

초소형 ODD 용 로터리 VCM 타입 액추에이터 개발 Development of Rotary VCM type Actuator for Small Form Factor ODD

김윤기† · 김사웅** · 이동주* · 박노철* · 박영필**

Yoon-Ki Kim, Sa-Ung Kim, 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 VCM type actuator for small form factor ODD, as portables are getting more and more popularized nowadays. In this paper, the procedure of development of the actuator which is applicable to compact flash II card and is fit in the specification of BD 1X is explained. This is based on the rotary VCM type actuator, which is good for reducing thickness. Air core solenoid coil is used in order to do focusing mechanism. And the total weight is reduced by using the structure of steel-aluminium-steel triple layer, so, the stiffness is still adequate. Additionally, the tracking coil is moved next to the actuator, so the total length was reduced, then the actuator become applicable to compact flash II card. The force of Magnetic Circuit is improved by using Magnetic Circuit DOE. And flexible mode frequency improved through the DOE of structure part. Modeling was exactly done in consideration of air core solenoid coil and pivot bearing. It is confirmed that the designed model is satisfied with the specification of BD 1X and is applicable to Compact Flash II card.

1. 서론

다양한 정보저장기기 중에서 Optical Disk Drive(ODD)는 높은 배포성과 뛰어난 가격경쟁력, 휴대성을 장점으로 정보저장기기 분야에 한 축을 이루고 있다. 하지만 오늘날 휴대용기기가 대중화 되면서 ODD도 소형화의 필요성이 대두됨에 따라 Small Form Factor ODD 용 액추에이터 개발이 중요한 과제로 떠오르고 있다.

Small Form Factor ODD 용 액추에이터는 두께에 큰 제약을 받게 되므로 두께를 줄이는데 유리한 로터리 VCM 타입이 Small Form Factor ODD에 적합하다.[1]

로터리 VCM 타입은 Hard Disk Drive에 널리 쓰이는 액추에이터 타입으로 이를 ODD에 사용하려면 포커싱 방향 구동을 보완해야만 안정적으로 사용할 수 있다.[3]

이에 선행연구에서는 수동적인 포커싱 구동을 보완하는 새로운 자기회로를 포함하고 BD 1 배속의 사양에 만족하며 CF II 카드에 적용 가능한 로

터리 VCM 타입 액추에이터를 개발하였다.[1]

본 논문에서는 에어 코어 솔레노이드 코일을 이용하여 포커싱 구동을 하며 스틸-알루미늄-스틸 삼중 구조를 가지는 액추에이터를 제안하였다. 전자기 해석과 구조해석을 통해 제안된 액추에이터의 동특성을 파악하였으며, 자기부와 구조부의 Design of Experiment(DOE)를 통해 성능을 개선하였다. 최종적으로 Small Form Factor ODD 용 로터리 VCM 타입 액추에이터를 제안하였다.

2. 모델 설계

2.1 초기모델

본 연구에서는 로터리 VCM 타입 액추에이터의 포커싱 성능을 향상시키기 위해 에어 코어 솔레노이드 코일을 사용하였다. 이로 인해 액추에이터 Arm의 무게가 줄어 들어 감도 향상의 효과를 얻었다. 또한 Arm에 스틸-알루미늄-스틸의 삼중 구조를 사용하여 무게는 줄이면서도 강도는 유지할 수 있었다. 액추에이터의 초기모델은 Fig.1에서 보여주고 있다. 전자기 전용 유한요소해석 프로그램인 Maxwell을 사용하여 자기부의 힘을 구했으며, 유한 요소 해석 프로그램인 Ansys를 통해 구조해석을 하였고 그 결과가 Table 1에 나타나 있다.

† 김윤기; 연세대학교 정보저장기기연구센터
E-mail : -kim-y-k-@yonsei.ac.kr
Tel : (02) 2123-4677, Fax : (02) 365-8460

* 연세대학교 정보저장기기연구센터

** 연세대학교 기계공학과

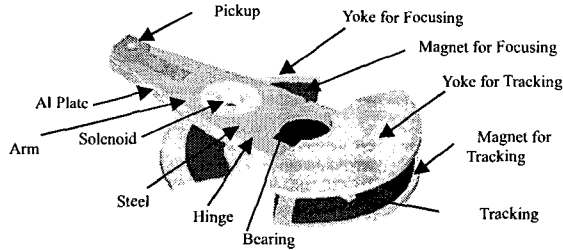


Fig.1 Conceptual Design of Initial Model

Table 1 Dynamic Characteristics

Item	Unit	Value	
Total Size	mm ³ (L×W×H)	25.80×10×1.16	
Hinge Size	mm ³ (L×W×H)	0.4×0.4×0.06	
Solenoid Coil	Mass	mg	50.7
	Generated Force	mN/V	20.01
Tracking Coil	Mass	mg	30.3
	Generated Force	mN/V	31.13
DC Sensitivity	Focusing at 5Hz	mm/V	0.2389
	Tracking at 25Hz		5.521
AC Sensitivity	Focusing at 200Hz	μm/V	144
	Tracking at 200Hz		92.4
Flexible Mode	Focus	kHz	14
	Track		15.9

