

TFT-LCD 산업에서의 공정관리 A Process Control in TFT-LCD Industries

조 중 형¹⁾, 남 호 수²⁾, 이 현 우³⁾

¹⁾StatSoft Korea, 서울시 송파구 오금동 33-10 마스텀빌딩

²⁾동서대학교, 시스템경영공학과, 부산광역시 사상구 주례2동 산 69-1

³⁾(주)한국신뢰성기술서비스, 서울시 송파구 오금동 33-10 마스텀빌딩

ABSTRACT

TFT-LCD(박막 트랜지스터 액정 디스플레이, Thin Film Transistor - Liquid Crystal Display) 산업은 현재 국가의 기간산업으로서 국제경쟁력을 갖추고 있는 몇 안되는 산업 분야 중 하나이다.

따라서, 본 논문에서는 통계적 공정 관리 및 품질 관리 관점에서 TFT-LCD 공정의 특징과 이에 필요한 요소들을 제안하고자 한다.

주요어 : TFT-LCD 공정, 통계적 공정 관리, TFT-LCD 공정의 특징

1. 서론

LCD 산업은 기술이 발전함에 따라 그 수요가 증가해 왔으며, 이미 대규모 시장을 형성하고 있다. 특히 TFT-LCD는 산업의 발전에 따라 PC, 노트북뿐만 아니라 PDA와 이동전화, TV에 이르기 까지 그 분야와 활용도가 증가하고 있으며, 세계적으로 빠른 속도로 확산되고 있다.

또한, TFT-LCD는 디스플레이 크기로 인해 영역을 확대하지 못하던 한계를 기술적으로 해결함으로써 타 디스플레이에 비해 월등히 우수한 장점으로 그 영역과 시장을 확대하고 있다.

하지만, 시장이 커지면서 세계적으로 많은 업체들이 TFT-LCD Panel 제조에 뛰어들고 투자와 공급을 늘리면서 공급이 수요를 넘어서는 과잉공급 현상이 나타나 현재 공급업체들 간의 경쟁이 매우 심화되고 있는 상황이라 할 수 있다.

이러한 상황에서 TFT-LCD Panel 제조업체들은 경쟁력을 갖춘 기업으로 살아남기 위하여

수많은 노력을 기울이고 있으며, 특히 제품의 품질을 향상시키고 효율적인 생산 라인을 확보하기 위해 총력을 기울이고 있다. 수요와 공급의 법칙은 LCD산업에서도 예외가 될 수 없으며, 따라서 최고의 품질이 아니면 소비자로부터 외면당하는 것은 당연한 논리라고 할 수 있다.

그러므로, 현재는 그 어느 때보다도 생산의 효율성을 유지하면서 품질을 향상시킬 수 있는 도구인 통계적 공정 및 품질 관리 방법의 중요성이 부각되는 시기라 할 수 있다.

따라서, 본 논문에서는 TFT-LCD 공정의 특징과 함께 통계적 공정 및 품질 관리 관점에서의 타 산업과의 차이점 및 이에 기초한 공정관리 방법론 등을 논하고자 한다.

2. TFT-LCD 공정의 특징

TFT-LCD 공정은 다음과 같이 크게 네부분으로 나눌 수 있다.

- TFT Array
- Color Filter 공정
- 액정 공정
- Module 공정

각 공정의 일반적인 제조과정과 TFT-LCD 공정의 특징을 간략하게 살펴보면 다음과 같다.

2.1. TFT Array 공정

TFT Array 공정은 TFT(박막 트랜지스터) 기판을 형성하는 공정으로, Silicon 반도체 공정과

매우 흡사하다.

TFT 기판은 종류와 기능이 서로 다른 박막(Thin Film)들이 여러 층(Layer)을 형성하고 있으며, 각 층을 이루고 있는 박막들은 각각의 패턴에 따라 패턴을 형성하는 공정을 거치게 된다.

각 박막 층의 패턴을 형성하는 공정은 증착(Deposition), 세정(Cleaning), 사진(Photolithography), 식각(Etching), 검사(Inspection) 등의 과정으로 이루어져 있으며, 각각의 박막마다 이러한 과정을 반복적으로 거쳐 각각의 패턴을 형성하고 여러 층을 이루어 TFT 기판을 형성하게 된다.

