

論文98-35T-6-7

## 와이어 부동형 CD 광학헤드용 2축 구동부 설계

(Design of 2-Axis Actuator of Wire Suspension Type for  
CD Optical Head)

崔 永 錫 \*

(Young-Suk Choi)

### 요 약

광학헤드는 디지털 오디오 및 비디오 장치의 핵심부품으로서 일반 가전제품에서부터 컴퓨터 기억장치 및 게임기까지 광범위하게 응용되고 있으며, 광미디어의 수요가 확대됨에 따라 그 수요도 급속도로 증가되는 추세이다. 본 논문에서는 광학헤드의 핵심 구성요소인 포커스 및 트래킹 서보용 2 축 구동부를 와이어 부동형 외팔보 형태로 설계하고, 시뮬레이션 및 시제작 특성 분석을 통하여 그 설계 타당성을 검증하였다. 또한, 시제작 특성 분석을 통하여, 설계상의 원인외에 2축 구동부의 성능에 악영향을 미치는 조립공정의 인자를 파악하였다.

### Abstract

The optical heads as the key parts of digital audio/video players are applied extensively from general household electric appliances to computer memory or game apparatuses, and the demand of them tends to be increased according to the extension of optical medium market. In this paper, the 2-axis actuator, the key component for focus servo and tracking servo of the optical head is designed as a type of the cantilever suspended by 4 wires. The design propriety is verified through its simulation and the characteristic analysis of its mock-ups. The other factors which influence the performance of 2-axis actuators besides the design factors of them, are also verified through the mock-up analysis.

### I. 서 론

디지털 오디오 기술개발은 미국의 Bell 연구소와 MIT에서 컴퓨터에 의한 광대역 음성신호의 디지털 기록 및 재생연구를 펼두로 시작되었다.<sup>[1]</sup> 1982년경에 콤팩트 디스크(Compact Disc : CD)가 시중에 출현하면서 대용량 신호를 기록, 재생할 수 있는 디지털

신호처리기술이 급속도로 발전하게 되었다. 특히, 약 10년전부터 CDP(Compact Disc Player), CD-ROM 드라이브가 널리 보편화되고, 1986년 SKC사가 Philips사와 제휴하여 콤팩트 디스크를 생산하면서 국내에서도 그 수요가 확대되어 현재 국내의 오디오 및 메모리 시장을 석권하고 있다. 또한, 디지털 오디오 및 비디오를 동시에 전달할 수 있는 Video CD, CD-ROM 등도 시중에 출현하고 있다. 그러나, 이러한 종류의 광디스크는 고화질 고용량의 정보를 전달하기에는 불가능하므로, 최근 이러한 단점을 보강한 고밀도 광디스크인 DVD(Digital Video Disc)가 개발되어 차세대의 유력한 광미디어를 선도할 것으로 기대되고 있다.<sup>[2]</sup>

전술한 CD, CD-ROM, DVD등과 같은 광디스크를

\* 正會員, 仁德專門大學 메카트로닉스학  
(Dept. of Mechatronics, Induk Institute of Technology)

※ 본 논문은 인덕전문대학 학술연구비의 일부 지원에  
의한 것임

接受日字: 1998年3月31日, 수정완료일: 1998年5月28日

미디어로 하는 기기는 광학헤드라는 핵심 부품을 공통적으로 사용하고 있다. 광학헤드는 광디스크에 기록되어 있는 디지털 데이터를 검출하기 위한 센서로서, VTR의 자기헤드와 같은 역할을 하며, 고도의 광전자 기계기술(Opto-mechatronics)이 집약되어 있는 고부가가치 제품이다. 따라서 광디스크 기기의 핵심 부품인 광학헤드의 설계·제조 기술은 향후 디지털 오디오 및 비디오 기기와 컴퓨터 기억장치의 개발 및 성능 향상에 중요한 역할을 할 것으로 예상된다.

