

초소형 광디스크 드라이브용 VCM 타입 액추에이터 개선 Development of Rotary VCM type Actuator for Small Form Factor Optical Disk Drive

우정현† · 김사웅* · 송명규** · 이동주* · 박노철** · 박영필*

Jung-Hyun Woo, Sa-Ung Kim, Myong-Gyu Song, Dong-Joo Lee, No-Cheol Park and Young-Pil Park

Key Words : Actuator(액추에이터), FE Analysis(유한요소해석), Solenoid Coil(솔레노이드 코일), SFF ODD(Small Form Factor Optical Disk Drive, 초소형 광 디스크 드라이브), Rotary VCM(로터리 VCM).

ABSTRACT

It is becoming more significant to develop a rotary voice coil motor (VCM) type's actuator for small form factor (SFF) optical disk drive (ODD), as portables are getting more and more popularized nowadays. The actuator which is applicable to small-sized ODD with a compact flash (CF) II card size was developed and fabricated. The experimental results showed that the finite element (FE) model is different from the fabricated model. And so flexible mode frequencies did not satisfy specifications of small-sized ODD, and tuning. Tuning procedures were required to improve dynamic characteristics of the fabricated actuator through finite difference method (FDM). At first, design variables were extracted through parameter study and the tuned FE model was improved by design of experiment (DOE). Consequently, It was confirmed that the improved model was applicable to SFF ODD.

1. 서 론

다양한 정보저장기기 중에서 광디스크 드라이브는 높은 배포성과 뛰어난 가격경쟁력, 휴대성을 장점으로 정보저장기기 분야에 한 축을 이루고 있다. 하지만 오늘날 휴대용기기가 대중화되면서 광디스크 드라이브도 소형화의 필요성이 대두됨에 따라 초소형 광디스크 드라이브용 액추에이터 개발이 중요한 과제로 떠오르고 있다. [1]

초소형 광디스크 드라이브용 액추에이터는 두께에 큰 제약을 받게 되므로 두께를 줄이는데 유리한 로터리 Voice Coil Motor(VCM) 타입이 적합하며 로터리 VCM 타입은 Hard Disk Drive 에 널리 쓰이는 액추에이터 타입으로 이를 광디스크 드라이브에 사용하려면 포커싱 방향 구동을 보완해야만 안정적으로 사용할 수 있다. [2]

이에 김윤기 등은 초소형 광디스크 드라이브용으로 적합한 로터리 VCM 타입 액추에이터를 제안하였다. [5] 본 논문에서는 김윤기 등이 제안한 액추에이터를 제작 및 실험하고, 실험결과를 기반으로 한 튜닝을 통해 제작모델과 Finite Element(FE)모델의 차이를 줄였으며, 자기부와 구조부의 Design of Experiment(DOE)를 통해

성능을 개선하였다. 최종적으로 초소형 광디스크 드라이브용 로터리 VCM 타입 액추에이터를 제안하였다.

2. 제작 및 실험

그림 1 은 제작된 액추에이터의 사진이다. 표 1 은 실험 모델과 FE 모델의 동특성과 오차, 그리고 목표 사양이 나와있다. 제작된 액추에이터의 동특성을 실험을 통해 측정된 결과 FE 모델의 동특성과 차이가 있었다. 그러나 유연모드주파수를 제외하고는 본래 주어진 사양을 거의 만족시켰다. 포커싱 정적감도는 사양을 만족시키나 여유가 크지 않아 유연모드주파수와 포커싱 정적감도를 고려한 개선작업이 요구되었다. [3]

표 1 제작된 모델과 FE 모델의 동특성 및 사양

Item	Unit	Spec	Exp	FE	E(%)	
DC sensitivity	mm/v	Focus(5Hz)	>0.38	0.411	0.82	99
		Track(25 Hz)	>1.2	2.562	3.92	53
AC sensitivity		Focus(200 Hz)	>50	60.3	82.1	36
		Track(200 Hz)	>20	32.3	61.2	89
Flexible mode Freq	kHz	Focus Direct	>6	5.4	6	11
		Track Direct	>7	6.3	5.8	8

† 우정현; 연세대학교 정보저장기기 연구 센터
E-mail : wootting1047@naver.com
Tel : (02) 2123-4677, Fax : (011) 9089-1558

