

# 근접장 기록 장치를 위한 트래킹 구동기의 설계 및 실험

김기현\*, 이문구\*, 권대갑\*\*

## The Design and Performance Test of Tracking Actuator for NFR system

Ki Hyun Kim\*, Moon Goo Lee\*, and Dae Gab Gweon\*\*

### ABSTRACT

Nowadays, the improvement and development of Multi-media and information & communication technology is rapidly processed. They need large data storage capacity. So that, many studies and researches in data storage have been carried out. According to them, the data storage capacity has been 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 are covered by new data storage methods-- for examples, AFM(Atomic Force Microscopy), MO(Magneto-optical) system, and NFR(Near-Field Recoding) system etc. But the resolution limit of an actuator was not developed and 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. 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.

Also, The Characteristics of designed actuator for NFR system is estimated by Sine-Swept mode and LDV(Laser Doppler Vibro-meter).

**Key Words** : Tracking Actuator(트랙 추적 구동기), Pick-up(픽업), Dual Stage(이중 서보), Leaf Spring(판 스프링), VCM(보이스코일모터), Fine Actuator(미세 구동기), Coarse Actuator(조동 구동기), NFR(근접장 기록).

#### 기호설명

$y$  : The movement of disk

$\delta$  : The Maximum radial deflection of disk

$\omega$  : The rotational speed

$B_g$  : The Flux density in Gap (Wb/m<sup>2</sup>)

$k$  : The Stiffness of a Leaf spring

$l_{eff}$  : The effective length of coil in B-field

$R$  : The resistance of fine actuator coil

$N$  : The number of Coil turns

$c$  : The damping of leaf spring

$\alpha$  : The -EMF constant

$E$  : The Young's modulus of SUS304

2001년 2월 26일 접수

\* 한국과학기술원 기계공학과 대학원

\*\* 한국과학기술원 기계공학과 교수

$\eta$  : The loss factor of fine actuator with damping material

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 필요 하도록 만들었다. 변화와 요구 중에서도 보다 좋은 화질과 빠른 처리를 요하는 mass media의 발달은 빠르고 많은 정보 요구 현상을 더욱 부추겼다. 결국, 그 중 광을 이용하여 저장하고 읽어내는 광 기록 저장장치로써 기존에는 CD(Compact Disk)와 DVD(Digital Versatile Disk)가 있었으나 두 부분은 저장능력의 증가 시 주로 빔의 사이즈에 대한 한계를 보인다. 다른 의미로 광학계의 회절 한계치에 대한 문제이다. 이것을 개선하는 방법으로써 자화의 이용, 근접장의 이용, 그리고 두 방법을 함께 이용하는 기록 방식이 도입이 되기 시작하였다. 예를 들어, MO (Magnetic Optical), ASMO (Advanced Storage Magnet Optical) 그리고 NFR(Near-Field Recording) 등 여러 가지 방식이 있다.<sup>1)</sup> 이러한 방법들의 발견 및 접근은 소형화, 경량화, 그리고 정밀화 등의 조건을 갖춘 구동기를 요구하게 되었다. 특히나, 본 연구에서 접근하는 근접장 기록 장치에서는 스폿 크기가 파장 이하가 되고, 또한 기록되는 미디어와 광학계의 거리가 근접장이 적용 가능한 100nm 정도가 되어야 한다. 발전되어가는 기록 장치를 바르게 수행하기 위하여서 그에 따른 구동기의 선정 및 연구가 필요하다. 본 논문에서는 근접장 기록 장치에 적합한 구동기의 선정과 구동기의 설계 및 특성을 평가한다.<sup>2)</sup>

2. 근접장 기록 장치

2.1 근접장 기록 장치의 특징

본 논문에서의 근접장 기록 장치는 대물렌즈와 SIL(Solid Immersion Lens), 그리고 이중 구동기를 사용한다. 기존의 광 기록 장치가 갖고 있었던 회절 문제로 인한 스폿 사이즈가 SIL 을 사용함으로써 약 200nm ~ 300nm 로 파장 이하의 크기로 줄게 되었다. 그리고 서론에서 언급하였듯이 안정적인 스폿을 만들어내기 위하여 근접장을 일정하게

유지할 수 있는 포커싱을 해야 한다. 또한, 근접장 기록 장치의 근본은 광을 사용한다는 것이기에 광의 정렬성이 좋아야 한다. 그리고, 일반적인 광 기록 장치와 마찬가지로 구동기의 특성은 기록 장치의 요구 및 디스크의 특성에 크게 영향을 받는다.

