

위상-치수 최적화에 의한 마이크로 구동기 판 스프링의 설계

Plate Spring Design of a Micro Actuator Using Topology-parameter Optimization

이 종진* · 유정훈† · 이호철**

Jongjin Lee, Jeonghoon Yoo and Ho Cheol Lee

(2007년 11월 1일 접수 ; 2007년 11월 23일 심사완료)

Key Words : Optical Pickup Actuator(광 픽업 구동기), Plate Spring(판 스프링), Topology Optimization(위상 최적화), Parameter Optimization(치수 최적화), Design of Experiment(실험 계획법), Response Surface Method(반응 표면법), Modal Analysis(모드해석), Damping Element(감쇠 요소)

ABSTRACT

The recent issue of optical pickup actuators is to apply optical storage devices to mobile devices such as a cellular phone and PDA. It requires actuators to become smaller than conventional types. As the size becomes smaller, the magnetic force is reduced and the assembly of optical pickup actuators becomes more difficult. In addition, its dynamic characteristics are changed. In this paper, methods to improve magnetic forces and dynamic characteristics are suggested and the optimal result of the plate spring design is obtained. A diamond shape magnet and the fine pattern coil (FPC) are used to improve magnetic forces and damping elements are attached to decrease the peak magnitude of the mode instead of using structural damping, mostly for the purpose of improving the accuracy of the finite element simulation. To get more stable dynamic characteristics than conventional ones, a plate spring is applied to the optical pickup actuator and it is optimized with topology and parameter optimization to obtain the concept and the detail design, respectively.

1. 서 론

Blue-ray disc(BD)와 HD-DVD의 개발 및 상용화로 인해 광 정보저장기기의 기록 밀도는 혁신적인 증가를 보이고 있으며, 이런 증가세에 힘입어 경쟁 대상인 플래쉬 메모리(flash memory)와 자기기록방식의 정보저장기기에 비해 저렴한 미디어 가격을 바탕으로 휴대용 기기에 광 기록 장치를 적용하려는 시도가 계속적으로 이루어지고 있다. 따라서 광 정

보저장기기를 휴대용 기기에 적용하기 위해서는 광 픽업의 초소형화에 따른 거동의 평가가 요구된다.

이 논문에서는 리니어(linear) 형식의 광학 구동기를 대상으로 하여 소형화에 적합한 설계를 제안하였다. 최대한의 자기력을 얻기 위하여 자석 형상의 변화를 이용한 설계를 제안하였고, 기존의 구조 감쇠요소 대신 실제 감쇠요소를 설계된 판 스프링에 적용함으로써 동특성 해석을 위한 컴퓨터 모사 과정에서 정확성을 높이고자 하였다. 특히, 스피들 모터의 공진 주파수를 고려하여 1, 2차 공진 주파수 대역의 선정과 3차 부공진 사이의 폭을 넓히기 위한 판 스프링의 위상최적설계를 수행하고 여기서 얻은 개념설계를 바탕으로 실험계획법과 반응 표면법을 이용한 변수최적설계를 수행하여 상세 설계를 도출하였다.

† 교신저자: 정희원, 연세대학교 기계공학부

E-mail : yoojh@yonsei.ac.kr

Tel : (02)2123-2859, Fax : (02)362-2736

* 정희원, LG전자 DS연구소 DCT그룹

** 정희원, 대구가톨릭대학교 기계자동차공학부

2. 자기 해석 및 지지부 설계의 이론

2.1 자기 해석

자기 회로의 해석은 구동기를 작동시킬 수 있는 충분한 자기력의 발생과 이동 특성 그리고 자속 누설(flux leakage)의 여부를 확인하기 위하여 수행한다. 일반적으로 사용하고 있는 대부분의 상용 해석 프로그램은 유한요소 해석을 통해 자기력을 구한다. 예를 들어 2차원 문제에서 표면 S 내의 물체에 작용하는 힘을 계산 한다고 할 때, 각 요소에서의 힘을 F_e 라하면, 전체 힘 F 는 다음과 같이 표시된다.

$$F = \sum_{e=1}^m F_e \quad (1)$$

여기서 m 은 표면 S 와 교차하는 요소의 수이다. 각각의 한 요소에서의 힘 F_e 는 압력성분 P 를 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F_e = \int_{\Delta S} P ds = P \Delta S = P \Delta C \cdot l \quad (2)$$

