회전인식 알고리즘에 의한 정렬을 먼저 실행하여야 한다. 그 후 입력받은 패턴을 TFT-LCD의 1픽셀에 해당하는 거리만큼 수평방향 및 수직방향으로 이동한 후 두 이미지를 차분하여야 한다. 이동거리는 TFT-LCD 1픽셀거리를 픽셀 해상도로 나눈 픽셀 수에 해당하는 고해상도 흑백 카메라 입력 패턴을 이동하는 것이다. 픽셀 해상도가 15μm 이고 TFT-LCD의 1픽셀 크기가 180μm 이므로 식(4)에 의해 고해상도 흑백 카메라 입력 패턴을 12픽셀 만큼 이동하면 된다.

$$\begin{aligned} \text{이동픽셀수} &= \text{TFT-LCD픽셀크기} \div \text{픽셀해상도} \quad (4) \\ &= 180\mu\text{m} \div 15\mu\text{m} \end{aligned}$$

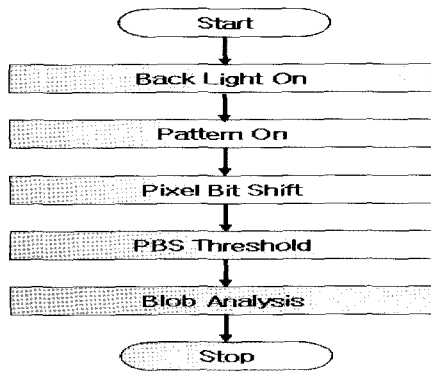


그림 8. Dot high off 검사 흐름도
Fig. 8. Dot high off test flowchart

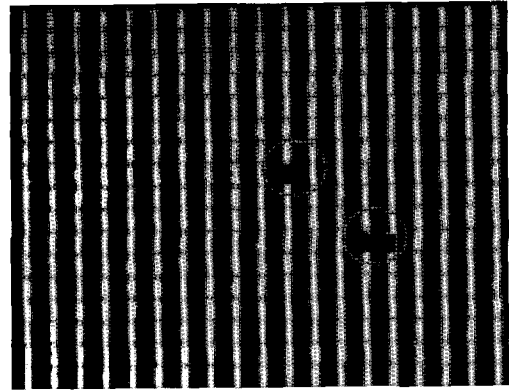


그림 9. 원래 이미지
Fig. 9. Original image

3.3 Line High off 검사

Line High off 검사란 고해상도 흑백 카메라로 TFT-LCD 모듈의 R, G, B, White 패턴을 입력 받았을 때 TFT-LCD 모듈에서 데이터 방향 또는 게이트 방향으로 라인 전체에 불량픽셀이 발생하여 검은 직선으로 나타나는 부분의 유무 및 위치를 검사하는 항목이다. 이를 위해 본 논문에서는 Dot High off에서 사용한 방법과 동일하게 인접 패턴과 차분하여 픽셀 최소값을 구한 후 결과 값의 픽셀 최대값을 구하는 방법을 사용하였다. 이를 위해서는 앞의 검사영역 및 회전인식 알고리즘에 의한 정렬을 먼저 실행하여야 한다. 그 후 입력받은 패턴을 TFT-LCD의 1픽셀에 해당하는 거리만큼 수평방향 및 수직방향으로 이동한 후 두 이미지를 차분하여야 한다. 이동거리는 TFT-LCD 1픽셀거리를 픽셀 해상도로 나눈 픽셀 수에 해당하는 고해상도 흑백 카메라 입력 패턴을 이동하는 것이다. 픽셀 해상도가 15 μm 이고 TFT-LCD의 1픽셀 크기가 180 μm 이므로 식(4)에 의해 고해상도 흑백 카메라 입력 패턴을 12픽셀 만큼 이동하면 된다. 그림 8은 Dot High off 및 Line High off에 사용한 검사 흐름도를 나타낸다.

