

# 다구치 실험 계획법을 이용한 6세대 LCD Glass의 최적설계

조 응\*, 송춘삼<sup>+</sup>, 김종형<sup>++</sup>

(논문접수일 2007. 6. 26, 심사완료일 2007. 12. 26)

## Optimal Design of the 6th Generation LCD Glass Using the Taguchi Method

Woong Cho\*, Chun-Sam Song<sup>+</sup>, Jong-Hyeong Kim<sup>++</sup>

### Abstract

Nowadays, the researches for improving LCD manufacturing process and reducing cost are getting accelerated and additionally new types of process are widely developed. In this situation, APEM(Anti Photo Exposure Method) which does not need photo-lithography is realized as one of possible alternative of LCD process. APEM makes LCD pattern by stamping and it can reduce the process cost and process time because of its simplicity. But optical alignment between pattern glass and target glass is very critical fact to realize the precise patterns. So, the analysis of deflection of large size of glass is carried out and design of experiment method is applied for optimal design of jig.

**Key Words** : LCD Glass(액정디스플레이), Taguchi method(다구치 실험계획법), Deflection(처짐), FEM(유한요소법), Imprint(임프린트)

## 1. 서론

평판 디스플레이 산업에서 가장 큰 관심사는 성공적으로 대형 TV 시장에 진입하는 것이다. TV 시장 진입에 있어서 가장 핵심적인 요소는 패널(Panel)의 가격이며, 업계는 이에 대한 대응책으로 대략 2010년도를 목표로 40인치 이상의 대형 패널 가격을 인치 당 10달러 이하로 내리고자 많은 노력을 기울이고 있다. 지금까지 패널 제조 원가를 낮추기 위한

가장 효과적인 방법은 기판의 크기를 키우는 방법이었다. 하지만 패널 제조 원가의 70% 이상을 점하는 재료와 부품 등의 원가 절감이 효과적으로 이루어지지 않는다면 기판의 크기를 키우는 것만으로는 제조원가 절감에 한계가 있다. 따라서 재료나 부품을 혁신적으로 절감할 수 있는 새로운 개념의 기술이나 공정, 장비의 개발이 반드시 필요하다.

최근 시도되고 있는 새로운 공정 기술의 대표적인 예로는, 가장 고가의 공정으로 알려진 노광공정(photolithography)

\* 서울산업대학교 산업대학원 기계설계학과

+ 국민대학교 대학원

++ 교신저자, 서울산업대학교 기계설계자동화공학부 (johnkim@snut.ac.kr)

주소: 139-743 서울시 노원구 공릉2동 172

을 비노광 공정으로 대체하거나, 역시 고가의 공정인 진공 장비에 의한 공정을 비진공 공정으로 대체하는 것이다<sup>(1)</sup>. 현재 TFT-LCD의 TFT Array와 C/F 제조장비의 가격 비중을 보면 노광 장비가 대략 55%, 진공장비가 대략 30% 정도 차지함을 알 수 있다<sup>(2)</sup>. 이러한 이유로 언급된 제조 원가 절감을 위한 방법 중 매우 높은 관심과 연구가 이루어지고 있는 것은 비노광 패턴 형성 방법의 임프린팅법이다.

나노 임프린팅 기술의 개발 현황은 아직까진 LCD와 같은 대형 평판에 대한 연구는 진행 중이어서 상품화를 위한 실용화 기술 개발이 절실할 것으로 사료된다. 해외 관련 업계에서는 나노 임프린팅 기술을 우선적으로 반도체 기판에 적용하여 상용화하여 왔으나 현재 LCD와 같은 대형 평판에 적용한 사례는 부족하기 때문에 역시 많은 연구가 이루어져야 할 것이다.

나노 임프린팅 기술을 대형화된 패널에 적용하기 위해서는 스탬프(Stamp)를 LCD 패널 위에 정확히 찍는 과정이 중요하다. 특히 이중에서 대형 평판과 스탬프간의 정확한 위치 오차 보상은 가장 중요한 기술 중에 하나이다. 국내외적으로 UV방식의 나노 임프린팅 기술이 상용화되어 생산성 및 경제성을 가지기 위해서는 스탬프의 대형화가 중요시 된다.

본 논문에서는 임프린트 공정에 사용되는 스탬프의 원판 유리(Glass)가 처짐으로 인하여 발생하는 위치오차를 최소화하는 지그(JIG)를 설계하였다. 이에 다구치 실험계획법을 통하여 각각의 인자에 대한 SN비(Signal to Noise Ratio)를 분석해 최적 설계조건을 선정하고 해석하였다.

## 2. 연구 대상 및 연구 방법

### 2.1 APEM 공정

APEM(Anti Photo Exposure Method) 공정은 TFT LCD 기판의 TFT 공정을 기존의 포토리소그래피에서 나노 임프린팅 공정으로 대체하려는 방식이다. 가격이 비싸고 공정 단계가 까다로운 노광공정을 없애고 간단히 도장 찍는 것과 같은 원리로 TFT 패턴을 형성하기 위한 방안으로 개발되었다. 그러나 프린팅법으로 수 마이크로 단위의 미세한 TFT 패턴을 이루기 위해서 재료로는 TFT 패턴의 재료인 레진, 패턴의 틀을 형성하는 몰드로 스탬프, 스트립(strip), 프린팅을 수행하기 위한 코팅머신과 시스템의 설계가 동시에 이루어져야 한다.

