

PDP ITO 결함 검출기술에 관한 연구

송준엽*, 박화영 (한국기계연구원), 정연욱(NRT), 김현종 (금오공대 대학원)

A Study on Inspection Technology of PDP ITO Defect

J. Y. Song*, H. Y. Park (KIMM), Y. U. Jung (NRT), H. J. Kim (KNUT)

ABSTRACT

The formation degree of sustain (ITO pattern) decides quality of PDP (plasma display panel). For this reason, it makes efforts in search defects more than 30 μ m. Now, the existing inspection process is dependent upon naked eye or SEM equipment in off-line PDP manufacturing process. In this study developed prototype inspection system of PDP ITO glass. This system creates information that detects and sorts kind of defect automatically. Designed inspection technology adopts line-scan method by slip-beam formation for the minimum of inspection time and image processing algorithm is embodied in detection ability of developed system. Designed algorithm had to make good use of kernel matrix which draws up an approach to geometry. A characteristic of area-shaped defects, as pin hole, substance, protrusion et al, are extracted from blob analysis method. Defects, as open, short, spots, et al, are distinguished by line type inspection algorithm. In experiment results, we could have ensured ability of inspection that can be detected with reliability of up to 95% in about 60 seconds

Key Words : PDP, ITO, Sustain(투명전극), Defect(결함), Inspection algorithm(검사알고리즘), Line-scan(라인주사), Image processing(영상처리)

1. 서론

1890 년대 음극선관(CRT, Cathode Ray Tube)이 출현한 이후 TV 는 일상생활의 가장 중요한 정보전달 매체가 되어 왔으며, 최근 들어 생활수준의 향상으로 소비자들은 대화면 TV 를 요구하게 되어 디스플레이 업계에서는 40 인치 이상 대화면의 평판 디스플레이(FPD, Flat Panel Display) 장치로 눈을 돌리게 되었다. 다양한 평판 디스플레이 장치 중에서 가장 주목받고 있는 디스플레이 장치는 플라즈마(plasma) 생성을 이용한 PDP(Plasma Display Panel)이다

플라즈마 는 기체 상태에 열을 가하게 되면 이온과 전자로 분리되어 전기를 띤 입자로 존재하게 되는 상태를 말하는데 일반적으로 PDP 에서의 플라즈마 생성은 열을 가하는 방법보다는 전기적인 방전을 통하여 얻어진다. 이 전기방전이 다음 pulse 에 의해 유지될 수 있게 하기 위해서 PDP front glass 에 투명전극(sustain)과 주사전극(scan)의 투과도를 고려하여 ITO(Indium Tin Oxide)로 박막 증착하는 공정을 시행한다.

하지만 완성된 디스플레이 장치의 품질을 좌우하는 화질(display quality)의 평가는 제조공정의 최종 단계에서 수행하는 점등표시검사에 의존하고 있는 현실이다. PDP 생산공정에서 특성부여 최우선 공정인 투명전극 형성공정 중에 발생하는 결함은 플라즈마의 지속적인 방전 유지를 방해하므로 화질(display quality)에 심각한 영향을 초래한다고 볼 수 있다. 본 연구에서는 ITO 전면코팅이나 일정하게 반복되는 패턴(pattern)에서 일정크기의 정규형상을 벗어난 부분을 결함으로 자동 검출하고, 검출된 결함의 위치, 종류, 사이즈 등을 체계적으로 분석할 수 있는 기반 시스템을 개발하고자 한다.

2. PDP ITO 공정분석

PDP front glass 에 두 개의 쌍으로 이루어진 투명전극은 PDP 의 방전유지 전극으로써 플라즈마가 형성된 후, 기체방전이 지속적으로 유지될 수 있도록 하는 중요한 역할을 한다. 투명전극으로써의 요구 조건은 가시광이 투과할 수 있도록 투과도 88%의

고투과율과 10~20Ω의 낮은 면저항치 등을 만족해야 하기 때문에 주로 ITO(Indium Tin Oxide)를 형성물로 채택하고 있다.

PDP ITO 를 성막하는 방법으로 여러 방식이 제시되고 있지만, In-Line 화를 통해 생산속도 조절이 용이하고, 박막의 밀착력을 배가시키는 대안으로서 진공상태에서 플라즈마의 높은 에너지를 이용하여 박막을 형성시키는 Sputtering(스퍼터링) 박막증착법이 대형 유리코팅에 있어 유일한 방법으로 대두되어 현실화되고 있다.