여기서 ΔC 는 표면 S 가 요소 e 를 관통하는 길이이고, l 은 z 축방향의 길이이다. 맥스웰 응력법(Maxwell stress method)을 이용하여 F_e 의 x 성분 및 y 성분 F_x^e 와 F_y^e 는 식 (3), (4) 와 같이 구할 수 있다.

$$F_x^e = \frac{\Delta C l}{2\mu_0} \left[(B_x^2 - B_y^2) \hat{n}_x + 2B_x B_y \hat{n}_y \right] \quad (3)$$

$$F_y^e = \frac{\Delta C l}{2\mu_0} \left[2B_x B_y \hat{n}_x + (B_x^2 - B_y^2) \hat{n}_y \right] \quad (4)$$

여기서 B_x, B_y 는 각각 x 와 y 방향의 자속밀도이고, \hat{n}_x, \hat{n}_y 는 x, y 방향의 단위 수직벡터이며, μ_0 는 자유공간에서의 투자율(permeability)이다.

2.2 위상최적설계 이론

기존에 사용된 구동기 스프링의 설계는 주로 와이어 형태를 사용하였기 때문에 와이어의 직경과 길이만을 조정하는 등의 경험에 의한 설계가 이루어졌다. 판 스프링의 경우도 비교적 간단한 수학적 모델을 바탕으로 해서 설계가 이루어져 왔다. 그러나 이 논문에서는 위상최적화(topology optimization)를

통해 개념 설계를 얻고 이를 바탕으로 치수최적화⁽¹⁾를 통해 실제 모델을 얻는 과정으로 설계를 수행하였다.

위상최적화는 주어진 영역을 유한 개의 요소로 분할하여 이산된 각 요소의 밀도 또는 기타 특성을 설계 변수로 하여 목적함수와 제한 조건에 따른 각 요소의 유무를 판정하여 최종적인 설계 위상을 얻어내는 방법이다⁽²⁻⁴⁾. 방법론적으로 위상최적설계는 밀도법(density method)과 균질화법(homogenization design method)으로 나누어진다. 균질화법은 연속체를 이산화한 그대로 계산하는 밀도법과는 달리 연속체의 특성상 요구되는 복합재의 개념과 영역의 완화(relaxation)라는 수학적인 요구조건을 만족시키는 방법이며 밀도법에 비해 작은 구조물의 설계에 적합하며 수학적 배경이 잘 정립되어 있는 것이 특징이다. Fig. 1은 균질화법에 의한 위상최적설계의 개념을 나타낸다.

연속체인 구조물로 이루어진 설계영역 Ω 는 외부에서 작용하는 힘과 고정조건 등의 경계조건을 가지고 있다. 이러한 설계영역을 유한 개의 요소로 이산화한다. 이러한 특성으로 인하여 위상최적설계의 해석 방법으로는 유한요소법(finite element method)이 널리 이용된다. 각각의 요소를 확대하여 보면 이는 구멍(hole)을 가지고 있는 무한 개의 미소셀(micro-cell)로 이루어져 있다. 각각의 요소가 무한 개의 미소셀로 이루어짐을 가정하는 것은 연속체임을 고려한 영역의 완화를 위함이다. 각각의 미소셀은 Fig. 2에 나타난 바와 같이 경우에 따라 여러 형태로 정의되며 미소셀의 밀도를 결정하는 내부 구멍의 크기를 결정하는 인자인 D 와 Θ 가 설계변수가 된다. 따라서 이론적으로는 균질화법을 사용하는 경우

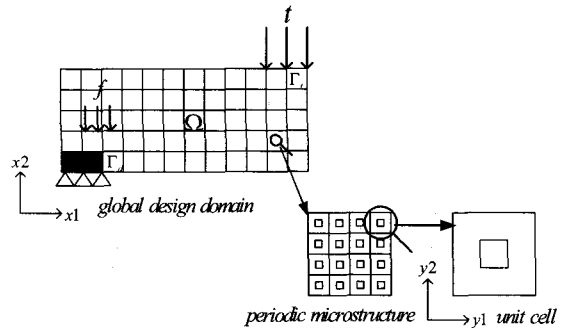


Fig. 1 Concept of topology optimization

설계영역을 유한 개로 구분하더라도 설계변수의 개수는 무한 개가 된다.