Fig. 1은 LG. Philips LCD가 개발하고 있는 나노 임프린팅 방법인 APEM에 대한 그림이다. 먼저, 대상 유리에 레진을 바르고 미리 준비된 패턴을 이용하여 스탬핑 하는 방식으

로 대상 유리에 패턴을 형성한다. 패턴 형성 후에 에칭을 통해서 레진을 제거하면 원하는 패턴을 포토리소그래피 없이 생성할 수 있다. 이는 고가인 포토리소그래피 장비를 사용하지 않으면서 공정이 간단해지는 장점이 있어 생산성의 향상을 가져올 수 있는 혁신적인 방법으로 평가되고 있다.

### 2.2 LCD 유리의 나노 임프린팅 공정

APEM 공정을 이용하여 LCD를 제작하기 위해서 필요한 핵심공정은 Fig. 2에 나타나있는 LCD 유리의 임프린팅 공정이다. 이는 패턴이 형성되어 있는 상판과 패턴을 스탬핑하는 방식에 의해서 형성하려는 하판을 비전 카메라를 이용하여 측정, 정렬하여 스탬핑 하는 공정이다.

Fig. 2에서 보는 바와 같이 임프린트의 원판 유리인 상판 유리와 임프린트의 대상이 되는 하판유리, 측정을 위한 비전 시스템 그리고 임프린트를 하는 하판유리를 이송하는 컨베이어와 임프린팅 시에 상판 유리와 접촉시키기 위한 구동 장비로 되어있다.

