

Taguchi Method 를 활용한 Mask Holder Part 의 형상 최적화

정준영* , 이우영** , 김선기*** , 양희승***

*한국기술교육대학교, ** 한국기술교육대학교, *** 한국기술교육대학교

초록

Lithography 장비의 국내 기술개발 수준은 선진사에 비해 많이 뒤져있다고 볼 수 있다. 최근 디스플레이 산업의 폭발적인 성장과 더불어 보다 확실하고 안정적인 생산을 위해서는 Lithography 장비의 국산화 기술개발이 시급한 상황이다. 현재 시중에 나와 있는 제품의 경우 Mask holder part의 과도한 중량으로 인해 교체의 어려움이 있고 그로 인해 장비의 자동화에 걸림돌이 되고 있는 상황이다. 이에 따라 Mask holder part의 교체를 양호하게 하기 위해 질량을 줄이고 처짐이 적게 발생할 수 있도록 형상을 최적화시키는 것에 목적을 두고 실험계획법 중의 하나인 Taguchi method를 활용하여 Mask holder part의 형상을 최적화하였다.

1. 서론

디스플레이 산업을 현재와 같은 시장 주도. 상황으로 지속적으로 유지하기 위해서는 시장요구에 맞추어서 대형 size 의 디스플레이를 생산 해야 하고 이를 위해서는 디스플레이 생산 장비에 대한 전략적 투자가 필요하다. 그러나 이러한 디스플레이 장비들은 거의 60%이상이 국외에서 수입하여 오고 있는 실정이며, 핵심장비의 경우 주로 일본 장비 업체들로부터 수입하고 있어서 현재의 국가간의 문제라든가 하는 이유로 국가적으로 국내에 판매되는 장비의 수출을 조절 및 제한 할 경우 디스플레이 산업 자체에 지대한 영향이 올 것으로 보이며, 이러한 것은 현재 현실로 나타나고 있다. 특히 핵심 개발 장비의 경우 아예 국내에 판매하지 않는 장비가 있으며, 향후 개발 관련된 핵심 장비는 일정 기간 동안 판매를 하지 않으려는 움직임이 일어나고 있다.[1]

이러한 디스플레이 제조장치 중 4대 핵심 장비인 Coating 장비, Deposition(CVD) 장비, Etching 장비, Lithography 장비 중 아직 인프라가 성숙되지 않아 국산화 초기 단계에도 진입하지 못한 Lithography 장비를 개발하는 것은 향후 디스플레이 시장의 주도를 위해 꼭 필요한 일이다.[2]

본 연구는 현재 나와있는 기존 장비의 경우 Mask holder part 의 과도한 중량으로 인해 Holder part 의 교체 시 장시간의 교체시간이 필요하게 되고 장비의 자동화에 지장을 초래하는 것을 감안하여 이러한 문제점을 해결하기 위해서 실험계획법중의 하나인 Taguchi method 를 활용하여 모델의 특성치에 대해 다양한 설계인자들을 설정하고 각 인자 별로 각각의 Level 값을 가한 후 그 결과를 통해 데이터 수집하고 수집된 데이터에 의한 가장 적합한 형상, 크기 그리고 중량의 Mask holder part model 을 설계하였다.