2.2. Color Filter 공정

Color Filter 공정은 색상을 표현할 수 있는 화소를 배열한 기판을 형성하는 공정으로, TFT Array 공정과 그 과정이 유사하다.

TFT-LCD는 각 셀이 자체 발광할 수 없기 때문에 Back Light의 빛을 통하여 발광하게 된다. 하지만, Back Light는 백색광이기 때문에 색상을 구현하기 위해 Color Filter를 필요로 하며, Color Filter에는 색상을 구현하기 위해 RGB를 표현할 수 있는 화소 기판을 형성하게 된다.

2.3. 액정 공정

액정 공정은 TFT Array 공정을 거친 TFT 기판과 Color Filter 공정을 거친 Color Filter 기판을 합착하고, Panel 크기대로 절단한 후 TFT 기판과 Color Filter 기판 사이에 액정(Liquid Crystal)을 주입하는 과정이다.

2.4. Module 공정

Module 공정은 액정 공정까지 거친 TFT-LCD Panel에 신호를 전달하기 위한 PCB 기판을 연결하고, Back Light Unit을 부착하여 Panel을 완성하는 과정이다.

2.5. TFT-LCD 공정 특징

TFT-LCD Panel은 매우 미세한 Pixel로 이루어져 있으며, 각 Pixel 내에 하나의 TFT가 존

재하여 TFT의 크기는 Pixel 보다 더 작아지게 된다. 게다가 R, G, B 각 Pixel마다 TFT가 위치하는데, 일반적으로 표시하는 해상도에 따른 Pixel의 수는 R, G, B 3개의 Pixel을 하나의 Pixel로 규정한 단위이기 때문에 실제로는 3배의 Pixel이 한 Panel에 존재하게 된다. 예를 들어, TFT-LCD Panel의 최대 해상도가 1280×1024 일 경우 Pixel의 수가 $1280 \times 1024 = 1,310,720$ 개가 된다. 하지만 하나의 Pixel은 R, G, B 3개의 Pixel을 하나의 Pixel로 규정한 것이므로 실제 존재하는 Pixel의 수는 $1,310,720 \times 3 = 3,932,160$ 개가 되며, 이 3,932,160개의 Pixel 내에 TFT가 각각 존재하는 것이다. 결국, 동일한 크기의 Panel이라면 해상도가 높을수록 Pixel은 더 미세한 크기로 존재하게 된다. 따라서, TFT-LCD 공정은 매우 높은 정밀도(Accuracy)를 요하는 공정이라 할 수 있다.

TFT-LCD Panel은 비교적 넓은 평판인 경우가 많기 때문에 Panel의 극히 일부에라도 불량화소나 얼룩 등의 결점이 존재한다면 이 하나의 Panel은 불량품이 되게 된다. 반도체 Wafer의 경우도 비슷하지만 비교적 그 크기가 작기 때문에 불량이 존재하는 셀을 제외한 나머지는 정상적으로 활용이 가능한 경우가 많은 것이 차이가 있다고 할 수 있겠다. 따라서, TFT-LCD 공정은 한 제품 내의 위치에 대한 품질의 균일도(Uniformity)가 타 산업에 비해 더 중요시 되는 공정이라 할 수 있다.

TFT-LCD 공정은 타 산업의 공정에 비해 상당히 복잡하고, 제조에 소요되는 시간이 상당히 긴 공정이라고 볼 수 있다. 공정이 복잡한 만큼 불량이 나타날 가능성이 많고 이전의 단위 공정이 이후의 단위 공정에 영향을 줄 가능성이 매우 많다고 할 수 있다. 특히, TFT Array 공정의 경우, 각 층(Layer)마다 패턴 공정이 반복되므로 먼저 패턴이 형성된 층의 작업 상태가 이후에 패턴이 형성될 층에 영향을 줄 수밖에 없게 된다.

3. 통계적 공정 관리 및 품질 관리 관점에서의 TFT-LCD 공정의 특징

현재 대부분의 제조업체들이 통계적 공정 관리 및 품질 관리의 중요성을 인식하고 있으며, 특히 반도체나 TFT-LCD 산업과 같은 첨단산업에

서는 통계적 공정관리와 품질관리 활동이 그 어느 산업부문 보다 더욱 중요하게 인식하고 있고 결점이 적은 제품이 아니라 무결점의 제품을, 보다 높은 수율이 아니라 최적의 수율을 갖는 공정을 만들기 위해 최선을 다하고 있다.