Table 1 The Specification of Near-Field Recording System and Disk.

근접장 기록 장치 및 디스크의 사양.	
항목	값
트랙 간격	200nm
피트 길이	80nm
디스크 최대 변위량( $\delta$ )	$\pm 5\mu\text{m}$
디스크 고역 변위( $\delta$ )	$\pm 10\text{nm}$
디스크의 회전 속도( $\omega$ )	666~1592rpm
선 속도	4m/s, CLV type (Constant Linear Velocity)
Channel Bit Rate	50Mbps
Access time	100msec

2.2 근접장 기록 장치의 제안되는 구동기

근접장 기록 장치를 위한 구동기는 크게 두 가지 방향의 운동 능력을 필요로 한다. 첫번째는 트랙킹 방향의 정밀 운동이고, 두 번째는 포커싱 방향의 근접장의 적용 가능한 거리를 유지하기 위한 운동이다.

트랙킹 방향의 정밀 운동은 Fig. 1-(a)와 같이 기존에 광 기록 장치에서 광의 정렬을 용이하게 하는 Sled 형을 기본으로 하고, 정밀 운동을 용이하게 하기 위하여 이중 구동기 구조를 채택을 한다. 또한, 힘을 생성하는 것은 로렌츠 힘을 이용하는 보이스코일모터를 이용하며, 전체 구조를 간단화 하기 위하여, 자석과 요크에 의하여 만들어지는 자속 회로를 하나만 사용하여 조동 구동기와 미세 구동기를 구동을 하는 방법을 사용한다. 조동 구동기의 가이드는 롤러베어링을 사용한다.

포커싱 방향에서 근접장이 적용 가능하도록 렌즈와 미디어 사이의 거리를 일정하게 유지하는 기능은 기존에 광 기록 장치에서 사용하는 것과 같은 능동구동으로는 수행하는데 있어서 문제점을 갖고있기 때문에 안전하게 수행할 수 있도록 Fig. 1-(a)의 'A' 부분에 Fig. 1-(b)와 같은 구조를 갖는

수동형 구동으로 선정을 한다. Fig. 1-(b)의 김벌 구조는 Fig. 1-(c)의 HDD의 HGA를 이용한다.(포커싱 방향의 운동 구조는 본 논문에서 추후과제로 선정을 한다.)

트랙 방향의 운동에서 미디어와 HGA에서 야기되는 포커싱 방향의 기생 운동의 영향을 줄이기 위하여 포커싱 방향 쪽으로 트랙 구동 시스템이 강성을 갖아야 한다. 이것을 하기 만족하기 위하여 트랙 방향의 운동을 렌즈를 싣고 있는 보빈에 가하여 주는 것으로 기존에 사용하던 와이어 서스펜션 아닌 판 스프링을 사용하였다. 서스펜션의 강성은 운동방향 두께의 세제곱에 비례하는 성질을 이용한다.

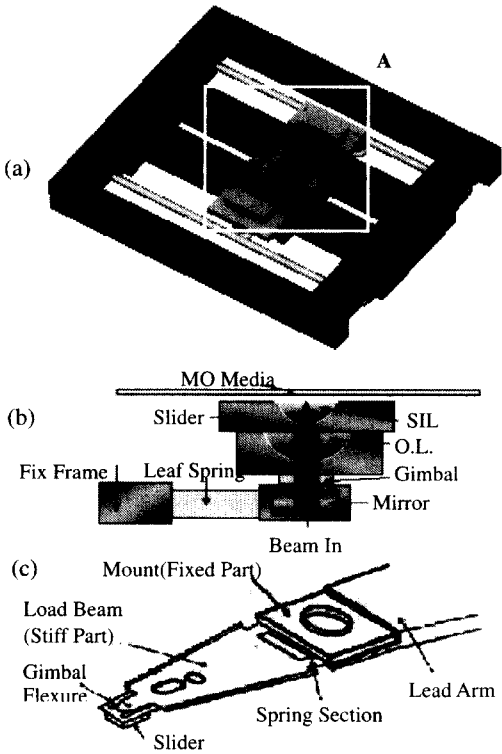


Fig. 1 The (a) Tracking and (b) Focusing Part with (c) HGA for HDD of suggested NFR Actuator

### 3. 트랙킹 구동기의 요구사항

구성되는 트랙킹 구동기의 설계 시 필요한 요구사항을 Table 1.의 근접장 기록 장치의 특징에 기

존의 광 기록 장치의 구동기 설계 방법을 이용하였다. 다시 말해 미세 구동기는 디스크의 운동을 따라가는 역할, 조동 구동기는 추적시간을 좌우하는 역할을 한다.

