

다구찌 법을 이용한 정밀 프레스 구조의 최적화

현소영*(고려대 대학원 기계공학과), 김권희(고려대 기계공학과)

Optimization of the Structure of the High-precision press by Taguchi Methods

S. Y. Hyoun(Mech. Eng. Dept., KRU), K. H. Kim(Mech. Eng. Dept., KRU)

ABSTRACT

Optimization of structure of a high-precision stamping press structure is performed by combination of Taguchi Method and finite element analysis. Too much difference in the stiffness between hydrostatic bearing linear guide and press structure is observed. Efforts are made to level up the stiffness of press structure to the level of hydrostatic bearing's. Some important design parameters are identified and discussed.

Key Words : Precision Press, Optimization of structure, FEM, Taguchi Methods, Micro-stamping

1. 서론

현대의 산업사회는 점점 더 소형화를 추구하고 있으며, 이에 따라 프레스 가공은 점점 더 정밀화, 초소형화, 복잡화되는 추세이다. 특히 반도체 생산 장비나 의료기기, 일부 전자제품의 경우에는 마이크로미터 이하의 정밀도가 필요하며, 여기에는 정밀 프레스와 정밀 가이드가 필수적이다. 일반적인 프레스의 경우 성형 공정시의 충격하중에 의해 베드(Bed)에 수백 마이크로미터에서 수십 마이크로미터의 변위가 발생하는데, 정밀 프레스의 경우에는 이 변위의 정도를 마이크로미터 이하의 단위로 줄일 수 있어야 한다. 본 논문에서 앞서 정밀 가이드로 정압 베어링(Hydrostatic bearing)을 채택하여, 직선 운동을 구현하는 정밀 프레스의 설계에 관한 연구가 진행되었다.

구조의 최적화에 관한 연구는 많은 분야에서 이루어지고 있으며, 그 방법도 매우 다양하다. Park, Gyung-Jin은 불연속적인 설계 변수에 대한 구조 설계를 다구찌 법으로 최적화하는 방법에 대해서 연구한 적이 있다¹⁾ 본 논문에서는 정압 베어링을 채택하여 노트북 등에 사용되는 TFT Reflector를 생산하기 위해 개발된 미세 스탬핑 장치에 대해 간략히 소개

하고, 다구찌 법과 유한 요소 해석법을 응용하여 프레스 구조의 강성을 정압 베어링과 비슷한 수준으로 높일 수 있는 방법에 대해 연구한다.

2. 미세 스탬핑 장치의 개발

2.1 설계 사양 및 구조

일차적으로 개발한 미세 스탬핑 장치는 유압식 프레스로써 사양을 살펴보면 용량은 25kN, 베드의 크기는 설치될 금형을 고려하여 400×500 mm로 하며, 개방 높이는 300mm, 행정은 110mm이다. 구현하고자 하는 정밀도는 진직도가 2.5 μ m/100mm, 반복 정도가 1 μ m/100mm이다.

유압 프레스의 기능 단위는 크게 구조 부분과 유압 회로 부분으로 나누어지는데, 본 연구에서는 기존의 프레스 제품을 구입하여, 모터, 실린더, 펌프 등의 유압 회로 부분은 기존의 것을 그대로 활용하고, 구조 부분은 개조하기로 하였다.

구입한 프레스에 대해서 ABAQUS로 간단하게 응력 해석을 해 보면, 베드 중심부에서 72.8 μ m의 변위가 발생한다. 이러한 변위는 정밀 가공에는 적합하지 않으므로, 적합한 정밀도를 구현하기 위해 램-가이드 부분을 베드와 칼럼(Column)에 대해 분리 설

계하여 칼럼과 베드의 변형에 독립될 수 있게 하였으며, 램과 유압 실린더간에는 스프링을 설치하여, 수평 자유도는 허용하고 상하 방향만 구속되게 하였다 Fig. 1은 램-가이드의 개념도 이다.