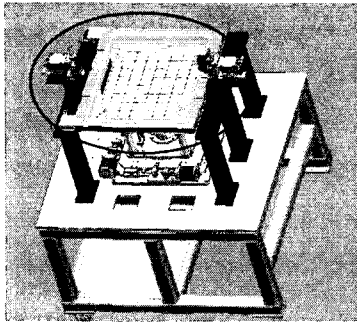


Fig 1. Stage part of lithography equipment

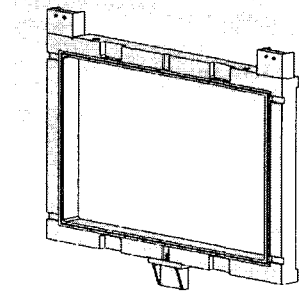


Fig 2. Mask holder part

2. Lithography의 개요

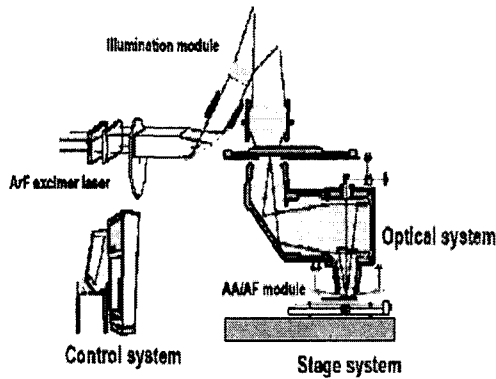


Fig 3. Lithography장비 개념도

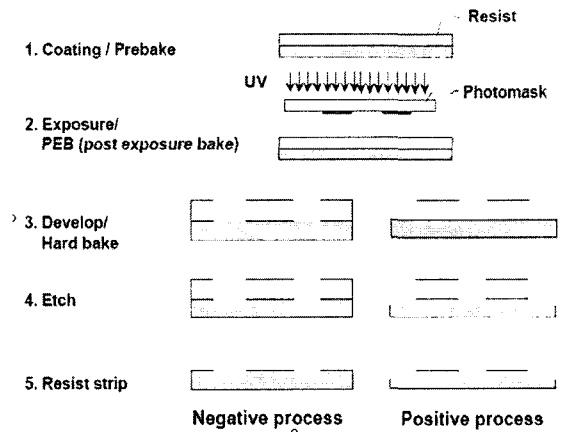


Fig 4. Photolithography process

Lithography란 광을 이용하여 기판 위에 원하는 Pattern을 구현하는 기술로서 반도체 및 디스플레이 생산에서 가장 핵심적인 기술이라고 할 수 있으며 광원으로는 일반적으로 U.V가 주로 사용되어지고 있다. Lithography 장비는 Fig 4에 나타난 공정 중 Align & Exposure를 실행하는 장비를 말하며 Fig 3에서 보는 바와 같이 크게 Optical system과 Stage system 그리고 Control system으로 구성되어 있다. 그 중 Optical system의 경우 Lithography 방식에 따라 Contact, Proximity 두 가지 형태가 있다. Contact은 Mask와 Panel을 밀착하여 Exposure하는 방식으로 Mask와 Panel을 강제적으로 진공 밀착하는 방식이다. 이 방식은 주로 Pattern의 Line 폭이 10 μm 이상 되는 배선기판의 제조공정에 많이 사용된다. 이러한 접촉식 Exposure 방식은 감광제의 두께가 두꺼우면 설계와 상이한 Pattern이 생성되는 경우가 있다. Pattern이 Mask에 밀착되어 있어서 빛의 회절을 줄이게 되므로 Mask pattern을 비교적 정확히 전달하는 것이 가능하지만, 밀착으로 인해 Mask와 PR층이 손상을 입을 수 있다. Proximity는 Mask와 Panel 간격을 일정하게 유지하면서 Exposure하며 미소한 힘 또는 자중으로 가볍게 접촉되어 Exposure되므로 Soft 접촉식이라고도 한다. Photo Mask와 기판 사이에 특정거리 간격을 유지하여 Photo mask의 손상을 방지하고, 평행광을 사용하여 해상력을 향상시키며, 밀착을 위한 진공과정 생략이 가능하므로 생산성이 높다.[4]

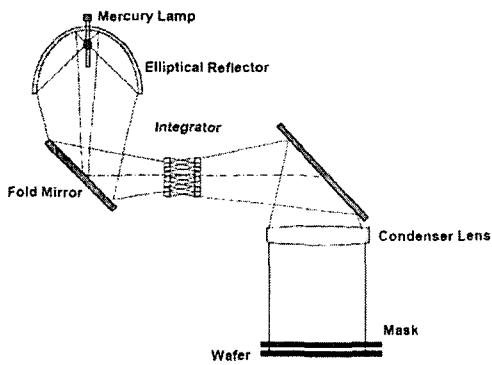


Fig 5. Contact

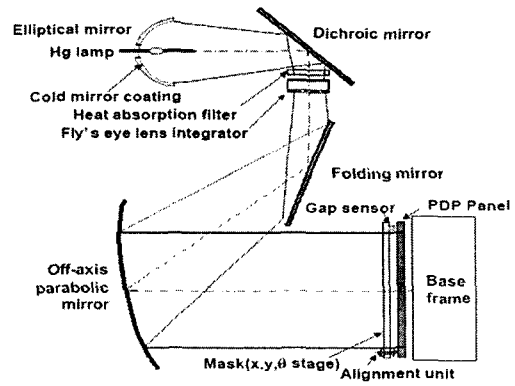


Fig 6. Proximity

본 연구에서 사용되는 장비는 Proximity 방식을 사용하는 장비로서 마이크로 단위의 정밀도를 구현하기 위해 Mask의 처짐량이 패턴에 영향을 주지 않는 크기를 가지도록 고려하였다.