### 3.1 미세 구동기의 요구사항

트래킹 방향의 디스크의 운동을 어떠한 크기를 갖고 있는 식 1 과 같이 사인파로 가정을 한다. Table .1 에서 주어진 디스크 변위량과 회전 속도를 이용하여 디스크의 특성곡선을 Fig. 2 와 같이 얻을 수 있다. 미세 구동기는 디스크의 특성을 따라갈 수 있고(A,B,C), 부차 공진 주파수가 높게 나와야 한다(D). 다시 말해, DC 계인은 54dB 보다 크며, 1 차 공진 주파수는 30Hz 이상, 그리고 부차 공진 주파수는 약 15kHz 이상이어야 한다.<sup>4)</sup>

$$y = \delta \sin(\omega t) \quad (1)$$

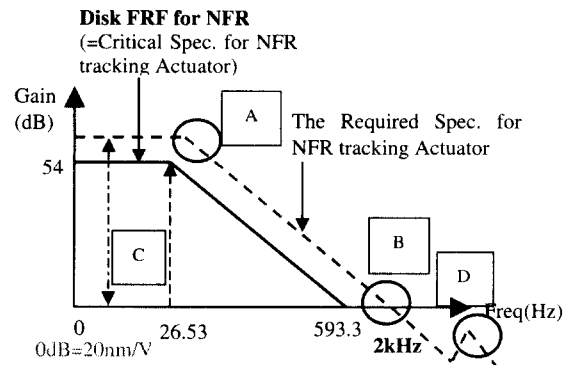


Fig. 2 The Required FRF of NFR fine Actuator

### 3.2 조동 구동기의 요구사항

조동 구동기는 전체 구동 시스템의 엑세스 시간 중 추적시간에 크게 관여한다.

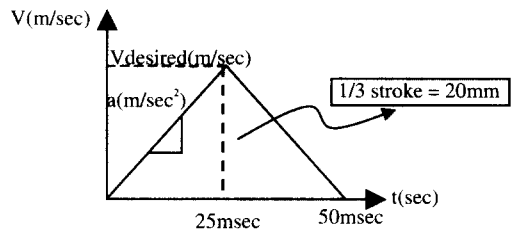


Fig. 3 The Velocity Profile of Coarse Actuator for Seek time

Fig. 3 을 통하여 본 연구에서 추구하는 근접장 기록 장치의 추적시간의 속도레적을 살펴보면 요구되는 구동기의 힘을 얻는다. 결국 조동 구동기의 요구되는 가속도는  $32 m/sec^2$  이다. 또한, 조동 구동기의 구조가 구동기를 제어하는 영역을 충분히 극복할 수 있는 공진 주파수를 갖고 있어야 한다.