* 연세대학교 정보저장기기연구센터

** 연세대학교 기계공학과

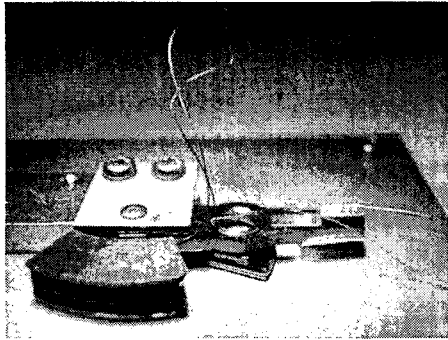
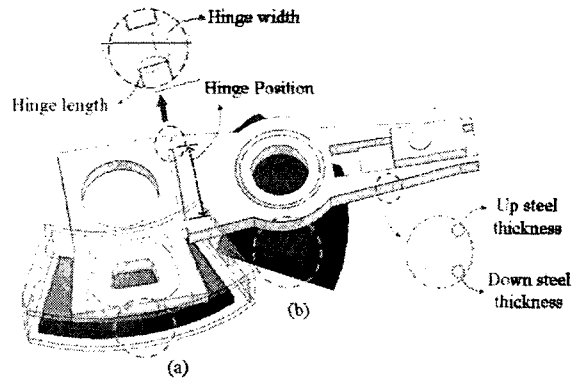


그림 1 제작된 액추에이터



3. 튜닝 과정

3.1 유한차분법(Finite Difference Method)

유한차분법은 설계변수(Design variables)에 대한 목적변수(Modal parameter)의 변화를 계산함으로써 설계변경 후의 특성에 대한 예측이 가능하고, 계가 불확실한 요소를 포함하고 있는 경우, 그 오차가 계의 동특성에 어느 정도 민감하게 영향을 주는가를 파악하는 데에도 유용한 수단이다.

기존의 FE 모델은 제작모델의 각 부품들이 완벽하게 결합되어 있다고 가정하고 설계하였고 이로 인해 유연모드가 실제보다 높게 나오는 문제점을 가지고 있었다. 보다 사실적인 해석을 위해 접착제를 고려한 FE 모델을 통해 유한차분법을 진행하였고 제작된 액추에이터와 FE 모델의 차이를 줄일 수 있었다.

(1) 설계변수(Design Variables)

구조 변경을 의해 설계변수를 결정하며 대상계의 두께, 치수, 영률 등이 적당한 설계변수가 된다. 이번 유한차분법에서의 설계변수는 그림 2에 나타나 있으며, 표시된 설계변수 외에 알루미늄 영률, 철판 영률, 접착제 영률을 추가로 고려하였다[4]. 설계변수의 오차벡터는 다음과 같이 정의하였다.

$$\Delta \zeta = [\Delta \zeta_1, \Delta \zeta_2, \dots, \Delta \zeta_m]^T \quad (1)$$

이때 특정 조건에서 설정된 설계변수 ζ_c 와 원하는 목적변수를 얻기 위해 유한요소해석에 입력되어야 할 목표 설계변수를 ζ_E 라 하면 오차벡터는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\Delta \underline{\theta} = \underline{\zeta}_E - \underline{\zeta}_C \quad (2)$$

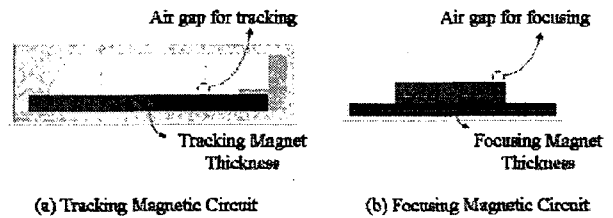


그림 2 설계 변수

(2) 목적변수(Object Variables)

목적변수는 감도해석에서 원하고자 하는 목표 값으로써 표 1에 주어져 있는 실험모델의 유연모드 주파수와 DC 감도, AC 감도로 선정하였다. 원하는 목적변수의 목표치를 θ_E 라하고, 현재의 FE 모델로부터 구해진 값을 θ_C 라 하면, 오차벡터는 다음과 같이 표현된다.

$$\Delta \underline{\theta} = \underline{\theta}_E - \underline{\theta}_C \quad (3)$$

(3) 감도행렬(Sensitivity Matrix)

유한차분법에 의해 감도 행렬을 구하게 되며 설계변수에 대한 목적변수의 1 계 감도는 다음과 같이 표현된다.