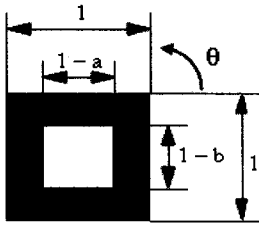
Fig. 1에 나타난 구조물의 탄성계수를 E 라하고 체적력을 f , 표면력을 t 라 할 때 구조물에 체적력과 표면력이 작용하므로 평형상태는 가상일의 원리를 이용해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$a(\mathbf{u}, \mathbf{v}) = l(\mathbf{v}) \quad \forall \mathbf{u}, \mathbf{v} \in V \quad (5)$$

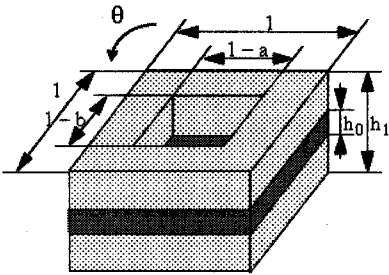
$a(\mathbf{u}, \mathbf{v})$ 와 $l(\mathbf{v})$ 는 각각 평형상태에서 변위 u 와 가상변위 v 에 의한 내부 가상일과 외부 작용일이며 이는 다음과 같이 표현된다⁽³⁾.

$$a(\mathbf{u}, \mathbf{v}) = \int_{\Omega} \varepsilon(\mathbf{v})^T \mathbf{E} \varepsilon(\mathbf{u}) d\Omega$$

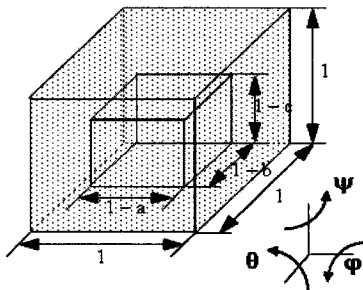
$$l(\mathbf{v}) = \int_{\Omega} \mathbf{v}^T \mathbf{f} d\Omega + \int_{\Gamma_n} \mathbf{v}^T \mathbf{t} d\Gamma \quad (6)$$



(a) 2D



(b) Shell



(c) 3D

Fig. 2 Structures of different micro-cells

균질화법을 이용하는 경우 근본적으로 재료의 이방성에 의거한 탄성계수의 값이 구해지게 되고, 그 값은 밀도에 비례하지 않고 균질화 이론에 의거하여 구해지게 된다. 균질화법에 의해 균질화된 탄성계수 E^H 를 이용하면 내부 가상일은 다음과 같이 표시된다.

$$a(\mathbf{u}, \mathbf{v}) = \int_{\Omega} \varepsilon(\mathbf{v})^T \mathbf{E}^H \varepsilon(\mathbf{u}) d\Omega \quad (7)$$

강성을 최대화하기 위한 구조물의 위상최적설계에 서는 주어진 외력에 대한 구조물의 변위를 최소화하기 위해 식 (7)의 값을 최소화하는 것을 설계의 목적함수로 설정한다. 그러나 고유모드와 고유진동수를 고려하는 구조물의 위상최적설계에서의 가상일의 원리는 다음과 같이 표현된다.

$$a(\mathbf{u}, \mathbf{v}) = \lambda b(\mathbf{u}, \mathbf{v}) \quad \forall \mathbf{v} \in V \quad (8)$$

여기서 λ 와 $b(\mathbf{u}, \mathbf{v})$ 는 각각 고유치 ($=\omega^2$)와 판성효과를 나타내며, 밀도 ρ 를 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$b(\mathbf{u}, \mathbf{v}) = \int_{\Omega} \rho \mathbf{u} \mathbf{v} d\Omega \quad (9)$$

구조물의 특정 고유치 λ_i 를 최대화하기 위한 설계의 목적함수는 다음과 같이 표시된다⁽⁴⁾.

$$\text{Maximize } \Lambda = \lambda_0 + \sum_{i=1}^m w_i \left(\sum_{i=1}^m \frac{w_i}{\lambda_i - \lambda_{0i}} \right)^{-1} \quad (10)$$

여기서 w_i, λ_{0i} 는 각각 가중치(weighting factor)와 전이변수(shifting parameter)를 나타낸다.