ITO 투명전극의 패턴형성은 균일한 두께로 ITO 전면코팅이 되어 있는 PDP glass 에 PDP 제조업체마다 고유의 노하우를 바탕으로 패턴의 간격, 두께 등을 고려하여 photo etching 공정을 실행한다.

photo etching 공정은 Fig. 1 에 제시된 것처럼 PDP 면에 스퍼터링법으로 ITO 를 박막증착 시킨 후 빛에 민감한 물질인 감광액(PR; Photo Resist) 을 도포하고, Mask 에 그려진 패턴에 빛을 통과시키는 노광(Exposure)공정 후에 빛을 받은 부분의 막을 현상시키는 현상(Development) 공정을 거친 다음, 패턴형성을 위해서 불필요한 부분을 선택적으로 제거시키는 식각(Etching)공정의 순서로 진행되고 있다.

하지만 PDP ITO 제조공정 중 발생할 수 있는 투명전극상의 결함은 완성된 PDP 제품의 품질을 결정하는 중요한 요인인 화질(display quality)에 심각한 영향을 초래한다.

현재 PDP ITO 제조공정에서 실시하는 품질검사에서 일정하게 반복되는 ITO 패턴(pattern)상에서 일정크기(100 μm이내)의 정규형상을 벗어난 부분을 결함으로 검출하고 있다. 이때 존재할 수 있는 대표적인 결함으로는 Fig. 2 에서 보이는 바와 같이 오픈(open), 핀홀(pin hole), 돌기(protrusion), 쇼트(short), 이물질(substance) 등을 들 수 있으며, 이외에도 스크래치(scratch), 얼룩(spot) 등이 대상이 될 수 있다.

이들 결함의 발생원인으로서 원자재 오염에 의한 코팅막 박리, 크린룸(Clean Room)의 Particle, 작업자의 취급 부주의, 원자재 보관시 오염, 세정설비 능력부족 등을 들 수 있으며, 차후에 패턴의 불량이나 빛 산란에 의한 외관불량으로 연계되는 것으로 보고되고 있다.

따라서 PDP 혹은 PDP glass 제조업체에서는 공정의 Inter-process 상에서 품질을 자동으로 검사하고, 효율적으로 분석할 수 있는 기술체계를 마련하여, 최종적으로는 상기 거론한 결함발생을 최소화 할 수 있는 공적 최적화 기술의 기반 확충을 모색하고 있는 실정이다.

