

LCD 이송장치 Column 부의 식스 시그마 강건설계를 위한 연구

정동원*(창원대학교 대학원 기계설계공학과), 정원지(창원대학교 기계설계공학과),
송태진(창원대학교 기계설계공학과 대학원), 방덕제(쑤신성이엔지), 윤영민(쑤신성이엔지)

The study for Six Sigma Robust Design of Column part for LCD Transfer system

D. W. Jung(Mecha. Design. Eng. Dept. CNU), W. J. Chung(Mecha. Design. Eng. Dept. CNU),
T. J. Song(Mecha. Design. Eng. Dept. CNU), D. J. Bang(Shinsung Engineering Co., Ltd.),
Y. M. Yoon(Shinsung Engineering Co., Ltd.)

ABSTRACT

This research studied robust design of column part for LCD transfer system. 1st DOE(Design of Experiment)was conducted to find out main effect factors. 36 experiments were performed and their results were shows that the geometric parameters(Low-length, Side-length, Upper-thickness, Middle-thickness)are more important than other factors. The main effect plots shows that the maximum deflection of column is minimized with increasing Low-length, Side-length, under-thickness and Middle-thickness. 2nd DOE was conducted to obtain RMS(Response Surface Method)equation 25 experiments were conducted. The CCD(Central Composite Design)technique with four factors were used. The coefficient of determination (R^2) for the calculated RSM equation was 0.986. Optimum design was conducted using the RSM equation Multi-island genetic algorithm was used to optimum design. Optimum value for Low-length, Side-length, Upper-thickness and Middle-thickness were 299.8mm, 180.3mm, 21.7mm, 21.9mm respectively. An approximate value of 5.054mm in deflection was expected to be a maximum under the optimum conditions. Six sigma robust design was conducted to find out guideline for control range of design parameter. To acquire six sigma level reliability, the standard deviation of design parameter should be controlled within 2% of average design value.

Key Words : LCD Transfer System(LCD 이송 시스템), Design of Experiment (실험계획법), ANSYS®, Response Surface Method(반응표면법), Robust Design(강건 설계)

1. 서론

메모리 산업에 이어 LCD 는 우리나라 산업의 매우 중요한 부분이 되었다. LCD 산업의 경쟁이 치열해 짐에 따라 LCD 원판 유리의 크기는 점점 대형화 되어가고 있다. 하지만 원판의 크기가 클수록 취급이 어렵다. 일단 취급이 가능하면 하나의 원판에서 많은 LCD 를 생산할 수 있으므로 생산성을 향상시킬 수 있는 중요한 장점이 있다. LCD 원판의 크기가 커짐에 따라 LCD 이송장치도 커지게 되었

고 이에 따라 이송장치를 이루고 있는 column 부의 설계 또한 중요한 것이라 할 수 있다. 본 연구는 LCD Transfer System(LCD 이송 시스템)의 Column 부의 식스 시그마 강건설계에 관한 것이다. 대부분의 제품원가의 85%이상이 개발 초기 단계에서 결정되므로 초기 설계단계에서의 강건 설계가 무엇보다도 중요하다. LCD 이송 시스템의 Column 부는 Fig.1 과 같이 크레인 베이스에 고정되어 있으며 이송장치가 작업을 위해 어떤 주어진 가속도로 움직인다. 이러한 움직임에 의해 LCD 이송장치의 Column 부의 끝

단에는 하중이 걸리게 되어 변위가 발생하게 된다. 이는 LCD 이송장치가 정확한 작업을 수행 할 수 없게 만든다. 이를 위해 최대 가.감속에 의한 최대 하중에 대해서 강건하면서 경량화 되고 최대 변위가 낮은 방향으로 설계가 수행 되어야 한다. 본 연구에서는 실험계획법(design of Experiments, DOE)을 이용하여 LCD 이송장치의 column 부 설계에서 주요한 변수를 도출해 내고, 반응 표면법(Response Surface Method, RSM)과 유전자 알고리즘을 사용하여 column 부의 변위를 최소화 할 수 있는 설계변수를 도출 하였다. 또한 식스 시그마 강건설계(Six sigma Robust Design)를 이용하여 설계 값이 어느 정도로 관리 되어야 식스 시그마 수준을 달성 할 수 있는지 산출하였다.