4. 실험 및 결과

그림 (9)는 Dot High off 불량 픽셀을 세개 가지고 있는 검사대상 TFT-LCD 모듈 화면을 고해상도 흑백 카메라로 입력받은 화면이다. 이를 수평방향으로 TFT-LCD 1픽셀 단위 이동한 후 원래 화면과 차분하여 픽셀 최소값을 구한 화면이 그림 (10)의 왼쪽과 오른쪽에 각각 보인다. 그리고, 수직방향으로 TFT-LCD 1픽셀 단위 이동한 후 원래 화면과 차분하여 픽셀 최소값을 구한 화면이 그림 (11)의 왼쪽과 오른쪽에 각각 보인다. 그림 (10)과 그림 (11)의 오른쪽 결과값의 픽셀 최대값을 구하여 최종적으로 Dot High off 불량 픽셀의 위치와 유무를 검사할 수 있었다. 그림 (12)의 왼쪽은 픽셀 최대값을 구한 결과이며 그림 (12)의 오른쪽은 픽셀 최대값 결과를 이진화 처리한 결과이다. Dot High off 불량 픽셀 검사결과의 반복성을 검토하기 위하여 하나의 시료에 대한 검사 실험을 5회 반복 하였다. 표 1은 5회 반복 검사한 결과 특정 불량픽셀의 왼쪽 윗부분 픽셀좌표와 오른쪽 아랫부분 픽셀 좌표값 그리고 중심 픽셀 좌표값을 각각 나타낸다. 그림 (13)은 Line High off 불량 직선을 가지고 있는 검사대상 TFT-LCD 모듈 화면을 고해상도 흑백 카메라로 입력받은 화면이다. 이를 수평방향으로 TFT-LCD 1

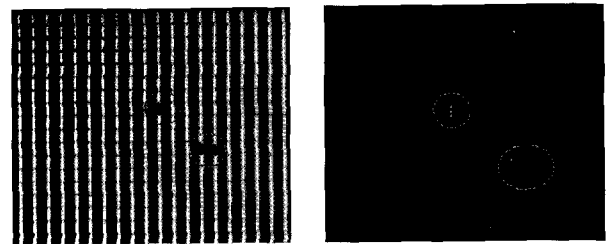


그림 10. 수평방향 이동 결과
Fig. 10. Horizontal shift result

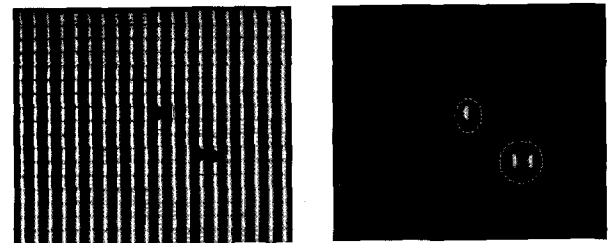


그림 11. 수직방향 이동 결과
Fig. 11. Vertical shift result



그림 12. 픽셀최대처리 및 이진화 결과
Fig. 12. Pixel Maximize and Threshold result

표 1. Dot High off 반복 검사 결과
Table 1. Dot High off repeating test result

회수	x1	y1	x2	y2	cx	cy
1	1658	1081	1660	1084	1659	1083
2	1660	1081	1661	1085	1661	1083
3	1660	1080	1661	1084	1661	1082
4	1659	1081	1661	1085	1660	1083
5	1648	1084	1650	1088	1649	1086