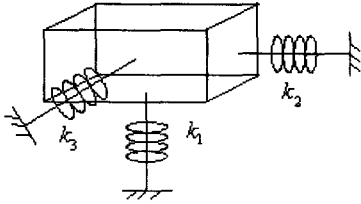
2.3 판 스프링의 거동 해석

판 스프링을 사용하면 Fig. 3과 식 (11)에서 보는 것과 같이 기존의 와이어 형태의 지지 구조에 비해 다양한 설계 변수를 얻을 수 있다⁽⁵⁻⁶⁾.

비틀림각 ϕ , 토크 T 그리고 3차 공진주파수 ω_3 에 관한 식은 다음과 같다.

$$\text{Angle of twist} : \phi = \frac{TL}{JG}$$

$$\omega_3 = \sqrt{\frac{k_3}{m}} \quad (11)$$



$k_t = k_1 + k_2 + k_3$
 k_t : Total stiffness
 k_1, k_2 : Stiffness concerned with 1st, 2nd mode
 k_3 : Stiffness concerned with 3rd mode

Fig. 3 Prospective design variables of a plate spring

와이어 스프링의 경우 길이와 와이어의 직경, 두 요소만이 설계 변수가 될 수 있지만 판 스프링의 경우 위의 설계 변수 이외에 형상 자체가 설계 변수가 될 수 있으므로 다양한 설계가 가능하게 된다. 따라서 앞에서 언급한 설계 목적에 부합하는 변수, 즉 식 (11)에서 3차 부공진 ω_3 를 증가시키기 위해 강성 k_3 를 변수로 설정할 수 있다. 또한 전단계수 G 와 길이 L 을 고정 시킨다면 설정할 수 있는 변수는 극관성 모멘트 J 만 남게 된다. J 는 판 스프링의 형상에만 관련된 변수이므로 와이어 형태에 비해 많은 설계 변수를 얻을 수 있다. 또한 구동기가 점차 소형화 되면서 조립의 문제가 발생하게 되며, 이 경우 판 스프링은 와이어 스프링 형태에 비해 우수한 조립성을 가지고 있다.

3. 자기 해석 및 지지부 설계

3.1 자기 회로 설계 및 해석 결과

자기 회로는 공간상의 제약 때문에 기존에 사용하던 코일을 배제하고 PCB판에 코일 패턴을 새긴 미세 패턴(fine pattern, FP)방식의 코일을 사용하여 구성한다. Fig. 4에 나타낸 바와 같이 FPC는 트래킹(tracking)과 포커싱(focusing)을 하기 위한 두 개의 코일을 붙이는 방식으로 구성을 하였고, 이에 따라 자석의 모양은 간섭을 최소화하기 위해 마름모 모양을 가지도록 하였다. 또한 자석, 코일 그리고 요크의 두께와 공기층의 두께는 실험계획법을 통해 최적 수준을 얻을 수 있으며 이를 바탕으로 제한된 공간 내에서 최적의 자기력을 구할 수 있다⁽⁷⁾.

자기 회로의 해석은 구동기를 동작시킬 수 있는

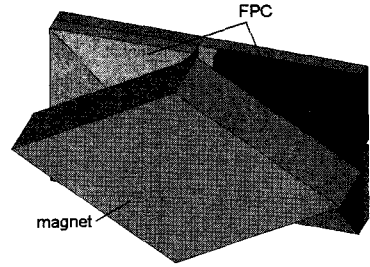
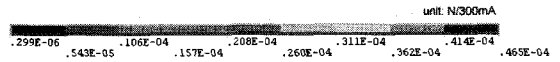
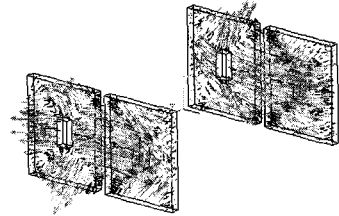
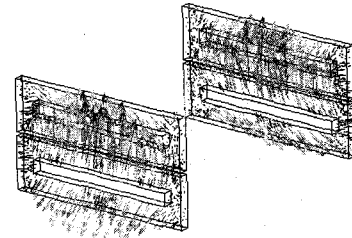


Fig. 4 Shape of magnetic and coils



(a) Magnetic force on tracking coils



(b) Magnetic force on focusing coils

Fig. 5 Magnetic force on coils

충분한 자기력의 발생과 이동 특성 그리고 자속 누설(flux leakage)의 여부를 확인하기 위한 것이다. Fig. 5는 각 FPC에서 발생하는 자기력을 보여주었다. 각 방향의 힘이 발생할 때 상호 간섭을 최소화하기 위해 마름모 형태의 자석을 도입하였기 때문에 그림에서 보듯이 트래킹 코일과 포커싱 코일 모두에서 반대 방향의 힘이 미약하게 발생하는 것을 볼 수 있으나, 전체적으로는 힘의 크기가 각 방향으로의 진행에 영향을 주지 않는 것으로 나타난다. 위의 두 그림의 해석 결과를 분석해 보면 만족할 만한