$$\bar{Z} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \theta_1}{\partial \zeta_1} & \frac{\partial \theta_1}{\partial \zeta_2} & \dots & \frac{\partial \theta_1}{\partial \zeta_m} \\ \frac{\partial \theta_2}{\partial \zeta_1} & \frac{\partial \theta_2}{\partial \zeta_2} & \dots & \frac{\partial \theta_2}{\partial \zeta_m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial \theta_s}{\partial \zeta_1} & \frac{\partial \theta_s}{\partial \zeta_2} & \dots & \frac{\partial \theta_s}{\partial \zeta_m} \end{bmatrix}, (s \times m) \quad (4)$$

또한 구조변경에 따른 원하는 목적변수의 변화는 다음과 같다.

$$\Delta \underline{\theta} = Z \Delta \zeta \quad (5)$$

(4) 모드 튜닝(Mode Tuning)

식(4)에 의해서 모드튜닝을 하게 되며, 오차벡터 $\Delta \underline{\theta}$ 을 구해 변경해야 하는 설계변수의 크기

$\Delta\zeta$ 을 구할 수 있다.

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

위에서 구해진 설계변수의 변화를 기존의 설계 변수에 추가하여 이를 새로운 설계 값으로 하는 유한요소해석을 하게 되는데, 목적변수의 변화폭이 설정된 수렴조건 내에 부합될 때까지 이 모든 과정을 반복하게 된다.

$$\zeta_{i+1} = \zeta_i + \Delta\zeta \quad (7)$$

한편 설계변수의 변경량이 과도하게 되면 목표값으로 진행하지 못하고 발산할 우려가 있다. 그래서 다음과 같은 가중치(weighting factor) C_f 를 부여하여 설계변경량을 적절히 줄일 수 있다.

$$\Delta\zeta_i^* = C_f \cdot \Delta\zeta_i, \quad 0 < C_f \leq 1 \quad (8)$$

여기에서 $\Delta\zeta_i^*$ 는 수정된 설계오차변수벡터의 i 번째 행의 성분이 된다.

(5) 모드 튜닝 결과(Tuning Result)

감도해석 결과, 튜닝 프로세스의 반복에 따라 목적변수의 목표치 θ_e 에 근접해지는데 것을 볼 수 있다. 튜닝 과정의 결과값은 그림 3 과 표 4 에서 보듯이 에러의 평균값과 표준편차가 가장 작은 17 번째 값으로 선정하였다. 표 3 은 이 때의 동특성을 보여준다.

그림 4 는 Modal Assurance Criterion(MAC) 을 통한 실험모델과 튜닝된 모델의 모드상관성을 보여준다. 실험모델의 2 차 벤딩모드는 다소 다른 모드들이 섞여있지만 해석모델과 일치하는 것을 볼 수 있고 실험모델의 3 차 토션모드 역시 튜닝 모델의 토션모드에 일치한다. 따라서 각 모드들이 사양에 맞게 개선된 것임을 확인할 수 있었다.

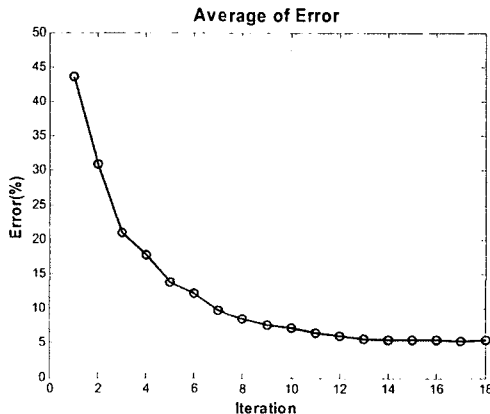


그림 3 튜닝과정에 따른 오차의 평균값 (%)

표 2 튜닝과정에 따른 표준편차 (14~18)

Iteration	14	15	16	17	18
Standard deviation	6.4493	6.449	6.4489	6.4485	6.4497

표 3 튜닝된 모델의 동특성

Item	Unit	Experiment
DC sensitivity	mm/V	Focus at 5Hz
AC sensitivity	μm/V	Focus at 200Hz
		Track at 200Hz
Flexible model freq.	Hz	First Bending
		Second Bending
		First Torsion

