

## 근접장 기록 장치의 트랙 추적 구동기의 설계

°김기현, \*이문구, \*정회원, \*정재화, \*\*권대갑

### Design of Tracking Actuator for NFR(Near-Field Recording) System

° Ki-Hyun Kim, \*Moon-Gu Lee, Hweon Jung, Jae-Hwa Jung, \*\*Dae-Gab Gweon

#### Key Words :

Tracking Actuator(트랙 추적 구동기), Pick-up(픽업), Dual Stage(이중 서보), Leaf Spring(판 스프링), VCM(Voice-Coil Motor), 미세 구동기, 조동 구동기.

#### Abstract

Nowadays, many studies and researches in data storage have been carried out and storage capacity is increased. But the limitation of storage capacity is happened for several problems. One of them is spot & pit size in optical and magnetic data storage and another is the resolution of actuators. The problems in spot & pit size is covered by new data storage methods- for example, NFR(Near-Field Recoding) system. But the resolution limit of an actuator doesn't follow up the development of spot & pit size. Because of them, we should improve a resolution of an actuator. Especially, in this paper an actuator is studied and designed for NFR(in using SIL(Solid Immersion Lens) system. It is a dual stage actuator, which consists of a Fine actuator and a Coarse actuator, and should desire 100nm accuracy. But, our actuator system only includes tracking mechanism except focusing mechanism which is controlled by slider mechanism used in HDD. Its actuating force generation method is VCM(Voice Coil Motor). The Fine actuator is composed of 4-leaf springs and a bobbin wrapped by coil. The Coarse actuator has Coils and 3-Roller bearings.

#### 1. 서론

현대 사회의 전자, 정보, 그리고 통신의 발달로 인하여 시대는 아날로그 시대에서 정보화·디지털

시대로 들어서게 되었다. 시대의 변화는 정보를 이용하는 사람들이 보다 빠르고 많은 정보를 필요하도록 만들었다. 변화와 요구 중에서도 보다 좋은 화질과 빠른 처리를 요하는 mass media의 발달은 빠르고 많은 정보 요구 현상을 더욱 부추겼다고

° 한국과학기술원 기계공학과 대학원  
\* 한국과학기술원 기계공학과 대학원  
\*\* 한국과학기술원 기계공학과 교수

볼 수 있다. 이것에 해당하는 예로 CD(Compact Disk), DVD(Digital Video Disk) 그리고 자화 작용을 이용하는 HDD(Hard Disk Drive)의 발달 관계를 살펴볼 수가 있다. 그러나 이러한 것들을 사용하고 개발함에도 불구하고 발생하는 많은 정보량을 저장하기에는 각각이 어려움을 내포하고 있다.

CD, DVD, 그리고 기존의 HDD가 갖고 있는 문제점을 방법에 의하여 두 분야에서 설명할 수 있겠다. 우선 광을 이용하여 저장하고 읽어내는 광 기록 저장장치로써 CD와 DVD가 있다. 광 기록 저장 장치는 광을 사용하기에 직접 저장하는 장소와 접촉을 하지 않고 빛의 간섭과 빛의 세기를 이용한다.(1) 다음으로 자화와 자화 물질에 의한 저장의 변화를 사용하고 있는 저장 장치로써 HDD가 있다. 광을 이용하는 매체는 저장능력의 증가 시 주로 빔의 사이즈에 대한 한계를 보인다. 다른 의미로 광학계의 회절 한계 치에 대한 문제이다. 그리고 자기적인 성질을 이용하고 있는 기존의 HDD는 자화되는 영역의 크기에 대한 문제점을 내포하고 있다.(2) 각각의 큰 문제점을 해결하지 않고서는 많은 정보를 저장할 수 있는 저장 매체에 대한 발전이 쉽게 이루어질 수 없을 것으로 추정이 된다. 문제점들을 보완할 수 있는 방법으로써 여러 방식이 도입되고 있다. 그 중 mass media에 적합한 이동이 편하고 저장 기록 능력이 좋은 광 방식으로는 MO (Magnetic Optical), ASMO (Advanced Storage Magnet Optical) 그리고 NFR(Near-Field Recording) 등 여러 가지 방식이 있다. 이러한 방법들의 발전 및 접근은 소형화, 경량화, 그리고 정밀화 등의 조건을 갖춘 구동기를 요구하게 되었다. 특히나, CD와는 다르게 근접장 기록 장치(NFR)에서는 기록을 하는 스폿 크기가 파장 이하가 되고, 또한 기록되는 미디어와 광학계의 거리가 근접장이 적용 가능한 200nm이하 이어야한다. HDD분야에서는 이중 서보와 HGA(Head Gimbal Assembly)를 이용하여 원하는 정도의 구동기를 만들어내고 있다(3). 그러나 광학분야에서는 아직까지 HDD가 요구하는 만큼의 resolution (수십 nm에서 수  $\mu\text{m}$ )에 대한 필요성이 크게 없었다. 예를 들어 일반 CD의 트랙 피치는 1.60 $\mu\text{m}$ 이고 이것보다 저장 능력이 좋다고 하는 DVD는 0.74 $\mu\text{m}$ 이었다. 그러나, NFR에서는 지금의 HDD의 수준보다 낮은 약 100nm 정도의 정확도를 요구한다. 또한, 위에서 언급하였듯이 포커싱에서도 일정한