2.2 재설계된 모델

초기모델을 설계한 결과 목표 사양으로 정한 BD 1 배속의 동특성에 관한 사양은 모두 만족시켰으나 길이 방향의 사양을 만족시키지 못하여 CFII카드에 적용한 결과 Fig.2 와 같이 포커싱 자석과 스피들 모터 사이에 간섭이 일어났다.

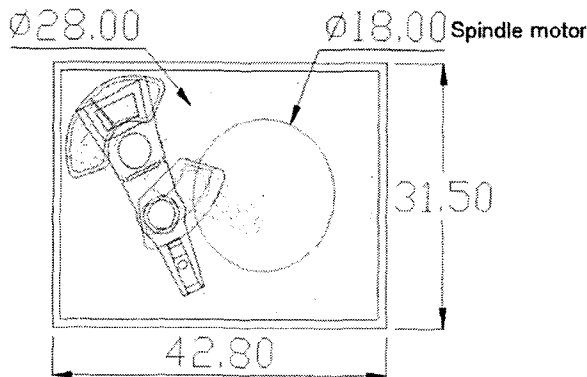


Fig.2 Arrangement of Initial Model in X-Y Plane

이를 해결하기 위해 Arm 의 뒤쪽에 있었던 트래킹 코일을 Fig.3 처럼 Arm 의 옆면으로 옮겼다. 트래킹 코일을 옆면으로 옮기면서 전체 길이 사양은 달성하였지만 동특성의 개선이 필요하였다.

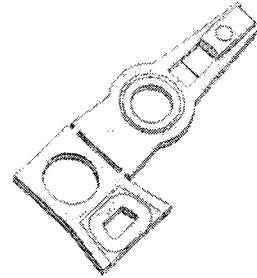


Fig.3 Redesigned Model

3. 재설계된 모델의 개선

3.1 자기부 개선

(1) 포커싱 구동 개선

이번 연구에서 포커싱 구동에 사용된 에어 코어 솔레노이드 코일과 자석 사이에 발생하는 힘을 구하기 위해 정광석이 Contact-free Precision Storage using Magnetic Levitation 에서 제시한 식(1)을 사용하였다. [2]

$$F_z = m_z \frac{\partial B_z}{\partial z} \quad (1)$$

식(1)을 통해 계산되는 포커싱 방향 힘을 최대화하는 것을 목적함수로 5 가지의 변수를 잡아 DOE 를 수행 하였다. 변수는 Fig.4 에서 보여주고 있으며 A 는 에어 코어 솔레노이드 코일의 두께, B 와 C 는 자석의 넓이와 두께, D 와 E 는 요크의 넓이와 두께이다. Table 2 에서는 개선되어 모델에 사용된 치수들을 볼 수 있다. 포커싱 자기부 개선을 통해 20.01mN/V 였던 포커싱 방향의 힘을 26.89mN/V 로 약 25% 증가시켰다

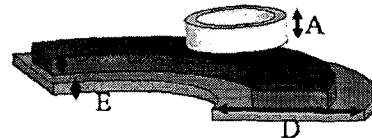


Fig.4 Design Factors for Focusing Magnetic Circuit

Table 2 Selected Design Factors for Focusing

Component	Item	Value	Component	Item	Value
Solenoid Coil	Outer Diameter	4.7 mm	Magnet	Width	3.2 mm
	Inner Diameter	3.2 mm		Thickness	0.8 mm
	Thickness	1 mm	Yoke	Width	7 mm
Resistance	2.954 Ω	Thickness		0.5 mm	
Number of turns	63				

(2) 트래킹 구동 개선

트랙 구동에는 로렌츠 힘을 사용하여 코일에 전류를 흘려주는 방향에 따라 트래킹 방향의 구동을 제어할 수 있도록 설계를 하였다. 트래킹 방향으로 5 가지의 변수를 잡아 트래킹 방향의 힘이 최대되도록 아래 Fig.5 처럼 DOE 를 했다. 변수는 보는 바와 같이 A 와 B 는 코일의 두께와 길이, C 와 D 는 자석의 넓이와 두께, E 는 요크의 두께이다. Table 3 에서는 개선된 모델에 적용된 치수들을 보여준다. 트래킹 자기부를 개선한 결과 31.13mN/V 였던 트래킹 방향의 힘을 37.51mN/V 로 17% 가량 증가시켰다.

