

# 유한차분법과 ADS(Automated Design Synthesis)를 이용한 광픽업 액추에이터의 동특성 개선

정기원<sup>†</sup> · 이진우<sup>\*</sup> · 이동주<sup>\*</sup> · 박노철<sup>\*</sup> · 박영필<sup>\*\*</sup>  
(2002년 8월 29일 접수, 2003년 10월 29일 심사완료)

## Improvement of Dynamic Characteristics for Optical Pickup Actuator using Finite Difference Scheme and Automated Design Synthesis

Gi Won Jung, Jin Woo Lee, Dong-Ju Lee, No-Cheol Park and Young-Pil Park

**Key Words:** Actuator(액추에이터), Finite Difference Scheme(유한차분법), Automated Design Synthesis(ADS)

### Abstract

Recently, there have been many researches and developments in optical disc drive by high density of track and high access speed. Therefore, the optical pick-up should guarantee highly accurate dynamic characteristics for the wide bandwidth in order to cope with this trend. These demands for optical pick-up actuator can be solved by improvements of lens-holder through the following methods. The first way is the analysis of the sensitivity matrix of design variables for vibration modes after appropriate design parameters are selected like shapes and local dimensions of a lens-holder. The second way is the optimization of design variables by calculating sequential linear programming after the problem of extending bandwidth are converted to problem of minimizing adequate objective function. In the result, modified FE model is obtained through several iterations by finite difference scheme(FDS). While results of the first way show better convergence of the target frequency, the second result shows better reduction of mass increase.

### 1. 서론

CD-ROM, DVD-ROM 드라이브와 같은 광디스크저장장치의 핵심부품 중 하나인 광픽업 액추에이터는 보통 4개의 와이어 서스펜션(wire suspension)으로 지지되며, 주어진 자기회로에 의해 원하는 위치의 정보를 읽거나 기록할 수 있다

록 포커스, 트래킹 방향으로 구동되어진다.

이러한 광을 이용한 장치에는 액추에이터가 정보가 저장되어져 있는 위치에 정확하고 빠르게 위치하여 정보를 읽어내는 것이 핵심기술이다.

최근 정보저장기술에 대한 필요조건으로 기록 밀도와 데이터전달속도를 높이고 정보저장의 대용량화를 요구하고 있어 이러한 요건을 충족시키기 위해 동특성이 개선된 액추에이터가 필요하다. 액추에이터의 대물렌즈를 감싸고 있는 렌즈 홀더는 10kHz 이상의 고주파수 영역에서 홀더 자체가 심하게 뒤틀리는 고차 공진현상이 나타난다. 이러한 공진현상은 제거되거나 고주파 영역으로 이동시켜야 한다. 이러한 현상에 대한 연구

<sup>†</sup> 책임저자, 회원, 연세대학교 대학원 기계공학과  
E-mail : dongzz76@yonsei.ac.kr  
TEL : (02)2123-3846 FAX : (02)364-6769

<sup>\*</sup> 연세대학교 정보저장기기연구센터

<sup>\*\*</sup> 연세대학교 기계공학과

로는 립(rib)을 사용하여 구조의 보강을 통해 동특성을 개선하는 연구,<sup>(1)</sup> 구동부의 유연모드(flexible mode)와 렌즈홀더의 강성과의 관계에 대한 연구<sup>(2)</sup>가 있었으며, 유연모드가 포함된 액추에이터의 동특성을 향상시키기 위한 구동부의 설계변수에 대한 연구<sup>(3)</sup>가 있었다. 또한 감도 행렬을 이용해 렌즈홀더의 형상을 변화시켜 고차 공진을 고주파 영역으로 이동시키는 연구<sup>(4)</sup>가 있었다.