3. 연구 방법

1) 해석조건

본 연구는 Mask holder part경량화에 따른 처짐량 개선을 목적으로 하였으므로 Fig 1의 Stage part of lithography equipment 상에 나와있는 장비의 Mask holder part인 Fig 2 만을 따로 분리하여 해석을 실시 하였다.

구조해석 Simulation을 위해서는 ANSYS workbench를 Tool로 사용하였으며 Fig7에서 보여지는 봐와 같이 3점에 대해 면에 수직방향 고정 조건을 주고 -Z방향으로 9.8m/s^2 의 표준 중력 가속도를 가하였다.

Table 1. "s45c" Constant Properties

| "s45c" Constant Properties | |
|----------------------------|----------------------------------|
| Density | $7,850.0 \text{ kg/m}^3$ |
| Poisson's Ratio | 0.29 |
| Young's Modulus | $2.05 \times 10^{11} \text{ Pa}$ |

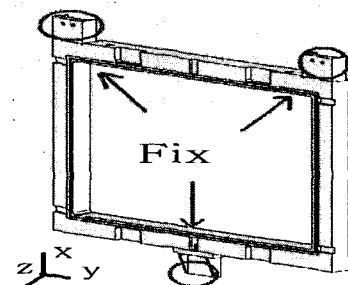


Fig 7. Boundary condition

2) 설계인자 및 설계인자를 위한 고려사항

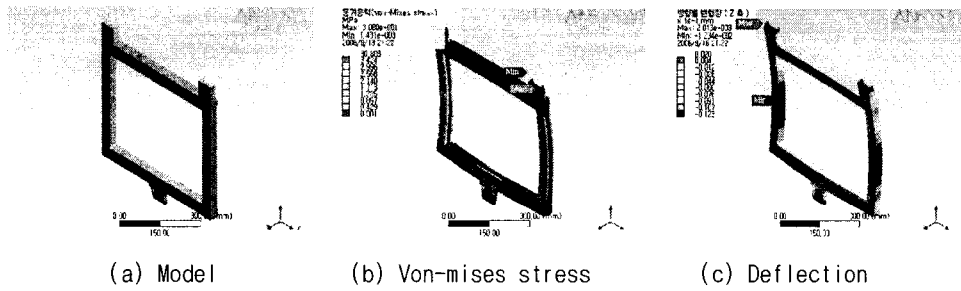


Fig 8. Analysis result of present product

본 연구에서는 Mask holder part의 질량과 처짐량의 감소를 목표로 하고 있기 때문에 Fig 8에서 응력 해석을 한 결과 응력값이 최소인 지점들을 인자로 설정하고 Fig 9에서 보는 바와 같이 인자로 설정된 부분들을 제거하고 수치를 변화시켜 최적의 형상을 얻어내고자 하였다.

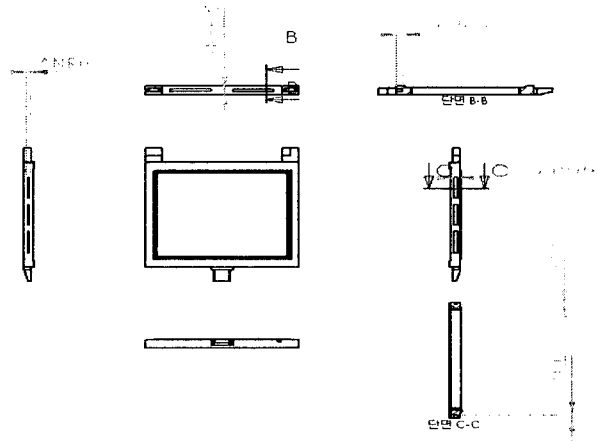


Fig 9. A expression by Taguchi method

Fig 9에서 'B'는 뒷면을 'H' 높이를 'D'는 깊이를 'R' 왼쪽을 'L'은 오른쪽을 의미하는 인자들이다.

