

자성유체 댐퍼를 이용한 광픽업 액츄에이터의 동특성 개선

Improvement of dynamic characteristics of optical pick-up actuator using ferrofluidic damper

°송병률* · 신경식* · 김진기* · 남도선* · 성평용* · 이주형*

ByungYoun Song, KyungSik Shin, JeonGie Kim, DoSun Nam, PyongYong Sung, JuHyung Lee

Key Words : Optical Disc Drive, Pick-Up, Actuator, Ferrofluid, Damper, Resonance, Access time

ABSTRACT

The suspension of the optical pickup actuator is damped by the presence of silicone rubber damper bond at its termination. In spite of the presence of it, the actuator still exhibits a strong mechanical resonance which affects its settling time and vibrational characteristics. This resonance can cause errors in reading information from the disk, particularly in high speed CD-ROM and DVD-ROM drives.

Ferrofluids are stable colloidal suspensions of sub-micron sized magnetic particles in a carrier liquid. In the actuator design, ferrofluid is applied to the surface of the magnets until the quantity is sufficient to maintain intimate contact with the bobbin/carrier assembly. The fluid is retained in the magnetic field and its viscosity provides the desired mechanical damping to the moving assembly, improving the actuators settling time and vibrational characteristics . Access time is also improved, particularly on warped or eccentric discs.

1. 서론

광픽업용 액츄에이터는 코일과 대물렌즈가 부착되어 있는 보빈/블레이드 조립체가 자기공극을 두고 4개의 베릴륨동 서스펜션 와이어에 의해 지지된다. 그리고 서스펜션 와이어는 그 고정단에 실리콘계 고무형 댐퍼본드로 감쇠를 유지한다. (Fig 1)

그러나 실리콘계 고무형 댐퍼본드가 있음에도 불구하고, 액츄에이터는 정착시간과 진동특성에 영향을 미치는 큰 공진값을 여전히 갖는다. (감쇠비 $\zeta=0.05\sim0.08$ 수준). 그리고 이러한 큰 공진값은 고배속 CD-ROM과 DVD-ROM에서 정보를 읽는 동안 액세스시간 초과 등의 오류를 일으키는 요인

이 된다.

이러한 액츄에이터 시스템의 공진 크기를 줄이면서 정착시간 등이 고려된 감쇠비인 $\zeta=0.5\sim0.6$ 수준을 달성하기 위해서는 추가적인 감쇠요소의 개발이 필요하다. 본 연구에서는 추가적인 감쇠요소로서 포커스 코일과 포커스 마그넷 사이의 공극에 자기장에 의해 고주파 미세 구동시에도 흘러내리지 않는 수준의 포화자화와 점도를 가지는 액츄에이터 시스템에 적합한 자성유체의 개발과, 신뢰성과 대역폭 증대를 위해 개발한 자성유체 댐퍼와 실리콘계 댐퍼본드를 동시에 사용하는 하이브리드형 댐퍼의 개발에 대해 기술한다.

보빈/블레이드 조립체와 마그넷 사이의 자기공극(magnetic air gap)에 흘러내리지 않을 만큼의 포화자속과 점도를 가지는 적절한 양을 주입하면, 유체는 자기장 내에서 흘러내림이 없이 유지되고,

* 삼성전자 디지털미디어총괄 ODD사업부 핵심부품팀

이러한 유체의 점성은 액추에이터의 정착시간과 진동특성을 향상시키기 충분한 기계적 감쇠를 줄 수 있다. 또한 휘어진 디스크(warped disc)나 편심 디스크(eccentric disc)등에서 액세스시간의 향상도 가져온다.

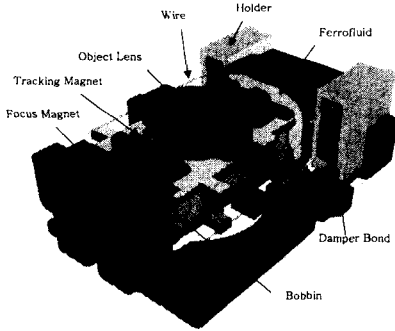


Fig 1. Optical Pick-up Actuator

2. 액추에이터의 감쇠

(1) 액추에이터 시스템의 수학적 표현

액추에이터 시스템을 라그랑지 방정식을 이용해 포커스 방향 구동력 (F_f)에 대한 광축(Z_o)의 전달 함수를 구해보면 다음과 같다.¹⁾ 여기서 M 은 액추에이터의 질량, C_f , K_f 는 각각 병진운동 방향 감쇠 및 강성계수

$$\frac{Z_o(s)}{F_f(s)} = \frac{1}{Ms^2 + C_f s + K_f} \quad (2)$$

여기서 가동코일에 작용하는 힘, $F_f(s)$ 는 B 와 L_f 에 비례한다. 전달함수를 입력전압에 대한 출력의 변위의 그래프로 표현하고 이것을 Fourier Transform하면 다음과 같다. 여기서 B 는 자속밀도이고, L_f 는 코일의 유효길이이며, R 은 코일의 저항, $I_f(s)$ 는 코일에 흐르는 입력전류의 라플라스 변환이다.