또한, 반도체나 TFT-LCD 등의 특정한 산업 분야에 더 합리적인 통계적 공정 관리 및 품질 관리 방법들이 많이 연구되고 개발되고 있는 실정이다. 여기서는 통계적 공정 관리 및 품질 관리 관점에서 전통적이고 일반적이라 생각되는 방법은 제외하고 TFT-LCD 공정 또는 이와 유사한 (응용 가능한) 상황에서 주의해야할 사항이나 특징에 대해 설명하고자 한다.

3.1. 균일성(Uniformity)

앞서 설명한 것과 같이 TFT-LCD 공정에서는 제품의 특성상 균일성이 무엇보다 중요시 된다고 할 수 있다. 기본적으로 한 Panel의 모든 위치에서 품질이 좋아야 함을 물론이거니와 특정 위치의 품질이 다른 위치의 품질보다 떨어진다면 그 Panel은 양품으로 분류되기 어려울 것이다.

따라서, 각 특성별로 이러한 균일성을 관리하기 위한 노력이 필요할 것이다. Panel의 균일성을 관리하기 위해 동일한 Panel의 여러 위치에서 측정된 데이터를 각각 모니터링 하는 방법을 사용할 수도 있으나, 이런 방법보다는 균일성을 대표할 수 있는 통계량을 산출하고, 목표 값에서 전반적으로 치우쳐진 정도를 나타내는 통계량을 산출하여 함께 모니터링 하는 것이 효율적일 것이라 판단된다.

3.2. 전후 공정 간의 연관성

TFT-LCD 공정은 타 산업에 비해 매우 복잡하여 품질을 저하시키는 요인이 상대적으로 많다고 할 수 있다.

따라서, TFT-LCD 공정은 TFT Array 및 Color Filter 공정, 액정 공정, Module 공정 간의 전후 공정 연관성뿐만 아니라 각 공정 내의 단위 공정 간의 전후 공정 연관성 또한 중요시된다. 이는 TFT-LCD 공정의 복잡성을 고려한다면 너무

나 자명한 사실이다.

이러한 전후 공정간 연관성은 후공정의 결점 수 또는 불량률(불량 Panel 여부), 특정한 품질 특성 등에 전공정들의 5M1E 요인이나, Panel 위치, 특정한 품질 특성 등이 어떻게 영향을 미치는지를 통계적인 검정 방법(t-test, F-test, χ^2 -test, K-W test 등)이나 통계적 모형(Multiple Regression, GLM, Logistic Regression, Decision Tree 등)을 통해 현재 공정의 상태를 판단할 수 있다.

특히, TFT Array 공정 내에서는 각 층(Layer) 마다 패턴 공정을 반복적으로 거치므로 이전에 공정이 진행된 층의 패턴이 이후에 진행된 패턴 공정에 영향을 미치게 되는 경우가 많다. 또한, 사진(Photolithography) 공정 후의 패턴이 식각(Etching) 공정 후의 패턴에 영향을 주는 경우가 많다.