이렇게 고차 공진을 고주파수 영역으로 이동시키거나 공진을 억제함으로써 제어대역폭을 증가시킬 수 있다.<sup>(5)</sup> 그러나 렌즈홀더에 보강요소를 덧붙이는 경우에는 구동부가 무거워지며, 구조물의 일부를 제거하는 경우는 강성이 감소하게 되므로, 이러한 질량의 변화를 고려한 설계가 필요하다. 기존의 연구들은 이러한 고려가 부족하였고 현장경험과 시행착오법에 의해 수행되었다. 따라서 디자인 변수들의 연성효과를 고려할 수 없었다. 본 논문에서는 목적함수에 대한 변수들의 연성을 고려하고 동적인 감도를 반영하여, 주어진 모델의 질량을 최대한 유지하며 제어대역폭이 증가하도록 유연모드가 발생하는 고차 공진을 고주파 영역으로 이동시키는 방안에 대해 유한차분법(finite difference scheme)과 ADS(automated design synthesis)를 적용하여 체계적으로 동특성을 개선하였다. 그리고 이 두 방법에 대해 결과를 비교하고 검토하였다.

## 2. 감도해석

### 2.1 감도해석이론

기계구조물의 최초 설계 시, 혹은 성능개선의 목적으로 구조를 변경하는 과정에서 시행오차법을 반복하는 것은 비합리적인 방법이다. 설계과정이나 변경과정에 시간적 경제적 효과를 고려하여 감도해석이 많이 이용되는데, 감도해석법은 설계변수(Design variable)에 대한 목적변수(Modal parameter)의 변화를 이용하는 방법이다. 이러한 감도해석을 이용하는 과정에서 미분을 이용한 감도해석은 가용한 설계변수가 한정적으로 사용되고, 특히 구조물이 복잡한 경우에는 적용하기 어렵다. 그러나 유한차분 감도해석법을 사용하면, 대상물이 복잡하더라도 원하는 목표에

쉽게 정확하게 도달할 수 있다.

### 2.2 고유진동수의 감도

비감쇠 계의 고유치 문제는 다음과 같이 표현된다.

$$\{[K] - \lambda_r [M]\} \phi_r = 0 \quad (1)$$

여기서,  $\lambda_r$ 은  $r$  번째 고유치를 나타내고,  $\phi_r$  는  $r$  번째 고유모드를 의미한다. 고유치  $\lambda_r$ 의 설계변수인  $\xi_i$ 에 대한 감도는 다음과 같다.

$$\frac{\partial \lambda_r}{\partial \xi_i} = \phi_r^T \left\{ \frac{\partial [K]}{\partial \xi_i} - \lambda_r \frac{\partial [M]}{\partial \xi_i} \right\} \phi_r \quad (2)$$

위 식으로부터 고유진동수  $f_r$ 의 감도를 구하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial f_r}{\partial \xi_i} = \frac{1}{8\pi^2 f_r} \phi_r^T \frac{\partial [K]}{\partial \xi_i} \phi_r - \frac{f_r}{2} \phi_r^T \frac{\partial [M]}{\partial \xi_i} \phi_r \quad (3)$$

### 2.3 유한차분법을 이용한 고유진동수의 감도

고유진동수의 감도를 구하기 위해서는 질량행렬과 강성행렬의 설계변수에 대한 미분치가 필요하다. 그러나 이러한 미분을 이용하는 경우는 대상물이 복잡한 경우나 행렬을 설계변수에 대해 수식화가 어려운 경우에는 사용할 수 없다.

그러나 식 (3)에서의 고유진동수 감도를 차분의 형태로 나타내면 다음과 같다.

$$\frac{\Delta f_r}{\Delta \xi_i} = \frac{1}{8\pi^2 f_r} \phi_r^T \frac{\Delta [K]}{\Delta \xi_i} \phi_r - \frac{f_r}{2} \phi_r^T \frac{\Delta [M]}{\Delta \xi_i} \phi_r \quad (4)$$

즉, 설계변수에 대한 질량행렬의 미분값인

$$\frac{\partial [M]}{\partial \xi_i} \text{은 } \frac{\Delta [M]}{\Delta \xi_i} \text{로, 강성행렬의 미분값인}$$

$$\frac{\partial [K]}{\partial \xi_i} \text{은 } \frac{\Delta [K]}{\Delta \xi_i} \text{로 각각을 근사화시킬 수 있}$$

다. 여기서, 설계변수의 변화량인  $\Delta \xi_i$ 의 값이 너무 작으면 반복계산과정에서 오차가 발생하고, 너무 크게 선정하면 근사화라는 가정에 위배되므로 적절하게 선정되어야 한다.