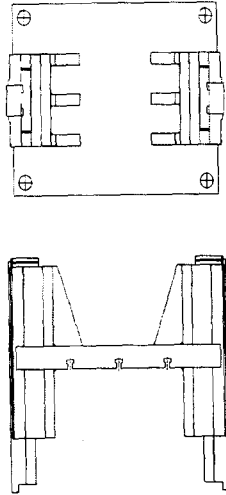


Fig. 1 Ram with hydrostatic bearing guide

2.3 정압 베어링의 설계

정밀 가이드로 정압 베어링을 채택하였는데, 그 이유는 다른 가이드에 비해 강성과 위치 정밀도가 우수하고, 내구성이 뛰어나기 때문이다. 프레스의 수직 하중에 의한 충격은 전후, 좌우 방향으로 모두 과급되기 때문에 정압 베어링은 좌우 대칭이 되도록 설치하고, 레일(Rail)은 전후, 좌우의 힘을 모두 지지할 수 있도록 T자 구조로 하였다. 용량이 25kN인 프레스에 설치되는 정압 베어링은 프레스의 수직하중 10%에 대해 1 μ m이하의 변위가 발생하여야 하므로 요구되는 강성은 2,500N/ μ m이다. 정압 베어링은 크게 레일과 베어링 블록(Bearing block)으로 나뉘어지며, 베어링 블록은 리스트릭터(Restrictor)와 패드로 나뉘어지고, 패드는 다시 포켓(Pocket)과 랜드(Land)로 나뉘어진다. 설계한 정압 베어링은 양면지지 방식으로, 좌우 방향 하중을 담당하는 6개의 양면 패드와 전후 방향 하중을 담당하는 3개의 양면 패드로 되어 있다. 각각의 패드에 대한 강성은, 전후 방향의 경우는 416N/ μ m, 좌우 방향의 경우는 217N/ μ m이다. 양쪽으로 전후 방향이 6개, 좌우 방향이 12개가 있으므로, 전체 강성은 각각의 방향에 대해 2496N/ μ m, 2604N/ μ m이다.

2.3 프레스의 Layout

설계안을 기능 단위별로 선택하여 일차년도 설계안으로 결정된 프레스의 layout은 Fig. 2와 같다.

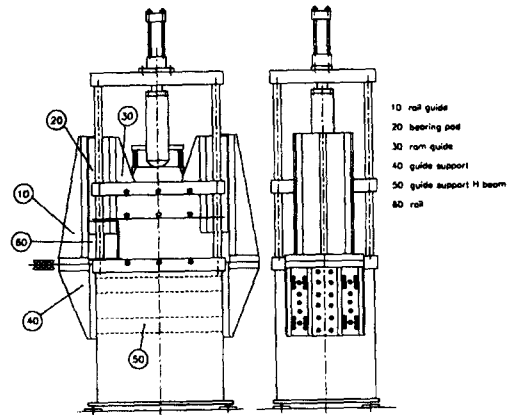


Fig. 2 Press Layout

3. 구조의 최적화

3.1 프레스의 유한요소해석 모델

구조 중에서 보강, 변경된 구조인 Rail guide, Guide support, Rail guide를 구조를 보완하기 위한 H-beam, 정압 베어링을 포함하고 있는 Rail과 Pad에 대해 중점적으로 유한요소해석을 하여 보강 설계한 구조가 요구되는 사양에 적합한지를 검토한다. Fig. 3은 유한 요소 모델에 사용된 변수의 정의를 나타내고 있다.

볼트 결합에 대한 영향은 무시하여, 각 요소의 절점을 일치시켰다. 정압 베어링은 앞에서 계산된 결과를 바탕으로 패드 하나당 한 개의 스프링으로 대체하였다. 유한요소해석은 HyperMesh로 요소망을 모델링한 다음 ABAQUS로 정적 해석을 수행하였다.

하중 조건은 25kN의 1/4인 6.25kN으로 집중 하중을 Ram의 아래쪽 중심에 가했고, 모델의 형상은 3차원의 Solid element와 Shell element로 이루어져 있다.

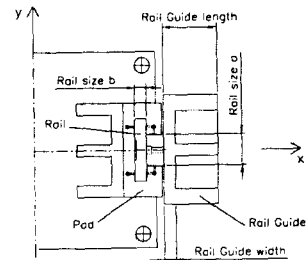


Fig. 3 Definition of variables

설계된 프레스에 대해 응력해석을 수행한 결과, x-방향 하중(Rail guide에 굽힘하중이 걸림)에 대해서

13.882 μm 의 변위가 발생하며, y-방향 하중에 대해서는 11.259 μm 의 변위가 발생하였다. Modal 해석을 수행한 결과 1차 고유주파수는 20Hz이다.

3.2 다구찌법을 응용한 기여도 분석

먼저 프레스의 구성요소 중에서 구조 강성에 영향이 큰 변수를 찾아내기 위해 다구찌 법을 사용하였다. 초기 상태에서 변수의 종류 및 Level은 Table. 1과 같으며, Table. 2는 사용한 L8 직교배열표와 해석결과를 나타낸다.