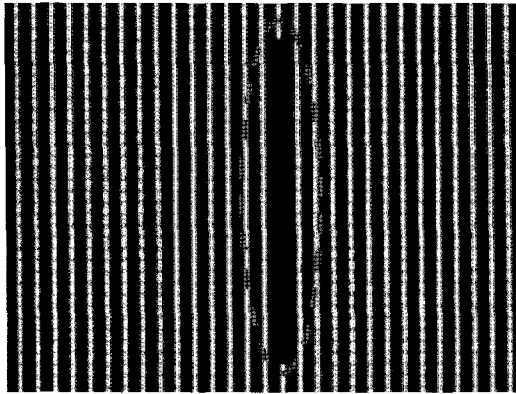


그림 13. 원래 이미지
Fig. 13. Original image

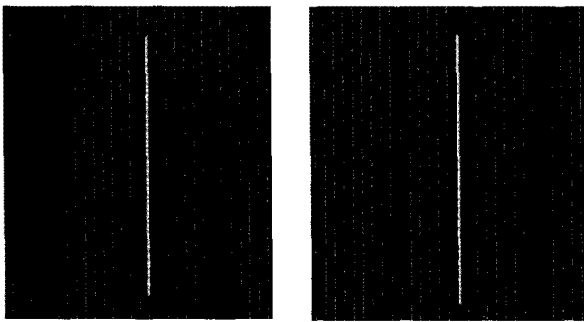


그림 14. 좌-우 화면과 차분한 결과
Fig. 14. Left-Right Difference result

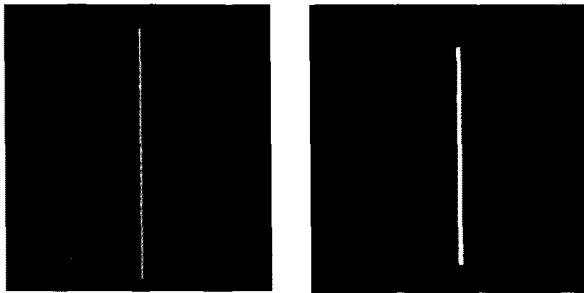


그림 15. 최소화 및 이진화 결과
Fig. 15. Minimize and Threshold result

표 2 자동검사 결과
Fig. 2 Automatic Test result

자동검사결과		수동 검증 결과			
정상	450	정상	455		
Dot불량	30	Dot불량	25	Dot불량 미검출	3
Line불량	20	Line불량	15	Line불량 미검출	2
합	500	합		500	
		Overkill	2%	Underkill	1%

픽셀 단위 이동한 후 원래 화면과 차분하여 직선 불량 최소화

값을 구한 결과 화면을 그림 (14)의 왼쪽과 오른쪽에 각각 보인다. 그리고, 그림 (14)의 두 화면을 최소화한 결과와 이를 이진화 하여 최종적으로 Line High off 불량 픽셀의 위치와 크기를 검사할 수 있었다. 이를 그림 (15)에 나타내었다. 이와 같은 기능을 갖는 화면 검사장비를 생산현장에 투입하여 500개의 시료를 대상으로 화면 검사장비의 신뢰성 시험을 하였다. 신뢰성 시험 결과를 표 2에 나타내었다. 자동검사결과 정상시료 450개, Dot불량 시료 30개, Line불량 시료 20개로 나타났으나 이를 다시 작업자가 목시검사 방법으로 수동 검증 한 결과 정상시료 455개, Dot불량 시료 25개, Line불량 시료 15개로 나타났다. 그러나, 장비에서 검출하지 못한 불량시료도 5개가 나타났으며 불량종류별로 나타내면 Dot불량을 검출하지 못한 시료가 3개, Line불량을 검출하지 못한 시료가 2개로 나타났다. 이 결과에 기초하여 개발된 화면 검사장비의 Overkill율을 구하면 이상불량수 10을 총 검사대상 시료수 500으로 나눈 백분율로 2%가 됨을 알 수 있었다. 또한, 개발된 화면 검사장비의 Underkill율을 구하면 미검출불량수 5를 총 검사대상 시료수 500으로 나눈 백분율로 1%가 됨을 알 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는 Mobile용 TFT-LCD 화면의 품질관리 및 검사기준과 동일한 기준에 의거하여 현장에 적용하기 쉬운 탁상형의 Mobile용 TFT-LCD 화면 검사 장비를 개발하였다. 그리고 개발된 장비를 사용한 실험에서, Dot High off 반복 검사 결과가 만족할 만한 수준임을 알 수 있었다. 또한 검사대상 시료에 대한 자동검사 결과와 작업자의 목시검사에 의한 수동검사 결과를 비교하여 육안검사에 비하여 개선된 결과를 얻을 수 있었다. 이를 기반으로 안정적인 수치화된 Mobile용 TFT-LCD 화면 품질 검사의 표준화 가능성을 제시하였다. 본 논문에서 제시한 가능성을 확인해 줄 수 있는 신뢰성 있는 데이터의 확보를 위해 다양한 종류의 불량을 지닌 Mobile용 TFT-LCD 시료를 확보하는 것이 향후 중요한 선결과제이다. 그리고 Dot High off 불량이나 Line High off 불량 이외에 편광판(Polarizer) 불량과 같은 다른 종류의 불량을 검출할 수 있는 자동검사 알고리즘이 지속적으로 개발되어야 할 분야라고 생각한다. 또한 본 논문에서 개발된 자동검사 알고리즘을 중대형 TV용 TFT-LCD 검사 장비 개발에도 사용한다면 본 논문의 결과를 확대 적용할 수 있는 좋은 방법이 될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 김재훈, "액정 디스플레이(LCD: Liquid Crystal Display) 기술의 현황과 전망," 재료마당, 제20권 제2호, pp. 4-12, 2007.
- [2] 신성장동력기획단, 신성장동력 비전과전략 보고서, pp. 1-18, 2008.
- [3] 강희권, "TFT-LCD Panel에서의 Line-Mura 검출 자동화 시스템 개발," 서울대학교 대학원, 2004.
- [4] 박성재, 김민수, 김준식, 주효남, "FPD 결함검사를 위한 Vision Inspection System 설계에 관한 연구," 공업기술연구소논문집, 제24권, pp. 123-136, 2005.
- [5] 조찬형, "LCD 광학 검사장치 개발에 관한 연구,"