$$\frac{Z_o(j\omega)}{V_f(j\omega)} = \frac{BL_f}{R(K_f - M\omega^2 + jC_f\omega)} \quad (2)$$

(2) 기존 액추에이터의 감쇠방법

와이어 스프링타입의 경우는 대부분 지지부 홀더부에 댐퍼본드를 주입하는 방법(Fig 1)으로 구현되어있다. 그러나 포커스나 트랙 운동시 서스펜션 와이어의 이동거리가 고정단 부위에서는 짧으므로, 감쇠(댐핑비 0.05 수준)의 정도가 적다.

따라서 별도의 추가적인 댐핑요소를 추가해야만 원하는 감쇠(댐핑비 0.6 이상 수준)를 얻을 수 있다. 그리고 추가적인 댐핑요소를 구현할 경우 그 효과를 극대화 시키기 위해서는 구동부에 가장 가까이 댐퍼를 설치하는 것이 가장 효과적이다.

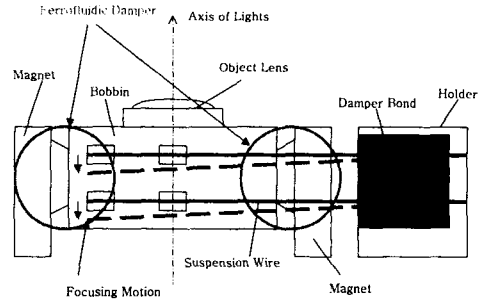


Fig 2. Actuator using ferrofluid as additional damper

(3) 자성유체를 이용한 추가댐핑

자성유체를 포커스 마그넷과 포커스 코일사이에 주입(Fig 2)하면 포커스 마그넷의 자기장과 자성유체의 자화 때문에, 흘러내리지 않고 주입한 위치에 머물며, 보빈 구동시 겹보기 점성으로 인한 감쇠를 일으킨다. 포커스 방향 힘이 가해지는 곳에 감쇠가 직접적으로 가해지게 되므로, 1차공진 피크양의 조절에 직접적인 효과를 가져다 준다. 그리고 자성유체의 자화도, 점성 그리고 주입량 등을 조절하면 최종 감쇠비를 조절할 수 있다.²⁾

3. 액추에이터용 자성유체의 개발

(1) 자성유체 물리적 특성

자성유체란 콜로이드(colloid) 크기의 강자성(ferro magnetic) 분말을 안정하게 분산시킨 현탁액으로 원심력이나 자장이 가해져도 유체와 고체가 분리가 일어나지 않고 겹보기에 액체자신이 자성을 갖는 것처럼 거동하는 성질, 즉 초상자성(super paramagnetic)을 갖고 있다.

자성유체의 가장 큰 특징은 외부에서 가하는 자계에 반응하여 자장의 강도에 따라 겹보기 비중을 증가시키고 자기압력으로 발생시켜 감쇠력을 발생시킨다. 자성유체 시스템은 자성유체의 자화밀도(magnetization intensity)와 자기장에 의한 자기장 에너지(magnetic field energy)에 의한 유체내부

압력과 표면장력(surface tension)에 의해 흘러내리지 않고 형상을 유지하게된다.³⁾

(2) 시스템이 요구하는 자성유체의 특성

a. 분산안정도

Fig 3과 4는 광픽업용 액추에이터 시스템의 포커스 마그넷과 포커스 코일간의 자기장의 분포이다. 이같이 자계기울기가 큰 가속도를 받은 상태(액추에이터 시스템 : $1.375 \times 10^{-2} kA/m^2$)에서도 높은 안정성을 가지기 위해서는 높은 포텐셜 장벽을 가져야 한다.⁴⁾ 안정적인 계면활성제는 높은 포텐셜장벽을 구현 할 수 있다. 에스테르(ester)계에서는 안정적인 계면활성제가 개발되어 있으나 실리콘(silicone)계에서는 아직 개발 되어있질 않다.

b. 온도에 따른 점성변화

Fig 5에 따르면 온도가 증가함에 따라 에스테르계의 동점성 계수는 급격히 감소하는 반면, 실리콘계의 동점성 계수는 그다지 떨어지지 않는다. 그러나 주로 사용하는 온도 영역대인 25°C~40°C에서는 동점성계수 측면에서 에스테르계는 안정적이라 할 수 있다. 실리콘계가 온도특성은 좋지만 위에서 기술한 분산안정도가 떨어지므로 자성유체의 매질로 사용할 수는 없다. 고온(40°C이상)에서의 동점성계수의 급격한 저하를 보완하는 방법으로, 자성유체와 기존에 감쇠요소로 사용했던 실리콘계 댐퍼본드를 같이 사용하는 하이브리드 방식이 있다. 댐퍼본드 역시 실리콘계이므로 온도에 따른 동점성의 변화가 적어 고온 시 시스템의 전체 댐핑비가 보상이 된다. 여기서 사용된 에스테르계의 CF-3A는 포화자속 100G, 동점성 1000CP(@27°C)이며 실리콘계의 NF1130은 포화자속 100G에 동점성 650CP(@27°C)이다.

c. 저역감도와 고역감도

겉보기 점성의 크기를 좌우하는 포화자속밀도, 매질이 되는 유체의 점성을 나타내는 동점성, 그리고 주입되는 자성유체의 양을 조절한다.