이러한 광학헤드는 각종 광전자소자와 광학렌즈로 구성되는 광학계와, 대물렌즈를 동작시켜 포커싱과 트래킹 보정을 행하는 2축 구동부로 이루어져 있다. 2축 구동부는 광학계에 비해 가격 점유율은 낮으나, 광학헤드의 크기 및 성능을 결정하는 중요 부품이다. 대물렌즈를 2축 방향으로 구동하는 방식은 1982년 CD 광학헤드가 출현한 이래로 발전을 거듭하여, 축습동방식, 와이어 부동방식, 플라스틱 힌지 방식 등 여러 가지 방식이 있다. 이러한 방식들은 각기 장단점을 갖고 있으나, 가격구조 및 부품국산화를 고려할 때, 국내에서는 와이어 부동방식이 적합하다. 또한, 와이어 부동방식은 양팔보형과 외팔보형으로 구분되는데, 양팔보형이 설계구조상 안정성과 양산성이 우수하지만, 공간을 많이 차지하므로 최근의 광학헤드 콤팩트화관 대추세에 부적합하다. 따라서, 본 논문에서는 이러한 추세에 부응하고 광학헤드의 가격경쟁력을 제고하고자, 광학헤드의 핵심 구성요소인 포커스 및 트래킹 서보용 2축 구동부를 와이어 부동형 외팔보 형태로 설계하고, 시뮬레이션 및 시제작 특성 분석을 통하여 그 설계 타당성을 검증하였다. 또한, 시제작 특성분석을 통하여, 설계상의 원인외에 2축 구동부의 성능에 악영향을 미치는 조립공정의 인자를 파악하였다.

## II. 광학헤드 2축 구동부의 원리

그림 1은 본 논문에서 설계·제작한 광학헤드 2축 구동부로 자기장 속에 놓인 포커스 코일(focus coil ①)에 전류를 인가하면 프레밍의 원손법칙에 의하여 코일에는 기전력이 발생하고, 이 기전력을 가동부(moving part : bobbin ass'y)를 상하 방향(광축 방향: 포커스 방향)으로 구동시킨다.<sup>[1]</sup> 같은 방법으로 트래킹 코일(tracking coil ②)에 전류가 인가되면 가동부는 좌우 방향(광디스크 반경 방향: 트래킹 방향)으로

움직인다. 이러한 원리에 의해 대물렌즈(objective lens ③)를 통하여 출사되는 레이저광이 광디스크상의 피트가 형성된 반사면에 대하여 정확하게 초점심도를 유지할 수 있고, 광디스크상의 트랙을 추종할 수 있다.<sup>[1]</sup> 이와 같이 광학헤드에서 2축 구동부를 이용하여 포커스 및 트래킹 서보를 하는 이유는 광디스크의 제작오차, 광디스크를 장착하는 턴테이블의 위치오차, 광학헤드의 광축 위치오차 및 구동오차, 외부진동전달등으로 인한 신호판독의 오류를 방지하기 위해서이다.

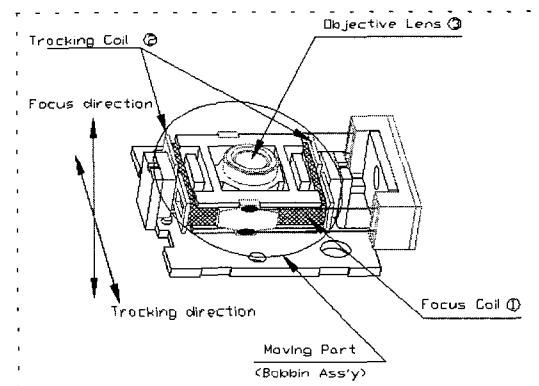
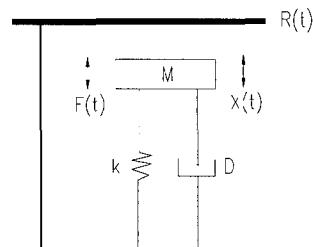


그림 1. 광학헤드의 2축 구동부

Fig. 1. 2-axis actuator of an optical head.

## III. 광학헤드 2축 구동부의 모델링



M : 가동부 질량

k : 부동 와이어(suspension wire)의 강성 계수

D : 점성 감쇠 계수

F(t) : 외력

X(t) : 가동부 변위

R(t) : 광디스크의 면진동

그림 2. 2축 구동부의 병진운동계

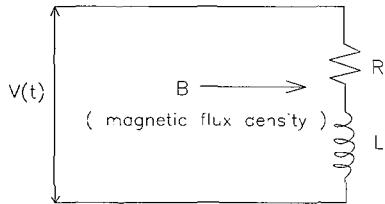
Fig. 2 Rectilinear system of a 2-axis actuator.

