

2 축 소형 구동기 판 스프링의 동특성 개선 Dynamic Characteristic Improvement of the Plate Spring in a 2-axis Small Sized Actuator

박순옥[†], 유정훈*, 박노철**

Soonok Park, Jeonghoon Yoo and No-Cheol Park

(2008년 7월 18일 접수; 2009년 3월 14일 심사완료; 2009년 3월 20일 게재확정)

Abstract

This paper proposed an optimal plate spring design for the optical image stabilizer in mobile phones. The voice-coil motor (VCM) with plate spring is the smallest, lowest-cost solution for auto focus on the market today and it is also the simplest to implement. The VCM is selected in this paper for auto focusing. However, the design process is complex due to the many design variables coupled to each other and some constraints of each directional motion caused by the characteristics of plate spring. Because of the complex formulation of the design objective, a plate spring design is proposed through the design of experiments to find the optimal design satisfying design constraints.

Key Words : Optical Image Stabilization(흔들림 보정기능), Design of Experiment(실험계획법), Plate Spring(판 스프링), Analysis of Variance(분산 분석), Response Surface Method(반응표면법)

1. 서론

최근 모바일(mobile) 구동기에 부착된 카메라의 수요가 증가하면서 카메라의 화질에 대한 소비자의 기대가 증대되고, 휴대폰 카메라의 사용 빈도가 높아지면서 모바일 구동 시 촬영에 대한 기능이 매우 다양해지고 있다. 특히 저조도 환경에서 촬영을 할 경우 카메라는 충분한 빛을 받기 위해 노출시간이 길어지게 되는데, 이 때 발생하는 손떨림 현상으로 인한 카메라 흔들림으로 화질의 저하 현상이 발생할 수 있다. 이러한 현상을 방지하기 위해 경통 2축 선형 구동 형태의 구동기가 채택되고 있다. Fig. 1은 구동기의 개략적인 모습을 나타내고 있다. 구동기는 배럴과 x방향과 y방향의 구동을 할 수 있는 Voice Coil Motor(VCM) 형태의 구동장치,

그리고 구동부를 지지하는 구조로 구성된다.

손떨림 방지기능은 두 축의 움직임으로 렌즈의 이동경로를 선형적으로 제어하는 기능을 해야 한다. 기존의 초소형 구동기나 광 픽업 액추에이터(actuator)에서는 경제적 측면이나 생산성 측면에서 우수하고 선형적인 제어를 보다 원활하게 하기 위한 지지구조로 4 와이어(wire) 방식을 보편적으로 사용한다[1]. 그러나 기존의 방식을 사용하면 와이어 경로의 처짐이 발생할 수 있고, 구동부 질량 변화에 대한 감도의 변화가 적다. 또한 구조적으로 와이어 방향의 길이가 짧아서 강성에 한계가 생기므로 와이어 보다는 판 스프링 형태를 선택하였다. 그러나 판 스프링의 경우는 4 와이어 방식과 다르게 임의의 방향으로 구동 시에 요잉(yawing)이나 피칭(pitching) 현상이 발생할 수 있고, 이 현상이 커질 경우 경로가 어긋나게 되어 수차 문제가 심각해질 수 있다. 이런 문제들로 인해 기존의 4 와이어 방식에 비해 보다 더 신중한 설계가 요구된다[2].

본 논문에서는 판 스프링으로 디자인 가능한 몇 가지 형태를 제시하고 해당 지지구조가 가지는 특징들을 수치해석적 방법으로 확인한다. 두 축에 대해 동일한 민감도를 갖는 요구사항을 만족하는 판 스프링을 선택한다.