목적변수를  $\theta_i (i = 1, 2, \dots, m)$ , 설계변수를  $\xi_j (j = 1, 2, \dots, s)$ 라고 두면, 목적함수의 변화

는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta\theta = Z\Delta\xi$$

여기서, 아래의 식 (5)는 설계변수의 변화에 대한 목적변수의 변화를 나타낸 감도이다.

$$Z = \begin{bmatrix} \frac{\Delta\theta_1}{\Delta\xi_1}, & \frac{\Delta\theta_1}{\Delta\xi_2}, & \dots, & \frac{\Delta\theta_1}{\Delta\xi_m} \\ \frac{\Delta\theta_2}{\Delta\xi_1}, & \frac{\Delta\theta_2}{\Delta\xi_2}, & \dots, & \frac{\Delta\theta_2}{\Delta\xi_m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\Delta\theta_s}{\Delta\xi_1}, & \frac{\Delta\theta_s}{\Delta\xi_2}, & \dots, & \frac{\Delta\theta_s}{\Delta\xi_m} \end{bmatrix} \quad (5)$$

따라서, 설계변수의 변화량은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\Delta\xi = Z^{-1}\Delta\theta, \quad (s = m) \quad (6)$$

그러나, 식 (6)을 구하는 과정에서 목적변수와 설계변수의 개수가 다른 경우는 최소자승법(least square method)이나 의역행렬법(pseudo inverse method)을 사용한다.

$$\Delta\xi = Z^T(ZZ^T)^{-1}\Delta\theta, \quad (s < m) \quad (7)$$

$$\Delta\xi = (Z^T Z)^{-1}Z^T\Delta\theta, \quad (s > m) \quad (8)$$

위와 같은 방법으로 계산된 설계변수의 변화량을 이용하여 다음과 같이 설계변수를 변화시킨다.

$$\xi_{i+1} = \xi_i + \Delta\xi \quad (9)$$

새롭게 구한 설계변수를 대입하여 해석을 하면 목적변수의 값에서 오차가 발생한다. 이는 비선형적인 테일러 시리즈의 고차항의 감도는 생략하고 일차 감도만을 이용하였기 때문이다. 따라서 오차가 주어진 값에 수렴하도록 반복적으로 계산하여야한다.

### 3. 유한차분 감도해석을 이용한 렌즈홀더 설계

설계대상으로 선정된 렌즈홀더의 형상은 Fig. 1에 나타낸 렌즈홀더로 형상에 있어 비대칭적인 형상을 포함하고 있다.

목적 변수는 주파수응답을 확인하여 포커스 방

향으로 변위가 크고, 제어대역폭의 확장이 가능하도록 낮은 주파수로부터 4개의 유연모드를 선정하여 Fig. 2에 나타내었다. 그리고, 선정된 4개의 모드의 공진주파수가 10% 증가된 값을 목표로 하였다.

목적변수의 설정 후 각 모드에서 응력을 관찰하여 응력을 많이 받는 부위는 보강요소를 더해 주고, 응력을 적게 받는 부위는 구성요소의 일부를 제거하여 전체 렌즈홀더의 질량의 변화가 적은 방향으로 진행되도록 고려하였다. 렌즈홀더에서의 각 설계변수는 Fig. 3과 같다. 그리고 그 부위에 순차적으로 구성요소를 더하거나 감해보고 그 변화량에 대한 목적변수의 변화량을 확인하여 Table 1 과 같은 감도행렬을 구하였다.