Table 1은 포화자속밀도와 동점성계수의 변화에 따른 DC감도와 AC감도의 변화이다. 이 데이터에서 동점성계수 2000 cP까지는 AC감도는 1~2 $\mu m/V$ 정도의 감소만 보이지만, DC감도는 0.1~0.2mm/V 정도 감소한다. 4000 cP의 경우는 AC, DC감도가

비교적 급격하게 감소하는데 DC감도의 경우 500cp 대비 0.3mm/V 정도 감소하고, AC감도의 경우 6 $\mu m/V$ 정도 감소한다. 즉 포화자속밀도 및 동점성계수등의 자성유체의 사양을 조절하여 원하는 DC감도 및 AC감도를 얻을 수 있다.

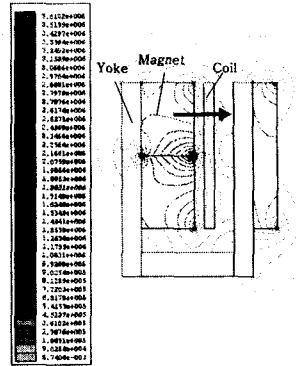


Fig 3. Magnetic field of actuator (kA/m)

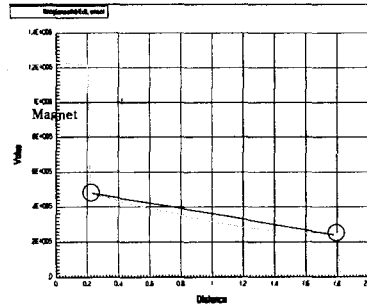


Fig 4. magnetic field vs distance (along vector of fig 3, unit : kA/m)

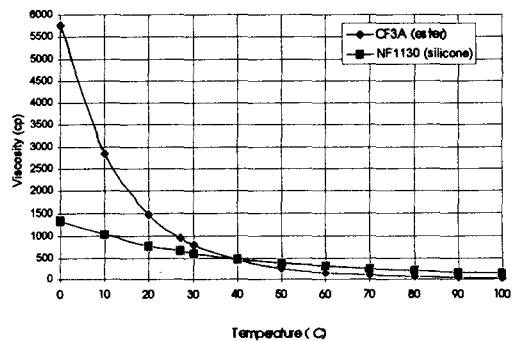


Fig 5. viscosity about temperature variation

d. 자성유체 양별 댐핑비

2차요소의 보드선도 식을 통해 감쇠비를 유도해 낼수 있다.⁹⁾

$$\zeta = - \left(\frac{\omega_n^2 - \omega^2}{2\omega\omega_n} \right) \tan \phi(\omega) \quad (3)$$

Fig 6은 자성유체의 양과 마그넷 두께에 따른 댄핑비를 나타내었고, Table 2는 주파수(10Hz~150Hz)에 관한 평균을 구한 것이다.

Table 1. DC gain and AC gain as ferrofluid

유체사양	Focus		Tracking	
	DC감도 (mm/V)	AC감도 (μm/V)	DC감도 (mm/V)	AC감도 (μm/V)
100G 500cp	1.01	31.1	0.79	24.1
200G 500cp	0.94	30.4	0.74	23.4
100G 1000cp	0.97	30.1	0.76	22.9
100G 2000cp	0.85	29.6	0.73	23.6
200G 2000cp	0.86	29.8	0.71	23.3
180G 4000cp	0.69	24.7	0.56	19.9

동일한 주입량 70mg에 대해 자석의 두께를 1.8t에서 2.0t로 0.2t 증가시켰을때, 평균으로 구한 댄핑비는 0.614에서 0.815로 0.201증가한다. 즉 동일한 포화자속밀도에 대해 자기장의 세기가 커짐에 따라 자기장에서 유도되는 걸보기 점도가 증가하였기 때문이다. 또한 동일한 두께 2.0t의 자석에서 주입량을 20mg, 40mg, 70mg 증가시킬 경우 댄핑비는 0.543에서 0.662, 0.815로 증가함을 볼 수 있다.