수준의 정밀도를 요구한다. 이러한 요구 특성을 만족시킬 수 있는 구동기의 기술에 대한 이해가 부족하여 근접장 기록 장치를 구현할 수 있는 정도의 구동기의 제작이 현실화되어 있지 않다.

본 연구에서 나아가는 근접장 기록 장치의 사항은 트랙 피치가 200nm, 피트 길이가 80nm, 미디어와 광학계가 항상 유지되는 포커싱 거리는 약 100nm 그리고 디스크의 반경 방향 최대 가속도는 0.14m/sec<sup>2</sup> 등의 조건을 갖는다.

그러므로, (1)기본적인 사항을 만족할 수 있는 아직 성립되지 않는 근접장 기록 장치 용 구동기의 설계적 특성 및 사양들을 제시하고 적용 가능한 구동기에 대하여 언급을 한다. 또한, (2)언급된 구동기의 설계 및 제작을 한다(본 연구에서는 VCM으로 구동이 되고 정밀하게 트랙킹 방향만을 따라갈 수 있는 이중 서보의 구동기를 다룬다). 단, 포커싱 부분은 제외한다.

## 2. 트랙 추적 구동기의 설계

근접장 기록 장치를 위한 트랙 추적 구동기는 다음과 같은 성질을 만족을 하여야 한다.

1. 정밀도가 좋아야 한다.(근접장 기록 장치의 디스크 트랙 피치 200nm, 피트 길이 80nm)
2. 근접장이 미디어에 영향을 줄 수 있도록 근접장과 미디어 사이의 거리를 약 100nm 정도로 유지하여야 한다.
3. 근접장 기록 장치가 광학계를 갖고 있는 시스템이기 때문에 빛의 전달과 광학계의 얼라이먼트가 용이하여야 한다.
4. 소형화, 경량화, 정밀화를 갖추어야 한다.

본 연구에서는 위의 성질들을 만족하는 것으로 Fig. 1과 같이 포커싱은 HDD에서 사용되고 있는 HGA를 이용하며(이 논문에서는 다루지 않는다), 트랙의 추적은 기존의 광 픽업 구동기로써 사용하고 있는 Sled 형을 기본 개념으로 하여 설계를 한다.

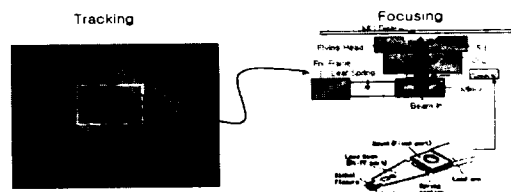


Fig. 1 The suggested NFR Actuator

## 2.1 미세 구동기(Fine Actuator)의 설계

2.1.1 미세 구동기(fine actuator)의 요구 사항  
앞에서 언급을 하였듯이 미세 구동기는 조동 구동기의 정밀도 한계 치(약  $1\mu\text{m} \sim 3\mu\text{m}$ )를 극복하는 기능을 수행할 뿐 아니라, 변형하는 디스크를 따라가는 역할도 수행을 한다.