#### 4. 구동기의 설계

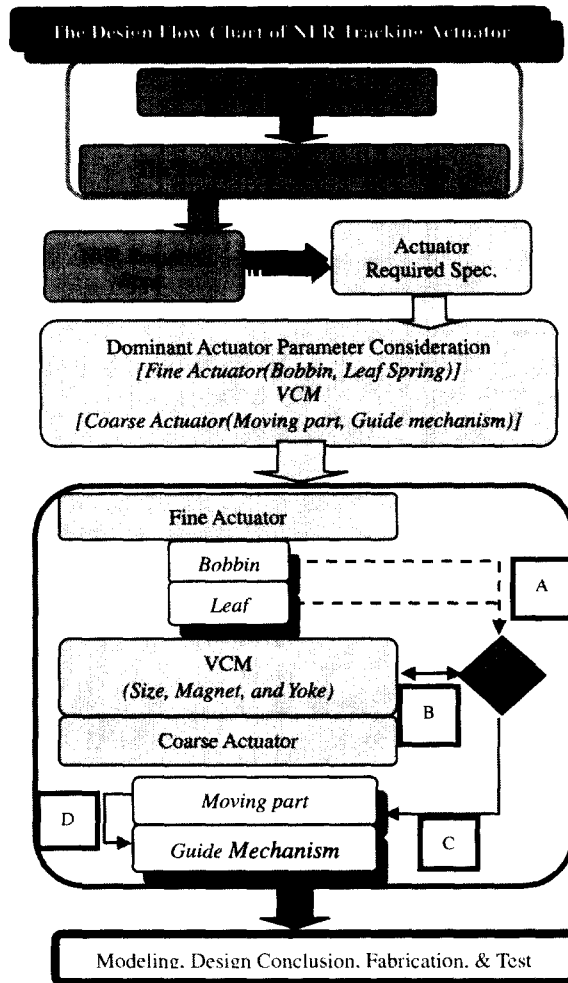


Fig. 4 The Design Flow Chart of NFR Tracking Actuator

전체 구동기의 설계는 최적 설계의 특별한 방법을 사용한 것이 아니라 Fig. 4 의 그림의 수순을 따라 설계를 하였다.

근접장 기록 장치의 기본 개념과 요구 사항을 통하여 Fig. 2, 3 에서 보여준 구동기의 사양을 정하고, 사양을 결정하는 주요 매개 변수를 크게 세 가지-미세 구동기, 보이스코일모터, 조동 구동기-로 정한 후 [A], [B], [C], 그리고 [D]의 상호 과정들을 반복적으로 수행을 한다.

#### 4.1 미세 구동기의 설계

##### 4.1.1 보빈의 설계

미세 구동기의 기계부는 보빈과 판 스프링으로 구성이 된다.

보빈은 시스템을 제어하는데 영향을 주는 부차 공진 주파수 점을 만들어 낸다. 공진 주파수 점을 높이기 위하여 II 형을 채택하였다. 이것은 다른 것에 비하여 설계치 변수에 대하여 적용하기 복잡하고 수식적 계산이 어렵다. 결국 IDEAS 를 사용하여 실행착오 법을 사용하여 Fig. 5 과 Table 2 와 같이 약 35kHz 를 얻었다.<sup>5)</sup> 추후에는 무게를 더 가볍게 할 수 있는 플라스틱 계열의 재질을 사용할 수 있다.

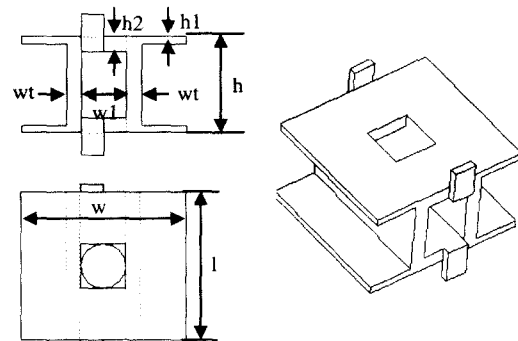


Fig. 5 The size, shape and 3D-view of Bobbin (FC-2, AI 6061 T6, w=3mm)

Table 2 The Natural Frequency of bobbin in variable bobbin size

ht1 (mm)	ht2 (mm)	wt (mm)	AI (6061 T6)	FC-2 (Engineering Plastic)
0.5	0.5	0.5	18.864kHz	9.279kHz
0.5	1	1	<b>38.65kHz</b>	19.065kHz

##### 4.1.2 자기회로, 코일, 그리고 판 스프링 설계

설계 시 고려 항목은 미세 구동기의 DC 게인과

1 차 공진 주파수, 조동 구동기의 추적 시간을 위한 힘이 있다. 미세 구동기는 간단히 역기전력과 인덕턴스를 무시하고 DC 게인은 식 (2)와 같이 표시될 수 있다.

$$DC\ gain = \frac{B_g l_{eff} N}{kR} \geq 54dB \quad (2)$$

보빈의 모양과 사이즈가 나왔으므로 근접장 기록 장치 구동기의 요구사항을 만족시키기 위하여 본 절에서는 힘을 내는 VCM 부와 힘의 전달을 이끄는 판 스프링의 설계를 알아본다.

힘을 발생하는 자기 회로부는 Fig 6 에서 보여주는 퍼미언스 법을 사용하여,  $B_g (=0.21T)$ 을 구하였다. 검증을 위하여 Maxwell 을 이용하였다.<sup>6)</sup> 여기서 자석의 길이는 ( $l_m$ ) 6mm, 자석과 요크의 열간격( $l_1$ )은 4mm, 요크의 두께( $t$ )는 2.5mm, 공기 갭( $l_g$ )은 1.5mm 이다. 그리고 자석의 두께는 2.5mm, 폭은 5mm 이다. 자석의 폭은 코일의 효과 길이( $l_{eff}$ )와 같다.