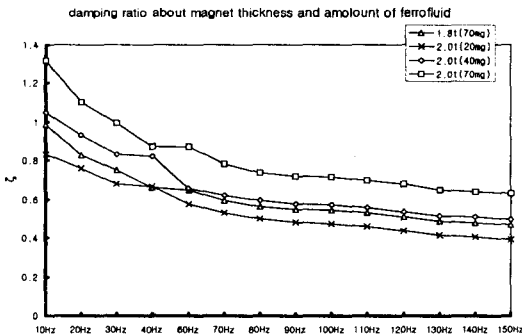


Fig 6. Damping ratio as a magnet & ferrofluid

Table 2. Damping ratio from eqn 3

magnet thickness	1.8t		2.0t	
amount of ferrofluid	70mg	20mg	40mg	70mg
damping ratio (averaged)	0.614	0.543	0.662	0.815

e. 자성유체의 수명

공극에 자성유체를 적용할 경우, 자성유체의 수명을 예측하는 식 (life model) 은 다음과 같다⁵⁾.

$$\tau = \frac{fm}{2\epsilon A} \quad (4)$$

여기서 τ = 자성유체의 수명(초), ϵ = 개구간

(open dish)에서의 자성유체의 증발율, A = 자성유체의 표면적, f = 보정계수, m = 자성유체의 무게(gm), 2 (증발하는 면의 갯수)이다.

액추에이터 시스템에 사용되는 자성유체의 수명을 위의 식을 통해 예측하면 다음과 같다. 여기서 자성유체는 CF3A, 체적은 0.05ml, 자성유체의 질량은 52.5mg, 자성유체의 면적은 0.2cm², 코일의 온도는 100℃ 이때 증발율은 $5 \times 10^{-10} \text{ gm/cm}^2 \text{ sec}$, 보정계수는 $f=1$ 이다. 그러나 이것은 코일의 온도가 100℃인 채로 하루 24시간 사용할 경우 8.32년간 계속 사용 가능하다는 결론이며, 실제 사용 환경상 하루 12시간 이하이며, 사용온도도 40℃이하이다. 때문에 이러한 것을 모두 고려한다면 그 수명은 20년 이상으로 예측된다.

$$\tau = \frac{1 \times 0.0525}{2 \times (5 \times 10^{-10}) \times 0.2} = 8.32 \text{ year} \quad (5)$$

4. 주파수 응답 특성

(1) 실험장치

다음의 그림은 액추에이터의 주파수응답특성 및 시간응답 특성을 얻기 위한 실험장치를 구성한 것이다. 가진되는 액추에이터의 대물렌즈의 반사판에서 반사되어 오는 레이저를 도플러효과를 이용하여 속도를 측정 한 후, 이를 동적신호처리기 (Dynamic signal analyzer)에서 각종 변환을 통해 신호를 분석한다. 사인파 sweep으로 액추에이터를 가진하고, Laser vibrometer로 부터 검출된 속도신호를 적분하여 입력전압에 대한 출력변위의 보드 선도를 구할 수 있다.

(2) 보드선도 분석

댄퍼본드 및 자성유체 주입시 포커스 방향 보드 선도는 Fig 8 (a)~(d), 트랙 방향 보드선도는 Fig 8 (e)~(h)에 나타나 있다. Table 3와 Table 4에는 각각 포커스 방향과 트랙방향의 중요한 동특성을 분석하였다.

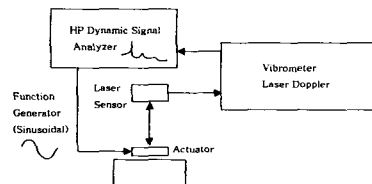


Fig 7. experiment sets

공진Q의 경우, 자성유체를 적용한 시편은 Q값이 없거나 아주 작다. 때문에 감쇠비도 0.6이상의 값을 충분히 구현 할 수 있다. DC감도는 자성유체와 댄퍼본드를 둘 다 적용한 시편이 감소됨을 보였으나 이는 시스템 사양을 유지하는 수준이다.

Table 3. Characteristics of focusing direction

	A	B	C	D
Damper bond	×	×	○	○
Ferrofluid	×	○	×	○
Natural freq.	41 Hz	46 Hz	57 Hz	59 Hz
Q factor	21.28 dB	0.80 dB	6.24 dB	N/A
Res. freq.	41 Hz	32 Hz	56 Hz	N/A
DCgain(@5Hz)	3.94 dB	2.83 dB	2.45 dB	1.41 dB
ACgain(@200Hz)	-22.9 dB	-23.4 dB	-22.0 dB	-22.6 dB
Damping ratio	0.023	0.625	0.08	N/A
2nd Res.	-86.2 dB	-92.2 dB	-86.2 dB	-94.3 dB
2nd res. freq.	26.7 kHz	25.5 kHz	26.7 kHz	27.3 kHz

Table 4. Characteristics of tracking direction

	A	B	C	D
Damper bond	×	×	○	○
Ferrofluid	×	○	×	○
Natural freq.	42 Hz	46 Hz	60 Hz	57 Hz
Q factor	22.06 dB	1.01 dB	6.90 dB	N/A
Res. freq.	42 Hz	33 Hz	59 Hz	N/A
DCgain(@5Hz)	3.12 dB	2.47 dB	0.74 dB	0.58 dB
ACgain(@200Hz)	-24.0 dB	-23.7 dB	-23.0 dB	-23.7 dB
Damping ratio	0.023	0.495	0.072	N/A
2nd Res.	-91.9 dB	-93.9 dB	-89.7 dB	-93.5 dB
2nd res. freq.	23.8 kHz	23.8 kHz	23.8 kHz	23.8 kHz
2nd ph. margin	-112.62	-129.13	-108.37	-120.63

