

## 회귀분석을 이용한 ITO 코팅유리기판의 표면균일도와 운전변수의 상관관계 분석

김면희\*(경북대 기계공학), 이상룡(경북대 기계공학), 이태영(구미 1 대학 자동차기계공학전공),  
배준영(거창기능대 메카트로닉스)

Relationship between Working Parameter and Surface Nniformity of ITO coated Glass  
Substrate using Regression Anlalysis

M.H.Kim (Mech. Eng. Dept. KNU), S.R.Lee(Mech. Eng. Dept. KNU), T.Y.Lee(Auto. Mech. Eng. Dept. Kumi  
College), J.Y.Bae(Mechatronics Dept. KCPC)

### ABSTRACT

In recent year, OLED(organic light emitted display) is used as the next generation device of FPD. OLED have been replacing the flat panel display device such as LCD, STN-LCD and TFT because this device is more efficient, economic and simple than those FPD devices, and this need not backlight system for visualization. The performance and efficiency of OLED is related with surface defect of ITO coated glass substrate. The typical surface defect of glass substrate is non-uniformity and bad surface roughness. ITO coated glass substrate is destroyed for inspection about surface roughness and non-uniformity. Generally detection of the defects in the surface for ITO coated glass substrate is dependent on operator's experience. In this research, relationship between working parameter and surface non-uniformity is studied using regression analysis.

**Key Words** : Organic EL(유기 EL), ITO Glass(ITO 유리), 연마기(Polising Machine), Working parameter(운전변수), Regression analysis(회귀분석)

### 1. 서론

본 연구는 FPD 의 기초소재로서 이용되는 투명 전도성박막인 ITO 코팅 유리 기판의 가공공정에 있어서 발생하는 결함인 표면의 불균일도에 관한 연구이다. ITO 코팅 유리 기판은 표면 정밀도를 얻기 위하여 연마공정을 거치게 되는데, 이 과정에서 연마용 슬러리 내부의 연마입자와 ITO 코팅 박막의 상호운동에 의하여 가공이 수행되어 매우 정밀한 표면조도를 가지는 막막이 가공되게 된다. 가공의 결과로 얻어지는 ITO 코팅 박막의 표면에 가공 과정에서 발생할 수 있는 결함이 잔존해 있는 것은 피할수 없는 상황이며, 이러한 표면결함이 존재하게 되는 경우 제품의 불량으로 직접 연결되게 된다. 따라서 연마공정 중에 양질의 표면정밀도를 얻기 위하여 연마운전변수를 올바르게 설정하고, 관리하

는 것이 불량을 줄일 수 있는 최선의 방법이다. 현재 연마공정의 연마운전변수를 정하는 것은 현장작업자의 경험에 의존하고 있으므로, 작업자의 숙련도에 그 품질이 좌우되는 단점을 지니고 있다.

아직은 제조기술에 대한 초창기에 대한 연구임으로 특허의 출원이 활발한 상태인데, 이들의 현황을 살펴보면, 대부분, 유기 EL 을 이용하여 발광소자를 구성하는 방식에 대한 특허<sup>1)</sup>, 구성된 소자를 이용하는 방법에 관련된 특허<sup>2)</sup>, 그리고 제조를 위한 재료에 대한 특허<sup>3)</sup>로서, 제조공정 및 검사공정에 이용 가능한 특허 및 연구는 미약한 실정이다. 하지만 제품의 생산의 측면에서 보면 생산라인의 수율이 100% 일 수는 없으므로, 제품의 품질관리는 생산 및 검사공정에 의지할 수 밖에 없고, 매우 중요한 공정이라 할 수 있다. ITO 코팅 유리 기판은 유리표면에 ITO 코팅을 수행하고 이를 연마하여,

양질의 표면을 가지도록 제작한 유리 기판인데, 이 위에 박막층을 구성하여 FPD 를 제작하게 된다. ITO 코팅 유리 기판의 결함으로서는 표면의 불균일도가 있는데, 이는 유리 기판 위에 조성된 박막의 지역적인 균일도를 의미한다. 이 파라미터를 계측하기 위하여서는 ITO 코팅 유리 기판을 파괴하여 단면을 관찰하여 측정하는 직접적인 방법이 있으며, 표면의 면저항을 계측하여 부분적인 두께를 유추하는 간접적인 방법이 있다. 직접적인 방법은 재료를 파괴하여야 한다는 단점이 있으며, 간접적인 방법은 계측과정에서 재료에 표면손상을 줄 수 있는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 가공공정에서 이용되는 공정변수를 이용하여 표면의 균일도를 추정하기 위하여, 공정변수와 표면의 균일도의 파라미터를 회귀분석을 이용하여 연구를 수행하였다.