[†] 연세대학교 기계공학과 대학원
E-mail : yonseiqueen@yonsei.ac.kr
TEL : (02)2123-2859

* 연세대학교 기계공학부, 부교수

** 연세대학교 기계공학부, 교수

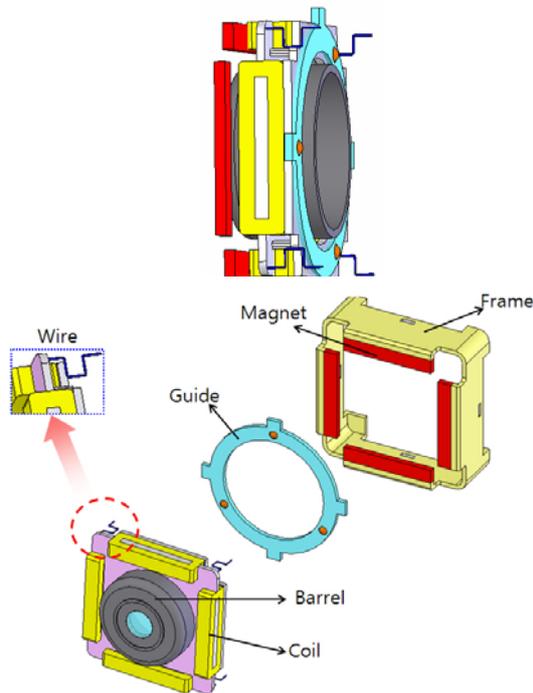


Fig. 1 Structure of the VCM in a mobile device

또한 해당 지지구조들에 대하여 판 스프링의 여러 설계 변수들을 지정한 후, 각 설계 변수들의 변화에 따른 특징들을 산출한다. 해석된 결과를 이용하여 실제 구동기의 지지구조가 제시되고, 설계 변수들의 최적해는 실험계획법(design of experiments)을 이용하여 도출한다.

2. 제안모델

판 스프링은 구동부에 연결되어 있는 형태로 광 픽업 구동기나 초소형 액추에이터에서 요잉이나 피칭방향에 대한 강성을 낮추기 위하여 많이 사용되어 왔다[3]. 본 연구에서 제안한 판 스프링의 형태는 Fig. 2와 같고 이 모델들은 모두 x 와 y 두 축 각각의 강성을 고려한 것이다[4].

Fig. 2(a)는 4와이어 형태를 갖는 초기모델로 와이어의 전체길이는 2.1mm 로 두께는 0.04mm 로 제한하고 설계하였다. 시스템 자체가 갖고 있는 공간상의 제약을 반영한 것이다. 그리고 ANSYS 해석 결과 각 축에 대한 첫 번째 고유진동수는 Table 1에서와 같이 각 축에 대한 고유진동수가 다르다는 것을 확인할 수 있다. Fig. 2(b)에서는 구동부의 움직임을 지지하는 구조가 z 축 방향으로 돌출되어 있어 구동부의 수직 방향에 대한 강성이 수평 방향에 대한 강성보다 많이 향상될 것을 예측할 수 있으며, (c)모델의 경우에는 (b)와 다르게 판 스프링의 돌출부가 x 축 방향으로 되어 있어서 구동부의 수평방향에 대한 강성이 수직

Table 1 Initial variables (unit : mm)

Total length	T (thickness)	1st frequency to x -direction (Hz)	1st frequency to y -direction (Hz)
2.1	0.04	127.85	158.50

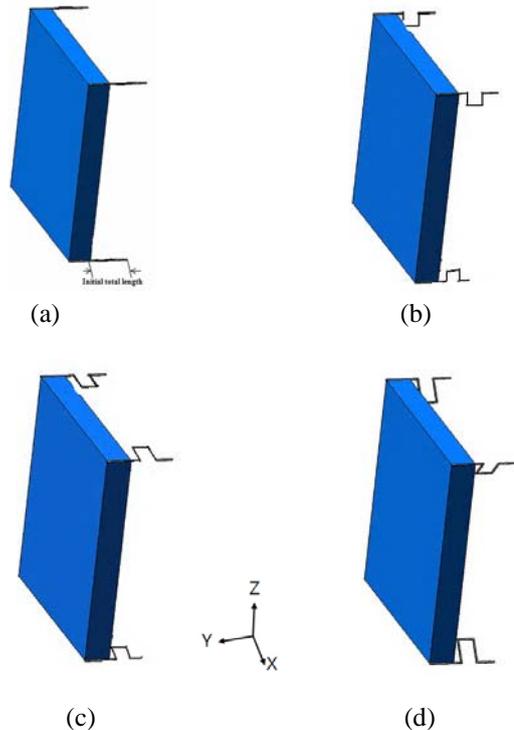


Fig. 2 Models of the plate spring; (a) initial model, (b) model 1, (c) model 2, and (d) model 3

방향보다 향상됨을 예상할 수 있고, (d) 모델의 경우는 (b)와 같이 수평 방향에 대한 강성을 방해하게 되는 지지구조의 설계와 (c)와 같이 수직 방향에 대한 강성을 방해하게 되는 설계를 조합하여 설계한다. Fig. 2의 (d)와 같이 특정한 축에 대한 강성에 중점을 두지 않고, 두 축에 대한 비교적 동일한 강성을 갖기 위해 구동부와 지지구조 사이에서 판 스프링에 45도의 경사 각도를 준다. 주어진 제한 조건과 요구되는 판 스프링의 동특성에 따라 세 모델이 가지는 특징을 고려하면 각각의 모델에 대해서 최적의 모델을 선정할 수 있다.