댄핑비는 식(3)에 의해 주파수별로 계산을 한 것과 공진Q값으로부터 계산한 댄핑비와 비교(Table 5)에 의하면 고주파로 갈수록 댄핑의 영향은 적어진다. 그리고 1차공진 이외에도 2차공진등의 크기를 줄이는데도 효과가 있다. 특히 댄퍼본드 사용 시편에 비해 댄퍼본드와 자성유체를 둘 다 사용한 시편의 경우 2차공진의 크기가 -8dB 개선되었다. Table 6은 트랙방향의 동특성을 비교한 것이다.

트랙방향에서도 역시 포커스 방향과 동일한 특성을 나타낸다. 다만 트랙방향 보드선도(Fig 8(e)~(h))에서는 20kHz 이상에서 위상이 위로 솟는 부분의 0deg 기준 여유가 댄퍼본드와 자성유체를 같이 사용한 시편이 댄퍼본드만 사용한 시편의 위상 마진에 비해 12deg 이상 확보 가능하다.

위의 결과를 보면 자성유체만 적용한 제품으로도 원하는 감쇠비를 충분히 얻을 수 있으나, 에스 테르계는 온도가 증가함에 따라 점도가 급격히 감

소하므로(Fig 5), 이를 보상하기 위해 자성유체와 온도특성이 뛰어난 실리콘계 댄퍼본드를 동시에 사용하는 것이 신뢰성이 우수하다.

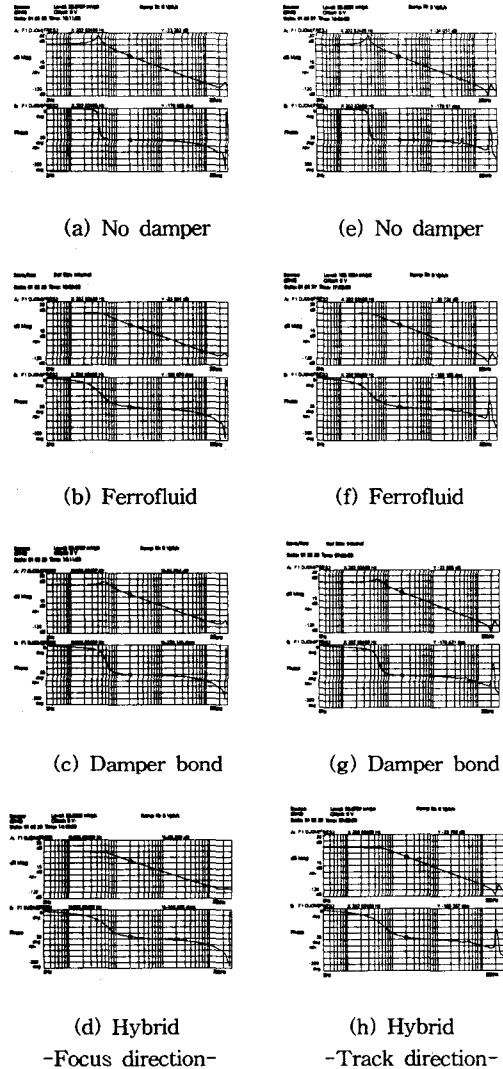


Figure 8. Bode plot of actuator

또한 자성유체만 사용할 경우 서스펜션 와이어 고정단의 유효길이가 길어져서 포커스, 트랙방향의 고유진동수가 감소(댄퍼본드 경우 60Hz, 자성유체의 경우 46Hz) 한다. 따라서 이들 둘을 같이 사용하면 와이어의 변경 없이도 고유진동수는 댄퍼본드 사용시편의 수준으로 상승(57Hz)되므로 시스템의 대역폭(bandwidth)이 증가된다.

Table 5. Damping ratio

	ferro +bond	dampner bond	ferrofluid	no damping
From Q factor	N/A	0.08	0.625	0.023
From phase diagram	10Hz	1.04	0.57	0.56
	30Hz	0.71	0.30	0.54
	40Hz	0.65	0.25	0.57
	50Hz	0.61	0.21	0.41
150Hz	0.45	0.08	0.43	0.05

5. 시간응답 특성

(1) 단순 2차 시스템으로의 근사

광 픽업용 액추에이터 시스템은 유한영점이 없는 단순 2차 시스템에 DC 계인을 가한 형태로 근사화 시킬 수 있으므로 식 (2) 단순2차 시스템에 대한 특성의 고찰로 액추에이터 시스템을 평가할 수 있다.

