

## D-optimal Design을 이용한 Flexible 액정 디스플레이용 셀 갭 특성에 대한 반응 표면 분석

고영돈, 황정연, 서대식, 윤일구  
연세대학교 전기전자공학과

### Response Surface Methodology based on the D-optimal Design for Cell Gap Characteristic for Flexible Liquid Crystal Display

Young-Don Ko, Jeung-Yeon Hwang, Dae-Shik Seo, Ilgu Yun.  
Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University.

#### Abstract

This paper represents the response surface model for the cell gap on the flexible liquid crystal display (LCD) process. Using response surface methodology (RSM). D-optimal design is carried out to build the design space and the cell gap is characterized by the quadratic model. The statistical analysis is used to verify the response surface model. This modeling technique can predict the characteristics of the desired response, cell gap, varying with process conditions.

**Key Words** : flexible liquid crystal display, cell gap, D-optimal design, response surface methodology

#### 1. 서 론

최근에 유리 기판 대신에 고분자 기판(polymer substrate)을 이용하는 flexible 디스플레이에 관한 연구가 많이 진행되고 있다[1,2]. Flexible 액정표시 소자는 고분자 기판을 사용함으로써 유리기판에 비해 부피가 줄고 무게가 줄면서 휴대용 디스플레이, 유연성 (flexibility)이 커지면서 곡면 위의 디스플레이 (flexible display)로의 구현이 가능해 차세대 휴대용 액정표시소자로서 기대된다[3]. 하지만, plastic 기판의 사용 시 장점은 오히려 제작공정을 복잡하게 만들고 있다. 먼저 plastic 기판은 열에 약하기 때문에 전체적으로 저온공정을 해야만 한다. 두 번째로 유연한 기판이기 때문에 이로 인해 handling 하기가 유리기판에 비해 상당히 어렵다. 이러한 문제로 인해 많은 재료와 제작 장비가 plastic 기판에 적합한 것으로 바뀌어야만 하는 어

려운 문제를 가진다. 특히, 셀 갭의 균일한 유지가 매우 힘들게 된다. 이러한 문제를 해결하고 최적의 공정 조건을 도출해 내기 위해서 실험계획법과 통계적 모델링 방법론을 도입하고자 한다.

이러한 통계적 실험계획법중의 하나인 D-최적 실험 계획의 사용은 VLSI 제조 장비 공정에 대한 모델링에서도 좋은 연구 결과를 보여주었으며[4], 반응 표면 분석과 변수 변환을 통해서 반도체 공정중의 하나인 확산 공정의 비선형 모형을 예측하는데 우수한 모형을 나타내었다 [5].

우수한 특성을 갖는 flexible LCD를 생산하기 위해서는 수많은 조건들에 의한 공정 제어가 필수불가결한 하나의 요소로 여겨지고 있으며 공정변수들의 비선형적인 특성으로 인해서 이에 따른 최적화 공정 조건 도출 및 원하는 결과에 대한 예측이 어려운 실정이다.

본 논문에서는 D-최적 실험 설계를 바탕으로 한

모델링 방법론의 하나인 반응 표면 분석을 실시하여 특성이 우수한 flexible LCD 제작을 위한 plastic 기판간의 차이에 대한 특성을 분석하였으며 반응 표면 분석 결과들의 확인을 위하여 통계적인 방법들로 검증을 실시하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실험장치

본 실험에서는 고분자 기판은 polycarbonate (PC) 이다. Flexible 액정 디스플레이의 셀 갭을 제작하기 위하여, 사용한 스페이서는 5 μm 용을 사용하였다. 균일한 셀 갭을 유지하기 위하여 hot press 장치를 사용하였다. 셀 갭의 측정은 MCPD-3000 (OTSKA ELEC-TRONICS, Japan)을 장비를 이용하여 측정하였다. 측정된 두 곳의 위치는 plastic 상위 기판의 중앙의 양 끝단에서 1/4 지점에서 측정하였다.

## 3. 모델링 계획

### 3.1 D-최적 실험 계획

기판 사이의 공간을 유지시켜주는 스페이서의 분무 횟수 (N), 두 기판 사이를 눌러주는 프레스의 압력 (P), 0.3 mm 두께를 가진 쉬트 (S) 개수들이 공정 변수들로서 선택되었다.

셀 갭에 대한 특성을 분석하기 위해서 공정에 사용되어진 변수들을 표 1. 에 나타내었다.

표 1. 공정변수의 값과 범위.

요소	기호	단위	값	비고
스페이서 분무횟수	N	회	2-10	controllable
프레스 압력	P	kg	0.4-1	controllable
쉬트(0.3mm) 개수	S	개	0-2	controllable

실험 계획법으로는 모형의 회귀계수의 신뢰 구간의 체적을 최소화 할 수 있는 D-최적 실험 계획 [6]을 사용하였다. 시행횟수는 16번으로 표 2. 에 나타내었다.