3. 실험계획법을 이용한 최적설계

구동부의 형태가 x , y 축에 대해 대칭이고, 동일한 힘을 내는 구조이기 때문에 판 스프링 역시 각 방향의 대하여 동일한 강성을 가질 수 있게 한다. 그러므로 Fig. 3과 같이 구동부에 대해 지지부의 단면이 45도 틀어진 형태의 구조가 위의 조건을 만족시키는 설계가 될 수 있다.

3.1 DOE 를 이용한 유한요소모델 해석

유한요소모델의 구성 및 그 해석은 ANSYS 7.1버전을 이용하였다. Table 2는 구동부의 사이즈를 나타낸다[5]. Fig. 3과 같이 판 스프링의 길이(L1~L3), 판 스프링의 높이(D), 단면의 두께(T)를 변수로 설정한다. 이 때 L3의 경우는 판 스프링의 전체 길이가 결정되어 있으므로 L1과 L2, 그리고 D값을 알면 L3값이 계산된다. 위의 설계 변수들을 이용하여 실험계획법을 구성한다. 설계변수들 중에 L1과 L2, 그리고 D를 3수준으로 정하고, 단면의 길이 T를 2수준으로 정한 혼합 직교 배열표의 구성에 따라 18번의 실험을 하도록 구성된다. 이에 따른 실험의 조합과 결과를 Table 4에 나타낸다.

최적화를 위한 목적함수는 구조물의 첫 번째 주파수를 최소화하는 것으로 설정하고 이에 따른 목적함수와 제한조건은 다음과 같이 나타낸다.

Design objective:

$$\text{Minimize (1st natural frequency)}$$

Constraints:

$$\begin{aligned} L1^{lower\ bound} \leq L1 \leq L1^{upper\ bound} \\ L2^{lower\ bound} \leq L2 \leq L2^{upper\ bound} \\ D^{lower\ bound} \leq D \leq D^{upper\ bound} \end{aligned} \quad (1)$$

$$0 \leq L1 + L2 + L3 \leq Total\ length$$

$$0 \leq L1, L2, L3, D, T$$

평균분석(analysis of mean, ANOM)방법에 따라 각 변수의 레벨에 따른 첫 번째 주파수를 확인한다. 설계변수의 치수는 치수의 변화가 가능한 영역을 고려하여 Table 3에 나타난 치수 범위 사이의 값으로 결정한다. 평균분석에 따라 각 변수의 영향을 분석한 결과는 Fig. 5와 같다. 평균 분석의 결과값이 낮게 나온 영역은 최적해가 존재할 수 있는 영역으로 해석될 수 있고, 이 결과를 바탕으로 반응표면(response surface) 근사식 구성을 위한 실험을 새롭게 구성한다.

3.1 반응표면법을 이용한 최적설계

평균분석을 통한 각 변수의 치수결과를 검토할 때, 변수 L1, L2, D 그리고 T 변수들의 값이 상한값 일 때 목적함수를 만족하는 값, 즉 첫 번째 주파수의 최소값을 얻을 수 있다. 각 영역의 상한과 하한을 1수준과 -1수준으로 중심 합성 계획을 사용한 실험구성을 할 수 있다. 각 변수의 수준별치 수는 Fig. 3의 그래프와 같고, 반응표면 근사식을 얻기 위한 실험구성 및 결과는 Table 5와 같다.

Table 2 Bobbin size of the 2-axis actuator

Total spring length	Bobbin mass	Bobbin size
2.1 mm	300 mg	8.5x8.5 mm ²

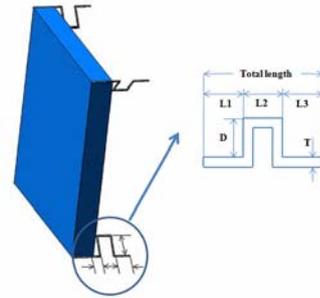


Fig. 3 Definition of design variables

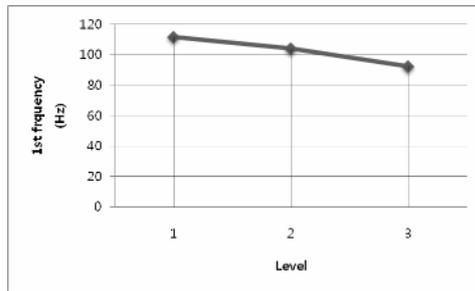
Table 3 Design variables (unit: mm)