2% 정착시간(settling time) t_s 는 감쇠비 ζ 값에 거의 무관하게 시스템의 시정수(time constant)의 약 4배가 되므로⁶⁾ $t_s = 4T = 4 / \zeta \omega_n$ 이며 5% 정착시간은 시스템 시정수의 약 3배이므로 $t_s = 3T = 3 / \zeta \omega_n$ 가 된다.

Table 6. Settling time in focusing direction

	A	B	C	D
Damper bond	×	×	○	○
Ferrofluid	×	○	×	○
Natural Frequency	41 Hz	46 Hz	57 Hz	59 Hz
Damping ratio	0.023	0.625	0.08	N/A
Time constant	1.06	0.03	0.22	N/A
Settling time(2%)	4.24	0.14	0.88	N/A
Settling time(5%)	3.18	0.10	0.66	N/A

자성유체를 적용한 시편의 경우 시정수가 0.03이므로 2% 정착시간이 0.14로 댐퍼본드를 적용한 시편의 값인 0.88보다 약 6.3배나 빠르다.

(2) 포커스 구동

디스크가 들어왔을 때 들어온 디스크를 CD인지, DVD인지를 판별하기 위해서는 렌즈 하강(lens down) 및 렌즈상승(lens up)을 실행하면서 CD와 DVD디스크의 두께차이로 인해 야기되는 포커스 에러(focus error)에서의 표면반사 S자 곡선을 이용한다(Fig 9). CD의 두께는 1.2mm이며 DVD의 두께는 0.6mm이므로 렌즈상승/하강시에 표면반사에서 S자 곡선이 검출되기까지의 시간에 의해 판별된다. 포커스 액추에이터는 렌즈상승/하강을 하

는 삼각파의 입력주파수에 따라 포커스 액추에이터의 공진의 영향을 받으므로, 표면반사에서 S자 곡선까지의 시간이 달라질 수도 있다.⁷⁾

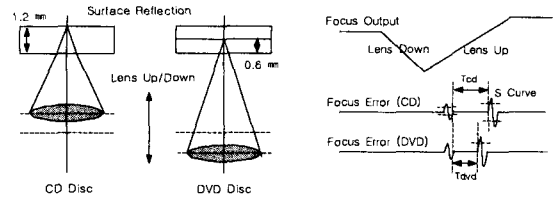


Fig 9. Focus servo on

댐퍼본드를 적용한 시스템과 자성유체를 적용한 시스템의 보드선도에서 구한 시스템 동특성치(Table 3)를 이용하여 MATLAB에서 펄스파를 입력하고 그 출력인 변위와 속도값을 나타낸 것이다(Fig 10).

동일한 입력 삼각파형 전압 (a), (d)에 대한 변위 (b), (e)를 비교해 보면 댐퍼본드를 적용한 (b)는 파형의 찌그러짐이 (e)에 비해 크다. 그리고 속도를 나타내는 (c)의 경우 과도응답(transient response)이 크게 지배하므로 (c)와 (f)에서는 그 차이가 더욱 크게 드러난다. 이는 시스템의 시정수를 비교(Table 6)해 보면 알 수 있다.

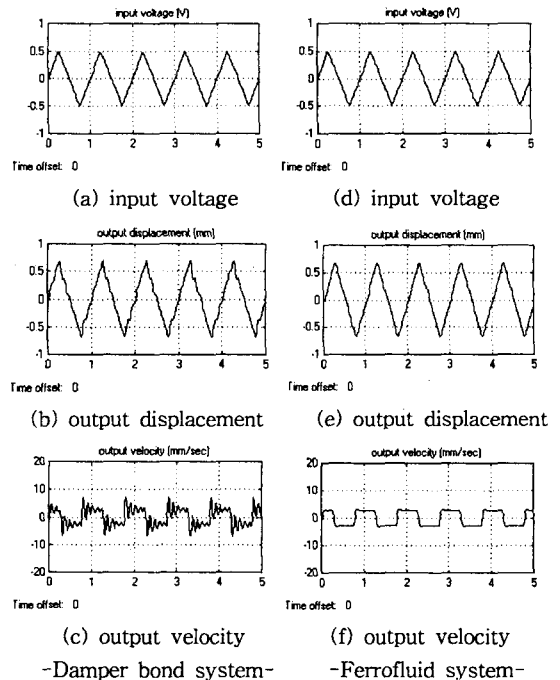


Fig 10. Simulation of response by triangle input voltage
다음 Fig 11은 입력주파수에 따른 출력파형의

효과를 확인하기 위해 함수발생기에서 펄스 파형을 주파수를 증가함에 따라 실험하였다. 인가전압은 peak-to-peak 200mV, 주파수는 5Hz, 10Hz, 20Hz, 30Hz를 입력할때 댐퍼본드를 적용한 시편(a~d)과 자성유체와 댐퍼본드를 같이 적용한 하이브리드형 시편(e~h)의 입력 전압에 대한 출력 속도이다.