## 2. ITO 코팅 유리 기판과 실험장치

### 2.1 ITO 코팅 유리 기판

ITO 코팅 유리 기판은 아래의 Fig.1 에서 보는 바와 같이 유리기판 위에 증착된 투명전도성 금속막(ITO)이 Anode 로 사용되며, 그 위에 박막층을 형성하여 FPD 를 제조하는 기초 소재로서 이용된다. 아래의 그림은 ITO 코팅 유리 기판위에 OLED 가 구성된 경우의 구성도를 보이고 있다.

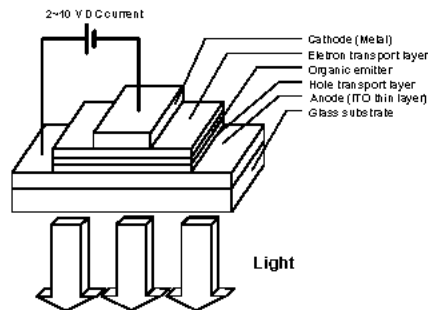


Fig. 1 ITO coated glass substrate(OLED)

그러나 FPD 는 ITO 증착과정에서 발생하는 각종 오염물질 및 불균일한 증착 현상 때문에 ITO 표면에 미세한 표면균열 또는 원주형상의 볼기가 형성되어 이들에 의해 기능성 박막층의 정상적인 증착이 방해되므로 부분적으로 제 기능을 발휘할 수 없게 되거나 Dark spot 이 형성되어 불량 발생되는 주요 요인으로 작용한다. 그러므로 유리기판 위에 ITO 코팅작업이 완료된 후 ITO 의 표면을 정밀하게 연마하여 일정한 수준의 표면조도( Rpv 100 Å 이하, Ra 20Å 이하)를 유지하여야 한다.

### 2.2 실험장치

ITO 코팅 유리 기판의 연마실험을 위한 실험장치는 실제 연마가 이루어지는 연마기와 연마를 위한 연마재의 공급을 주된 목적으로 하는 슬러리 공급장치로 나누어진다. 그리고 연마기와 슬러리 탱크로부터 파라미터들을 측정하기 위한 센서들과 센서에서 측정된 데이터를 수집하고 AD 변환하여 모니터링하는 장치로 구분된다. 연마기에서 4 개의 파라미터를 측정하고 슬러리 공급장치로부터 5 개의 파라미터를 측정하여 A/D 변환을 거쳐 PC 로 저장된다. 슬러리관련을 감시하여야 할 파라미터로 취득할 수 있는 인자가 슬러리 탱크내 연마재의 온도와 pH, 상부정반으로 유입되는 유량과 하부정반으로 유입되는 유량 그리고 슬러리 탱크 펌프의 압력, 총 5 개의 파라미터이다. 슬러리공급장치로부터 보내진 연마재의 상태에 따라 실제 연마가 이루어지는 장치가 바로 연마기이다. 일반적인 기계적 연마에 있어서 유리기판 표면의 제거속도는 연마압력과 연마속도에 비례한다. 연마기의 특성을 분석하기 위하여 계측되는 파라미터로서는 상부정반의 압력, 상부정반의 Oscillation Angle, 상부정반 회전속도, 하부정반 회전속도를 연마파라미터로 설정할 수 있다.