Total length	L1	L2	D (height)	T (thickness)	Constraint of 1st frequency (Hz)
2.1	0.2 ~1.7	0.2 ~1.7	1.5~1.7	0.04~0.05	≤ 60

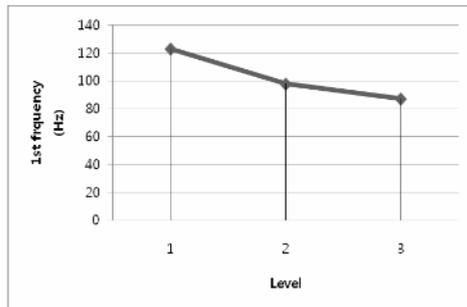
Table 4 Experiment set up for ANOM

(Level : L, Size : s)

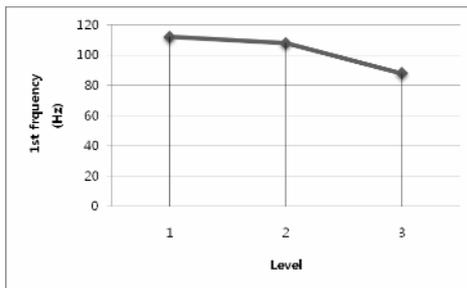
No.	L1		L2		D		T		Result(Hz)
	L	s	L	s	L	s	L	s	
1	1	0.2	1	0.2	1	1.5	1	0.05	157.16
2	1	0.2	2	0.95	2	1.6	1	0.05	145.11
3	1	0.2	3	1.7	3	1.7	1	0.05	104.89
4	2	0.95	1	0.2	1	1.5	1	0.05	173.96
5	2	0.95	2	0.95	2	1.6	1	0.05	120.64
6	2	0.95	3	1.7	3	1.7	1	0.05	82.645
7	3	1.7	1	0.2	2	1.6	1	0.05	123.54
8	3	1.7	2	0.95	3	1.7	1	0.05	85.631
9	3	1.7	3	1.7	1	1.5	1	0.05	128.67
10	1	0.2	1	0.2	3	1.7	2	0.04	97.433
11	1	0.2	2	0.95	1	1.5	2	0.04	95.002
12	1	0.2	3	1.7	2	1.6	2	0.04	69.351
13	2	0.95	1	0.2	2	1.6	2	0.04	108.48
14	2	0.95	2	0.95	3	1.7	2	0.04	80.134
15	2	0.95	3	1.7	1	1.5	2	0.04	56.819
16	3	1.7	1	0.2	3	1.7	2	0.04	76.025
17	3	1.7	2	0.95	1	1.5	2	0.04	59.133
18	3	1.7	3	1.7	2	1.6	2	0.04	79.379



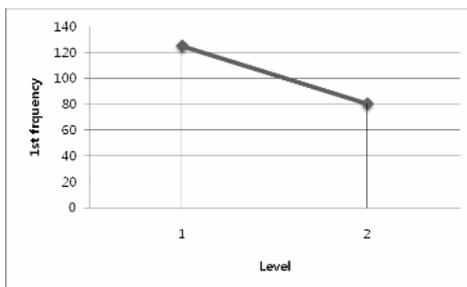
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 4 ANOM chart for; (a) L1, (b) L2, (c) D, and (d) T

이 때 판 스프링의 두께(T)는 0.04값이 항상 낮은 주파수를 갖고 있어서 반응표면법(response surface method, RSM)을 실시한 Table 5에서는 모든 두께 값을 0.04로 고정 시켰다. 표의 k는 축 점의 위치로 값은 1.682이다. 근사식의 정확성을 향상시키기 위해 3차 다항식으로 표면 근사식을 구성하고 통계적 분석을 위해 상용 통계 분석 프로그램인 SAS를 이용하여 신뢰도가 높은 항을 추출하여 최종적으로 다음의 목적함수 식을 구성하였다.