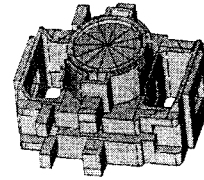


Fig. 1 Lens holder

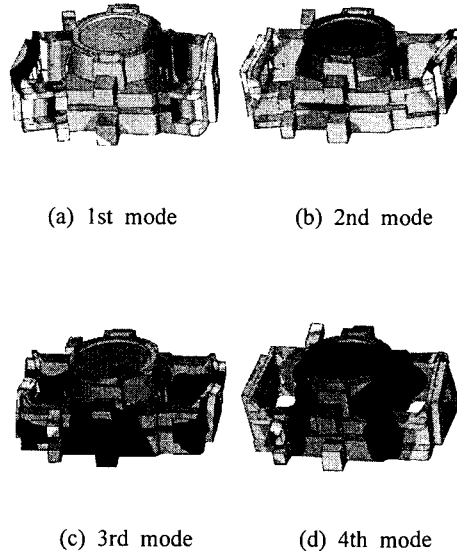


Fig. 2 Modes for frequency modification

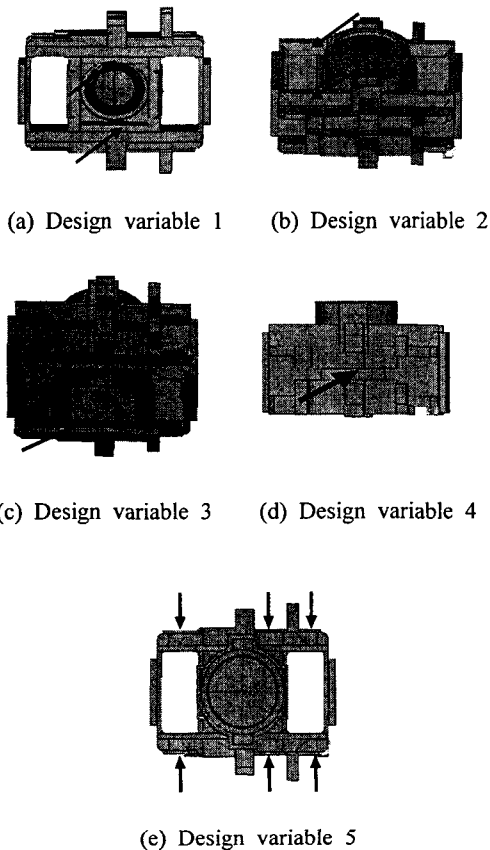


Fig. 3 Design variables for the stiffened component

설계변수는 렌즈홀더의 응력분포를 살펴 응력이 큰 부위와 작은 부위를 고려하여 변수로 선정하였다. Table 1에서 감도가 큰 설계변수 1, 2, 5번은 응력이 크므로 보강을 위한 변수로, 감도가 작은 3, 4번은 응력이 작으므로 무게증가를 막기 위한 변수로 이용하였다. 결과적으로 전체적인 질량은 유지하도록 하였다.

이렇게 감도행렬을 이용하여 구한 설계변수의 변화량은 그대로 이용하지 않고 유한차분법의 근사 가정을 위배하지 않기 위해 1보다 작은 가중치를 부여하였다. 새롭게 구하여진 설계변수를 대입하여 해석하면 목적변수의 오차가 나타났다. 따라서 이와 같은 오차가 만족한 값에 수렴할 때까지 구조변경 작업을 반복적으로 수행하였다. 유한차분 감도해석을 통해 반복 계산된 설계변수의 변화는 Table 2에 나타내었다. 계산된 설계변수를 이용하여 각 모드드의 변화된 주파수를 구

Table 1 Sensitivity analysis

Variables	1	2	3	4	5
Mode 1	702.0	214.7	216.0	190.0	5540.0
Mode 2	480.0	838.7	116.0	376.0	3453.3
Mode 3	148.0	2180.0	648.0	1680.0	876.7
Mode 4	1968.0	2230.7	3020.0	348.0	786.7