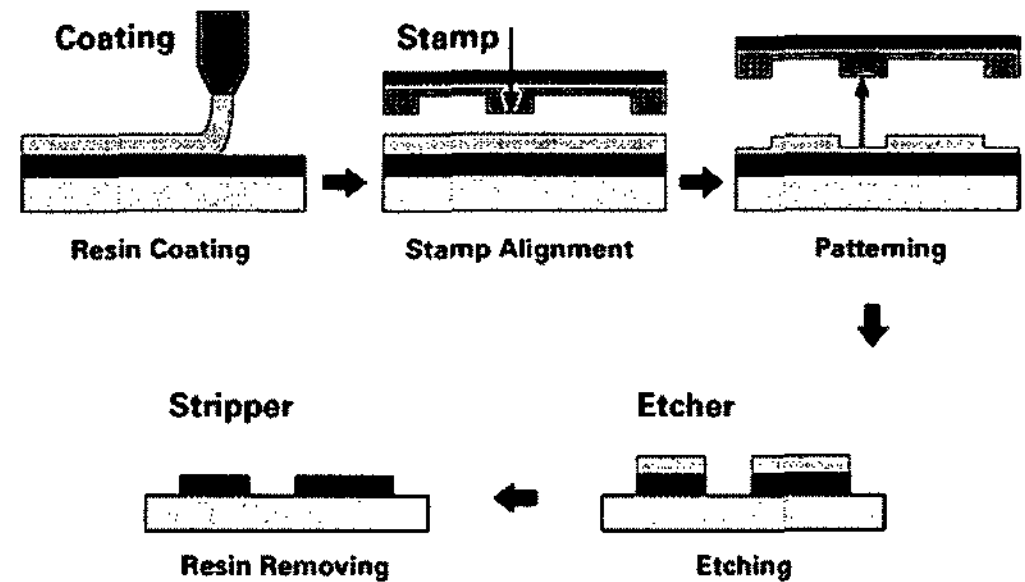


Fig. 1 Imprinting Process

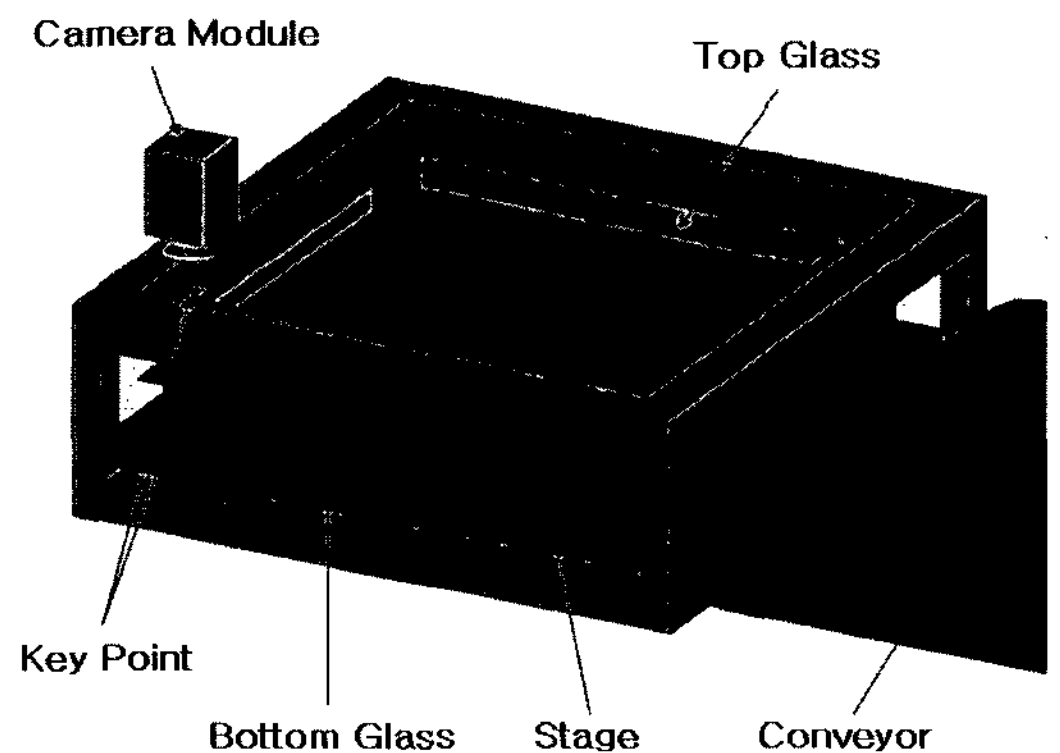


Fig. 2 LCD Glass Imprinting System

비전 시스템을 통해서 측정하고자 하는 것은 상판과 하판에 표시된 정렬 기준 마크(Fiducial Mark)이다. 정렬 기준 마크는 키포인트(Key point)라고도 불리며 임프린트 공정 중 정렬(Alignment) 작업 시 매우 중요한 역할을 한다. 이 정렬 기준 마크를 비전 시스템을 이용하여 검출하고 위치를 보정한다. 정밀한 측정을 위해서는 최적의 정렬 기준 마크를 선택하는 것이 중요하다. 이것은 영상처리가 용이하고, 영상의 노이즈에 강인한 특성을 보여야 하며, 또한 마크로부터 많은 특징치를 얻어낼 수 있는 형태를 선택하여야 한다.

### 2.3 연구 방법

고도의 정밀도를 요하는 임프린트 공정 중 상판과 하판을 스탬핑할 때, 상판의 처짐이 발생하여 정확한 위치로의 합착이 어려워진다. 이 경우, 이 변형을 고려하지 않고 비전 시스템만을 이용하여 키포인트를 측정하는 경우에 변형에 의해서 변위 오차가 발생하게 되고 이는 정밀한 정렬을 어렵게 만드는 오차 요인이 된다.

실험에 있어서 데이터에 산포를 준다고 생각되는 무수히 많이 존재하는 원인들 중에서 실험에 직접 취급되는 원인을 인자(factor)라고 부른다<sup>(3)</sup>. 그래서 연구는 MINITAP을 이용한 다구치 실험계획법을 사용하여 연구 조건을 나열한 후 연구에 필요한  $L_9(3^3)$ 의 직교배열표를 완성하였다. 직교배열표를 완성한 이유는 실험횟수를 최소화 할 수 있는 장점을 가지고 있기 때문이다. Table 1은 본 연구의 해석조건을 나타낸 직교배열표이고, 모든 연구는 이 해석조건에 따라 해석하였다. 각각의 지그에 대해서 지그의 형상, 지그 수, 지그의 크기별로 분류를 하였다.

지그가 유리를 고정할 때 발생하는 힘에 의하여 유리는 고정되어진다. 유리의 해석은 상용 유한요소 프로그램인 Ansys 10.0에서 지원되는 Shell 93 요소를 사용하였다. 이를 토대로 지그의 형상, 개수, 크기, 힘에 따라 발생하는 원판 유리가 처짐으로 발생하는 위치오차를 최소화하는 최적설계를 수행한다.

최적 설계조건을 선정하기 위하여 각각의 인자에 대하여 해석을 진행하였고, 인자에 대한 SN비를 분석하여 원판 유

리의 처짐이 최소화하는 조건을 알아보았다. 이때 원판 유리의 처짐에 대한 변위, 응력은 낮을수록 좋으므로 망소특성에 대한 공식을 적용하여 각 실험 번호별 SN비로 전환시켰다. 아래의 식 (1)은 망소특성에 관한 공식이다.

여기서  $n$ 은 실험반복횟수이고,  $y_i$ 는 측정 데이터의 값이다<sup>(4)</sup>.

$$SN = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (1)$$

본 연구의 대상은 6세대급의 원판 유리이다. 유리의 크기는  $1850 \times 1500 \times 0.67\text{mm}$ 이며, 물성치는 탄성계수 69.2 GPa, 밀도  $2730\text{kg/m}^3$ , 포아송비 0.23이다. 평판에 대한 지배 방정식(governing equation)은 다음과 같다.

$$D \nabla^4 w = q(x, y)$$

$$\text{이때, } \nabla^4 \equiv \left( \frac{\partial^4}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4}{\partial y^4} \right)$$

$$D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)} \text{ (the bending rigidity of the plate)}$$

$q$  = lateral distribution load(force/area) 이다.

이때 경계 조건은 다음과 같다. 평판이 clamped 되어 있을 경우에는  $w=0, \frac{\partial w}{\partial n}=0$ ,  $n$ 은 경계의 노말 방향이다. 해석은 Kirchhoff plate theory를 사용하여 해석하였다<sup>(5)</sup>.