Table 1. Control Parameter Set 1(units:mm)

Index	Control Parametrs	Level1	Level2
1	Rail Guide length	110	170
2	Rail size a	72	88
3	Rail Guide width	20	40
4	Rail size b	24.94	34.94
5	H-Beam section	70*90	110*90

Table 2. L8 orthogonal array 1 and results(units: μm)

Run	1	2	1x2	3	1x3	4	5	x-dir.	y-dir.
1	1	1	1	1	1	1	1	12.3	11.0
2	1	1	1	2	2	2	2	10.4	9.9
3	1	2	2	1	1	2	2	11.7	10.8
4	1	2	2	2	2	1	1	10.9	9.5
5	2	1	2	1	2	1	2	13.5	11.4
6	2	1	2	2	1	2	1	9.6	9.6
7	2	2	1	1	2	2	1	10.0	10.5
8	2	2	1	2	1	1	2	9.0	9.2

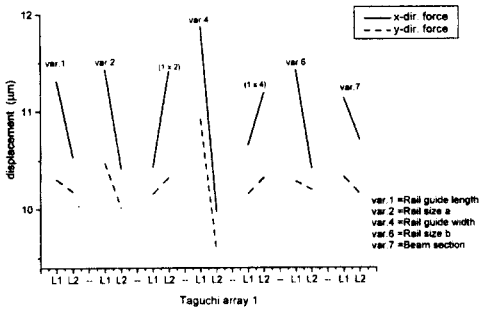


Fig. 4 Results of Orthogonal array 1

Fig. 4는 다구찌 직교배열표 1의 해석 결과이다. 변수 1, 2, 3, 4의 영향이 x-방향 하중에 대해서는 모두 큰 편이며, 이 중 3번 변수인 Rail guide width의 기여도가 가장 크다. 또 Rail guide width를 제외한 다른 변수들은 y-방향 하중에 대해 영향이 상대적으로 작음을 알 수 있다. 변수 1과 2의 상호작용을 살펴보면 x-방향하중에 대해서 강하게 나타나고 있음

을 알 수 있다. 상대적으로 변수 1과 4의 상호작용은 약하게 나타난다. Fig. 5는 변수 1과 2의 상호작용을 나타내고 있다.

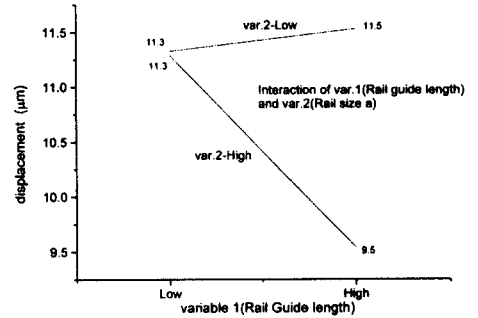


Fig. 5 Interaction of Parameter 1 & Parameter 2 (Rail Guide width & Rail size a)

직교배열표 1에서 기여도가 가장 큰 Rail guide 구조와 rail guide 구조를 보강하기 위한 H-beam의 크기 및 개수에 대한 영향을 알아보기 위해, 재차 L8 직교배열표를 사용하여 해석을 수행하였다. Table 3은 직교배열표 2의 변수의 종류 및 Level을 나타내며, Table 4는 사용한 L8 직교배열표와 해석결과를 나타낸다.

Table 3. Control Parameter Set 2 (units:mm)

Index	Control Parameter	Level1	Level2
1	Rail Guide length	110	170
2	No. of H-beam	4	6
3	Rail Guide width	20	40
4	H-Beam Section	70*90	110*90

Table 4. L8 orthogonal array 2 and results(units: μm)

Run	1	2	1x2	3	1x3	1x4	4	x-dir.	y-dir.
1	1	1	1	1	1	1	1	12.5	10.8
2	1	1	1	2	2	2	2	10.0	9.7
3	1	2	2	1	1	2	2	11.7	10.7
4	1	2	2	2	2	1	1	10.6	9.7
5	2	1	2	1	2	1	2	10.4	10.6
6	2	1	2	2	1	2	1	9.7	9.5
7	2	2	1	1	2	2	1	10.3	10.3
8	2	2	1	2	1	1	2	7.5	9.0

Fig. 6에 나타난 다구찌 직교배열표 2의 해석결과에서는 변수 1(Rail guide length)과 변수 3(Rail guide width), 변수 4(H-beam section)의 x-방향 하중에 대한 기여도가 크다. 그러나 y-방향 하중에 대해서는 Rail guide width의 영향만이 지배적이다. Fig. 7은 x-방향 하중에 대한 변수 1과 변수 2(H-beam의 개수)간의

상호작용을 나타낸다. 두 번의 다구찌법을 응용한 해석을 통해서 x-방향 하중에 대한 변위의 변동 폭이 y-방향 하중에 대한 영향보다 지배적임을 알 수 있다.