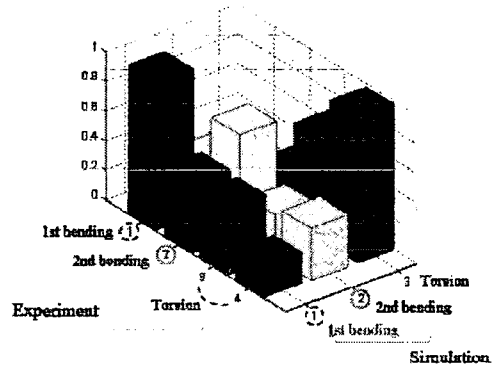


그림 4 맥(MAC)을 통한 모드 간의 상관성

4. VCM 타입 액추에이터 개선

제작된 액추에이터의 동특성은 표 1 에 주어진 사양을 만족하지는 못하였다. 따라서 기존모델의 동특성 개선이 필요하였고, 이를 위해 다음과 같은 변수를 선정하여 DOE 를 수행하였다.

4.1 파라미터 스터디(Parameter Study)

파라미터 스터디는 효율적인 해석과 시간의 절감을 위해 목적함수에 영향을 미치는 변수의 민감도를 파악하여, 중요변수만 선정하는 과정이다. 목적함수는 포커싱 DC 감도, 포커싱 방향의 유연모드 주파수, 그리고 트래킹 방향의 유연모드 주파수 3 가지로 선정하였다. 트래킹 감도는 이미 사양을 만족하였기 때문에 변수에서 제외하였다. 목적함수는 식(9)로 표현된다. a 는 목적함수가 갖는 초기값이고 a' 은 변화값이다. C 는 가중치를 나타낸다

$$\left| C_1 \times \left(\frac{a'_1}{a_1} \right) + C_2 \times \left(\frac{a'_2}{a_2} \right) + C_3 \times \left(\frac{a'_3}{a_3} \right) \right| \quad (9)$$

그림 5 와 같이 사용될 설계 변수는 총 12 가지이다. 구조부 변수들은 상부 철판 두께 A, 힌지 너비 B, 힌지 길이 C, 힌지 위치 D, 알루미늄 두께 E, 하부 철판 두께 F, 코일 위치 J, 사각 홈 길이 K, 픽업지지부 길이 L 이며, 자기부 변수들은 포커싱 자석 너비 G, 포커싱 자석 두께 H, 포커싱 코일 두께 I이다.

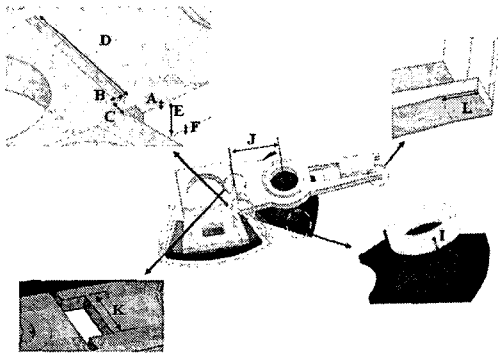


그림 5 설계 변수

그림 5 에 변수들에 대한 민감도가 나타나 있으며, DOE 를 위해 민감한 변수 7 개를 선정하였다.

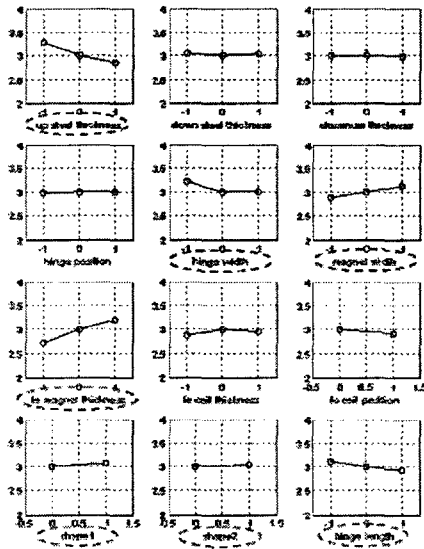


그림 5 각 변수들의 감도

4.2 실험계획법(Design of Experiment)

표 4 와 같이 총 7 개의 3 레벨 변수로 DOE 를 수행하였다. 목적함수는 포커싱 DC 감도와 유연모드 주파수를 최대화하는 것으로 식(9)와 같다. DOE 결과는 그림 7 에서 확인할 수 있다.