Table 2 Design variables in the modal tuning iteration (finite difference scheme)

Iteration Variables	1	2	3	4	5	6
DV 1(mm)	0.0631	0.1319	0.2135	0.3048	0.4080	0.4622
DV 2(mm)	0.2000	0.4000	0.6000	0.8000	1.0000	1.0766
DV 3(mm)	-0.0728	-0.1403	-0.2170	-0.2978	-0.3855	-0.4484
DV 4(mm)	-0.0934	-0.1906	-0.3269	-0.4844	-0.6717	-0.8002
DV 5(mm)	0.0269	0.0556	0.0873	0.1218	0.1624	0.1903

하고 목표값과의 오차를 구해 보았다. 이는 Table 3과 같았다. 반복횟수 6회에서 각 모드드의 주파수가 목표한 목적변수와의 오차가 가장 적게 나타났다. 그리고 이때의 질량증가량은 4% 미만으로 어느 정도 질량오차는 있음을 볼 수 있었다.

#### 4. 최적화 프로그램을 이용한 렌즈홀더설계

##### 4.1 최적화 문제의 구성

일반적인 최적설계 문제는 목적함수  $f(x_i, p)$ 와 제한함수  $g_j(x_i, p) \leq 0$ , 설계변수의 영역으로 구성되며, 아래와 같은 식으로 표현된다.

$$\begin{aligned} & \text{Minimize} && f(x_i, p) && i=1, 2, 3, \dots, n \\ & \text{Subject to} && g_j(x_i, p) \leq 0 && j=1, 2, 3, \dots, m \\ & && x_i^l \leq x_i \leq x_i^u \end{aligned}$$

여기서  $i$ 는 설계변수의 개수,  $j$ 는 제한조건의 개수,  $x_i^l$  및  $x_i^u$ 는 설계 변수  $x_i$ 의 하한값(lower bound) 및 상한값(upper bound)을,  $p$ 는 물성치를 포함하는 파라미터를 의미한다. 일반적인 최적화 방법에 의해 위 식의 결과는  $x_i^*$ 의 결정론

**Table 3** Checking convergence of target values (finite difference scheme)

	Initial Frequency(Hz)	Target Frequency(Hz)	Iteration 1		Iteration 2		Iteration 3		Iteration 4		Iteration 5		Iteration 6	
			Frequency(Hz)	Error(%)	Frequency(Hz)	Error(%)	Frequency(Hz)	Error(%)	Frequency(Hz)	Error(%)	Frequency(Hz)	Error(%)	Frequency(Hz)	Error(%)
Mode 1	13623	14985	13819	-7.8	14023	-6.4	14258	-4.9	14507	-3.2	14814	-1.1	14912	0.5
Mode 2	16375	18013	16640	-7.6	16958	-5.9	17253	-4.2	17550	-2.6	17882	-0.7	17933	-0.4
Mode 3	17623	19385	17963	-7.3	18574	-4.2	18913	-2.4	19192	-1	19442	0.3	19445	0.3
Mode 4	22467	24714	22752	-7.9	23252	-5.9	23687	-4.1	24127	-2.4	24649	-0.3	24749	0.1
Mass (%)	100		100.6		101.2		101.9		102.6		103.4		103.5	

**Table 4** Checking convergence of target values (ADS)

	Initial Frequency(Hz)	Target Frequency(Hz)	Iteration 1		Iteration 2		Iteration 3		Iteration 4	
			Frequency(Hz)	Error(%)	Frequency(Hz)	Error(%)	Frequency(Hz)	Error(%)	Frequency(Hz)	Error(%)
Mode 1	13623	14985	14176	-5.4	14544	-2.9	14907	-0.5	14648	-2.2
Mode 2	16375	18013	16866	-6.4	17290	-4	17771	-1.3	17750	-1.5
Mode 3	17623	19385	18014	-7.1	18599	-4.1	18886	-2.6	19394	0.1
Mode 4	22467	24714	22632	-8.4	22954	-7.1	23042	-6.7	23035	-6.8
Mass (%)	100		100.4		101.1		101.3		101.6	