Table 5 Experiment set up for the RSM process

(Level : L, Size : s)

No.	L1		L2		D		Result(Hz)
	L	s	L	s	L	s	
1	-1	0.96	-1	0.96	-1	1.61	76.31
2	1	1.7	-1	0.96	-1	1.61	56.473
3	1	1.7	1	1.7	-1	1.61	79.085
4	1	1.7	-1	0.96	1	1.7	54.617
5	-1	0.96	1	1.7	-1	1.61	54.425
6	-1	0.96	1	1.7	1	1.7	52.743
7	-1	0.96	-1	0.96	1	1.7	73.881
8	1	1.7	1	1.75	1	1.7	76.517
9	-k	0.96	0	1.33	0	1.655	69.374
10	k	1.7	0	1.33	0	1.655	44.103
11	0	1.33	-k	0.96	0	1.655	72.294
12	0	1.33	k	1.7	0	1.655	78.489
13	0	1.33	0	1.33	-k	1.61	56.258
14	0	1.33	0	1.33	k	1.7	53.296
15	0	1.33	0	1.33	0	1.655	54.744

$$\hat{y} = 54.2028 + 2.40041x_1 + 7.53513x_2 + 7.90863x_3 + 1.43820x_1^2 + 8.04711x_2^2 + 0.74322x_3^2 + 5.2888x_1x_2 + 0.03913x_2x_3 + 5.65738x_3x_1 - 3.5129x_1^3 - 2.01650x_2^3 - 2.48975x_3^3 \quad (2)$$

(where $x_1 = L1, x_2 = L2, x_3 = D$)

위 식의 R-square 값과 adjust-R-square 값은 각각 0.9829와 0.8802로 신뢰할 수 있는 표면 근사식을 확인할 수 있다. 식 (2)의 표면 근사식의 극소점은 L1의 수준이 -1, L2의 수준이 -1, D의 수준이 -1인 지점에 존재하며 그 값은 56.473이다. 이는 설계의 제한 조건인 첫 번째 고유진동수 60Hz 이하를 만족시키고 있다.

4. 결론

본 연구에서는 모바일 구동기의 손떨림 방지 기능을 위한 판 스프링 설계를 제안하였다. 손떨림 방지 기능은 두 축에 대한 지지구조를 가져야 하며, 기존에 사용된 판 스프링의 형태는 특정 부분의 강성을 낮추기 위해 설계되었음에 비하여, 본 연구에서는 두 축에 대한 동일한 강성이 요구된다. 또한 모바일 구동기의 기구학적인 특성상 공간적인 제약이 따른다. 그러므로 구동기의 소형화에 따른 감도 저하를 해결하고 목표 감도를 만족시키기 위해 판 스프링의 구조를 바꾸는 것을 제안하였다.

실험계획법을 통한 유한요소해석을 실행하고 보다 정확한 값을 얻기 위해 반응표면법을 이용하여 최적화를 수행하였다. 최종적으로 설계된 판 스프링은 요구되는 강성과 동특성을

만족시키는 결과를 보였다. 소형화된 구동기에서의 특정한 축에 대한 강성이 아닌 두 개 이상 방향으로의 강성이나 동특성이 요구될 경우, 본 논문에서 제시된 판 스프링을 이용한 설계의 적용이 유용할 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 한국 과학재단 목적기초연구(과제 번호: R01-2006-000-10074-0)의 지원으로 이루어진 것으로, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] H. Hong and J. Yoo and Ho Cheol Lee, 2005, "Optimal design of the plate spring suspension in an optical pickup actuator", Transactions of the Korea Society for Noise and Vibration Engineering, Vol.15, No.2, pp.232-238
- [2] Y. Y. Kim, J. H. Kim, and J. Y. Han, 1999, "A new optical pick-up suspension design", International Journal of Solid and Structure, Vol.36, No.17, pp.2541-2566
- [3] G. W. Jung, J. W. Lee, D. -J. Lee, N. -C. Park, and Y. -P. Park, 2003, "Improvement of dynamic characteristics for optical pickup actuator using finite difference scheme and automated design synthesis", Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A, Vol.27, No.12, pp.1997-2003
- [4] S. -H. Yang, S. -M. Sohn, K. -T. Hong, H. -S. Lee, and B. -I. Sohn, 2005, "On-chip voice coil motor driver for mobile auto-focus camera applications", Proceedings of IEEE Asian Solid-State Circuits Conference, Vol.30, No.12, pp.101-104
- [5] S. Park., 2005, "Design of Experiments", Minyong-sa, pp.406-407