자기력과 이동특성을 얻을 수 있으며, 자속 밀도 분포 해석 결과를 통해 자속 누설을 최소화했음을 알 수 있다. 앞의 결과들은 각각의 트랙킹과 포커싱을 위한 FPC의 사용과 이에 따른 마름모 모양의 자석의 사용이 상호간의 간섭을 최소화 하면서 동시에 최적의 자기력을 발생하는 것을 보여주고 있다.

3.2 위상최적화에 의한 개념설계

앞에서 언급한 것처럼 위상최적화를 통해 간단한 개념설계를 도출하였다. 이 논문에서 판스프링설계의 목적이 1, 2차 공진 주파수와 3차 주공진의 대역을 넓혀 구동기의 안정성을 확보하기 위한 것이므로 위상화적설계의 목적함수는 식 (12)와 같이 설정될 수 있다.

$$\begin{aligned}
 & \text{Minimize } 1,2^{\text{th}} \text{ Frequency} \\
 & \text{Subject to} \\
 & \text{Total Volume} < \text{Maximum Volume}
 \end{aligned} \tag{12}$$

식 (12)의 목적함수를 위한 경계조건은 각 주파수

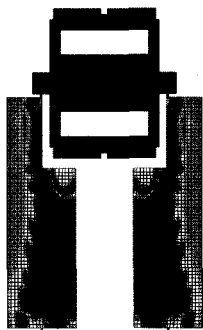


Fig. 6 Result of topology optimization

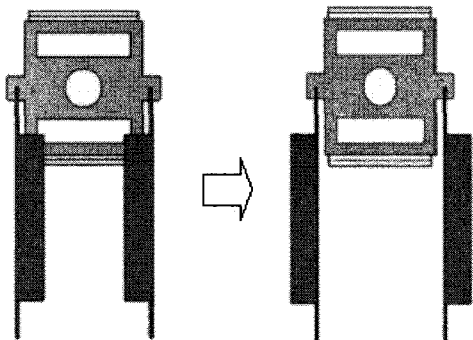


Fig. 7 Smoothing and modification of the concept design

를 최소화하면서 3차 부공진이 설정된 특정 주파수 이하로 내려가게 되면 해석이 중단되게 설정하였다. 이렇게 설정을 함으로써 1, 2차 공진 주파수를 최소화 하면서 3차 부공진 과의 대역을 넓혀 안정성을 얻을 수 있다. 이 논문에서는 균질화법을 이용한 위상최적설계를 수행하기 위해 상용 프로그램인 Optistruct를 사용하였으며 이에 따른 위상최적화의 결과는 Fig. 6과 같다. 초기 판 스프링 모델 전체를 설계 영역으로 설정 하였으며, 판 스프링에서 밝게 보이는 영역이 밀도가 낮은 부분이다. 따라서, 밀도가 낮은 부분을 제외하고 전체모델에 대해 스무싱(smoothing)작업을 통해 Fig. 7과 같이 실제 설계 가능한 모델로 변경하였다. Fig. 7에서 지지부에 붙어있는 판의 방향이 안쪽에서 바깥쪽으로 변경되는 것을 볼 수 있는데 이는 구동기의 공간적인 특성을 고려하여 변경한 것이며, 간단한 유한요소해석을 통한 결과를 분석하였을 때 동특성에는 영향을 주지 않는 것으로 판단되었다.

3.3 치수최적화에 의한 상세 설계

위상최적설계 결과를 통해 얻은 모델의 설계변수를 설정하기 위해 각 변수의 민감도를 분석하여 가장 민감한 변수를 Fig. 8과 같이 설정하고 직교 배열표를 구성하여 9번의 실험을 수행하였다. 실험의 결과를 가지고 평균분석(ANOM)방법을 이용하여 각 변수의 치수별 결과를 분석하였다. 이 연구의 목적은 구동기의 1, 2차 고유진동수를 최소화하고 3차 고유진동수를 최대화하여 2차와 3차 고유진동수간의 대역을 넓히는 데 있으므로 설계의 목적함수를 다음과 같이 구성할 수 있다.