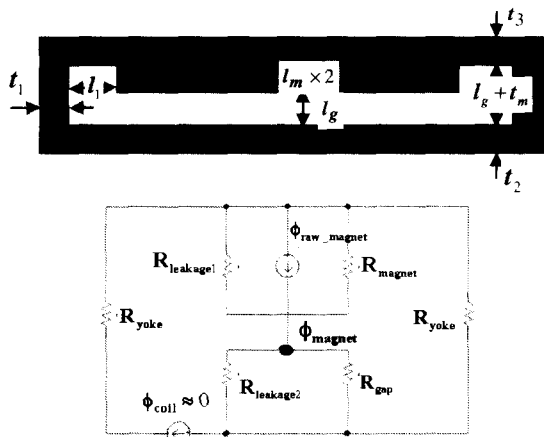


Fig. 6 Permeance Modeling of Yoke and Magnet

미세 구동기를 구성하는 요소 중 Fig. 4 에서 나타난 것으로 기계적인 부분은 보빈과 판 스프링이다. 이 두 부분은 Fig. 7 과 같이 모델링을 한다. 그리고 식 (3), (4)을 이용하여 원하는 강성 및 1 차 공진 주파수를 얻을 수 있다.<sup>7)(8)(9)</sup>

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

$$f_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (4)$$

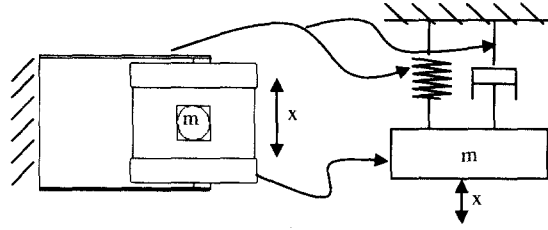


Fig. 7 The Modeling of bobbin and leaf spring

Fig. 4 의 과정을 따라서, 식 (2), (3) 그리고  $l_{eff}$ ,  $B_g$  을 사용하여 미세 구동기를 구동하는 코일의 감긴 수(N)와 저항(R)을 적절히 이끌어 낼 수 있다.

판 스프링만을 사용할 경우 Q-factor 가 크게 나온다. 이것을 막기 위하여 Tom Lewis 에서 제공하는 댐핑 물질을 판 스프링에 접착했다. 손실 효과(loss factor) 'η'은 '0.23'이다. 식(5)에 의하여 적용할 수 있는 댐핑 값을 알 수 있다. 설계 시 댐핑 물질이 갖고 있는 강성도 고려가 되었다. 댐핑 물질은 viscous 효과를 이용한 것이다. 그리고 자체에 약 50um의 알루미늄 판을 갖고 있다.

$$C = C_c \times \eta / 2 = m \times \omega_n \times \eta \quad (5)$$

#### 4.2 조동 구동기의 설계

##### 4.2.1 자기회로 및 코일 설계

조동 구동기의 주된 역할인 추적 시간에 대한 것을 수행하기 위하여  $30\ m/sec^2$ 의 가속도로 움직이어야 한다. 재질을 알루미늄으로 하였을 경우 조동 구동기와 미세 구동기를 합친 전체 무게는 약 7~8그램 정도이다. 전자기 회로에 의하여 만들어져야 하는 힘은 식 (6)와 같이 240mN 보다 커야 함을 유추할 수 있다.

$$F_{need\_coarse} = M_{total} a_{accel} \geq 240\ mN \quad (6)$$

$$F_{Coarse\_coil} = NB_g i_{coarse} l_{eff} \quad (7)$$

전자기 회로에 의한 로렌츠 힘의 생성은 식 (7)에 의하여 얻을 수 있다. 여기서 조동 구동기에 가해지는 전류의 세기는 보통 약 0.5~0.6A, 코일의 효과 길이는 5mm 이다.