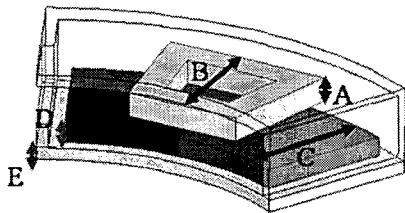


Fig.5 Design Factors for Tracking Magnetic Circuit

Table 3 Selected Design Factors for Tracking

Component	Item	Value	Component	Item	Value
Coil	Length	3.78mm	Magnet	Width	3.5mm
	Thickness	1.05mm		Thickness	0.8mm
	Resistance	4.345Ω	Yoke	Width	5.5mm
Number of turns	98	Thickness		0.5mm	

3.2 구조부 개선

(1) 동특성 개선

동특성 개선을 위해 힌지와 Arm 의 크기를 변수로 선정하여 포커싱 DC 감도와 유연 모드를 최대화하는 것을 목적 함수로 풀팩토리얼 DOE 를 수행하였다. Fig.6 에서 변수로 선택된 요소들을 볼 수 있고, 이 요소들이 유연모드와 포커싱 DC 감도에 미치는 영향을 고려하여 힌지와 Arm 의 크기를 개선하였다. 변수에 따라 유연모드와 포커싱 DC 감도에 미치는 영향을 Fig.7 과 Fig.8 에서 보여 주고 있으며, 개선된 치수는 Table 4 에 나타나있다.

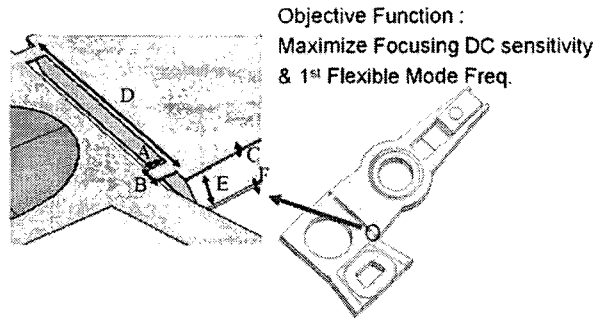


Fig.6 Design Factors for Actuator

Table 4 Design Factors of DOE

	A	B	C	D	E	F
1 st Level	0.3	0.3	0.04	5.4	1	None
2 nd Level	0.4	0.4	0.05	5.6	0.9	0.04
3 rd Level	0.5	0.5	0.06	5.8	0.8	0.08

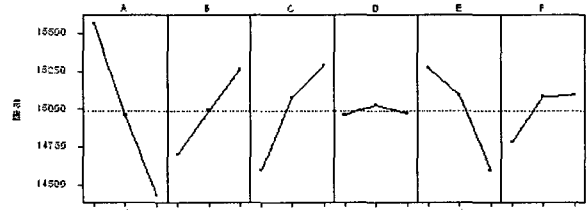


Fig.7 ANOM of 1st Flexible Mode Frequency

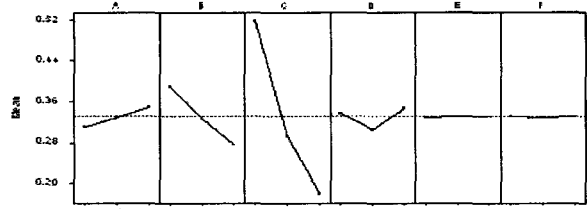


Fig.8 ANOM of Focusing DC Sensitivity

(2) 모델링 개선

정확한 해석결과를 얻기 위해 코일과 피벗 베어링 해석을 추가하였다. 등방성으로 취급했던 코일을 구리와 접착필름의 복합재료로 모델링을 하여 길이방향과 두께방향에서 각각의 등가 영률을 Fig.9 과 같이 적용하였다.[4] 피벗 베어링은 Fig.10 에서 보듯이 inner race 와 outer race, sleeve, shaft, ball 로 구성하였고 ball 은 스프링 요소로 모델링 하였다.