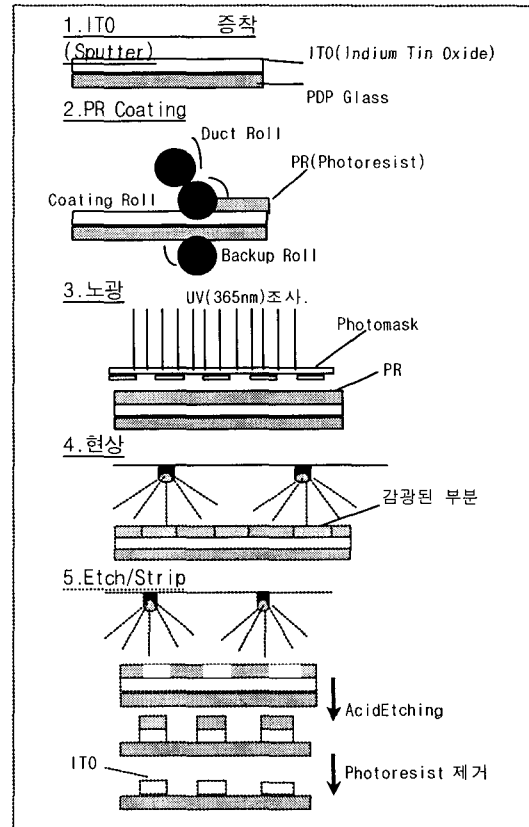


Fig. 1 Process of photo etching

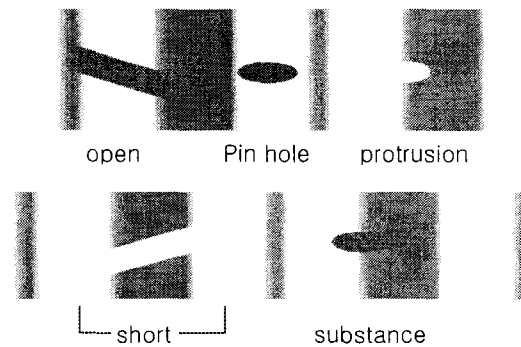


Fig. 2 Representative defects of PDP ITO

3. 검사 시스템의 설계 및 제작

앞장에서 거론한 결함검출 방안으로 현재 육안이나 SEM 장비를 이용하여 Off-Line 상에서 이루어지고 있는 검사기능을 본 연구에서는 On-Line 상에서 비전센서를 이용하여 자동으로 검사하고, 이제까지 수작업에 의해 실행이 불가능하였던 결함종류를 분류한 정보(결함의 가중정도)를 생성시켜 최종

적으로 생산공정조건을 최적화하는데 Feedback 시킬 수 있는 PDP ITO 검사시스템을 고안하게 되었다. 고안된 시스템의 주요 구성부는 Fig. 3 에서와 같이 검사센서부, 구동스테이지, 조명계로 이루어져 있다. 특히 검사방식으로 비전센서를 채용하기 때문에 측정하고자 하는 대상물의 특성에 따라 적합한 배율과 카메라의 구성 및 카메라 FOV(Field Of View) 등을 고려한 최적의 시스템 설계 및 구성에 중점을 두고 진행하였다. 시스템 구성요소들의 주요사양은 다음과 같다.

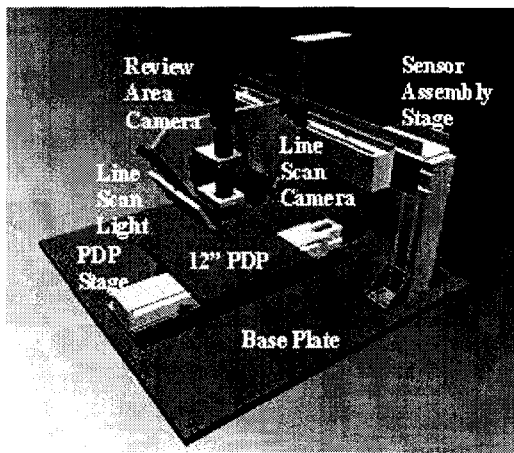


Fig. 3 Layout of PDP ITO inspection system

검사 센서부는 1 차센서로 연속적인 영상획득과 검사속도의 배가를 위해 Line-scan 카메라(Takenaka, TL-5150UFD)로 검사완료 후 특정 결함에 대한 정밀검사를 위해 Review 카메라(Moritec, MSG6-2200S)를 채용하였다.

구동 스테이지는 검사 센서 스테이지(X 축 구동)와 PDP 스테이지(Y 축 구동)로 개별 구성하고, PDP ITO 를 진공 흡착하는 진공척(평균도 10 μm이내)을 채용시킴으로서 ITO 생산공정 상의 Inter-process 검사, 즉 대면적 검사에 대비하도록 고안하였다. 또한 스테이지는 반복정도 ±5 μm의 정밀 고속이송이 가능하고, PDP 면이 기울어져 있을 경우 획득되는 이미지의 질적 저하를 방지하기 위해 크로스롤러 베어링과 스텝모터를 이용하여 제작하였다.

본 연구에서 채용한 Line-scan 카메라는 동일한 조명조건 하에서도 스캔 속도가 변하는 경우 입력되는 광량에 차이가 발생할 수 있기 때문에 검사성능에 크게 영향을 미친다. 따라서 본 시스템에 채용한 조명계는 광효율을 높이기 위해 100W 급 할로젠 램프를 광원으로 사용하였고, Light Guide 는 플라스틱에 비해 clad 경이 작은 Glass 광파이버를 사용하였다. 또한 Line-scan 카메라의 공극률을 최소화

하여 FOV 를 균일하게 조명할 수 있도록 하고, 퍼짐성을 갖는 광파이버(Numerical Aperture: 0.5)의 보완책으로 Light Guide 의 앞단에 Condensor Lens 를 장착하여 지향성을 갖게 조명계를 설계하였다.