4.2.2 조동 구동기 기계적인 부분 설계

미세 구동기와 판 스프링으로 연결되어있고 전체 구조에서 레일을 롤러베어링으로 움직이는 조동 구동기는 Fig. 8-(a)와 같은 대칭적 구조로 무게를 줄이기 위한 간단한 모양을 갖는다. 조동 구동기의 몸체에 대한 구조 해석을 위하여 IDEAS 시뮬레이션 실행 시 Fig. 8-(b)과 같이 2741.5Hz의 공진 주파수와 변형 결과를 얻을 수 있다. 이것은 조동 구동기의 구동영역(약 0Hz~ 300Hz)에서 크게 벗어나 있어 안정적인 설계가 이루어짐을 알 수 있다.

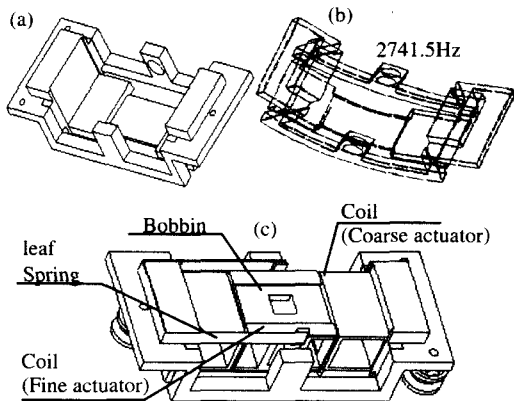


Fig. 8 The 3D-view(a), IDEAS result(b) of only Coarse actuator body and coarse actuator body with coil and fine actuator(c)

5 구동기의 특성 평가

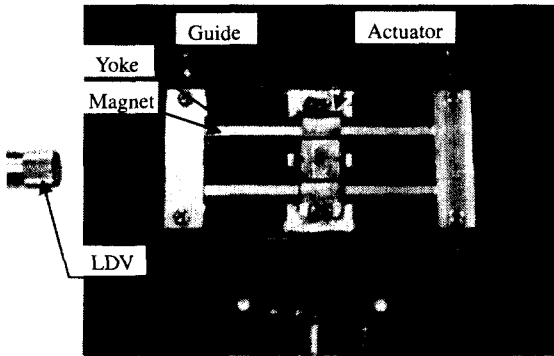


Fig. 9 The NFR actuator and experimental set-up

본 장은 제안되고 설계·제작된 구동기의 특성 및 성능을 평가한다. Fig. 9는 실험 장비가 구성된

모습을 보여준다. 그리고, 성능 평가를 위하여 정밀도(resolution)가 '8nm'인 LDV(Laser Doppler Vibrometer(Polytec. OFV 501, OFV 3001))와 sine swept wave 발생기인 dynamic analyzer(Hewlett Packard 35670A)를 사용하였다. 또한 구동기의 구동회로는 Apex 사의 파워 Op-amp(PA 02)를 이용하여 구현하였다.

설계된 구동기의 변수들을 살펴보면 Table 3.과 같이 얻어진다.

Table 3 The parameters of designed actuator

	Fine Actuator (Theoretical)	Coarse Actuator (Theoretical)
N (turns)	80*2	430*2
R	7Ω	11.5Ω
L	0.155mH	2.384mH
-EMF	0.16(Vs/m)	0.857
Mass	1.39g	6.5g
K	247.05N/m	N
C	Loss factor:0.23	N

5.1 미세 구동기의 특성 평가

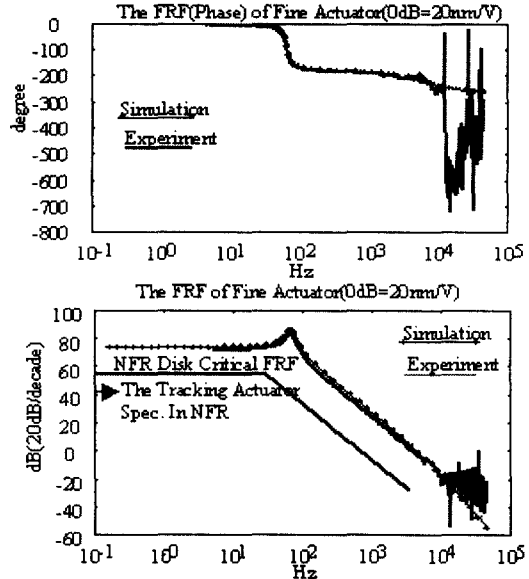


Fig. 10 The FRF of NFR Fine actuator

근접장 기록 장치를 위한 미세 구동기의 요구사항은 3.1에서 언급하였다. Fig. 10은 제작된 미세 구동기를 구동하여 측정된 특성 곡선이다. 그림을 통하여 원하는 구동기의 사항을 충족하고 있음을 알 수 있다. DC 게인 값은 약 75dB(0dB=20nm/V)이고, 1차 공진 주파수는 약 70Hz이다.