댐퍼본드를 적용한 시편의 경우 5Hz, 10Hz에서의 과도응답에 대한 영향보다 고주파인 20Hz, 30Hz에서 과도응답에 대한 영향이 훨씬 크다. 특히 20Hz와 30Hz에서는 과도한 첫번째 피크로 인해 응답의 거시적 특성마저도 왜곡되고 있다.

이러한 반면 자성유체를 첨가한 하이브리드형의 경우 댐퍼본드형과 비교하여 시정수가 크므로 정착시간이 훨씬 짧다. 따라서 5Hz, 10Hz 뿐만 아니라 20Hz, 30Hz에서도 삼각파의 공진성분을 효과적으로 감쇠시킨다. 그리고 고주파 입력이 들어올수록 감쇠비가 적어지므로(Table 5참조) 정착시간은 점점 길어진다.

(2) 트랙 구동

광기에서 데이터 액세스시 슬래드(sled) 방향으로 Long-kick (Figure 12에서 3번)후 break시렌즈의 관성에 의해 흔들림이 발생(Figure 12에서 2번 & 2번 zoom)하여 트랙 servo-on이 이루어 지지않아 디스크 외주로 빠지는 현상이다.

Fig 13에서와 같이 슬래드(sled) 신호를 모사한 입력 펄스파형에 대해 댐핑의 증가한 시편의 시간 응답특성이 향상되었다. Fig 13의 좌측은 댐퍼본드 적용시편에 Ch2의 슬래드 신호를 모사한 입력 펄스에 대한 Ch1의 응답이며, 우측은 자성유체 적용 시편에 Ch2의 슬래드 신호를 모사한 입력에 대한 Ch1의 응답이다.

댐퍼본드 적용시편에 비해 자성유체를 적용한 시편의 과도응답이 안정되어 있는것을 볼 수 있다.

액츄에이터의 이 같은 관성효과가 나타나는 상황은 기본동작인 액세스시간 테스트에서 나타난다. 액세스시간을 측정하기 위해 1/3 스트로크(stroke) (address 68500 to 157485), 랜덤스트로크(random stroke), 풀 스트로크(full stroke) (address 150 to 314850 : TOC에 따라 다름)등으로 테스트 하게된다. 액세스 시간은 해당 주소를 접근하는데 소요되는 시간이므로 해당 제품의 중요한 성능의 척도가 된다.

Fig 14와 Table 9는 5개의 시편에 자성유체 적용시 액세스시간의 개선효과를 나타낸 것이다. 삼성전자 ODD연구소 자체개발 소프트웨어 CDTPLUS Q2.08로 측정하고, 시험시편은 2421 편향디스크, 그리고 테스트 횟수는 500회를 실시한 결과이다.

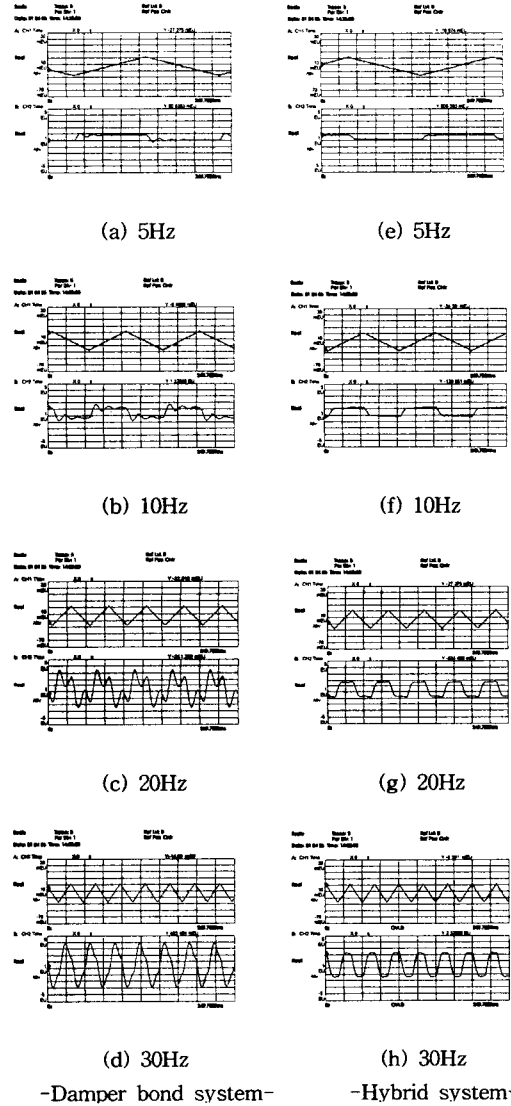


Fig 11. Experimental data of triangle input voltage

특히 액세스 유형중 랜덤 액세스(random access)의 경우 액세스 시간의 개선효과가 크다. 랜덤액세스의 경우 임의의 주소를 액세스하는 시험이므로 그 관성의 효과가 다른 액세스 유형보다 훨씬 크다. 그러므로 자성유체의 적용으로 인한 랜덤액세스의 향상은 트랙방향의 액츄에이터 관성의

효과에 대한 시스템의 강인성이 증가된 것이다.