제작하는 미세 구동기의 스펙은 구현하려는 근접장 기록 장치의 디스크 스펙과 밀접한 관계를 갖고 있다(4).

Table 1. NFR disc Spec.

근접장 기록 장치의 디스크의 스펙.	
항목	값
채널 비트 율	50Mbps
트랙 피치	200nm
파트 길이	80nm
최대 변위량	$\pm 5\mu\text{m}$
최소 변위량	10nm
디스크의 회전 속도	666~1592rpm
선속도	CLV(Cosntant Linear Velocity) 4%

디스크의 움직임을 정현파로 가정하여 Table 1.에서 언급된 수치를 통하여 요구되는 미세 구동기의 특성곡선을 Fig. 2과 같이 얻을 수 있다. 또한, 디스크의 움직임에 대한 가속도. 결국, 미세 구동기가 따라가야하는 가속도의 값( $a_{\text{max}}=0.14\%$ )도 얻는다.

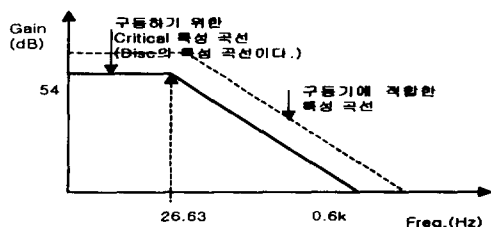
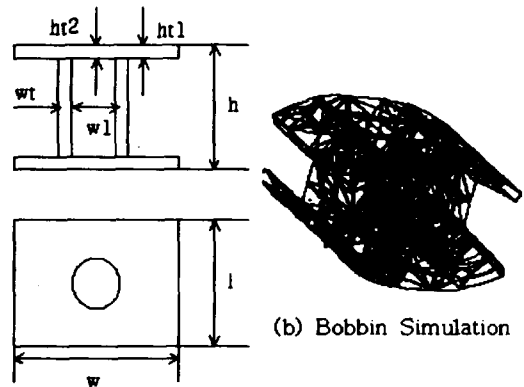


Fig. 2 The Critical Frequency response graph of Fine Actuator

## 2.1.2 기계적 특성

### (a) 보빈

보빈의 공진 주파수는 미세 구동기가 제어되는 주파수 영역(500Hz~1.5kHz)보다 약 5~10배 이상에서 존재해야 시스템의 구동이 안정적이 될 것이다. 결국 보빈의 공진 주파수는 약 10~15kHz 이상이 되어야한다. 이것을 만족시키기 위하여 'I' 빔 두 개를 붙여 놓은 것과 같은 모양(Fig. 3(a))인 보빈을 적용한다. 적용되는 크기의 수치는 IDEAS의 스톨레이션을 통하여 여러 번의 시행 결과 속에서 원하는 값을 Table. 2와 같이 얻어내었다.



(a) Bobbin shape

(b) Bobbin Simulation

Fig. 3 Bobbin Shape & Simulation result

Table. 2 Bobbin Simulation results(IDEAS)

W=11mm, l=10mm					
ht1 mm	ht2 mm	wt mm	w1 mm	Al(6061 T6)	FC-2 (Engineering Plastic)
0.5	0.5	0.5	3	18.864kHz	9.279kHz
0.5	1	1	2	<b>38.65kHz</b>	19.065kHz

실제 보빈 제작에서는 Table 2에서 강조된 글씨의 형태를 사용하였다. 또한 위 식에서 얻은 식들로 인하여 필요로 하는 힘과 탄성을 계산할 수 있다.

(b) 시스템 모델링 & 조건들

앞에서 언급하여 듯이 구현되는 근접장 기록 장치에 채용되는 것은 sled 형의 이중 서보이다. 그 중에 미세 구동기는 4개의 판 스프링과, 보빈, 그리고 구동 장치로써는 VCM을 사용한다. 본 절에서는 기구적인 운동 메카니즘의 모델링을 생각하여 필요한 판스프링의 두께와 필요한 힘 등 요구되는 조건들을 생성한다.