Table 2는 해석 순서에 따른 해석 조건을 나타낸 직교 배열표이다. 모든 실험은 이 직교 배열표에 따라 해석하였다. Fig. 3과 같이 지그의 형상과 크기는 기본적으로 각각 3종류의 형상과 크기는 각각 3종류의 크기로 원에 내접한다. 지그의 위치는 원판 유리가 직사각형의 형상을 하고 있기 때문에

Table 2 Tables of Orthogonal Arrays

No.	Form	P_no.	Dia.(mm)
1	●	4	15
2	●	8	25
3	●	12	35
4	▲	4	25
5	▲	8	35
6	▲	12	15
7	■	4	35
8	■	8	15
9	■	12	25

Table 1 Analysis Conditions

Form	P_No.	Dia(mm)
●	4, 8, 12	15, 25, 35
▲	4, 8, 12	15, 25, 35
■	4, 8, 12	15, 25, 35

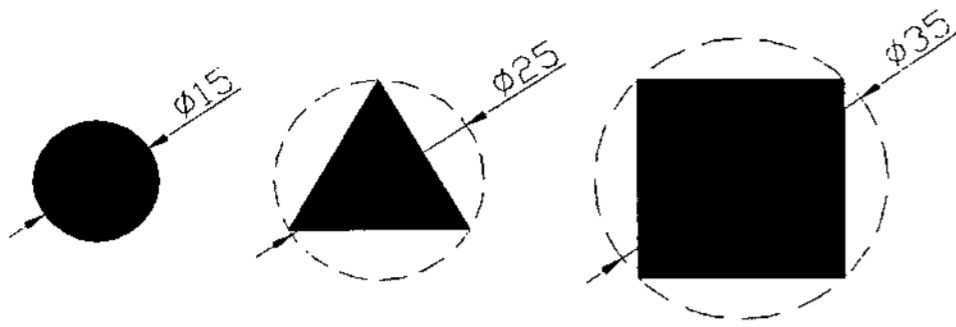


Fig. 3 JIG Type

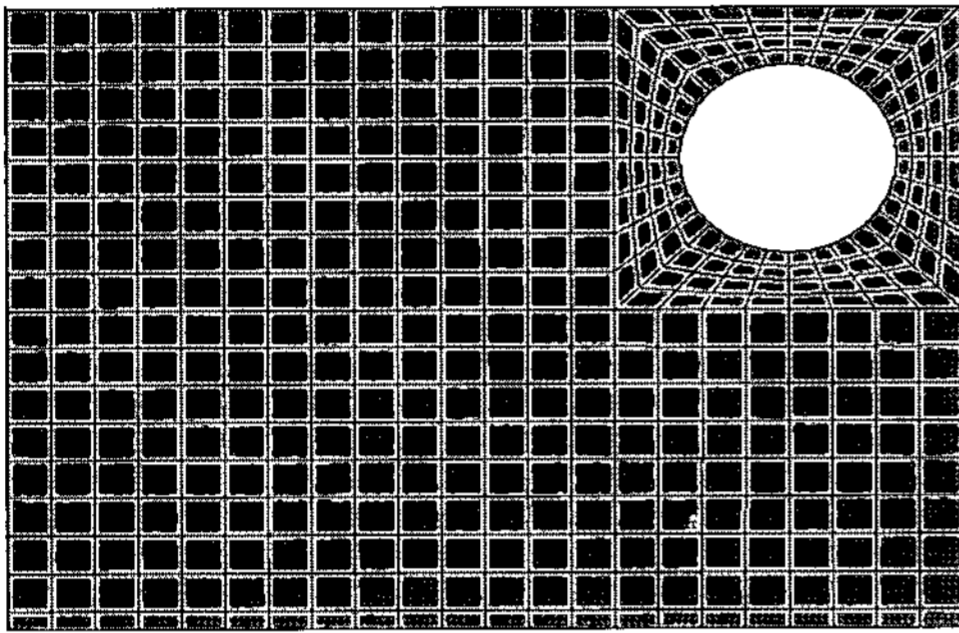


Fig. 4 Area Mesh

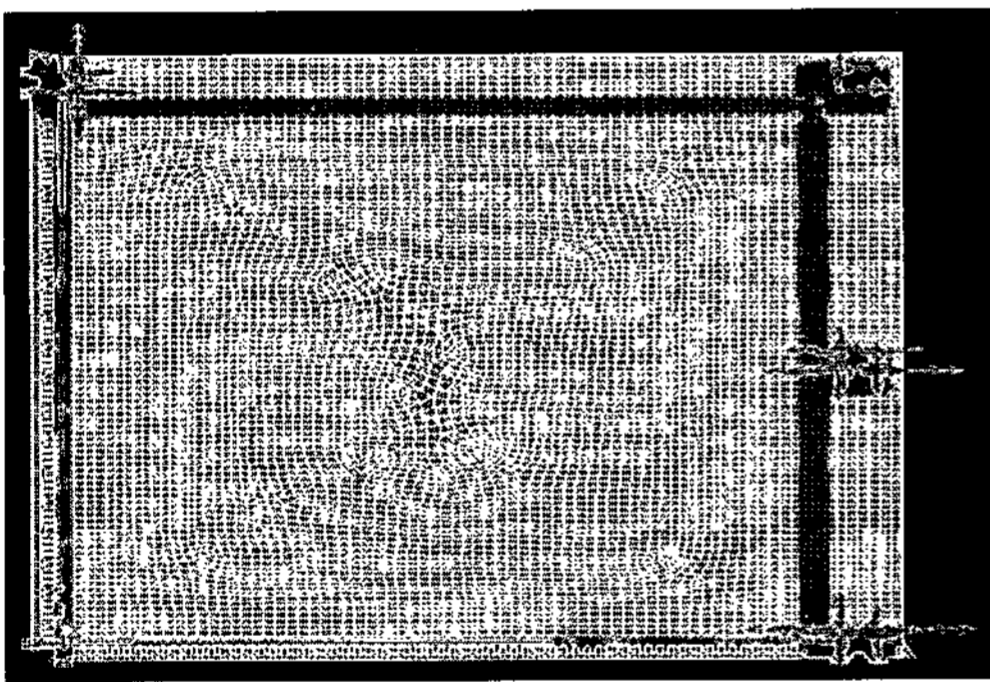


Fig. 5 Constrain surface and boundary condition