표 2. D-최적 실험 계획.

Run	N[회]	P[kg]	S[개]
1	6	1	0
2	6	0.4	2
3	10	1	1
4	10	0.7	0
5	6	1	2
6	10	0.4	1
7	2	0.7	0
8	10	0.7	2
9	6	0.7	1
10	2	1	1
11	10	0.7	0
12	10	0.4	1
13	6	0.4	0
14	6	0.7	1
15	2	0.4	1
16	2	1	2

### 3.2 반응 표면 분석

반응 표면 분석은 공정상의 많은 변수들에 의해서 영향을 받는 반응 변수에 대한 모형을 찾고 분석하는 통계적인 방법으로서 모형에 따라 극대화 또는 극소화하는 실험변수들의 조건을 찾는 방법론이다. 일반적으로 다음과 같은 2차 반응 모형이 사용된다[6].

$$y = b_0 + b_1X_1 + \sum_{j=2}^n \sum_{l=1}^n b_{jl}X_lX_j + \sum_{i=1}^n b_{ii}X_i^2 \quad (1)$$

y 는 반응 변수, n 은 독립 변수의 개수, b 는 모델 계수, X<sub>i</sub> 는 공정 변수이다.

모형의 계수를 추정하기 위해서는 최소제곱법 (LSE : least square estimation)이 사용되었으며 통계적 유의 수준 95 % (α = 0.05)에서 실시하였다.

## 4. 결과 및 토의

일반 선형 회귀 모형과 2차 반응 표면 모형의 R-squared 값을 표 3. 에 나타내었다. 일반 선형 회귀 모형의 경우 측정된 plastic 기판의 두 측정 위치들에 대해서 각각 71.5 %와 45.8 %의 설명력을 가지고 있는 반면에 2차 고차항이 더하여진 반응 모형의 경우에는 89 %와 89.2 %의 우수한 모

형의 설명력을 보여 주고 있다.

표 3. R-squared 값.

	일반선형회귀모형	반응 표면 모형
cell gap 1	71.5 %	89 %
cell gap 2	45.8 %	89.2 %

특성 인자의 다양한 공정조건들을 비교하기 위한 예비검증은 분산 분석 (analysis of variance : ANOVA)을 통하여 조사되었다. ANOVA를 통하여 각각 입력변수들의 통계적 중요성은 변수들이 특성 인자의 변위에 어느 정도 기여한다는 것을 보여준다. 만약 통계적 유의수준의 값이 5 %보다 적으면 특성인자의 변위에 기여하는 입력 변수들은 95 % 신뢰 구간에서 의미 있는 것으로 고려되어진다. 표.4는 특성인자에서 각각의 입력요소들의 유의도를 보여준다.

표 4. 통계적 유의수준.

Factor	Statistical significance	
	cell gap 1	cell gap 2
N	0.003	0.048
P	0.004	0.021
S	0.640	0.228

ANOVA를 통해서 측정된 두 위치에 대해서 변수들의 경우 쉬트의 삽입 개수를 제외한 나머지 두 변수인 스페이서 분무 횟수와 프레스 압력이 통계적으로 유의한 변수임을 나타내고 있다.

반응 표면 모형 오차에 대한 잔차도를 그림 1.에 나타내었다. 잔차는 주어진 반응 표면 모형이 얼마나 잘 설명해 주며 적합한지를 측정하는데 사용되어진다. 모형에서 잔차의 가정을 토대로 보았을 때 잔차들이 0을 중심으로 무작위로 분포되어 있으며 어떠한 경향도 나타내지 않음으로서 통계적 가정에 일치함을 확인 할 수가 있다.

측정된 셀 갭과 반응 표면 모델 결과를 그림 2.에 나타내었다. 예측값과 실제 측정값이 아주 잘 일치함을 확인 할 수가 있다.

유의적인 두 공정 변수와 측정된 두 위치에서의 plastic 기판 간의 차이에 대한 3-D 반응 표면 모형을 그림 3. 과 그림 4. 에 각각 나타내었다.

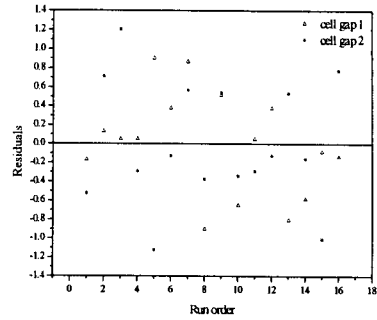


그림 1. 잔차도.