판 스프링을 갖고 있는 시스템의 여러 가지 모드를 갖고 있기에 그것에 합당한 모델링을 위하여 행렬식으로 표시를 하여야 하나 고차의 모드에 해당하는 모양이 Fig. 4과 같이 트랙의 운동에 영향을 주지 않고 있다. 또한 댐핑 물질을 사용하여 각 모드의 공진 주파수에서의 피크점 1차 공진 주파수의 dB보다 낮출 수 있다. 위와 같은 사실로 인하여 본 연구에서 미세 구동기는 간단히 Fig. 5과 같이 간단히 1차 모드로 모델링을 한다.(5)(6)

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx = F \quad (1)$$

$$k = \frac{n \times E \times b \times t^3}{L^3} \quad (2)$$

n = The number of Leaf spring

Leaf Spring : SUS 304 material, b=2mm, t=0.04mm, L=12.5mm

식 (1), (2), 그리고 Table 2를 통하여, 미세구동기에 해당하는 상수 중 m=1g이고, k=52.43N/m이다.

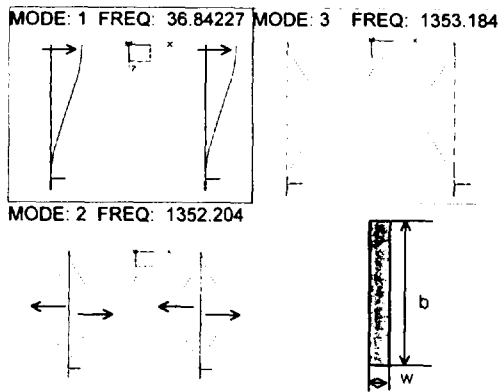


Fig.4 Fine Actuator with Leaf Spring Simulation(IDEAS)

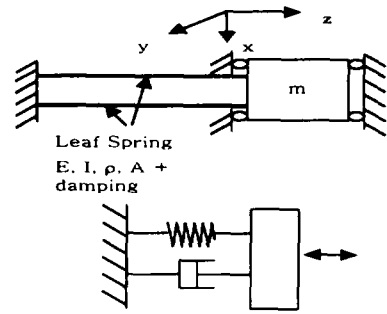


Fig. 5 The simple modeling of Fine actuator

미세 구동기를 구동하는데 최소한 필요한 힘은

$$F_{\text{deflection\_required}} = \delta_{\text{max}} \times k = 0.26\text{mN} < 10\text{mN} \quad (3)$$

이다. 여기서는 트랙을 찾는 데 필요한 미세 구동기가 담당하는 시간에 대하여 정확히 언급을 하지 않기 때문에 그것에 관한 힘은 언급을 생략한다. 그러나 트랙 추적 시에 목표 위치에 빠르게 도달하기 위한 제어를 할 경우에 필요한 가속도가 약 20~40m/s로 생각할 수 있다.(7) 결국 미세 구동기가 요구하는 힘은  $F_{\text{required}} \approx 40\text{mN}$  정도다.

(c) 댐핑 물질 & Q-factor

판 스프링만으로 미세 구동기 시스템을 구성하였을 경우 시스템의 특성은 공진 주파수 영역에서 아주 큰 피크를 갖게 된다. 큰 피크는 불안정한 시스템을 이끄는 역할을 한다. 이것을 줄이기 위하여 판 스프링에 점탄성 재료를 붙인다. 점탄성 재료를 붙임으로 인하여 히스테릭 댐핑 효과를 얻을 수 있다.[3.5] 히스테릭 댐핑은 복소수적으로 표현이 된다. 다시 말하여 식 (4)와 같이 loss factor( $\eta$ )를 사용하여 미세 구동기의 운동 방정식을 얻을 수 있다.