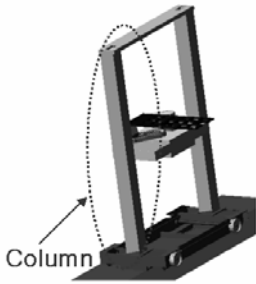


Fig. 1 The simplified LCD Transfer System model

2. LCD 이송장치의 column 부

2.1 column 부 형상

Fig.1 에서 LCD 이송장치 전체를 ADAMS 상에 나타내었다. 일반적으로 column 부에 LTR(LCD Glass Transfer Robot)이 상.하 운동을 할 수 있도록 LTR base 끝에 롤러 형태로 설계가 이루어진다. 따라서 본 연구에서는 이에 대해 가이드 역할을 위한 column 부는 전체적으로 I-BEAM 형태로 설계가 이루어져야 한다고 전체로 설계에 접근하였다.

Fig.2 는 column 부의 개략도이다. column 의 단면은 I-BEAM 형상이며 beam 의 끝 단은 크레인 베이스에 연결 되어 있다.

2.2 column 부 설계변수

형상변수는 beam 의 길이, 두께, 높이를 선정하였으며 이를 토대로 하여 실험계획법을 수행하였다. 각 형상변수의 초기값을 나타내면 Table 2 와 같다. 총 설계변수는 beam 의 상.하의 길이, 높이 그 외 각 길이와 높이에 대한 두께를 합한 6 개의 설계변

수를 가진다.

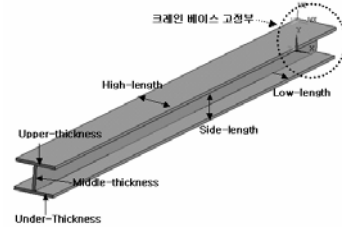


Fig. 2 Schematic diagram of column for LCD transfer system

Table 1 Initial value of geometry parameter

Geometry parameter	Initial value
High-length	275mm
Low-length	275mm
Side-length	200mm
Under-thickness	15mm
Upper-thickness	15mm
Middle-thickness	15mm

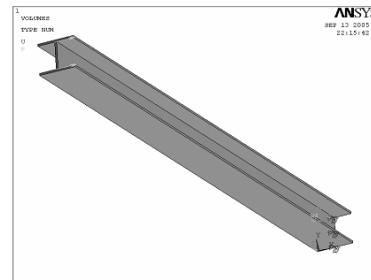


Fig. 3 Loading and boundary condition

3. 실험계획법 및 최적설계

3.1 유한요소해석

유한요소해석은 상용 FEM 해석 도구인 ANSYS 8.0 을 사용하였다. 사용한 요소는 solid 185 이다. 이는 8 개의 절점을 가지며, 각 절점의 자유도는 6 이다. 경계조건으로 beam 의 한쪽 끝 단을 완전히 고정 하였으며, 하중조건은 ADAMS®을 이용하여 단순화 된 모델을 이용하여 Column 부에 작용하는 최대 하중을 산출하여 사용하였다.

3.2 실험계획법

실험계획법(Design of Experiments,DOE)은 통계적 분석 기법으로 최근기업의 경영혁신 도구로 사용되는 식스 시그마의 측정단계에 많이 이용되고 있다.

이러한 실험계획법은 실제 실험을 할 때에도 매우 유용하게 사용될 수 있지만 CAE(Computer Aided Engineering)과 결합할 때도 매우 유용하게 사용된다. 즉, 시간이 많이 소요되는 해석을 수행 할 때 실험계획법에 따라 해석을 수행하면 몇 번의 해석으로 인자의 영향을 파악해 주인자가 무엇인지 파악 할 수 있다.

Table 2 Variable range of design parameter for 1st DOE

Variable	1	2	3
High-length(mm)	275	300	-
Low-length(mm)	250	275	300
Side-length(mm)	180	200	230
Under-thickness(mm)	10	15	22
Upper-thickness(mm)	10	15	22
Middle-thickness(mm)	10	15	22

본 연구에서는 6 개의 인자에 대해 1 차 실험계획을 수행함으로써 주인자를 찾아내었다. 1 차 실험계획은 2 수준 인자 1 개와 3 수준 인자 5 개로 실험하였으며 총 36 번의 해석을 수행하였다. 실험에서 사용한 변수 값은 Table 2 와 같다. 목적함수는 최대 변위(Maximum deflection)이다. 즉, 최대 변위를 최소로 하는데 중요한 인자를 실험계획법을 이용하여 찾아낸 것이다. 실험계획에 따라 36 회 해석을 수행한 후 결과를 미니탭을 이용하여 분석 하였다.