**Table 5** Design variables in the modal tuning iteration (ADS)

Variables	Iteration			
	1	2	3	4
DV 1 (mm)	0.0552	0.1335	0.2640	0.4501
DV 2 (mm)	0.2000	0.4000	0.6000	0.8000
DV 3 (mm)	-0.0898	-0.2393	-0.4593	-0.7646
DV 4 (mm)	-0.1042	-0.2140	-0.2840	-0.3157
DV 5 (mm)	0.0912	0.1635	0.2309	0.2564

**Table 6** Comparison of FDS and ADS

	FDS	ADS
Mode 1 (Hz)	14912	14648
Mode 2 (Hz)	17933	17750
Mode 3 (Hz)	19445	19394
Mode 4 (Hz)	24749	23035
Error (%)	0.3	2.6
Mass (%)	103.5	101.6

적 최적해로 구해진다.

4.2 감도를 이용한 일차선형화

이산 시스템의 경우 설계 변수  $x_i$  의 변화량에 대한 목적함수의 변화량 즉 감도를 이용하여, 목적함수  $f(x_i, p)$ 를 Taylor 급수 전개를 이용하여  $x_i$  에 대한 일차 선형화를 아래의 식으로 표현할 수 있다.

$$f(x_i, p) = f(x_{i_0}, p) + \frac{\partial f(x_i, p)}{\partial x_1} (x_1 - x_{1_0}) + \frac{\partial f(x_i, p)}{\partial x_2} (x_2 - x_{2_0}) + \dots + \frac{\partial f(x_i, p)}{\partial x_n} (x_n - x_{n_0})$$

4.3 액추에이터 설계문제로의 적용

다음은 FE 해석으로 얻은 네 개 모드의 주파수를 10% 크게 하는 문제의 목적함수 식이다.

$$Minimize W = (\omega_1 - \omega_{1_0})^2 + (\omega_2 - \omega_{2_0})^2 + (\omega_3 - \omega_{3_0})^2 + (\omega_4 - \omega_{4_0})^2 \quad (10)$$

여기서  $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$ 는 FE 모델의 각 모드의 공진 주파수이며,  $\omega_{1_0}, \omega_{2_0}, \omega_{3_0}, \omega_{4_0}$ 는 목표 주파수이다.

$$Minimize W = (\omega_1 - 14985)^2 + (\omega_2 - 18013)^2 + (\omega_3 - 19385)^2 + (\omega_4 - 24714)^2 \quad (11)$$

여기서, 각 주파수는 일차 선형화를 할 수 있는데 다음 식과 같다.

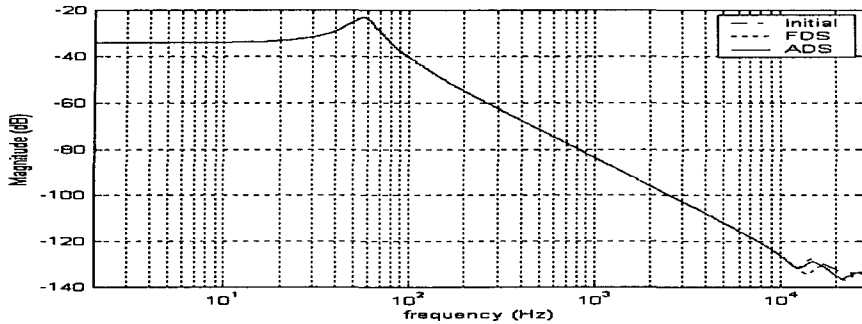


Fig. 4 Frequency Response

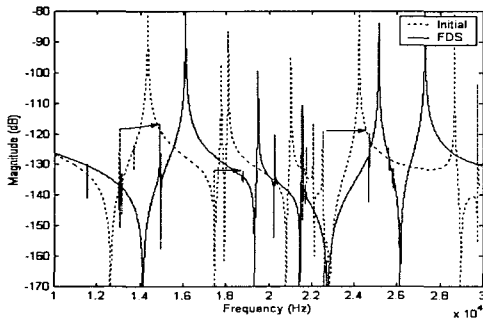


Fig. 5 Frequency Response (FDS)