2축 구동부는 병진운동계와 전자기계로 크게 두 가

지로 모델링할 수 있다. 그림 1과 같은 2축 구동부의 병진 운동계는 그림 2와 같은 질량(M), 강성(k), 점성 감쇄(D)의 운동계로 표현할 수 있다. 이 병진운동계는 질량에 외력이 가해지면 점성감쇄에 의해 감쇠가 되는 강제 감쇠 단조화 진동자의 운동방정식으로 다음과 같이 표현된다.<sup>[3]</sup>

$$F(t) = M \frac{d^2}{dt^2} x(t) + D \frac{dx(t)}{dt} + kx(t) \quad (1)$$

2축 구동부의 전자기계는 그림 3과 같은 모델로, 식 (2), (3)과 같이 표현된다.



R : 포커스/트랙킹 코일 저항  
L : 포커스/트랙킹 코일 인덕턴스  
B : 자속밀도  
V(t) : 코일에 공급되는 전압

그림 3. 2축 구동부의 전자기계

Fig. 3. Electromagnetic system of a 2-axis actuator.

$$F(t) = i(t)lBn \quad (2)$$

$$V(t) = L \frac{di(t)}{dt} + Ri(t) \quad (3)$$

$F(t)$  : 구동력  
 $i$  : 구동 전류  
 $l$  : 자기장내의 코일 유효 길이  
 $n$  : 포커스/트랙킹 코일 권선수

이다.

식 (1), (2), (3)을 Laplace 변환하고, 입력 전압  $V(s)$ 에 대한 출력 변위  $X(s)$ 의 전달 함수를 구하면 다음과 같다.

$$G(s) = \frac{X(s)}{V(s)} = \frac{Bln}{kR} \left( \frac{\frac{k}{M}}{s^2 + \frac{D}{M}s + \frac{k}{M}} \right) \left| \frac{\frac{R}{L}}{s + \frac{R}{L}} \right| \quad (4)$$

#### IV. 2축 구동부의 사양

표 1. 2축 구동부의 사양  
Table 1. Spec. of a 2-axis actuator.

항 목 \ 구 분	포커스	트랙킹
작동 거리	$\pm 0.7$ mm 이상	$\pm 0.5$ mm 이상
저항	$5.1 \pm 0.7 \Omega$	$4.9 \pm 0.7 \Omega$
감도	$1.3 \pm 0.3$ mm/V	$0.7 \pm 0.3$ mm/V
공진 주파수	$30 \pm 4$ Hz	$30 \pm 4$ Hz
Q 값	$16 \pm 5$ dB	$20 \pm 5$ dB
위상	$193 \pm 7^\circ$	$182 \pm 7^\circ$

2축 구동부의 사양을 선정할 때는 반드시 ISO규격(Red Book)에 따른 서보설계사양을 고려하여야 한다. 또한, 2축 구동부는 광학헤드와 광디스크를 장착하여 구동하는 데크 메카니즘의 설계와 광학헤드 광학계 설계와의 상호 유기적인 관계를 고려하여야 하며, 양산성, 조립성, 제조원가등의 측면 또한 설계에 반영되어야 한다.

본 논문에서 제작한 2축 구동부는 전술한 바와 같이 대물렌즈 가동부가 4개의 와이어에 의해 외팔보로 부동되며, 홀로그램소자에 의한 4세대 광학계<sup>[4,6]</sup>와 함께 박형 광학헤드를 구성한다. 그 사양을 표 1에 나타내었다.

#### V. 2축 구동부 설계

##### 1. 병진 운동계

###### 1) 보빈(Bobbin)

보빈은 그 형상에 따라 조립성에 큰 영향을 미치며, 2축 구동부의 성능을 결정하는 중요 부품이다. 보빈의 기초설계시 다음의 2가지 사항을 고려하여야 한다.