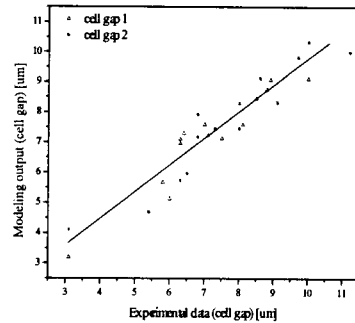


그림 2. 셀 갭에 대한 반응 표면 모델 결과.

첫 번째 측정 위치에서의 유의적인 변수인 프레스 압력과 스페이서 분무 횟수와와의 모형은 두 변수가 모두 증가함으로써 셀 갭이 커짐을 보여주고 있으며, 두 번째 측정 위치에서도 프레스 압력이 증가하고 스페이서 분무 횟수가 증가함으로써 셀 갭이 커짐을 보여주고 있다. 3-D 반응 표면도에서 보여주듯이 두 측정 위치의 변화에 따라 중간 실험 조건을 중심으로 셀 갭의 변위가 있음을 나타내 주고 있다. 스페이서의 분무 횟수가 많아질수록 셀 갭 사이의 빈 제한된 공간에 스페이서의 갯수가 늘어남으로서 셀 갭이 증가하며, 프레스 압력에 의해서 스페이서의 상단을 누르는 압력이 약할수록 고른 스페이서의 빈 공간상의 재배치로 인해서 셀 갭이 큰 프레스 압력에 비해 낮은 셀 갭의 특성을 보여주고 있다.

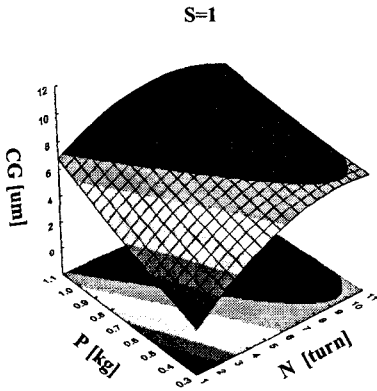


그림 3. 3-D 반응 표면도 : 첫 번째 측정 위치.

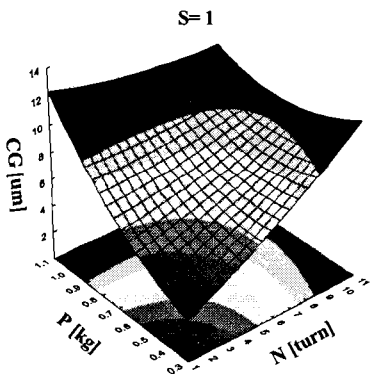


그림 4. 3-D 반응 표면도 : 두 번째 측정 위치.

## 5. 결론

D-최적 실험 계획을 이용하여 공정 변수들의 실험 matrix를 정의하였으며 이들의 조건으로 제작된 plastic 기관간의 셀 갭에 대한 반응 표면 분석을 실시하였다. 본 반응 표면 분석에서 구한 예측 모형을 통해서 flexible LCD 공정상의 plastic 기관 사이의 간격을 공정 변수들의 조절로서 예측가능하게 되었으며 이러한 방법론을 바탕으로 공정상의 비용 절감 및 수율 향상을 가져 올 수 있을 뿐만 아니라 부피의 소형화와 곡면위의 디스플레이 소자 구현을 위한 특성 예측에 많은 향상을 가져 올 수 있을 것이다.

## 감사의 글

이 논문은 2004년도 두뇌한국21사업에 의하여 지원되었음.

## 참고 문헌

- [1] S. K. Park, J. I. Han, W.K. Kim, M.G. Kwak, S. J. Hong and C. J. Lee, "Novel Reflective color STN plastic film LCD with high brightness and parallax free image", SID' 01 Digest, p. 658, 2001.
- [2] T. Hanada, I. Shiroishi, N. Saito, and T. Yatabe, "Flexible plastic substrate for flat panel displays", IDW '02, p. 401, 2002
- [3] D. R. Cairns, R. P. Witte II, D. K. Sparacin, S. M. Sachsman, D. C. Paine, G. P. Crawford and R. R. Newton, "Strain-dependent electrical resistance of thin-doped indium oxide on polymer substrate", Applied. Physics. Letter, Vol. 76, No. 11, p. 1425, 2000.
- [4] KUANG-KUO LIN, COSTAS J. SPANOS, "Statistical Equipment Modeling for VLSI Manufacturing: an Applications for LPCVD", IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, Vol. 3, No. 4, p. 216, 1990.
- [5] Young-Don Ko, Yuhee Kim, Dongkwon Park, Ilgu Yun, "Nonlinear diffusion process modeling using response surface methodology and variable transformation," Robotics and Computer-Integrated Manufacturing", vol. 20, 121-125, p. 212, 2004.
- [6] Raymond H. Myers, Douglas C. Montgomery, Response Surface Methodology, Wiley, New York, 1995.