고안된 라인조명의 길이 L(약 120mm)은 식(1)에 근거하여 설계되었다.

$$L = F + (2 \cdot (\frac{WD \cdot NA}{1 - (NA)^2})) \dots\dots\dots (1)$$

여기서, F : Line-scan camera 의 FOV,

WD : Condenser lens 의 working distance

NA : 광파이버의 numerical aperture(NA)

이상 구성품들의 설계 사양을 기반으로 장비시스템을 개발하였다. 개발한 시스템에서는 제어, 검사 알고리즘, 평가분석 기능이 부가된 S/W 를 탑재시켜, 검사공정의 단계별 상황을 확인하거나 조건변수(FOV, WD 등)를 수정·보정할 수 있도록 하였다.

현재 PDP 제조공정에서 기준으로 두고있는 defect size 는 ITO 전면코팅에서는 100 μm이하, ITO 패턴 형성공정에서는 30 μm 이하를 요구하고 있다. 상기 검사기준을 토대로 고안된 시스템에서는 검출정도 10 μm정도에서 30 μm이상의 결함은 95% 이상 검출하고, 총 검사시간 60 초 내외에서 Defect Map 까지 제작할 수 있도록 준비하였다.

4. 검사 알고리즘

이상 본 연구에서 구성한 하드웨어 시스템을 토대로 핵심기능인 결함검사 알고리즘(algorithm)을 개발하였다. 2장에서 거론된 결함종류들에 대해서 다음과 같이 면적형 결함과 라인형 결함으로 구분하여 차별적인 알고리즘을 개발, 적용토록 하였다.

- (1) 면적형 결함 : pin hole, substance, protrusion 등
- (2) 라인형 결함 : open, short, scratch, spot 등

본 연구에서 고안한 알고리즘에 대한 상세한 설명을 이하에 기술한다.

4.1 면적형 결함의 검출 알고리즘

면적형 결함의 특징을 살펴보면 PDP ITO 패턴 상에서 분포양상에 차이가 있기 때문에 Kernel matrix(2x2 혹은 3x3)를 이용한 공간적인 접근(Spatial approach)에 근간을 두고, 패턴의 위치와 거리, 패턴의 명도차이에 의한 이진과정과 결함의 위치와 크기를 매치(Match)시켜 비교, 판단하는 Blob analysis 방법으로 구현하였다. 상세한 면적형 결함

의 검출 알고리즘은 Fig. 4 이다.

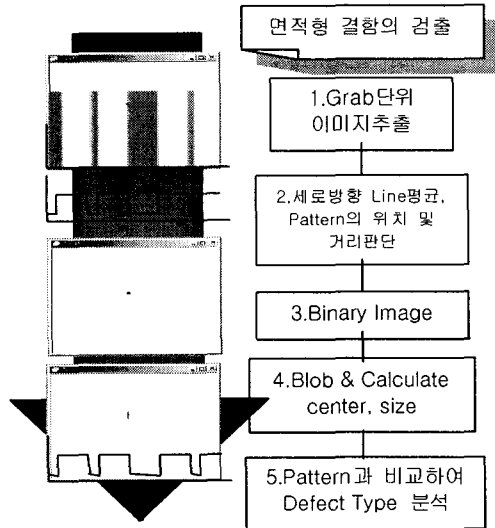


Fig. 4 Detection algorithm for area-shaped defects

4.2 라인형 결함의 검출 알고리즘

라인형 결함에 대해서는 기하학적인 접근 방식 (Geometric approach)을 이용하여 알고리즘을 구성하였다. 우선, 획득된 이미지의 노이즈 제거를 위한 전 처리과정으로 중간값 필터링(Median filtering)을 행한 후, 경계선 검출(Edge detection) 및 검사윈도우 생성, 높은 공간분포도를 보이는 경계선의 추출 등 일련의 영상처리 과정을 거쳐 최종적으로 결함의 크기 및 위치를 계산, 추적할 수 있도록 고안하였다. Fig. 5 는 라인형 결함의 검출알고리즘에 대한 상세한 절차를 도식한 것이다.