xy 좌표를 기준으로 대응시킨다.

실제 원판 유리가 지그에 의해 고정되는 것을 해석하기 위한 유한요소 모델로는 해석의 간략화를 위해 지그에 대응되는 원판 유리의 위치에 강제로 절점(node)을 생성하고 그 절점에 변위조건을 부여하는 방법을 생각할 수 있다. 이는 원판 유리의 크기가 1m이상이라는 사실과 지그의 크기를 고려하면 타당한 방법으로 보인다. 그러나 이 방법은 2가지 문제를 야기한다. 먼저 주어진 절점을 바탕으로 Ansys가 제공하는 자유 메시(free mesh)와 영역 메시(area mesh) 기능을 활용하여 생성한 유한요소 모델을 살펴보면(Fig. 4참조), 해석 결과의 신뢰성을 확보하기에는 어려운 것으로 사료된다<sup>(6)</sup>.

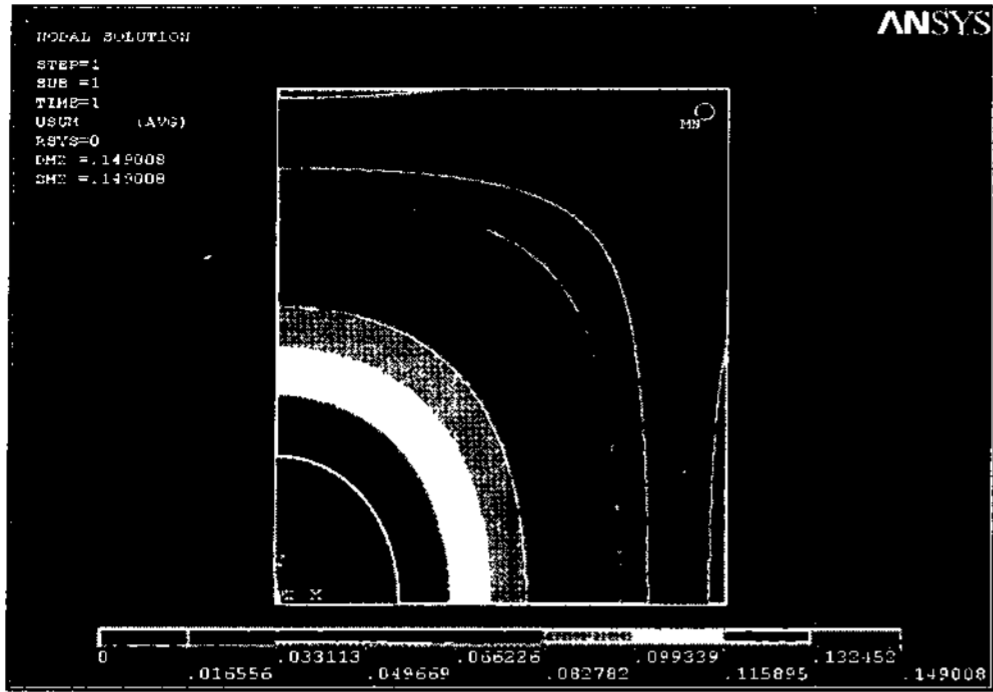
Fig. 5에서와 같이 처짐에 대한 경계면으로는 원판 유리의 모서리부에서 80mm의 옵셋 값을 정하였다. 임프린트시 원판 유리에 도장 면이 인쇄되는데 그 부분이 유리의 모서리부에서 100mm의 옵셋 값을 갖기 때문에 임프린트 장비의 받침대는 옵셋 값 80mm정도 들어오기 때문이다. 모든 지그의 위치가 중심점에서 대응되기 때문에 4분의 1만을 해석하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