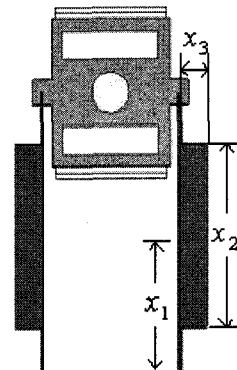


Fig. 8 Design variables set-up

$$\text{Minimize } F = w_1 \frac{f_1}{f_{01}} + w_2 \frac{f_2}{f_{02}} + w_3 \frac{f_{03}}{f_3} \quad (13)$$

여기서 f_1, f_2, f_3 는 각각 1, 2, 3차 고유진동수를 나타내며, f_{01}, f_{02}, f_{03} 는 개념설계모델의 1, 2, 3차 고유진동수를 나타낸다. w_1, w_2, w_3 는 가중치 값을 표시한다.

분석 결과에 의해 최적 수준을 선정하여 반응표면 근사식⁽⁸⁾ 구성을 위한 실험을 재구성하였다. 반응표면 근사식을 구하기 위해서 중심합성계획법을 사용하였으며 각 변수마다 15번의 실험을 수행하였다. 수행 결과를 바탕으로 각 변수의 가중치를 변화해 가면서 가장 최적값에 근사한 수준을 결정하고 이에 따라 결정된 반응표면 근사식은 다음의 식 (14)와 같다.

$$F = 1 - 0.00205x_1 + 0.00075364x_2 - 0.00057442x_3 - 0.00004362x_1x_2x_3 + 0.02267x_1^2 + 0.00095225x_2^2 - 0.00027647x_3^2 + 0.00747x_1^2x_2 \quad (14)$$

위의 식은 w_1, w_2, w_3 을 각각 0.33, 0.33, 0.34로 설정하였을 때의 결과이며 x_1, x_2, x_3 는 각 설계 변수의 수준을 의미한다.

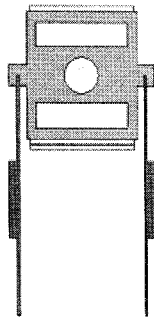


Fig. 9 Optimized model

Table 1 Final result by optimization

	1 st freq.	2 nd freq.	3 rd freq.
Wire type	169.50 Hz	170.25 Hz	383.57 Hz
Proposed type	171.72 Hz	171.88 Hz	408.37 Hz
Frequency increasing rate	1.29 %	0.95 %	6.06 %

식 (14)의 통계적 분석은 상용 통계분석 프로그램인 SAS를 사용하였으며 R-square값과 adjust R-square값은 각각 0.9924, 0.9822로서 충분히 신뢰할 수 있는 반응표면식임을 확인할 수 있다. 식 (14)의 근사식을 통해 얻은 각각의 수준은 $x_1=0.05, x_2=-0.41, x_3=1.74$ 이며, 이를 치수로 바꾸어 최적모델을 도출한 결과는 Fig. 9와 같다. 이 모델을 이용하여 상용 유한요소 해석 프로그램인 ANSYS를 사용하여 검증한 결과 오차는 1% 이내이다. 성능 개선 효과를 보이기 위해 동일 구조에 와이어 스프링을 사용했을 때와 최적 모델로 제시된 판 스프링을 사용했을 때 각각의 1, 2차 공진 주파수와 3차 부공진을 비교한 결과를 Table 1에 나타내었으며, 성능 개선 효과가 있음을 알 수 있다. 이러한 결과의 원인은 넓은 판이 위치하는 부분을 스프링의 역할을 하지 못하는 부분으로 변경함으로써 1,2차 공진 주파수에는 영향을 주지 않으나 3차 부공진, 즉 롤링 모드(rolling mode)에만 영향을 주도록 재설계한 데 있는 것으로 판단된다.