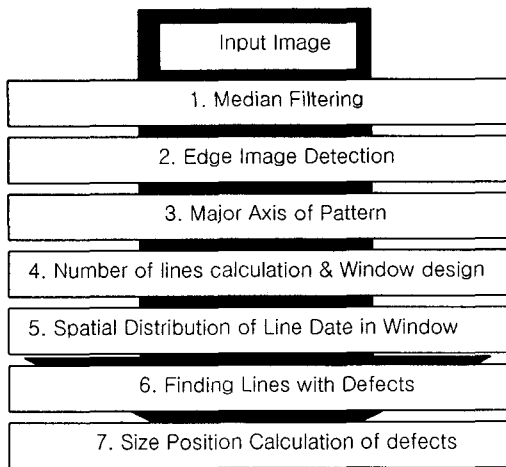


Fig. 5 Detection algorithm for line-shaped defects

5. 성능실험 및 분석

본 연구에서 개발한 PDP ITO 검사시스템은 기존의 Off-line 검사장비와 달리 공정 상의 Inter-process 검사장비로서의 관점, 즉 신속성, 검출 신뢰도에 비중을 두고 구축하였다. 따라서 본 연구에서 검사시스템의 성능목표, 즉 30 μm 이상의 결함 검출능력 95% 이상, 42 인치 PDP 대상 검출시간 60 초 내외의 실현성 여부를 성능 시뮬레이션 및 검사실험을 통해 확인하여 보았다.

본 연구에서 구성한 검사시스템은 12 인치 PDP ITO 를 대상으로 적용한 Prototype 시스템으로 최대 검사영역 300mm×300mm 를 수용할 수 있다. 따라서 12 인치 PDP 의 실제 검사영역 210mm×230mm 에 대한 검사시간(scan 시간/회 * scan 회수)을 측정하고, Fig. 6 에서와 같이 실제 42 인치(924mm×533mm) PDP 에 대한 검사시간을 추정하여 보았다.

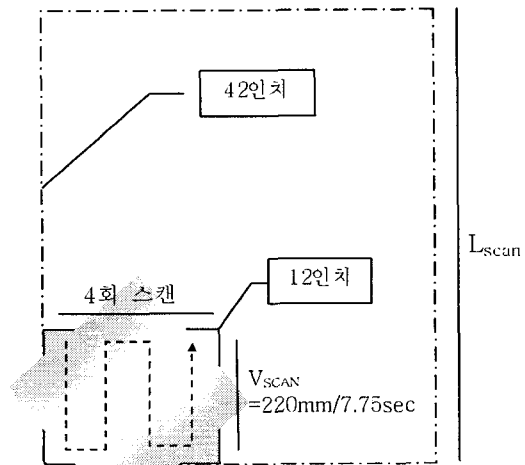


Fig. 6 Estimation of inspection time for 42" PDP

개발시스템에서는 Line-scan 카메라를 이용한 영상 획득에 의한 결함검출 과정이 거의 동시에 진행되는데, 1 회 스캔 완료 후 검출알고리즘 구동으로 인한 약 1 초간의 시간지연이 발생하는 것으로 파악되었다. 따라서 42 인치 PDP 검사에 소요되는 검출시간을 식(2)에 근거하여 추정하면 스캔거리, $V_{scan} = 28.4 \text{ mm/s}$, 스캔회수, $N_{scan} = 9$ 회로서 현 시스템 (Single scan processor) 하에서는 5 분 11 초 정도가 소요된다.

$$T_{tact} = N_{scan} \left[\frac{L_{scan}}{V_{scan}} + t_{processdelay} \right] \dots \dots \dots (2)$$

$$= 9 \times \left[\frac{924[mm]}{28.4[mm/sec]} + 2[sec] \right] \approx 31 \text{ lsec} = 5\text{분 } 1\text{초}$$

여기서, N_{scan} : Line camera 의 스캔회수
 L_{scan} : 측정대상의 길이방향 스캔길이
 V_{scan} : Line camera 의 초당 스캔범위
 $t_{process-delay}$: 결함검출 소요 지연시간

하지만 실장형 시스템에서 Dual-scan(Dual vision) processor 로 센서부를 구성하여 스캔범위를 2 배 ($V_{scan} = 56.8 \text{ mm/s}$, $N_{scan} = 4$ 회)로 확대시키고, Fig. 7 과 같은 Defect Map 구현시간을 최소화한다면 본 연구에서 목표로 하고 있는 42 인치 PDP 의 검출시간으로 65 초 정도를 확보할 수 있을 것으로 평가된다.