3) Taguchi Method의 이론적 배경

(1) Taguchi Method

Taguchi method는 일본의 다구찌 겐이치가 구현한 제품의 품질 개선 기법이다. 알려진 Taguchi method는 제어 가능한 인자로 제어할 수 없는 잡음 인자에 Robust design을 하는 것이다. 기존의 실험계획과 Taguchi method의 가장 큰 차이점은 기존 실험계획은 실험실에서 잡음인자를 고정하고 실험하였다. Taguchi method에서는 실험할 때 현실과 똑같이 잡음조건을 바꾸어 가면서 실험하여 최적조건을 찾는 것이다. 기술의 기본은 원하는 출력을 얻기 위하여 입력을 투입하여 일정한 시스템을 거쳐 원하는 출력 즉 특성치를 얻는 것이다. Fig 9은 출력시스템을 보여준다.

Table 2. Table of orthogonal arrays and completely factorial experiment

| Factor | 2 Level | | 3 Level | | |
|--------|-------------------|----------------------|---------|-------------------|----------------------|
| | Orthogonal arrays | Factorial experiment | Factor | Orthogonal arrays | Factorial experiment |
| 3 | 4 | 8 | 4 | 9 | 81 |
| 7 | 8 | 128 | 13 | 27 | 1584328 |
| 11 | 12 | 2048 | 40 | 81 | ∞ |

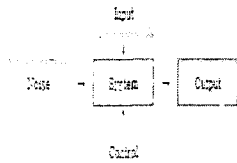


Fig 10. Output system

(2) 직교 배열법

직교 배열법은 직교 배열표를 이용한 실험으로서 각 열이 직교가 되게 미리 만들어 놓은 표이다. 즉 어떤 수준에 대해서나 다른 열의 전체 수준이 같은 횟수씩 나타나도록 구성되어 있다. Table 2 는 직교배열과 완전 요인 실험을 실험횟수의 관점에서 비교해 놓았다. 본 연구에서는 인자가 계량치여서 현재의 조건보다 큰 쪽이 좋은가, 작은 쪽이 좋은가 명확하지 않으므로 3 수준계의 3^m형 직교 배열표를 사용하였다. 3수준계 직교 배열표는 $L_{3^m} (3^{(s^m-1)/2})$ 으로 나타낸다. 여기서 m은 2 이상의 정수이고, 3^m 은 실험의 크기, $(3^m - 1)/2$ 는 직교배열표의 열의 수를 나타낸다. 3수준계의 직교 배열표에서 27번의 실험 횟수를 거쳐 결과를 얻어내는 방식을 취하였다.

목표 특성치는 최대 처짐량에 대한 망소 특성(Smaller is better)을 적용하였다. 식(1)은 망소 특성에 대한 SN비 공식이다.

$$SN = -10 \log_{10} \sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n} \tag{1}$$