4. 진동 특성

구동기를 평가하는데 있어 조화 해석(harmonic analysis)을 통해 중요 모드가 발생하는 주파수를 확인하는 과정이 필요하다. 기존의 유한요소 해석을 이용한 방법에서는 와이어나 판 스프링 또는 보빈 자체에 구조적인 감쇠비를 설정하여 조화 해석의 결과인 주파수 응답 곡선에서 공진 봉을 낮추어 동적인 안정성을 확보하려 하였으나, 이는 높은 정밀도를 요하는 초소형 구동기를 해석하는데 있어 정확한 결과를 제공해 주지 못하는 단점이 있다. 따라서 이를 보완하고 보다 정확한 해석 결과를 얻기 위해 Fig. 10과 같이 최적 모델의 판 스프링에 직접 감쇠 요소를 사용하여 해석을 수행하였다. 실제 구동기 제작 시 일부 특정 부분에만 감쇠 처리는 하는 것에 비해 기존의 컴퓨터 모사 방법은 구동기 구조 전체에 감쇠비를 주어 계산을 하였다. 이 연구에서는 감쇠 물질이 사용되는 특정 부분에 감쇠 요소를 사용함으로써 감쇠효과를 보다 정확하게 해석하였다. 감쇠비의 설정과 감쇠 요소를 사용할 위치는 시행착오(trial-and-error)방법을 통해 공진 봉을 적절히 낮추는 방향으로 설정하였다. 감쇠 요소를 사용하기

전과 후의 컴퓨터 모사의 결과는 Fig. 11, 12와 같으며 이는 감쇠요소를 사용하여 동적인 안정성과 동시에 조화 해석 수행 시 구조 감쇠를 사용하는 것보다 직접적으로 감쇠 요소를 사용하는 것이 공진봉을 낮추는데 효과적임을 보여주고 있다.

또한 기본적인 평가 항목중의 하나인 DC감도와 AC감도의 경우는 기존의 상용화 되어있는 USC

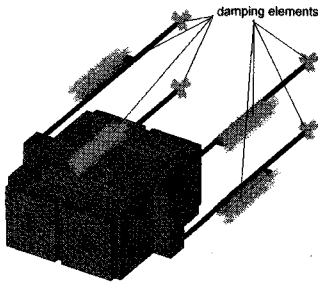
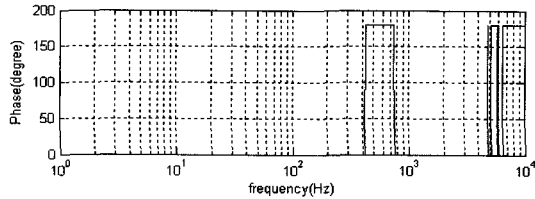
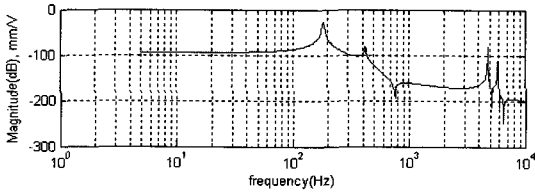
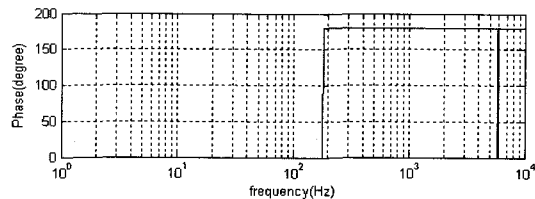
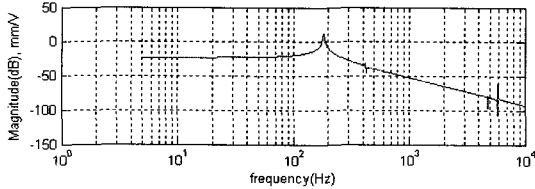


Fig. 10 Applying damping elements



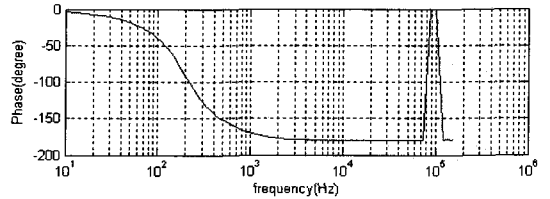
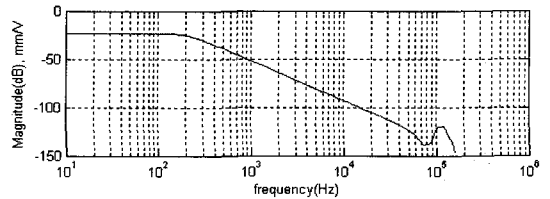
(a) Focusing