**5.2 조동 구동기의 특성 평가**

조동 구동기의 요구 가속도인 30 m/sec<sup>2</sup>를 확인하기 위하여 저주파 영역의 19Hz, 18.96Vp-p의 사각파를 구동 입력으로 하였다. 그 후 조동 구동기의 운동을 측정된 결과가 Fig. 11이다. 측정은 LDV(125mm/s/V)를 사용하였다.

$$\Delta V = 7.1022 \times 0.125(m/sec)$$

$$\Delta t = 0.02613 \tag{8}$$

$$a = \Delta V / \Delta t = 33.98(m/sec^2) \tag{9}$$

식 (8), (9)을 통하여 설계된 구동기는 설계사항을 만족하고 있음을 알 수 있다. 특히 본 설계 시 구동기의 1/3 스트로크를 20mm로 선정을 하였다. 이것을 일반적인 약 10mm로 선정을 할 경우에는 보다 빠른 액세스 시간을 만들 수 있음을 유추할 수 있다.

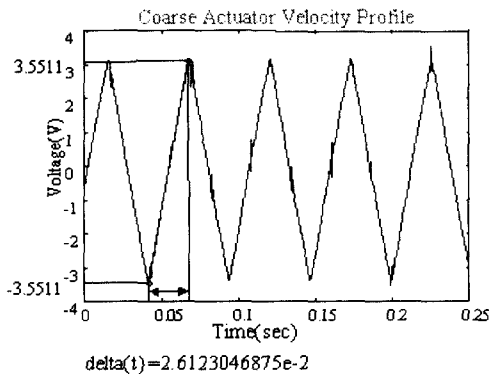


Fig. 11 The test of Coarse actuator for acceleration

조동 구동기의 속도 모드의 특성곡선은 Fig. 12를 통하여 나타낸다. 조동 구동기는 시스템을 기계적인 구조로만 생각되어질 경우에 스프링과 댐핑이 없는 2차 시스템으로 여겨진다. 결국, 40dB/decade의 특성을 보이는 변위 모드에서는 시스템의 특성을 측정하기가 쉽지않다. 그리하여 속도 모드를 사용하여 20dB/decade로 나타내었다.

Fig. 12는 4.2.2에서 언급하였듯이 조동 구동기가 구동영역 주파수(약 0~300Hz)에서 안정하도록 강성함을 보여준다. 그리고, 전기적 특성을 동시에 보여준다.

실험에서 사용한 앰프가 정전압제어형이기에 구동기의 특성실험 시, Fig. 12에서의 실험과 이론적인 결과처럼 조동 구동기가 pole을 갖지 않는 2차 시스템의 특성을 나타내지 않고 전기 동적 특성인 인덕턴스와 역기전력을 갖고 있어 pole을 두개 갖는 특성을 보인다. 특히, pole은 약 0~1Hz과 700~800Hz 사이에서 나타내어진다. 또한, 기계적 특성인 조동 구동기의 공진 주파수가 Fig. 8-(b)에서 표시된 공진 주파수와 차이를 갖는 지점, 약 4.3kHz 부분에서 공진 주파수 점이 나타나게 되는데, 이것은 조동 구동기에 코일이 고정되어 있어 조동 구동기의 구조가 더욱 큰 강성을 갖게 됨을 나타낸다.

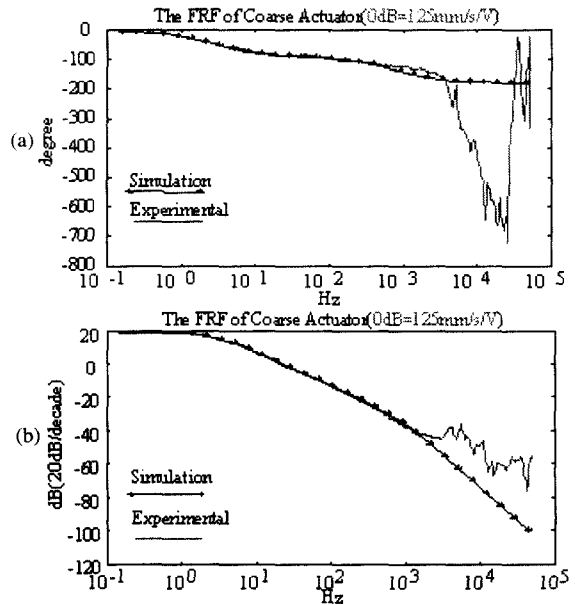


Fig. 12 The FRF(Phase(a) and Amplitude(b)) of NFR Coarse actuator(with fine actuator)