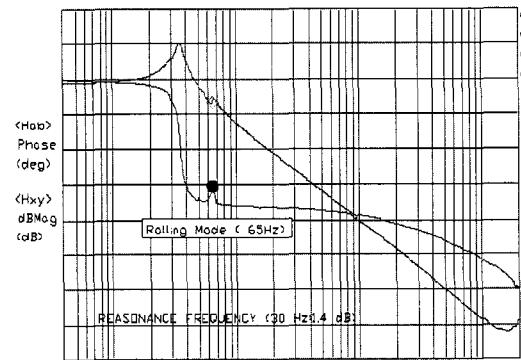
(1) 가동부의 무게중심과 힘의 중심의 일치

(2) 부공진과 보빈 재질과의 관계

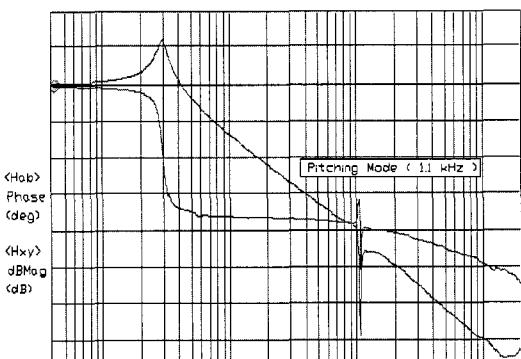
가동부(보빈, 대물렌즈, 포커스/트랙킹 코일, 코일 연결 PCB의 조립체)의 무게중심과 힘의 중심이 불일치하는 경우, 부동 와이어에는 모우멘트가 발생한다. 이 모우멘트는 가동부의 로울링(rolling)과 피칭(pitching)현상을 야기시켜 2축 구동부의 안정도에 악영향을 미친다.

그림 4는 본 논문의 설계에 의하여 제작된 2축 구동부 중 조립불량으로 가동부의 무게중심과 힘의 중심

이 정확히 일치하지 않는 제품의 주파수 응답 특성을 나타내는 것으로서, 약 65 Hz에서 로울링 모드가 과도하게 나타나고 약 1.1 kHz에서 피칭 모우드가 과도하게 나타나고 있다. 또한, 이러한 현상은 가동부의 비대칭적이고 불균일한 접착상태 또는 납땜상태에 의해서도 발생하기도 한다. 따라서, 설계시에 가동부의 무게중심과 힘의 중심을 가능한 한 정확하게 일치시켜야만 하고, 조립공정에서도 지그를 사용하여 이러한 중심이 일치하도록 정밀하게 조립하여야 하며, 부품 접착공정 또는 납땜공정 또한 그 양과 위치가 거의 대칭이 되도록 주의해야만 한다.



(a) Rolling mode



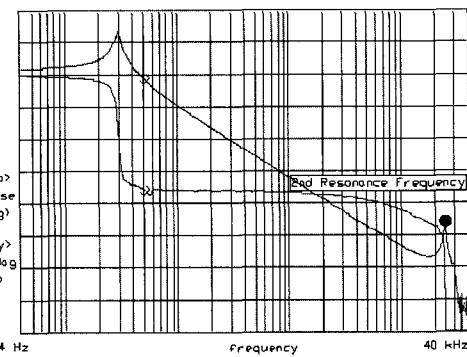
(b) Pitching mode

그림 4. 2축 구동부의 로울링 모우드와 피칭 모우드를 나타내는 동특성 선도

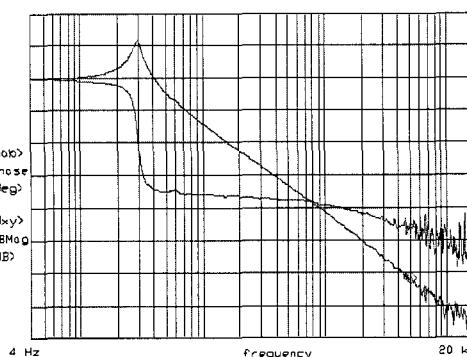
Fig. 4. Bode plots showing rolling mode and pitching mode of 2-axis actuators.

부공진과 고차공진의 원인은 보빈과 그에 부착된 포커스/트랙킹 코일, 대물렌즈 코일 연결 PCB의 종합

적인 공진의 결과로서 나타나는 것으로서 정량적 분석 및 시뮬레이션이 불가능하므로 주로 경험에 의존한다. 보빈은 2축 구동부의 구동 감도 및 동특성 향상을 위하여 일반적으로 소형, 박형화가 요구되는데, 보빈이 과도하게 소형, 박형화되면, 보빈 자체의 굽힘 및 비틀림 모우드 주파수 대역이 저하되어 시스템이 불안전하게 된다. 따라서, 보빈을 소형, 박형화할 때는 반드시 높은 경도의 재질을 사용하여야 한다.