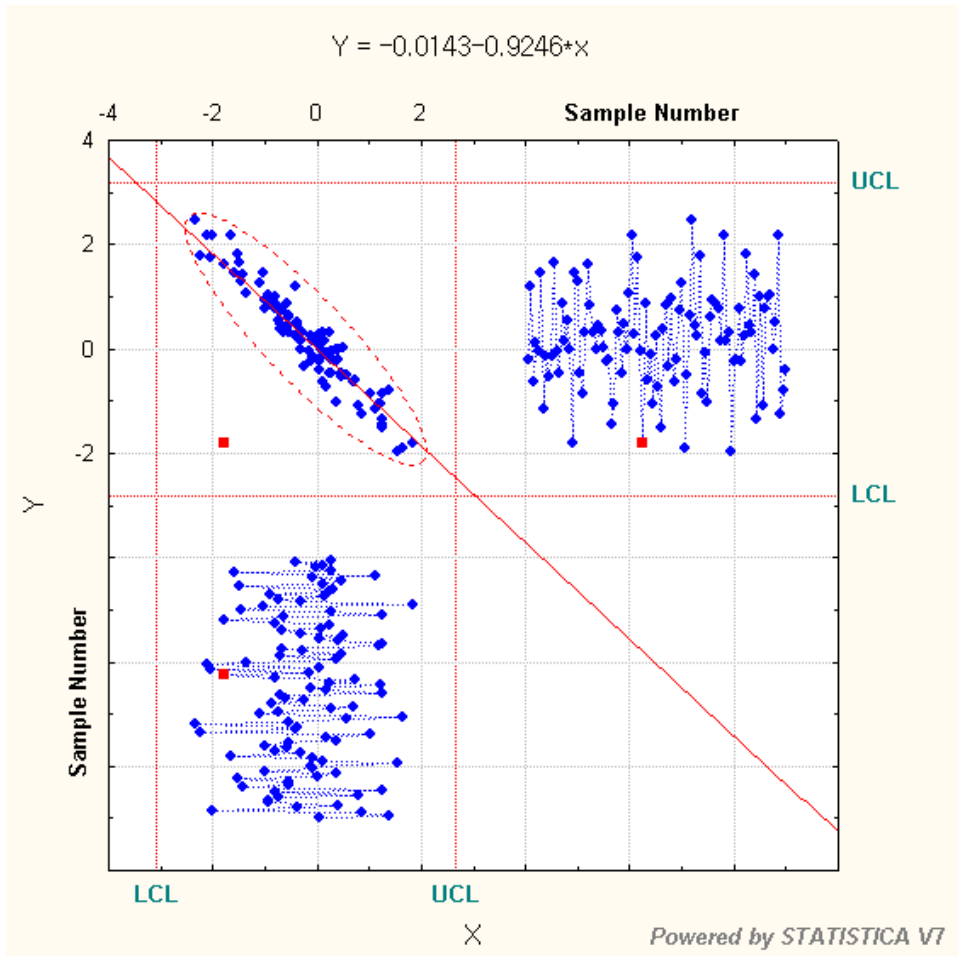
이런 경우 역시 TFT Array 공정 내의 단위 공정 간의 연관성 정도와 관계를 통계적인 검정 방법이나 통계적 모형을 통해 효율적으로 현재 공정의 상태를 판단할 수 있다.

3.3. 박막 층(Layer)들 간의 정렬(Align) 정도

TFT Array 공정에서는 여러 박막들이 층(Layer)을 이루게 된다. TFT Array는 매우 미세하기 때문에 각 층들이 서로 다른 방향으로 치우치지 않고 얼마나 잘 정렬되었는지가 불량에 영향을 주는 하나의 중요한 요인이 된다.

이러한 박막 층간의 정렬 정도를 측정하기 위해서는 정렬 기준으로부터 가로(X), 세로(Y) 방향으로 각각 얼마나 치우쳤는지를 측정하여 정렬 정도를 판단한다.

이때 측정 데이터는 X와 Y의 쌍으로 이루어진 데이터이므로 각각 독립적으로 통계량을 산출하여 관리하기 보다는 Hotelling T^2 등의 다변량 통계량을 산출하여 관리하거나 치우친 방향을 판단하기 위한 값으로 변환하여 관리하는 등 서로 간의 관계를 고려한 관리가 더 합리적이라 판단된다.



<그림 3.1> 영향 관계가 있는 두 변수의 관리

<그림 3.1>은 서로 연관이 있는 두 변수를 각각 단변량으로 관리할 때에는 나타나지 않은 문제가 다변량으로 관리할 때에 나타날 수 있음을 보여주고 있다.

3.4. 미세한 변화에 대한 감지

TFT-LCD 공정은 매우 복잡하기 때문에 품질에 영향을 미치는 요소들이 매우 많고 따라서 공정에 이상이 발생했을 때나 제품에 동일한 불량률이 다량 발생했을 때 그 원인을 찾아내기가 쉽지 않을 것이다. 특히, 이런 이상의 원인이 특정한 단위공정에서 발생한 것이 아니라, 여러 단위공정을 거치면서 조금씩 쌓여서 나타난 것이라면 각 단위공정에서만 그 원인을 찾기란 더 쉽지 않을 것이다.