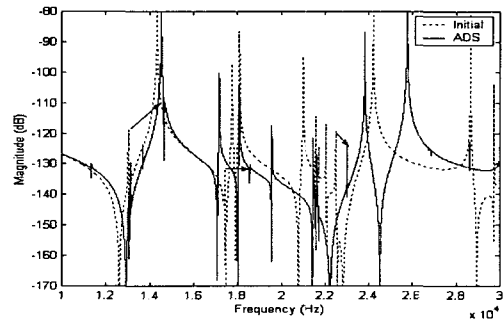


Fig. 6 Frequency Response (ADS)

$$\omega_1 = \omega_{1_0} + \frac{\partial \omega_1}{\partial x_1} (x_1 - x_{1_0}) + \frac{\partial \omega_1}{\partial x_2} (x_2 - x_{2_0}) + \frac{\partial \omega_1}{\partial x_3} (x_3 - x_{3_0}) + \frac{\partial \omega_1}{\partial x_4} (x_4 - x_{4_0}) + \frac{\partial \omega_1}{\partial x_5} (x_5 - x_{5_0}) \quad (12)$$

여기서  $\frac{\partial \omega_1}{\partial x_i}$  은 설계 변수  $x_i$  에 대한  $\omega_1$  의

감도이므로  $\frac{\Delta \omega_1}{\Delta x_i}$  로 근사화시킬 수 있으며

Table 1에 나타난 감도행렬의 각 항을 이용하였다.  $\omega_{1_0}$ ,  $x_{i_0}$  는 각각  $\omega_1$ 의 초기값,  $x_i$ 의 초기값을 나타낸다. 또한  $\omega_2, \omega_3, \omega_4$ 도 위의 식과 마찬가지로 나타낼 수 있었다. 위의 식 (12)을 식 (11)에 대입하면 설계 변수의 일차 선형화된 목적 함수를 얻어내었다.

한편 목적함수를 최소화하는 최적화 문제는 ADS (Automated Design Synthesis) 프로그램을 이용하였다. 이 과정에서 렌즈홀더의 질량증가를 억제하기 위한 일종의 구속조건을 부여하였다.

이렇게 감도행렬을 이용하여 구한 설계변수의 변화량은 그대로 이용하지 않고 유한차분법의 근사 가정을 위배하지 않기 위해 1보다 작은 가중치를 부여하였다. 이 설계변수의 변화량으로 다시 해석하면 오차가 발생하는데 이 오차가 어느 정도 수렴할 때까지 반복적으로 계산한 결과 Table 4 와 같은 주파수의 변화를 볼 수 있었다. 반복 횟수를 증가시킬수록 각 모드들의 주파수는 목적 함수, 즉 목표로 선정된 주파수에 근접하다가 반복 횟수 5회부터 그 오차가 다시 증가하였다. 따라서, 최적화 프로그램을 통해 구한 최적의 결과는 반복 횟수 4회의 경우로 질량증가는 약

2% 정도로 나타났다. Table 5에는 각 반복과정에서 얻은 설계변수의 값을 나타내었다.

유한차분 감도해석 방법과 선형화된 목적함수를 최적화시키는 방법을 비교해 보면, 각 모드에 대한 주파수의 수렴성에 대해서는 유한차분 감도해석 방법을 통해 구한 경우가 우수하였고, 질량 증가의 관점에서는 최적화 프로그램이 유용함을 확인할 수 있었다. Table 6을 살펴보면 수렴된 값에서의 오차의 평균은 유한차분법(FDS)을 통해서 0.3%, ADS 프로그램을 통해서 2.6%로 나타났고 질량의 증가는 각각 3.5%, 1.6%임을 볼 수 있다.