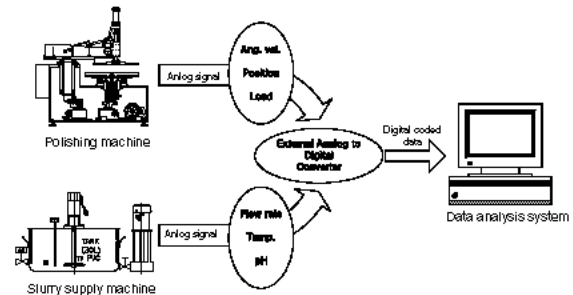


Fig. 2 Schematic diagram of data acquisition system

### 2.3 표면저항의 측정

표면의 불균일도를 검토하는 방법으로서 면저항의 차이값을 이용하였으며, 면저항의 차이값을 서술하기 위하여 본 연구에서는 기판용 ITO 코팅 유리 기판상의 9 개소의 면저항을 연마전과 연마후에 대하여 측정하였다. 이 9 개소의 값을 모두 분석 데이터로 삼는 것은 데이터 분석에 불합리하다고 판단하여, 이 파라미터들을 대표할 수 있는 값을 이용하였다. 이 파라미터는 9 개소의 값의 최대치와 최소치의 차이로 설정하였다. 이는 연마 가공의 정도가 어느 만큼 균일하게 진행되었는가를 판단하는 기준으로 이용한다. 양질의 표면조도를 얻고, 연마 가공이 적절히 수행되었다 하더라도, 부분적으로 연마 가공의 진행도가 다르다면 국부적으로 ITO

코팅 박막의 분포가 다르게 된다. 따라서 전체적으로 연마의 균일도가 어느 만큼 되는가에 대한 파라미터로서 연마 가공의 전·후의 면저항의 차이값의 최대최소치를 이용하고자 한다. 본 연구에서는 9 개소의 면저항 차이값의 최대최소치는 Rs(MinMax)의 형태로 표기하였다. 본 연구에서 이용되는 ITO 코팅 유리 기판은 표면저항이 10~12 Ω/□ 에 해당하는 원자재 코팅유리기판을 이용하였으며, 측정 위치는 다음의 그림과 같다.

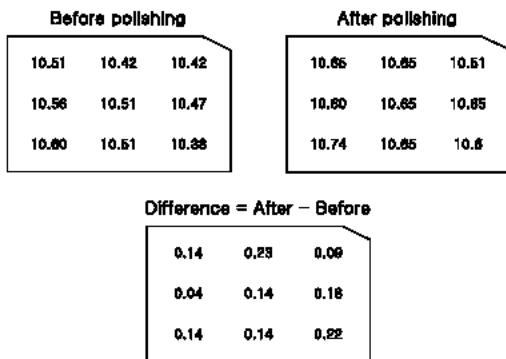


Fig. 3 Surface resistance of ITO coated glass substrate

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 다중회귀분석

일반적으로 대부분의 물리적인 현상을 설명하는데 있어서 어떤 종속 변수(dependent variable), 즉 반응 변수의 변화는 두개 이상의 독립 변수(independent variable)에 의하여 영향을 받으며, 설명력이 있는 독립변수를 여러개 선택하여 이들의 함수로서 종속변수의 변화하는 특성을 설명할 수 있을 경우에 단순회귀법(simple regression)에 비하여 좀 더 정도(precision) 좋은 예측을 할 수 있을 것이다. 예를 들어, ITO 코팅 유리 기판의 코팅부 연마 표면의 면저항차이값을 종속변수로 잡고 여기에 상관관계가 높다고 판단되는 압하력, 상·하정반 회전속도 등을 독립변수로 선택하여, 독립변수와 종속변수간의 관련성을 함수의 형태로 파악하려 할 때 회귀모형을 만들어 연구해 볼 수 있다. 이처럼 종속변수의 변화를 설명하기 위하여 k 개 ( $k \geq 2$ )의 독립변수가 사용되어 각 독립변수의 어떤 흥미 영역에서 종속변수와의 관계가 선형으로 가정되는 회귀 모형을 다중선형회귀모형(multiple linear regression model)이라고 부르고, 간단히 다중회귀모형(multiple regression model)이라고 한다.