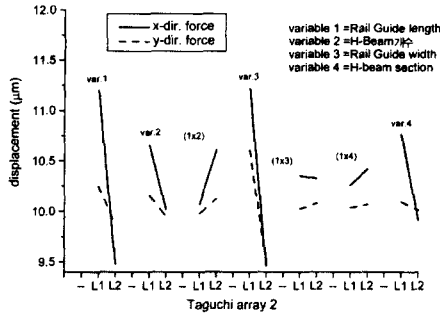


Fig. 6 Results of orthogonal array 2

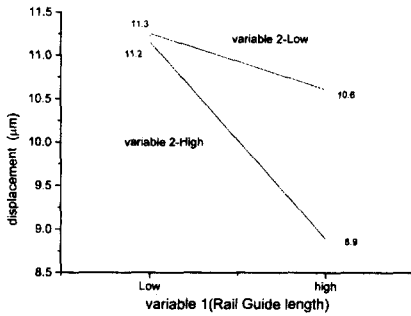


Fig. 7 Interaction of Parameter 1 & Parameter 2

설계된 프레스는 Rail guide와 H-beam으로 구성된 C-자형 구조를 가지고 있다. 변형량을 줄이기 위해 Rail guide의 옆면을 Beam으로 연결한 □-자형 구조로 해석해 보았다. 다구찌 실험 2에서 가장 낮은 변위가 나타난 Run 8의 경우에 대해서 □-자형 구조를 만들어 해석해 보면, y-방향 하중에 대한 변위는 줄지만, x-방향의 하중에 대한 변위는 많이 증가한다. 굽힘하중을 받는 x-방향 하중에 대해서는 C-자형의 구조를 선택하는 것이 유리하다.

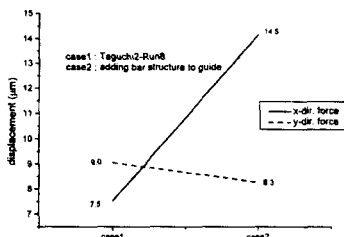


Fig. 8 comparison of adding bar

4. 결론

두 가지의 경우의 직교 배열표에 의한 해석에 의해 프레스의 구조에서 기여도가 큰 변수를 찾아보았다. 제어변수는 기존의 프레스 구조를 보강하기 위해 개조된 구조부분에서 선정하였다. 검토해본 두 가지 경우의 제어변수 중에서 Rail guide width가 가장 기여도가 크며, y-방향의 하중보다는 Rail guide가 굽힘하중을 받는 x-방향의 하중에 대한 설계변수들의 기여도가 크음을 알 수 있다.

프레스 구조 강성은 정압 베어링의 강성인 2.5kN/μm 보다 작다. 요구되는 정밀도를 구현하기 위한 2.5kN/μm의 강성을 얻기 위해서는 보강 구조의 변경만으로는 구조의 강성을 정압 베어링의 수준으로 높이는 힘들고 프레스의 다른 구조부분도 개선해야 할 것으로 보인다. 또한 x-방향의 굽힘하중에 대해서는 □-자형의 구조보다는 C-자형의 구조가 유리함을 알 수 있었다.

차후에는 주요설계변수인 rail guide의 구조를 변경하여 최적화를 수행할 것이며, 결과를 바탕으로 프레스 구조를 변형 설계할 것이다.

참고문헌

1. Park, Gyung-Jin, Hwang, Woo-Jeoung, Lee, Wan-Ik, "Structural optimization post-process using Taguchi method", JSME International Journal, Series A : Mechanics and Material Engineering v 37 n 2(1994), pp 166-172,
2. Samir Mekid, "High precision linear slide Part I : design and construction", International Journal of Machind Tools & Manufacturing 40(2000)
3. Chung Hong Park, Eung Sook Lee, Hu Sang Lee, "A review on research in ultra precision engineering at KIMM", International Journal of Machine Tools & Manufacture 39(1999), pp1793-1805
4. Alexander H. Slocum, Paul A. Scagnetti, Nathan R. Kane, and Christoph Brunner, "Design of self-compensated, water-hydrostatic bearings", Precision Engineering, Vol.19, 1995
5. Alexander H. Slocum, *Precision Machine Design*, Prentice-Hal International Editions, 1992
6. 노승국, 이찬홍, 박천홍, "유정압 테이블의 동적 modelling에 관한 연구", 한국 정밀공학회지, 제 15권 3호, 1998
7. W.B. Rowe, *Hydrostatic and hybrid bearing design*, Butterworths, 1983
8. ABAQUS/Standard User's Manual, Volume 5.6