표 4 DOE 를 위한 변수들의 레벨 (mm)

	A	B	C	G	H	K	L
1Lv	0.041	0.26	0.4	0.72	1.6	0.5	5
2Lv	0.043	0.29	0.47	0.86	1.8	1	6
3Lv	0.045	0.33	0.55	1	2	1.5	7

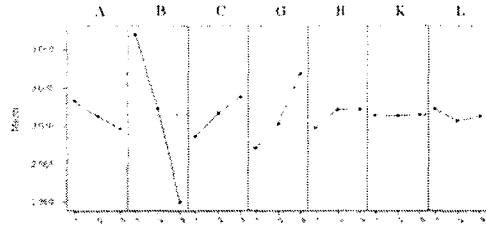


그림 6 DOE 결과

각 변수의 결과값이 가장 높을 때의 레벨을 토대로 모델을 개선하였으며, 해석한 결과 그림 7 과 같이 포커싱 방향의 유연모드가 6.3KHz, 트랙킹 방향 유연모드가 7.3KHz 에서 나타나는 것을 확인하였다. 표 5 에는 개선된 모델의 동특성이 나타나있다. 개선된 모델은 초소형 정보저장기의 목표 사양을 만족시키는 동특성을 가지며, CF II 에 적용 가능한 크기이다.

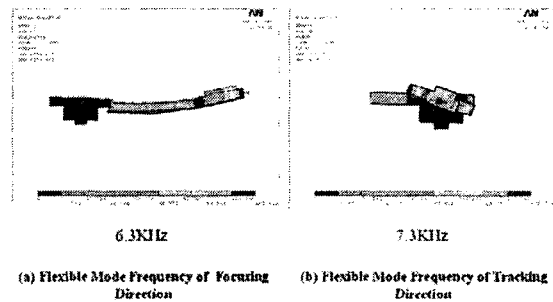


그림 7 유연모드주파수

표 5 개선된 모델의 동특성

Item	Unit	Value	
Total Size	mm ³ (L×W×H)	22.97×10.24×1.1	
Total Mass	g	52.05	
Pickup Mass	mg	41	
Solenoid Coil	Mass	mg	27.8
	Generated Force	mN/V	21.1
Tracking Coil	Mass	mg	43.3
	Generated Force	mN/V	20
DC Sensitivity y	Focusing at 5Hz	mm/V	0.6
	Tracking at 20Hz	mm/V	2.41
AC sensitivity	Focusing at 200Hz	μm/V	84.4
	Tracking at 200Hz	μm/V	37.7
Flexible Mode Freq.	Focus	KHz	6.3
	Track	KHz	7.3

5. 결 론

본 연구에서는 초소형정보저장기기에 적합한 구동기를 제작하고 제작된 액추에이터의 동특성을 개선하기 위하여 유한요소모델을 유한차분법을 통하여 튜닝하였다. 그리고 자기부와 구조부의 파라미터 스터디를 통하여 설계변수를 추출하였고 DOE 를 통해 포커싱 방향과 트랙킹 방향의 유연 모드 주파수 및 포커싱 방향 DC 감도를 개선하였으며, 이를 토대로 모델을 해석한 결과 CFII 카드에 적용 가능함을 확인하였다.

후 기

본 연구는 한국 과학재단 목적기초연구(과제 번호: R01-2006-10074-0)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- (1) Dong-Ju Lee, Se-June Park, Ki-suk Woo, No-Cheol Park, Young-Pil Park, 2005, "Design and analysis of two-wire focusing actuator for small-sized ODD with linear VCM types actuator", *Microsystem Technologies*, Vol.11, No.7, pp.470-477
- (2) Dong-Ju Lee, Se-June Park, Je-seuon Oh, No-Cheol Park, Young-Pil Park, Ho-Seop Jung, 2006, "Development of Rotary-Type Voice Coil Motor Actuator for Small-Form-Factor Optical Disk Drive", *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol.45, No.2B, pp.1124-1128
- (3) 손도현 등, 2003, "초소형 광드라이브용 포커싱 액추에이터 설계 연구", *한국소음진동공학회*, pp.234~238.
- (4) 송명규 등, 2005, "유연 디스크를 위한 고감도 액추에이터 개발", *한국소음진동공학회*, pp.577~580.
- (5) 김윤기 등, 2006, "초소형 ODD 용 VCM 타입 액추에이터 개발", *한국소음진동공학회*,