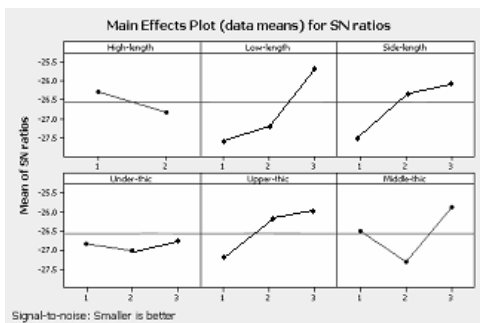


Fig. 4 S/N ratio value response for design variables

Fig.4 는 설계변수에 대한 최대변위를 최소로 하는 S/N 비에 대한 주효과 선도를 나타내었다. S/N 비는 목적함수, 즉 특성치(Characteristic-value)에 의해 그 정의가 달라지게 되는데 특성치는 망목(Normal is best), 망소(Lower is better), 망대(Higher is better)특성으로 나누어 지는데 여기서는 망소특성을 가진다. 주효과 선도는 설계의 방향을 결정하는데 도움을 준다. 즉, High-length, Under-Thickness 는 변위에 크게 영향을 미치지 못하고 Low-length, Side-length,

Upper-thickness, Middle-thickness 는 변위에 크게 영향을 미치고있으며 S/N 값을 크게 하는 방향 즉, 값을 증가시키는 방향으로 설계되어야 최대변위는 감소하는 바람직한 설계라는 것을 알 수 있다.

3.3 최적설계

일반적으로 최적설계를 수행할 때 FEM 의 해석 결과로 나온 값을 직접 이용한다. 이 경우 결과의 타당성은 높지만, 비선형 해석 같은 해석 시간이 긴 해석이나 해석의 횟수가 많이 필요로 하는 경우 최적설계에 많은 시간이 걸리는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 식(1)의 회귀 모형을 구하여 이를 이용하여 최적설계를 수행하였다.

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i \leq j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (1)$$

$$\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$$

여기서 k 는 독립변수 이다. 회귀모형을 구하기 위해 1 차 DOE 에서 구한 주인자 Low-length, Side-length, Upper-thickness, Middle-thickness 를 변수로 하여 4 인자 중심합성법(Central Composite Design)으로 2 차 DOE 를 수행하였다. 총 해석 수는 25 회이다. Table 3 에 2 차 DOE 에 사용한 변수를 나타내었다.

Table 3 Variable range of design parameter for 2nd DOE

Variable	Lower	Baseline	Upper	Alpha
Low-length	250	275	300	1.414
Side-length	180	200	230	1.414
Upper-thickness	10	15	22	1.414
Middle-thickness	10	15	22	1.414

반응표면법에 의해 구한 회귀식은 (주)Engineous 사의 iSight 를 이용하여 구하였으며, 이 때 오차항인 R² 의 값은 0.986 으로 나타나 사용하는데 문제가 없는것으로 판단 되었다. 최적설계에 사용한 알고리즘은 iSight 에서 제공하는 Multi-island 유전자알고리즘(Genetic algorithm)을 이용하였다. 이 때 모집단, Island, 세대(generation)의 수는 각각 10 으로 하였고 탐색체는 32bit 를 사용하였다. 최적설계에 사용한 식은 반응표면법에 의해 구해진 회귀식을 사용하였다. Fig.5 에 최적설계결과를 나타내었다. 대략 7200 번 이후의 실행 수(Run count)에서 수렴하는 것을 볼 수 있다. Column 의 변위는 baam 의 Low-length, Side-length, Upper-thickness, Middle-thickness 가 각각 299.8, 180.3, 21.7, 21.9 mm 일 때가 최소가 되었으며 이 때 최대 변위는 5.054mm 로 나타났다. 이 값은 회귀식을 이용하여 구한 값이므로 타당성을 확보하기 위해 최적설계값에서 유한요소 해석을

직접 수행하는 재현성 해석을 실시 하였다. 재현성 해석결과 5.31mm 값으로 나타났다. 재현성 해석결과 는 회귀식을 이용한 경우와 약간의 차이를 보였는데 이는 회귀식의 오차항 때문에 나타난 것으로 간주된다.