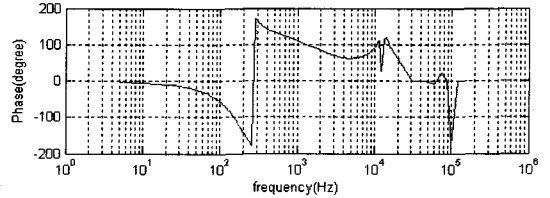
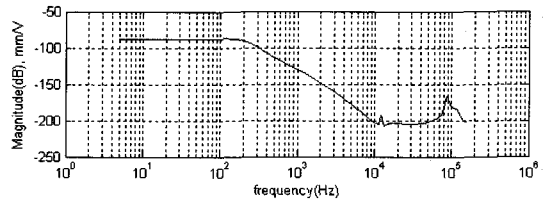
(b) Tracking

Fig. 11 Before using damping elements

(ultra slim compact)형태의 구동기의 해석 결과와 비교하였을 때 Table 2와 같은 결과를 보여주고 있다. 특히, AC감도의 경우 기존의 USC형태의 구동기에 비해 우수한 특성을 보이고 있다. 이는 안정성의 확보와 동시에 제한된 공간 내에서 최적화된 자기력과 구동기 지지구조에 의해 작은 구조이지만 우수한 진동 특성을 가지는 것으로 판단된다. 또한 감쇠요소를 사용하는 경우, 유한요소해석 시 감쇠요소의 감쇠비를 조절함에 따라 각각의 시스템의



(a) Focusing



(b) Tracking

Fig. 12 After using damping elements

Table 2 Result of sensitivity

Type	Direction	DC sensitivity [mm/V]	AC sensitivity [μ m/V]
USC (conventional)	Focus	0.72	87.92
	Track	0.72	90.34
Proposed model	Focus	0.67	329.61
	Track	0.66	345.14

특성에 맞는 공진값을 필요에 따라 얻을 수 있다는 장점이 있다.

5. 결 론

이 논문에서는 FP코일 타입의 판 스프링 지지구조를 가진 마이크로 구동기의 1, 2차 공진 주파수와 3차 공진 주파수 간격을 넓히기 위한 방법으로 위상 최적설계 방법과 반응표면식을 이용한 치수최적설계 방법을 이용하여 설계하였다. 설계된 구동기에 대해 유한요소 해석을 이용하여 동일한 모델에 와이어지지 구조를 가진 형태보다 더 높은 3차 공진 주파수를 얻을 수 있었다. 또한 조화 해석 수행 시 구조 감쇠를 이용하지 않고 직접 감쇠 요소를 사용하여 구조적인 안정성을 확보함과 동시에 더욱 정확한 결과를 얻을 수 있었고, 각각의 동특성 또한 만족할 만한 결과를 제시할 수 있었다.

후 기

이 연구는 한국과학재단 지정 연세대학교 정보저장기기센터(CISD)의 지원에 의해 이루어 졌습니다.

참 고 문 헌

(1) Fusayasu, H. and Yokota, Y., 1998, "Optimization of a Micro Actuator with Taguchi Method and Multivariate Analysis Method", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 34, No. 4, pp. 2138~2140.
 (2) Nishiwaki, S., Frecker, M. I., Min. S. and

Kikuchi, N., 1998, "Topology Optimization of Compliant Mechanism Using The Homogenization Method", International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 42, pp. 535~559.

(3) Suzuki, K. and Kikuchi, N., 1991, "A Homogenization Method for Shape and Topology Optimization", Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol. 93, pp. 291~318.

(4) Ma, Z.-D., Kikuchi, N. and Cheng, H.-C., 1995, "Topology Design for Vibrating Structures", Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol. 121, pp. 259~280.

(5) Kim, Y. Y., Kim, J. H. and Han, J. Y., 1999, "A New Optical Pickup Suspension Design", International Journal of Solids and Structures, Vol. 36, pp. 2541~2556.

(6) Hong, H., Yoo, J. and Lee, H. C., 2005, "Optimal Design of the Plate Spring Suspension in an Optical Pickup Actuator", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 15, No. 2, pp. 232~238.

(7) Ke, C.-Y., Chang, C.-L., Ju, J.-J. and Huang, D.-R., 2002, "A Magnetic Design for a Slim Type DVD Actuator", Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol. 239, Issues1-3, pp. 604~606.

(8) Myers, R. H. and Montgomery, D. C., 1995, "Response Surface Methodology: Process and Product Optimization using Design of Experiments", John Wiley & Sons, New York.