4) 실험계획법을 이용한 최적 설계

(1) 해석Data의 Taguchi Method을 통한 설계인자 추출

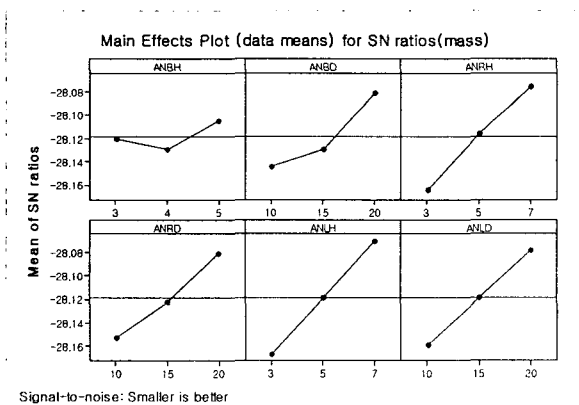


Fig 11. Mass analysis by Taguchi method

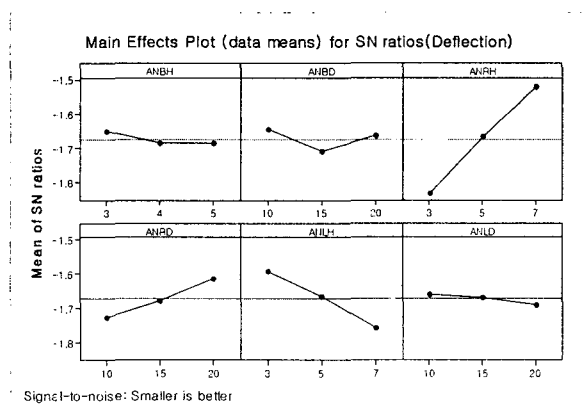


Fig 12. Deflection analysis by Taguchi method

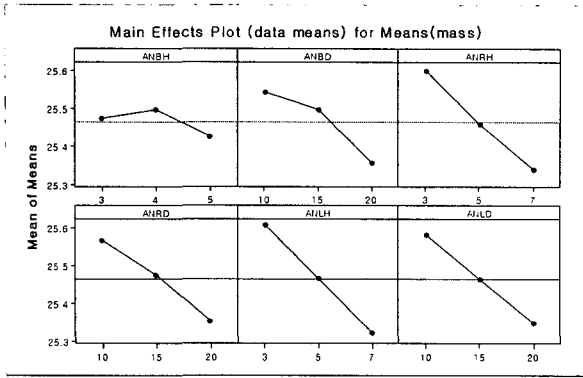


Fig 13. Mass analysis by perfect factor

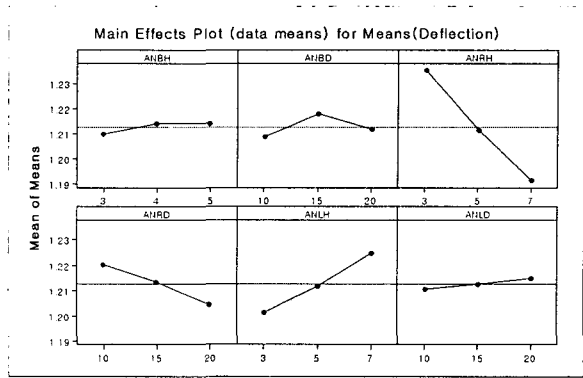


Fig 14. Deflection analysis by perfect factor

Taguchi method의 분석결과를 나타내는 Plot of SN ratios인 Fig 11 과 Fig 12에서 보여지듯이 6개의 인자중 ANRH, ANRD, ANLH의 3개의 인자가 질량 및 처짐량에 대해 요소변화를 실시한 결과 큰 변화량을 나타냈다. 이로서 Mask holder part의 처짐량 및 경량화를 모두 만족하는 최적화된 인자를 설정하기 위해 변화량이 적은 3개의 인자는 최적값에 고정시키고 3개의 인자만(ANRH, ANRD, ANLH)을 재해석하여 최적값을 찾아보았다.

(2) 최적인자를 통한 최적값 추출

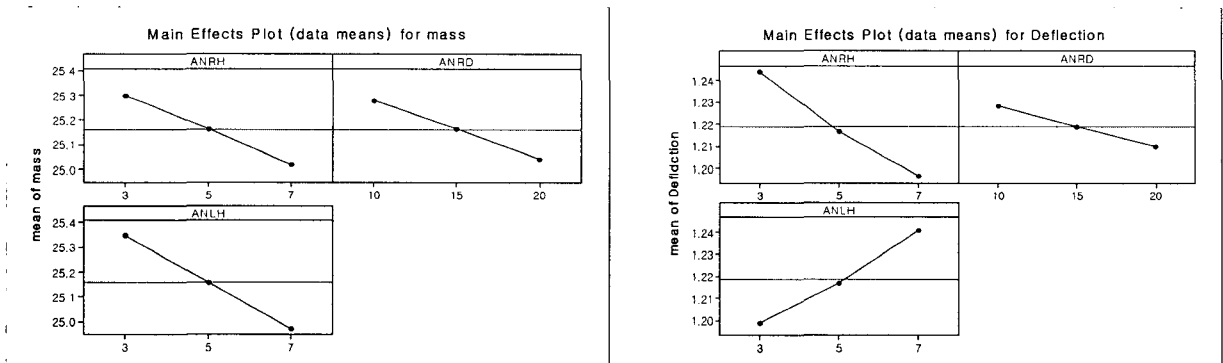


Fig 15. A output of optimal data

MINITAB을 이용하여 얻어진 data 중 ANBH 5, ANBD 20, ANLD 20 로 고정하고 ANRH를 3, 5, 7 ANRD 10, 15, 20 ANLH 3, 5, 7의 치수 변화를 주었을 때의 질량(m)에 대해 최적값을 갖는 것은 Fig 15 와 같이 ANRH 7, AHRD 20, ANLH 7이다. 마찬가지로 처짐량(d)에 대하여 최적값을 갖는 것은 ANRH 7, AHRD 20, ANLH 3이다.

그러나 질량과 처짐량의 양측면을 모두 고려한다면 변형량의 비율이 미비한 처짐측면을 무시한다면 질량에 대한 관점에서 ANRH 7, AHRD 20, ANLH 3이 최적화된 값이라 할 수 있다.