Fig. 4는 전체적인 주파수응답으로 설계변경 전후를 비교해보면 렌즈홀더의 설계 변경 후에도 1차 공진봉의 변화가 거의 발생하지 않으며 렌즈홀더의 질량은 거의 변화가 없기에 AC감도와 DC감도의 저하 현상은 나타나지 않았다. 하지만 FDS, ADS를 이용한 결과 고주파수 영역에서는 공진 모드가 고주파수로 이동하였고 공진봉의 크기도 저하되었다.

Fig. 5, 6은 고주파수 영역에서 본 렌즈홀더의 주파수 응답으로 각각 유한차분 감도해석방법과 최적화 방법을 이용한 경우이다. 두 가지 경우에서 보듯이 목적변수로 선정한 공진 모드가 고주파로 이동하였다. 또한 목적함수로 선정하지 않은 다른 공진 모드까지 고주파로 이동하였다.

#### 4. 결론

본 논문은 포커스 방향의 제어대역폭을 증가시켜 동특성을 개선하기 위한 목적으로 렌즈홀더의 유연모드를 고주파 영역으로 이동시키는데 있어 유한차분 감도해석방법과 순차적 선형계획법이라는 최적화방법을 이용해 보았다.

두 가지 방법은 시행오차법에 비해 시간적, 경제적으로 큰 효율성을 보이며 얻고자하는 목표에 쉽게 도달하였다. 유한차분 감도해석과 순차적 선형계획법을 행함에 있어 질량증가를 최소화하며 구조를 변경하였기에 1차 공진주파수나 DC감도, AC감도의 저하는 거의 나타나지 않았다. 또

한 고주파에서의 유연모드는 목표했던 값에 충분히 도달하였다. 두 가지 방법을 비교하면, 유한차분 감도해석방법을 통해 구한 유연모드의 주파수는 목표했던 주파수에 거의 오차 없이 도달하였으나 질량증가가 어느 정도 있었다. 그러나 순차적 선형계획법으로 구한 유연모드의 주파수는 유한차분 감도해석법에 의한 주파수에 비해 오차는 컸으나 질량 증가 면에서는 증가율이 절반이하로 감소하였으며, 목표값에 수렴하는 반복횟수는 2회를 줄일 수 있었다.

#### 후 기

이 논문은 2001년 연세대학교 학술연구비의 지원에 의하여 이루어진 것임.

#### 참고문헌

- (1) Takahashi, N., Sato, H., Osawa, H., and Nagai, K., 1997, "Digital Video Disk/Compact Disk (DVD/CD)-Compatible Pickup Head with Dual lens Rotating Actuator," *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 36, Part 1, No. 1B, pp. 467-473.
- (2) Matsui, T., 1994, "Optical Head Lens Actuator for high Information Bit Rate Recording," *IEICE TRANS. ELECTRON*, No. 10, pp. 1581-1586.
- (3) Choi, I-H., Chung, W-E., Kim, Y-J., Eom, I-S., Park, H-M., and Kim, J-Y., 1998, "Compact Disk/Digital Video Disk (CD/DVD)-Compatible Optical Pickup Actuator for High Density and high Speed," *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 37, Part 1, No. 4B, pp. 2189-2196.
- (4) Lee, D-J., Lee, K-T., Kim, C-J., Park, N-C., Yang, H-S., and Park, Y-P., 2001, "Lens-Holder Design in Pick-up Actuator using Sensitivity Analysis," *Proceedings of KSNVE*, pp. 712-717.
- (5) Seo, J. K., Jeong, H. S., and Park, K. W., 2000, "Analysis and Reduction of Subsidiary Resonance of an Optical Pickup Actuator," *Transactions of the KSME, A*, pp. 728-734.