**6. 결론**

근접장 기록 장치를 위한 전체적인 사항에 대하여 고려하였으며, 장치가 요구하는 사항에 맞추어 구동기를 트랙킹 방향과 포커싱 방향의 운동에 적

합한 구동기의 선정 및 제안을 하였다.

제안된 구동기는 크게 트래킹·포커싱 구동기로 나누어진다.

트래킹 구동기는 미세 구동기와 조동 구동기로 이루어진 이중 구동기이며, 조동 구동기의 마찰을 줄이기 위하여 롤러베어링을 사용하였다. 또한, 구동기의 단순화를 위하여 하나의 자속 흐름을 이용하여 미세, 조동 구동기를 구동하는 방법을 채택하였다.

포커싱 방향의 운동은 근접장이 일정하게 발생할 수 있도록 일정한 높이, 간격을 유지하여야 한다. 이 목적을 위하여 수동 구동형인 HDD 의 HGA 를 이용을 한다.

제안된 구동기 중 본 논문에서는 트래킹 구동기를 설계 및 제작, 특성 실험을 수행하였다.

근접장 기록 장치의 요구사항에 맞추어서 트래킹 구동기를 설계하였고, 설계된 구동기를 이용하여 근접장 기록 장치 시스템의 구동기로서 적합한지 미세 구동기, 조동 구동기 순으로 성능 평가를 하여 적용 가능성을 알 수 있었다.

미세 구동기는 디스크를 추적하는 중요한 역할을 담당을 하는데, 설계된 미세 구동기는 근접장 기록 장치로 쓰여질 수 있는 디스크의 에러요인에 의한 특성을 극복하는 특성을 갖는 것을 특성곡선을 통하여 관찰할 수 있었다. 조동 구동기는 기록 장치 시스템의 역세스 시간과 관련이 있다. 본 논문에서 설계한 조동 구동기가 본 근접장 기록 장치에서 요구하는 역세스 시간을 실현시키기 위한 가속도를 나타낸다. 곧, 근접장 트래킹 구동기로서 적합함을 알 수 있다.

추후로 보다 정확한 구동기의 적용성을 판단하기 위하여 미세·조동 구동기의 제어실험을 수행을 할 것이다. 또한, 조동 구동기의 마찰력에 대한 실험을 함으로써 마찰을 줄이기 위하여 사용된 롤러베어링의 기능을 관찰을 한다.

앰프를 정전류 제어형을 사용하여 실험을 함으로써 전기적 효과가 없어짐을 관찰할 필요가 있다.

### 후 기

본 연구는 한국과학재단 지정 정보 저장 기기 연구센터와 LG 의 지원으로 이루어짐과 또한, VCM 제작에 도움을 주신 성림첨단산업과 한국오토피아에 감사 드립니다.

### 참고문헌

1. 한국 전자통신 연구원 30 대 품목 기술/시장 보고서 99-28.
2. Yoshinobu Mitsuhashi, 1998, Optical Storage : Science and Technology, Jpn. J. Appl. Phys VOL. 37, Part1, No. 4B, pp. 2079-2083, April 1998.
3. 윤형길, "SIL 을 이용한 근접장 마이크로스코프의 제작 및 설계에 관한 연구," 한국과학기술원 석사학위논문, 2000.
4. 정희원, "광 픽업 구동 메커니즘의 설계와 이를 이용한 정밀 트래킹에 대한 연구," 한국과학기술원 석사학위논문, 1996.
5. S. M. Kim and D. G. Gweon, Joint MORIS and ISOM, pp. 198-199, 1997.
6. 최인목, "광 디스크를 위한 VCM 형 일차원 초정밀 트래킹 구동기에 관한 연구," 한국과학기술원 석사학위논문, 1998.
7. 이문구, "광 픽업 미세 구동부의 모델링 및 최적 설계에 관한 연구," 한국과학기술원 석사학위논문, 1997.
8. 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.
9. S. M. Kim and D. G. Gweon, Joint MORIS and ISOM, pp. 196-197, 1997.