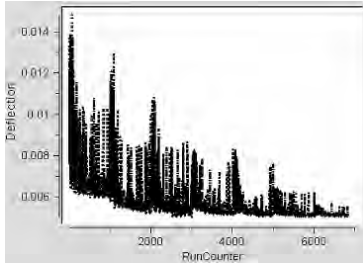


Fig. 5 Optimization result

4. 식스 시그마 강건설계

식스 시그마 강건설계의 개념은 최적설계에서 구한 설계값과 그 설계 값들의 편차가 있을 때 사용자가 원하는 합격치를 기준으로 편차가 어느 정도 발생하더라도 식스 시그마 수준의 합격률을 달성하도록 편차관리 또는 설계값을 결정 하는 것이다.

식스 시그마 강건설계(Six sigma robust design)를 수행하기 위해서는 주요인자가 선정되어 있어야 하며 선정되어있는 주인자의 통계적인 표준편차들이 확보되어야 한다. 또한 식스 시그마 수준을 결정하기 위한 기준선(Guideline)이 결정 되어야 한다.

본 연구에서는 최적설계에 사용된 4 개의 주인자를 강건설계에 이용하였다. 각 설계변수의 표준편차는 평균값의 1~10%범위에서 변동 시켰으며 어떤 정도로 표준편차를 관리할 때 식스 시그마 수준을 달성하는지 알아보았다. 또한 최대 변위가 10mm 이내로 되는 것을 기준으로 생각하고 해석을 수행하였다.

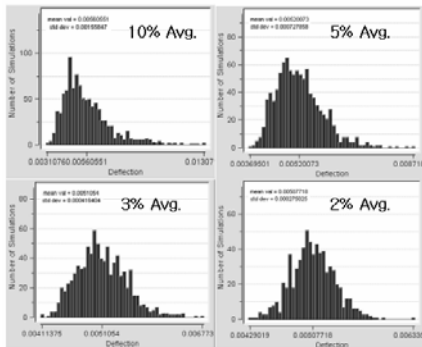


Fig. 6 Histogram of maximum deflection

설계변수는 최적 설계점을 기준으로 정규분포를

가진다고 가정하였으며 Monte Carlo Simulation 을 통해 1000 개의 데이터를 무작위 생성하였다. 설계변수의 표준편차가 줄어들수록 평균값에 근접하는 것을 볼 수 있으며 분포의 형태가 정규 분포에 가까워 가는 것을 볼 수 있다.

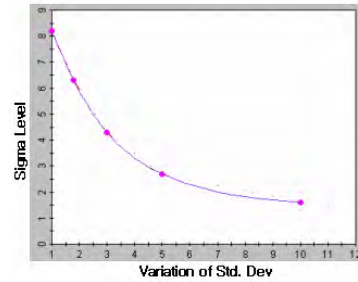


Fig.7 Sigma level according to variation of Std. Dev.

허용 최대 변위의 기준치인 10mm 를 기준으로 설계변수의 편차 변동에 따른 시그마 수준을 나타내면 Fig.7 과 같고 식스 시그마 수준의 신뢰성을 확보하기 위해서는 설계변수의 표준편차가 평균의 2%이내에서 관리되어야 함을 알 수 있다.

5. 결론

(1) column 부의 변위를 최소화 하기위해 설계인자 중 Low-length, Side-length, Upper-thickness, Middle-thickness 가 다른 인자에 비하여 주요한 인자로 나타났다.

(2) column 부의 식스 시그마 강건설계 공정을 확보하였으며, 이를 통해 식스 시그마 수준의 신뢰성 확보를 위한 설계변수 관리 범위를 찾아내었다.

후기

본 연구는 한국 과학재단 지정 창원대학교 공작기계기술연구센터(RRC)의 지원과 에너지관리공단의 에너지 절약 기술개발 프로젝트형 사업의 지원 및 (주)신성이엔지의 지원으로 수행된 연구결과 임을 밝힙니다.

참고문헌

- (1) H.W. NAM, "Six sigma Robust Design of Composite Hand for LCD Glass Transfer Robot"대한기계학회논문집, 제 29 권,제 3 호, pp. 455 - 461, 2005
- (2) ANSYS Release 8.0 Documentation
- (3) iSight 7.1 online help manual
- (4) 박성현, "현대실험계획법," 민영사, pp. 631-646, 1999.