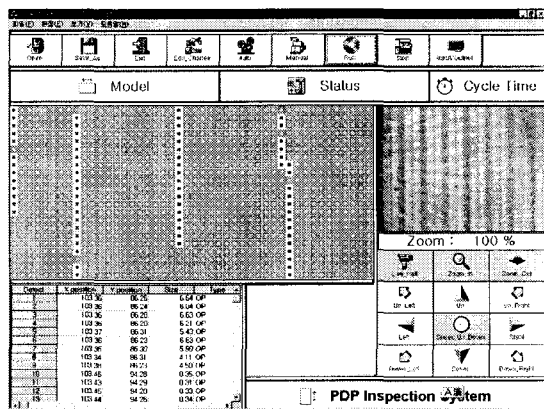


Fig. 7 Defect map of PDP ITO glass

한편 개발시스템의 검출능력을 평가하기 위하여 채용된 Line-scan 카메라에서 획득한 영상을 결함알고리즘 처리과정을 거친 블록 중 10 개를 샘플링하여 SEM 장비를 활용하여 검출되는 결함 수와 비교하여 보았다. 그 결과가 Table 1로서 본 연구에서 목표로 하고 있는 30 μm 이상의 결함 검출능력 95% 이상을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

6. 결 론

현재 PDP 생산공정 상에서 보면 투명전극(혹은 버스패턴) 형성 정도가 최종 제품의 품질(화질)을 결정한다는 인식 하에서 최소 30 μm 이상의 결함을 100% 검출하는데 심혈을 기울이고 있다. 따라서 본 연구에서는 육안이나 SEM 장비를 이용하여 Off-line 상에서 이루어지고 있는 검사기능을 On-line 상에서 자동으로 검사하고, 결함종류를 분류한 정보(결함의 가중 정도)를 생성시킬 수 있는 Prototype 검사시스템을 구축하고, ITO 상에 존재하는 hole, particle, open, short, speckle 등을 검출, 분류할 수 있는 알고리즘을 개발하였다.

Table 1. Detection efficiency of developed system

| Block | SEM 장비에서 검출된 결함의 수, A | 알고리즘에서 검출된 결함의 수, B | 결함검출 성적지수 B/A |
|-------|-----------------------------|---------------------------|---------------------|
| 1 | 42 | 40 | 95% |
| 2 | 26 | 25 | 96% |
| 3 | 35 | 33 | 94% |
| 4 | 16 | 15 | 94% |
| 5 | 23 | 22 | 96% |
| 6 | 46 | 45 | 98% |
| 7 | 46 | 46 | 100% |
| 8 | 32 | 31 | 97% |
| 9 | 82 | 81 | 99% |
| 10 | 42 | 41 | 98% |
| | | 평균 | 97% |

개발시스템의 성능을 평가한 결과, 30 μm 이상의 결함 검출능력 95% 이상을 확보하게 되었으며, 42 인치 PDP 대상 검출시간 60 초 내외의 실현성을 제시할 수 있게 되었다.

향후에는 개발시스템을 토대로 Dual-scan processor 및 검출 정도의 최적화를 위한 Auto-focus 기구부를 채용한 메커니즘과 검사환경의 청정화를 개선하는 현실적인 연구를 진행시킬 계획이다. 또한 검사결과와 분석기능을 보완하고, 생산공정 상에서의 특유의 공정변수들과 연계시킬 수 있는 연구로 발전시킨다면 PDP 생산성 향상, 수율(yield) 및 품질개선에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

1. 이호영, "스퍼터링 박막형성의 기본원리," Georgia Institute of Technology
2. 이상윤, 김기홍, 최이배, 이형석, 임쌍근, "PDP 검사기술의 개발동향," 한국 정밀공학회지, 제 18 권, 11 호, pp. 28-33, 2001.
3. 박화영, 송준엽 외, PDP 요소기술 개발, 연구보고서, 산업기술연구회/한국기계연구원, 2002.
4. 岩井 壽弘, 越石 健司, ディスプレイ部品 材料 最前線, 工業調査會, 2002. 10.
5. 安藤 久仁夫, 外, 最新プラズマディスプレイ製造 技術, プレスヅナル, 1997.