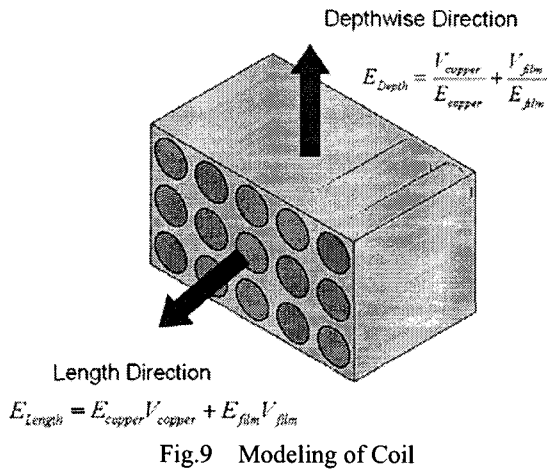


Fig.9 Modeling of Coil

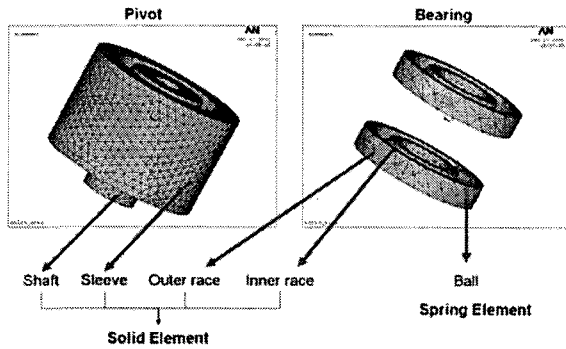


Fig.10 FE Modeling of Pivot Bearing

4. 결과

모델을 해석 한 결과 Fig.11 같이 포커싱 방향의 유연모드가 8.9kHz, 트래킹 방향의 유연모드는 10.1kHz 에서 발생하였다. 또한 Table 5 에 개선된 모델의 동특성들도 나타나있다. 위 결과는 BD 1 배속의 목표 사양을 만족 시키는 결과이다. 크기에 있어서도 CFII 에 적용 가능하게 되었다.

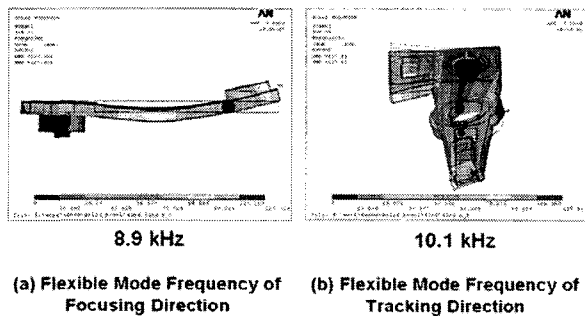


Fig.11 Flexible Mode Frequency

Table 5 Characteristics of Improve Model

Item	Unit	Value
Total Size	mm ³ (L×W×H)	23.04×10.24×1.08
Total Mass	g	0.55
Pickup Mass	mg	41
Solenoid Coil	Mass	mg
	Generated Force	mN/V
Tracking Coil	Mass	mg
	Generated Force	mN/V
DC Sensitivity	Focusing at 5Hz	mm/V
	Tracking at 25Hz	
AC Sensitivity	Focusing at 200Hz	μm/V
	Tracking at 200Hz	
Flexible Mode	Focus	kHz
	Track	

5. 결론

본 연구에서는 기존의 수동적인 포커싱 구동을 개선하기 위해 솔레노이드 코일을 이용하여 능동적 제어가 가능한 포커싱 자기회로를 제안하고 스틸-알루미늄-스틸의 삼중 구조를 사용하여 무게를 줄이면서도 강성을 확보하였다. 자기부 DOE 를 통해 포커싱 방향과 트래킹 방향의 힘을 개선 하였으며, 정확한 해석을 위해 코일과 피벗 모델링 해석을 추가하여 모델링 하였다. 이를 토대로 모델을 해석한 결과 CFII 카드에 적용 가능하고 BD 1 배속의 사양에 만족함을 확인하였다.

후기

본 연구는 히다치의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

- (1) S, J. Park, 2004, A Study on the VCM Actuators for Small Form Factor Optical Disk Drive, The Graduate School Yonsei University.
- (2) K, S. Jung, 2001, Contact-Free Precision Stage using Magnetic levitation, The Graduate School Yonsei University.
- (3) 손도현 등, 2003, "초소형 광드라이브용 포커싱 액츄에이터 설계 연구", 한국소음진동공학회, pp.234~238
- (4) 송명규 등, 2005, "유연 디스크를 위한 고감도 액츄에이터 개발", 한국소음진동공학회, pp.577~580.