4. 해석결과

위의 결과 Data를 가지고 ANSYS workbench를 Tool로 사용하여 해석한 결과 기존 형상의 처짐량은 12.34um로 나타났으나 경량화 설계를 통해 나온 처짐량의 결과는 Fig 17 과 같이

11.592 μ m로 약 6% 개선된 된 결과를 얻었고 질량에 대해서는 기존의 제품의 질량은 26.46 kg인데 비해 경량화를 통한 질량은 25.042 kg로 5.3% 개선된 결과를 얻어냈다

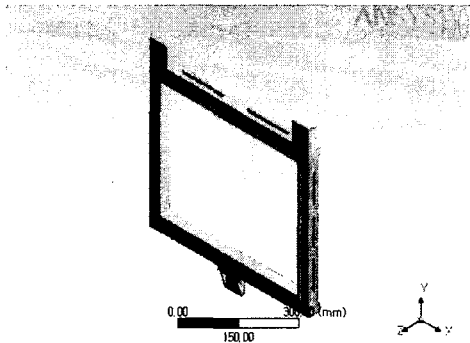


Fig 16. Developed modeling

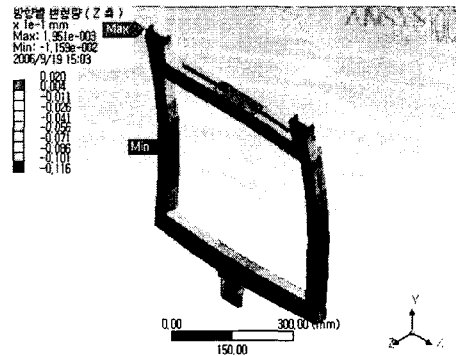


Fig 17. A analysis result of developed modeling

5. 결론

본 연구에서는 현재까지 나와 있는 Lithography 장비 Stage part 에 사용되는 Mask holder 경량화를 위해 실험 계획법인 Taguchi method 를 이용하여 설계인자를 결정하고 MINITAB 을 이용하여 최적의 값을 얻어 이를 토대로 해석을 실시 하였고 위와 같은 해석 결과를 토대로 향후 사용될 Mask holder part 에 적용 실효성을 거두고자 하였다. 해석결과에 나와있다시피 설계요소에 따른 처짐 량의 변화에 대한 민감도는 각각의 요소 별로 Level 에 따른 변화가 다른 것을 볼 수 있다. 이는 각각의 설계 인자에 의한 영향이 각기 다르다는 것을 나타내고 이중 가장 변화에 민감하고 처짐을 감소시키는 설계 인자를 확정해 설계상 최적 Level 의 Size 를 갖도록 함으로서 Table 3 에서 보여지는 봐와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 해석 결과를 통해 유추 할 수 있는 설계요소들의 최적 Level 은 Table 3 에 나타난 것과 같다. 차후 기존 Steel 재질의 제품을 현재 경량화를 위해 사용하고 있는 다른 재질로 대체하여 해석하고 실제 제품을 만들어 처짐량을 측정하고 실제 노광(Lithography)과정 중에 발생하는 열 특성에 대해서도 적용하여 연구할 계획이다.

Table 3. A data comparison of an original model and improved model

| | weight | deformation |
|----------|-----------|---------------|
| 기존 model | 26.46 kg | 12.34 μ m |
| 개선 model | 25.042 kg | 11.59 μ m |

참고문헌

- [1] “나노급 반도체용 EUV Lithography 핵심기술 개발에 관한 산업분석” , 산업자원부, 2002.
- [2] “초정밀 시스템의 나노 위치제어기술 기술동향보고서” , 한국과학기술정보연구원, 2002
- [3] “리소그래피와 광학계” , 한국전자통신연구원, 2001
- [4] 이승호, “품질개선을 위한 실험계획 방법들의 비교연구” , 서경대학교, p31-38, 2001
- [5] 설진수, 임경화 “초정밀 모터의 동특성 분석 및 최적 설계” , 한국 기술교육대학교, p57-62, 2006
- [6] 김현철, “초정밀 선형 모터의 열특성 분석 및 최적 설계” , 한국 기술교육대학교, p31-38, 2006
- [7] 이상복, “Minitab 을 이용한 다구찌 활용” , 이레테크, p41-121, 2001
- [8] 이상복, “알기쉬운 다구찌 기법” , 상조사, p13-212, p353-387, 2006
- [9] 이상복, “새 Minitab 을 실무완성” , 이레테크, p691-704, 2005
- [10] “Ansys introduction training manual” , (주)태성에스앤이, 2006