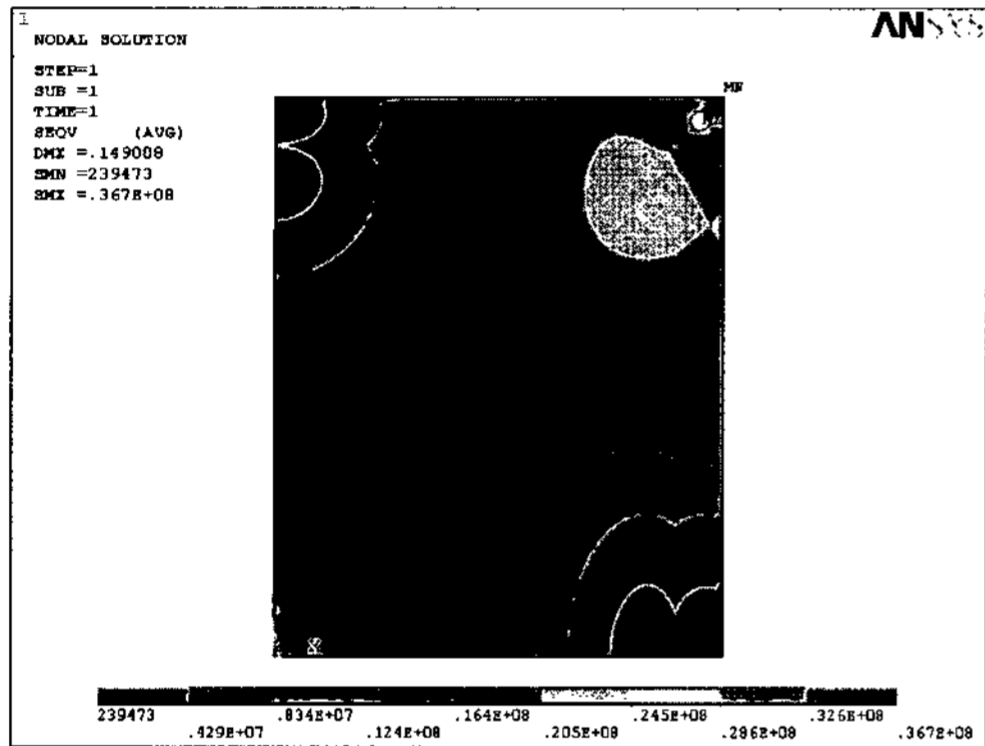
위와 같은 조건의 해석을 통하여 각각의 실험 결과 값을 (Von-Mises Stress와 Displacement) 알 수 있었다. Fig. 6은 실험 해석 결과를 나타낸 그래프이다. 또한 원판 유리를 지지하는 지그의 형상, 개수, 크기에 따른 SN비 분석 및 최적조건을 선정해 보았다. 각각의 인자에 대하여 해석을 진행하였고, 원판 유리의 처짐이 최소화하는 조건을 찾아보았다. 모든 인자를 3수준으로 하여 실험하였고, 외측배열에 Von-Mises Stress와 Displacement를 두었다. 다구치 실험 계획법을 통

Table 3 Result of Experiment

Experiment No.	Form	P_No.	Dia. (mm)	Displacement (mm)	SN1	Von-Mises Stress (MPa)	SN2	SN
1	●	4	15	149.008	-43.4637	36.7	-31.2933	-40.7092
2	●	8	25	77.249	-37.7636	67.1	-36.5345	-37.1924
3	●	12	35	64.016	-36.1236	48.3	-33.6789	-35.0711
4	▲	4	25	148.567	-43.4404	31.6	-29.9937	-40.6222
5	▲	8	35	77.165	-37.7523	64.1	-36.1372	-37.0194
6	▲	12	15	68.858	-36.7644	51.7	-34.2698	-35.6938
7	■	4	35	148.272	-43.4228	37.4	-31.4574	-40.6803
8	■	8	15	80.485	-38.1159	65.1	-36.2716	-37.2909
9	■	12	25	66.697	-36.4825	49.2	-33.8393	-35.359