#### 3.2 파라미터와의 상관관계

상관관계를 정량적으로 평가하여 회귀분석 모델

에 입력으로 지정할 운전변수를 결정하기 위하여, 각각의 운전변수와 면저항의 차이값과의 관계를 분석하였다. 실제의 공정에서는 여러 가지 파라미터가 동시에 변경되기 때문에, 유량을 고정하고 나머지 변동되는 파라미터들에 대한 분석을 수행한 결과를 보이고 있다. 다음의 내용에는 유량이 1.5 l/min 대역에서의 결과를 이용하여 상관관계 분석을 수행한 결과를 Fig. 4 에 보이고 있다. 관찰한 운전변수로는 압하력, 하정반회전수, 상정반회전수, 상하정반회전수차이를 이용하였는데, 상관관계가 높게 나온 운전변수로는 압하력과 상정반의 회전수였다. 본 연구대상과 비슷한 공정을 가지지만 상하회전정반을 각자로 구동하는 CMP 기구에서는 상하정반 회전수의 차이와 균일도 등의 상관관계가 크게 나오는데 반하여, 본 연구에서 대상으로 삼은 시스템에서는 그 상관관계가 크게 높게 나오지는 않았다. 이는 상부회전정반이 구동이 되지 않고, 수동적으로 충돌되어 운동되며, 이 운동도 마찰력에 의하여 간접적으로 발생되기 때문으로 판단되어 진다. Fig. 4 에 각각의 상관관계를 분석한 지배식과 상관계수를 나타내었다.

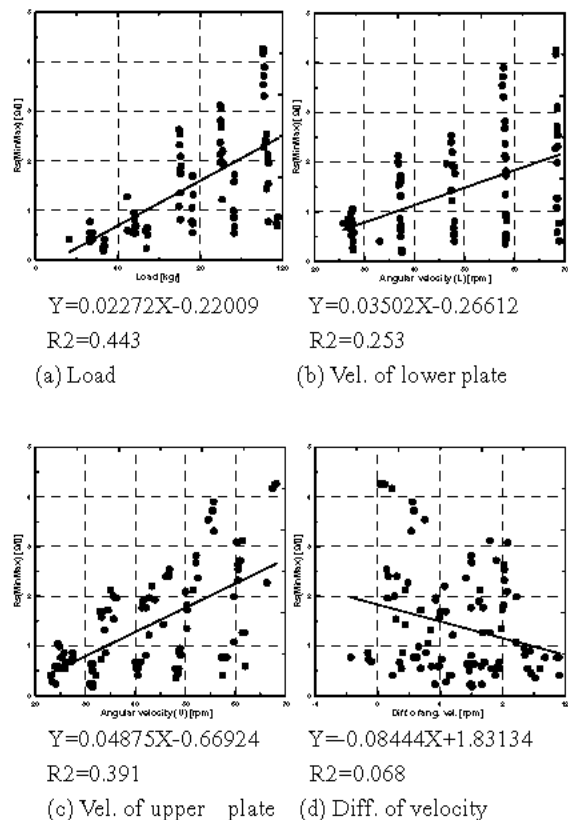


Fig. 4 Relationship between Rs(MinMax) and parameters

### 3.3 회귀분석결과

ITO 코팅 박막의 균일한 정도의 의미를 가지는 Rs(MinMax)값(면저항의 차이값 중 평균값에 해당하는 양)에 대한 추론을 수행하기 위한 독립변수(independent variable)는 유량, 압하력, 상정반회전속도이다. 종속변수(dependent variable)는 ITO 코팅 유리 기판 표면의 9 개소에 대한 연마전·후의 면저항의 차이값의 최대최소치의 차이(Rs(MinMax))를 취하였다. 이는 ITO 코팅 박막의 전체적인 연마 가공의 균일도를 나타내는 척도이다. 다중회귀분석(multiple regression analysis)을 이용하여 얻은 각각의 회귀모델은 다음의 식과 같으며, Y 는 Rs(MinMax)를 의미하고, X1, X2, X3 는 각각 유량, 압하력, 상정반 회전속도를 의미한다.