- 급오공과대학교 산업대학원, 2007.
- [6] 김진수, "머신 비전을 이용한 LCD 패널 마크 인식," *성균관대학교 대학원*, 2007.
 - [7] 고민석, "TFT-LCD 표면 검사를 위한 라인스캔 영상의 재구성," *경북대학교 대학원*, 2006.
 - [8] 문경수, "Robust Regression을 이용한 TFT LCD의 MURA 검출에 관한 연구," *아주대학교 대학원*, 2008.
 - [9] 이유진, "LCD 결함 검사를 위한 영상처리 알고리즘에 관한 연구," *선문대학교 대학원*, 2006.
 - [10] 강성범, "TFT-LCD 패널의 패턴 영상에서의 고속 결함검출 및 결함분류," *서울대학교 대학원*, 2006.
 - [11] 이경민, 장문수, 박부건, "패턴 비교를 통한 TFT-LCD 패널의 결함 검출 방법," *전기학회 논문지*, 제57권 제2호, pp. 307-313, 2008.
 - [12] 한찬호, 권성근, 송규익, "휴대폰용 소형 LCD 디스플레이에서 감마 및 상관 색온도 보정을 이용한 색재현 성능 향상," *멀티미디어학회 논문지*, 제9권 제4호, pp. 451-459, 2006.

저자 소개



구영모(Koo Young Mo)
 1984년: 연세대학교 전기공학과 학사
 1986년: 동 대학원 전기공학과 석사
 1993년: 동 대학원 전기공학과 박사
 1998년: 삼성전자 선임연구원
 1999년~현재: 안양과학대학 IT학부 컴퓨터응용과 조교수

관심분야 : 신경회로망, LCD, 반도체 검사시스템, 마이크로 프로세서 응용

Phone : +82-31-441-1460

E-mail : ymkoo@ianyang.ac.kr



황만수(Hwang Mansoo)
 1991년: 알리오시오 전자기제공고
 1998년: 삼성전자(주) 주임연구원
 1999년: CTI반도체 선임연구원
 2000년~현재(주): 에이앤아이선임연구원

관심분야 : LCD, 반도체 검사시스템

Phone : +82-31-427-4114

E-mail : mshwang@anieng.com