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + k(1 + j\eta)x = F \quad (4)$$

여기서  $\eta$ 는 고역감도와 Q-factor에 영향을 받게 된다. 그리하여 식 (5)와 (6)에 의하여 점탄성 재료의 요구되는  $\eta$  값의 구간을 얻을 수 있다.

$$|\delta| = \left| \frac{F}{ms^2 + k(1 + j\eta)} \right| = \frac{F}{\sqrt{(k - m\omega^2)^2 + (k\eta)^2}} \geq K \quad (5)$$

$$Q = 20 \log \sqrt{\frac{1+\eta^2}{\eta^2}} \leq 10(\text{dB}) \quad (6)$$

'K'값은 고역 감도이다. 이 값은  $a_{\max}$ 와 고역감도라고 일반적으로 지칭이 되는 약 200Hz로 인하여 주어지는데, 본 논문에서는 약 0.15um로 지정한다. 위의 조건들에 의하여  $\eta$ 는 식 (7)과 같은 조건 속에 놓여진다.(8)

$$\begin{aligned} \text{1차 공진 주파수}(30 \sim 40\text{Hz}) &\rightarrow \eta \geq 0.33 \\ \text{고역 주파수}(200\text{Hz}) &\eta \leq 6.7 \end{aligned} \quad (7)$$

위의 성질을 만족하기 위하여 'FD-440'이라는 점탄성 재료를 사용한다.

### 2.1.3 전자기적 특성

본 연구에서 사용되는 VCM은 Fig. 6과 같이 두 쌍의 자석과 요크를 사용하여 미세 구동기, 조동 구동기를 구동할 수 있는 자속을 만들어 낸다.(9) 이렇게 함으로써 구동기의 사이즈를 줄일 수 있게 된다.[k] 구동 시 요구되는 힘을 만족하기 위하여 자석과 요크가 생성해야 하는 자속 밀도는 약 0.15~0.3T면 충분하게 된다. Fig. 7은 제안된 VCM 구조에 대한 시뮬레이션 결과를 보여준다.



Fig. 6 The suggested VCM structure



Fig. 7 The simulation of suggested VCM

## 2.2 조동 구동기(Coarse Actuator)의 설계

### 2.2.1 조동 구동기(coarse actuator)의 요구 사항

주어진 힘에 대하여 반응을 하는 구동기의 운동이 균형을 맞출 수 있도록 조동 구동기의 부분을 대칭이 되도록 설계를 하여야 좋으며, 또한 조동 구동기를 구동하는 주파수 영역(약 0~100Hz)에 5~10배가되면서 미세 구동기의 제어 영역보다 큰 값 공진 주파수를 갖도록 설계를 하도록 한다. 그리고, 미세 구동기가 디스크의 변형을 커버할 수 있는 영역 안에 들어 올 수 있도록 조동 구동기의 정밀도를 좋게 하여야 한다.

그리고, Fig. 7에서 보여주는 것과 같이 추식 시간(seek time)에 대한 개념을 사용하여 필요한 가속도와 그에 따른 힘을 유추할 수 있다.(7)

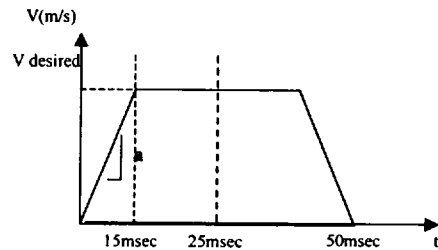


Fig. 7 The velocity trajectory of Coarse actuator

움직여야 하는 거리는 디스크의 반지름에 약 1/3의 값(20mm)으로 설정을 한다.[1] 위 그림과 움직이는 행정거리를 생각하여 조동 구동기의 가속도( $a$ )는 약 40m/s<sup>2</sup>이고, 조동 구동기를 구동하기 위하여 요구되는 힘( $F$ )은 조동 구동기의 무게( $M$ )가 약 (6~7g) 정도가 나오므로 400mN이다.

### 2.2.2 기계적 특성

#### (a) Moving 부분, 베어링, & 베이스

조동 구동기의 요구 사항을 만족 시키기 위하여 움직이는 부분의 몸체는 Fig. 8과 같이 설계를 하였고 시뮬레이션의 결과를 보여준다. 더욱 높은 공진 주파수를 원할 경우에는 약간의 보조빔을 만들어 줄 수 있다. 조동 구동기의 마찰을 줄이기 위하

여 Fig. 9에서 보여주는 것과 같이 볼 베어링(10)을 넣은 롤러 베어링을 사용하여 움직일 때 점 접촉을 시켜 마찰을 줄였다. 그리고 약간의 움직임에 대한 자유도를 첨가할 수 있도록 가이드를 설계하여 채용하였다.