이런 경우, 여러 단위 공정들의 설비성 또는 환경성 데이터들의 연관성을 고려하여 모니터링 또는 관리하는 방법을 사용하면 각 단위공정만 모

니터링하거나 관리할 때에는 나타나지 않았던 문제들이 나타나는 경우가 많을 수 있다. 이때 적절한 통계적 방법으로는 주성분(Principle Component)을 이용한 다변량 기법 등을 들 수 있다. 여러 공정에서 획득한 데이터들의 주성분(변수간의 연관성이 존재하는 경우)을 추출하여 차원을 축소하고, 이 주성분을 가지고 Hotelling T^2 등의 다변량 통계량을 산출하여 관리하거나 산점도(Scatter Plot)를 이용하여 2차원적으로 관리하거나 주성분을 이용하여 Data를 Grouping하여 차이가 있는 Data들의 특성을 분석할 경우 각 단위 공정에서는 나타나지 않았던 문제들을 발견할 수 있는 경우가 많다.

3.5. 추적성

TFT-LCD Panel 제조시 사용되는 주재료인 원판 유리(Glass)는 제조기술이 발전함에 따라 점점 커지고 있다. 이것은 한 원판에서 제조될 수

있는 Panel의 수가 점차 증가한다는 것을 의미한다고 할 수 있다. TFT-LCD Panel은 액정공정에서 원판 크기의 TFT 기판과 Color Filter 기판이 합착된 후 각 제품(Panel)의 크기로 절단 되는데, 이때 TFT Array 공정에서와는 달리 Lot이 구성된다. 즉, 동일한 흐름을 가지고 있는 Lot이 재구성되기 때문에 추적성이 중요한 요소가 된다. 이 추적성이 확보되지 않으면 액정 공정에서 발견되는 이상의 원인을 TFT Array 공정에서 찾는 등의 활동은 할 수 없을 것이다.

물론 고려하여야 할 점이 더 많겠지만 이러한 추적성을 확보하기 위해서는 원판 유리(Glass) 단위나 더 세분화된 Panel 단위로 데이터를 구성하고 이를 공정간 연결할 수 있도록 해야 할 것이다.

4. 결론

모든 제조 공정들이 그렇듯이 품질을 높여 불량률을 줄이고, 효율적인 관리를 통하여 관리에 소요되는 비용을 줄이는 것 등이 제조 공정에 있어 중요한 요소일 것이다. 이는 말처럼 쉽지만은 않은 것이 사실이다. 이제는 많은 제조업체들이 통계적인 방법을 도입하여 데이터에 근거하여 합리적으로 공정과 품질을 관리하고 있다.

하지만, 통계에 대한 배경지식 부족 등의 어려움으로 현장에서는 통계적인 방법을 활용하여 의사를 결정하고, 문제를 해결하는 것이 쉽지 않을 것으로 판단된다. 통계적인 방법을 오용하지 않고 적절하게 활용하기 위해서는 데이터의 특성에 따른 적절한 통계적 방법을 적용하고, 통계적인 방법을 통해 나타난 결과물들에 대해 정확하게 해석할 수 있는 능력이 필수적일 것이다.

이러한 이유로 통계적인 방법을 이용한 공정 관리 및 품질 관리 등을 시스템화 하였을 경우, 적잖은 오용과 결과의 해석적인 오해가 발생하는 경우가 많을 것으로 생각된다. 이를 극복하기 위해서는 일반적인 통계적 방법만을 제공하는 시스템 보다는 각 산업 분야마다 유용하게 활용할 수 있는 방법을 시스템을 통하여 활용할 수 있도록 하여야 할 것으로 판단된다.

통계적인 방법이 제공해주는 것은 문제해결이나 의사 결정 자체가 아니다. 데이터를 통해 상황(공정의 상태 등)을 올바르게 파악할 수 있는 자료

를 다각도로 제공하는 것이 통계적인 방법의 역할인 만큼, TFT-LCD 공정에서도 TFT-LCD에 맞는 통계적 방법을 잘 활용하고 결과물을 올바르게 해석하여 적절한 의사결정을 통해 효과적으로 공정을 관리하고 품질을 향상시켜 나가야 할 것이며, 이러한 특정한 공정에 필요한 관리 방법들이 계속해서 개발되어야 할 것이라 판단된다.

참고문헌

- Levinson, Harry J. (1999). Lithography Process Control, Society of Photo Optical
- 노봉규 외. (2000). LCD ENGINEERING, 성안당
- STATISTICA System Reference(2004). StatSoft Inc.
- STATISTICA Electronic Manual. StatSoft Inc.
- <http://www.displaybank.com/>