$$Y = -0.05283 \times X1 + 0.00728 \times X2 + 0.02517 \times X3 - 0.64979$$

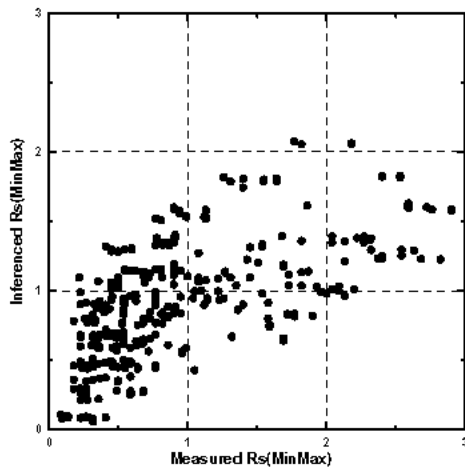


Fig. 5 Result of regression analysis

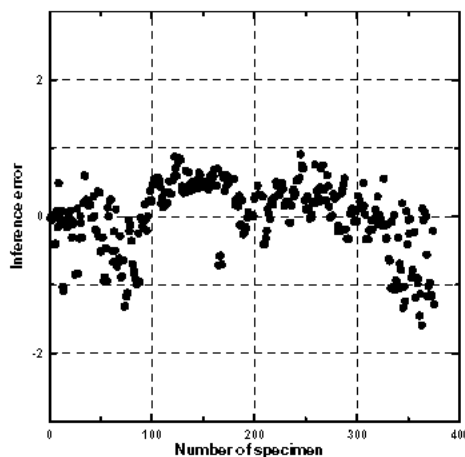


Fig. 6 Error of regression analysis

### 4. 결 론

본 연구에서는 FPD 의 소재로 이용되는 미세표면구조를 가지는 ITO 코팅 유리 기판의 박막의 제조를 위한 연마공정에 있어서 발생할 수 있는 결함인 불균일도에 대한 기준으로서 표면저항의 차이값에 대하여, 다중회귀분석을 이용하여 분석을 수행하여 다음의 결과를 얻었다.

표면 가공 공정에서 연마기 및 슬러리공급장치에서 공정파라미터를 예측하여, 연마결과에 해당하는 표면저항값을 이용하여 연마의 불균일정도를 대변하는 값과 표면의 정밀도를 대표하는 표면조도와의 상관관계를 분석하여, 모델의 입력변수로 이용가능한 공정파라미터를 결정하고 이를 이용하여, 다중회귀분석을 이용하여 표면상태를 추론하는 방법을 구성하였다. 구성된 다중회귀분석모델을 이용하여 Rs(MinMax)값을추론한 결과는 오차범위가 ± 1.8 이내였다. 본 연구에서는 370×470(mm) 크기의 ITO 박막이 조성된 유리기판을 가공하는 연마공정을 그 연구대상으로 하였으며, 실제 가공공정에 투입되는 다른 장비에 적용하고자 할 경우에 장치의 특성에 맞추어서 재학습이 필요하다. 생산공정에서의 재학습이 이루어지고 나면, 다른 장비에서도 연마결과에 대한 추론이 가능할 것으로 판단된다. 따라서 본 논문에서 제안하고 있는 마이크로 결함 검출 기법을 FPD 의 기초소재인 ITO 코팅 유리 기판의 생산에 적용한다면, 불량률의 감소를 가져올 수 있을 것으로 사료된다.

### 참고문헌

1. 장용균, “유기 전계 발광소자”, 특허출원번호:2001-021032
2. 나가이 아츠오, “유기 전계발광 디스플레이의 구동회로”, 특허출원번호 :2000-701869
3. LG 전자, “적색 유기전계발광소자용 화합물 및 이를 이용한 유기전계발광소자”, 특허출원번호 :1999-008654
4. 김형재, 이성훈, 안대균, 정해도, “화학기계적연마(CMP) 컨디셔닝에 관한 연구”, 한국정밀공학회지, 16 권 5 호, pp. 40-47, 1999
5. 조성환, 김형재, 정해도, 김경준, “유기 전계 발광 디스플레이용 ITO 투명 전도성 박막의 CMP에 관한 연구”, 대한기계학회논문집 A, 26 권 5 호, pp. 976-985, 2002