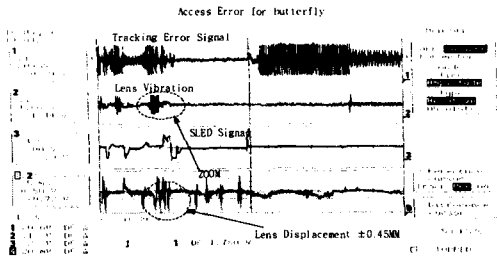


Fig 12. Servo-on error after sled long-kick

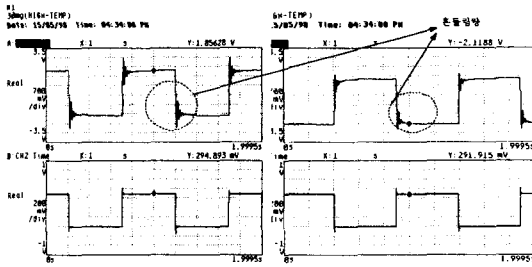


Fig 13. Response of pulse input as a sled signal

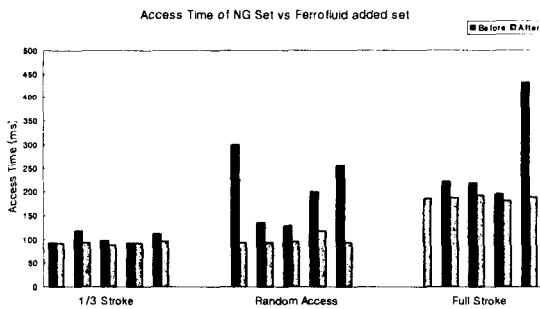


Fig 14. Access time

Table 7. Access time

Spl. No.	1/3 stroke			Random Access			Full Stroke		
	Pre	Post	Dev.	Pre	Post	Dev.	Pre	Post	Dev.
1	93	92	-1	299	93	-206	N.A.	187	N.A.
2	117	93	-24	136	93	-43	222	188	-34
3	98	88	-10	128	95	-33	219	192	-27
4	92	92	0	200	117	-83	196	182	-14
5	111	96	-15	256	94	-162	435	189	-246

6. 결론(Result)

자성유체를 이용하여 추가적인 감쇠요소를 개발함으로써, 댐퍼본드를 사용하는 기존의 광 피업용 액츄에이터의 $\zeta=0.05\sim 0.08$ 수준의 감쇠비를 시

스템의 공진 크기를 줄이면서 정착시간 등이 고려된 최적의 감쇠비인 $\zeta=0.5\sim 0.6$ 수준 이상을 얻었다.

그리고 감쇠요소의 고온 신뢰성과 시스템의 대역폭 증대를 위해 에스테르계 합성 자성유체 댐퍼와 실리콘계 댐퍼 본드가 조합된 하이브리드형 댐퍼를 개발, 적용하였다.

자성유체와 댐퍼본드를 동시에 적용한 시스템은 댐퍼본드 적용 시스템 대비 2차공진 최대값을 줄이고, 고유주파수는 댐퍼본드 수준(41Hz대비 60Hz)으로 유지를 하여 높은 대역폭을 유지하며, 분산 안정성과 고온 열화에 의한 점도의 감소에 대한 강인성을 가진다.

자성유체를 실제 적용한 제품에서는 공진 주파수 성분이 포함된 입력에 대한 강인성과 액츄에이터 관성에 의한 공진을 없애서 액세스 시간의 감소를 가져다 준다. 즉 자성유체의 적용은 서보설계에서의 면진동 및 편향성분에 의한 외란에 강인할 뿐만 아니라, 서보에서 고려하지 않는 불확실성 저주파 및 고주파 외란에 대한 시스템의 강인성을 증가시켜준다.

참고문헌(Reference)

- (1) 고상선, 류제하, 박기환, 정호섭, 1998, "고배속 CD-ROM용 비대칭형 광픽업 미세구동기의 구동특성", 한국소음진동공학회지, 제 8 권, 제 2 호, pp. 346~352.
- (2) 신경식, 김진기, 광픽업 액츄에이터의 댐퍼장치 특허 P0238033
- (3) G. S. Park, et al 1994, Numerical algorithm for analyzing the magnetic fluid seals, IEEE Transaction on Magnetics., Vol 30, No. 5, September 1994
- (4) R. E. Rosenweig, Advance in Electronics and Electron Physics, Vol, 48, Academic Press 1979
- (5) Bonvouloir, K. Ray J. and Moskowitz, B. 1993, "Long Term Reliability of Ferrofluids in Loudspeakers", Presented at the AES 6th Regional Convention, Tokyo, Japan June 23-25, 1993
- (6) 김종식, 동적시스템 및 제어공학, 청문각 1994
- (7) 이문노, ODD SERVO 기술, 삼성전자 ODD 사업부 2000