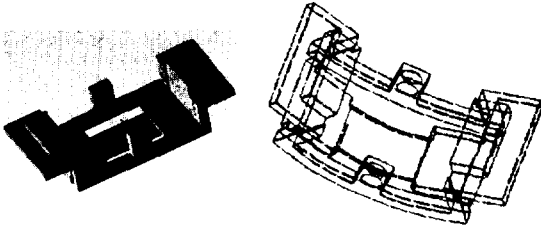


Fig. 8 Moving part of Coarse Actuator & Simulation result(2741.5kHz, A16061)

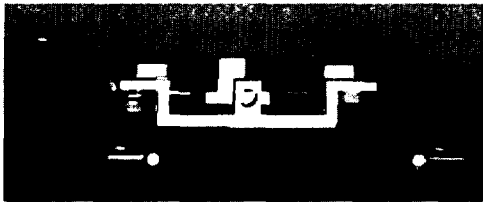


Fig. 9 Bearing & Guide Mechanism

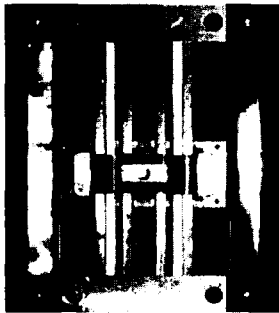


Fig. 11 The final Dual stage Actuator

### 3. 결론

NFR을 위한 구동기로써 기존의 광 픽업 구동기에서 사용되고 있는 sled 형을 채택하였다. 포커싱은 기존의 HDD에서 사용되고 있는 HGA를 사용

하기로 정하고, 트래킹 만을 따라가기 위한 구동기를 연구에서 설정된 스펙에 맞추어서 판 스프링, 'I' 빔 두 개를 합쳐 놓은 보빈, 그리고 구동 코일로 이루어진 미세 구동 부분과 베어링, 구동 코일, 그리고 전체를 싣고 다니는 부분으로 구성된 조동 구동기가 합하여진 이중 서보 구동기로 설계하였다.

추후로 위와 같이 설정된 스펙과 본 연구에서 설계, 제작 된 구동기의 특성 곡선뿐만 아니라 댐핑 물질에 대한 특성을 비교, 실험하는 일이 있다. 또한 더 나아가서 트랙 추적에 관한 이중 서보에 연구도 필요하다.

### 참고 문헌

- (1) 한국 전자통신 연구원 30대 품목 기술/시장 보고서 99-28
- (2) Yoshinobu Mitsuhashi, 1998, Optical Storage : Science and Technology , Jpn. J. Appl. Phys VOL. 37, pp.2079-2083, Part1. NO. 4B, April 1998.
- (3) David A. Horsley, Michael B. Cohn, Angad Singh, Roberto Horowitz, and Albert P. Pisano. 1998, Journal of Micro electro-mechanical Systems, VOL. 7, No. 2, pp141-148, June 1998.
- (4) 정회원, '광 픽업 구동 메커니즘의 설계와 이를 이용한 정밀 트래킹에 대한 연구', 한국과학기술원 기계공학과 1996년 석사학위 논문.
- (5) 이문구, '광 픽업 미세 구동부의 모델링 및 최적 설계에 관한 연구', 한국과학기술원 기계공학과 1997년 석사학위 논문.
- (6) Hiroya S. and Tomio G., 'A Parallel Leaf Spring Structure Driven By Piezoelectric Bimorph Actuators', Journal of intelligent material systems and structures, Vol. 5., 1994
- (7) M. J. Yang, T. C. Chong and M Y. Liu et al., The fifth International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision(ICARCV 98), Singapore, 9-11 December, 1436-1439, 1998
- (8) S. M. Kim and D. G. Gweon, Joint MORIS and ISOM, pp196-197, 1997
- (9) S. M. Kim and D. G. Gweon, Joint MORIS and ISOM, pp198-199, 1997
- (10) Ju-ichi Ichihara, Joint MORIS and ISOM, pp276-277, 1997