(a) Displacement of No. 1



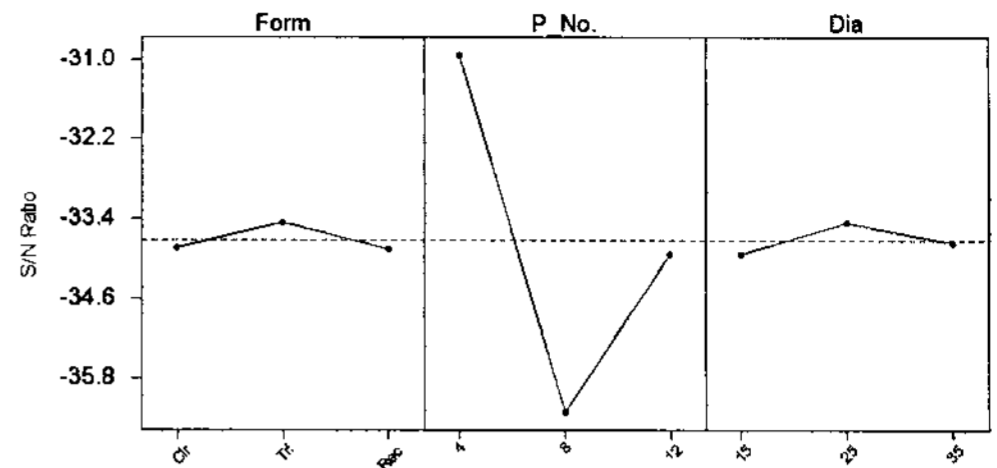
(b) Von-Mises Stress of No. 1

Fig. 6 Analysis of of the 6th generation LCD glass

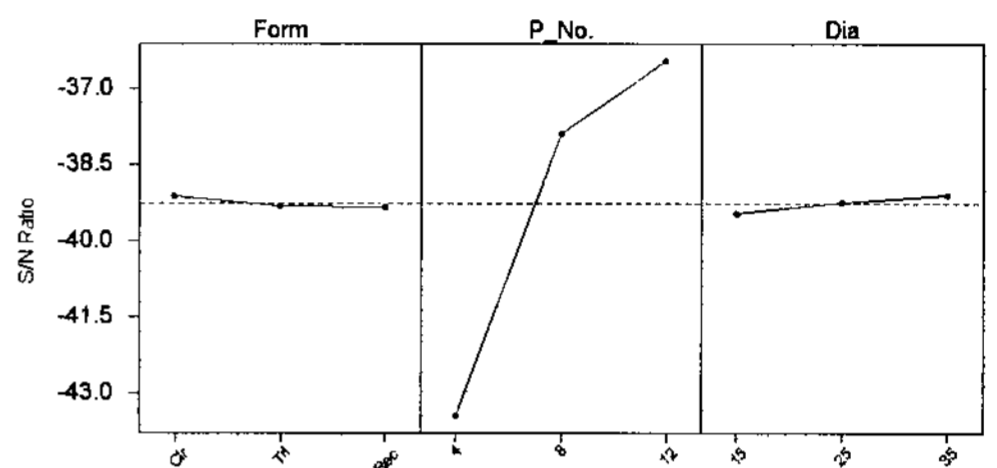
Table 4 Optimum Design Condition

	Form	P_No.	Dia.(mm)
Von-Mises Stress (MPa)	▲	4	25
Displacement (mm)	●	12	35
overall	●	12	35

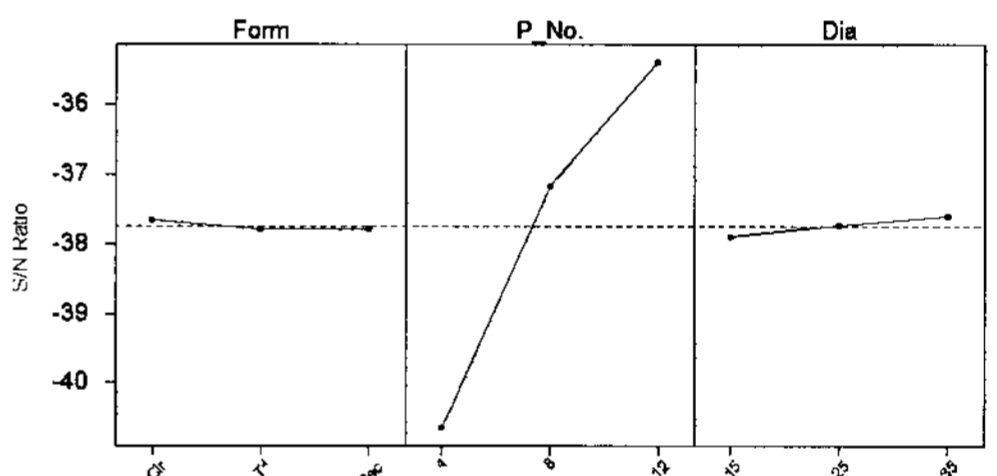
해 실험 결과를 망소특성으로 분석하여 Table 3과 같은 결과를 볼 수 있었고 그 결과를 바탕으로 Fig. 7과 같은 SN비 그래프로 나타내었다. 그래프에서와 같이 Von-Mises Stress와 Displacement는 지그의 형상이나 크기에 비하여 패턴의 개수에 각각 영향을 많이 받는 것을 알 수 있었다. 따라서 지그의 형상, 크기에 대한 고려보다는 지그의 수를 고려하는 것이 원판 유리의 처짐 변위에 대한 최적 설계조건 선정에 효과적이라는 것을 알 수 있다. 이 분석을 통해 최적 설계조건을 Table 4에 나타내었고, 검증해석을 통하여 Fig. 8의 그



(a) Von-Mises Stress

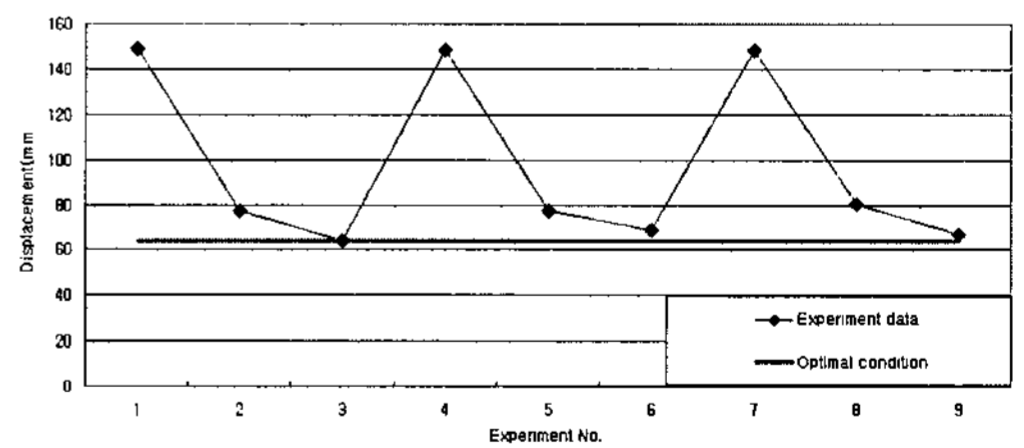


(b) Displacement

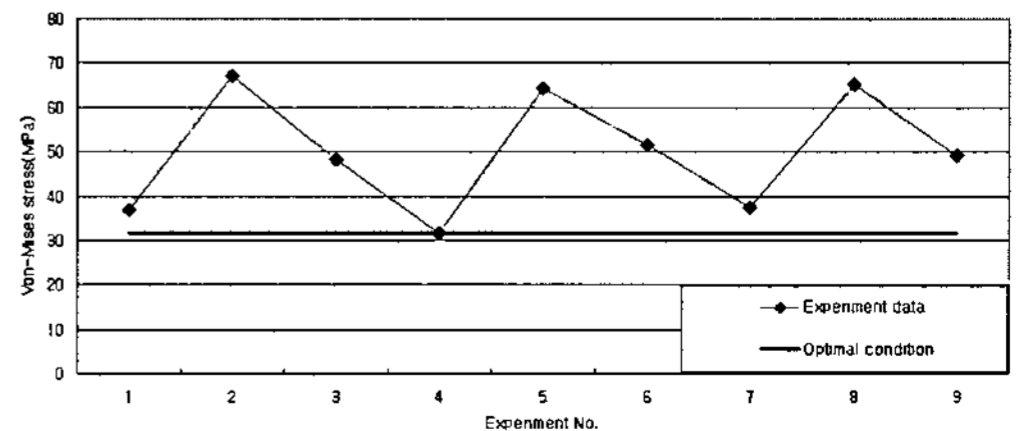


(c) Overall

Fig. 7 Result of Analysis



(a) Displacement



(b) Von-Mises stress

Fig. 8 Comparison of optimal conditions

래프로 나타내었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 임프린트 공정에 사용되는 스탬프의 원판 유리가 처짐으로 인하여 발생하는 위치오차를 최소화하는 지그를 설계하였고 다구치 실험계획법을 통하여 각각의 인자에 대한 SN비(Signal to Noise Ratio)를 분석해 최적 설계조건을 선정하고 해석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

Von-Mises Stress와 Displacement는 지그의 형상이나 크기에 비하여 패턴의 개수에 각각 영향을 많이 받는 것을 알 수 있었다. 지그의 수가 4개일 때보다 8개 일 때 약 52%, 8개일 때보다 12개일 때 약 11% 감소하는 것을 알 수 있었다. 따라서 지그의 형상, 크기에 대한 고려보다는 지그의 수를 고려하는 것이 원판 유리의 처짐 변위에 대한 최적 설계 조건 선정에 효과적이라는 것을 알 수 있다.

최적 설계를 위한 다구치 실험계획법을 이용하여 6세대 LCD 패널 공정에 이용되는 원판 유리의 처짐에 대한 실험 결과로 원판 유리를 지지하는 지그의 최적 조건을 찾아내었다. 향후 이러한 조건들을 고려하여 점점 대형화 되어가는 원판 유리에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

#### 후 기

본 논문은 서울특별시가 지원하는 전략산업 혁신클러스터 육성 지원 사업(3D Microsystem Packaging을 위한 접합공정 및 장비개발)으로 지원되어 수행하였습니다.

#### 참 고 문 헌

- (1) Lee, J. W., Seo, M. H., and Yu, J. M., 2005, "The Current Situation and The Analysis of Competitive power of a Component Material Industry Display," *KISTI*, Seoul, pp. 11~25.
- (2) Lee, S. H., 2006, "LCD technique development district," *Journal of the Korean Specially Chemical Industry Association*, Vol. 85, No. 1, pp. 8~16.
- (3) Ko, S. H., Han, S. Y., and Choi, H. Y., 2001, "Optimal Design for a Structure Using Design of Experiment," *Spring Journal of the KSMTE*, pp. 34~39.
- (4) Song, C. S., and Kim, J. H., 2005, "Cutting Characteristic of Dry Turning Using Compressed Air," *Journal of the KSMTE*, Vol. 14, No. 1, pp. 449~464.
- (5) Liu, Y., 2003, *Finite Element Method*, University of Cincinnati, Cincinnati, pp. 122~126.
- (6) Huh, J. S., Jung, B. C., Lee, T. Y., and Kwak, B. M., 2006, "A Study on the Robust Optimal Supporting Positions of TFT-LCD Glass Panel," *Journal of the KSMTE*, Vol. 30, No. 8, pp. 1001~1007.