(a) the resonances of higher order



(b) the 2nd resonance

그림 5. 2축 구동부의 고차공진과 부공진을 보여주는 동특성 선도

Fig. 5. Bode plots showing the 2nd resonance and the resonances of higher order of 2-axis actuators.

본 논문에서 제작한 2축 구동부에 채용된 보빈의 경우 비틀림 모우드가 약 35 kHz, 굽힘 모우드가 약 38 kHz (ANSYS S/W 사용 해석 결과)로 서보 대역으로부터 멀리 떨어져 존재하고 있다. 그림 5의 (b)에서와 같이 실제 제작된 2축 구동부의 부공진도 서보대역의 한계, 20 kHz 보다 높은 곳에 존재하기

때문에 보상기의 설치 후에도 부공진의 크기가 0 dB 이하로 관리될 수 있어, 시스템의 안정도에 영향을 미치지 않는다. 따라서, 보빈은 구조 해석을 통하여 굽힘 및 비틀림 모우드가 가능한 한 높은 주파수 영역에서 발생하도록 구조와 재질을 적절히 선택해야만 한다. 그러나, 이러한 고차 또는 부공진이 본 논문에서와 같이 서보대역밖에 존재하도록 설계가 되어 있어도, 부품 접착제의 응고상태가 불완전하면 고차 또는 부공진이 서보대역안으로 들어와서 시스템이 불안정하게 된다. 따라서, 부품을 접착시킬 때, 접착제가 충분히 응고가 되도록, UV 조사시간, 광량등을 철저하게 관리하여야 한다. 본 논문에서 제작한 2축 구동부에 채용된 보빈은 비중이 작으며 강성이 큰 PPS(Poly Phenyl Sulfide)재질을 사용하였다.

## 2) 부동 와이어

그림 1과 같이 2축 구동부의 가동부를 부동하여 지지하고 있는 4개의 와이어의 스프링 상수  $k$ 는 선형적 구간에서 식 (6), (7)과 같이 표현된다.<sup>[5]</sup>

$$f(t) = kx(t) \quad (6)$$

$$k = \frac{12E\pi r^4}{l^3} \quad (7)$$

$E$  : 와이어의 탄성계수 ( $N/m^2$ )

$l$  : 와이어의 길이

$r$  : 와이어의 반경

스프링 상수는 구동부 전체의 질량과 함께 2축 구동부의 공진 주파수를 결정하는 중요 인자이다.

### 5.1.3 점성 감쇄부(Damper)

식 (8)로 표현되는 점성 감쇄 계수(Damping factor)  $D$ 는 기계 운동계에서 속도를 감쇄시키는 역할을 한다. 특히 감쇄계수 값에 따라 2차계 모델의 운동 형태는 다양하게 변화된다.

$$f(t) = D \frac{dx(t)}{dt} \quad (8)$$

2축 구동부의 감쇄 척도가 되는  $Q$  값은 다음과 같이 표현된다.

$$Q = 20 \log \frac{D}{2\sqrt{Mk}} \quad (9)$$

점성 감쇄부의 특성은 그 재질의 종류, 형태, 점도, 양에 따라 다양하게 변화되므로, 2축 구동부의 사양에 적합한 점성 감쇄부를 설계하는 것은 거의 불가능하다. 따라서, 일반 산업현장에서는 점성 감쇄부의 설계를 주로 경험과 실험에 의해서 하고 있다. 본 논문에서는 점성 감쇄부의 재료로 다소 조립성이 떨어지지만 가격과 환경신뢰성이 우수한 실리콘 젤(Silicon Gel)을 사용하였다.

## 2. 전자기계

### 1) 요오크(Yoke)

요오크는 자속의 통로 역할을 수행하는 부품으로, 공극내에서 균일하고 큰 자속을 형성할 수 있는 구조를 갖추어야 한다. 또한, 요오크의 하부는 2축 구동부를 광학계와 결합시킬 때, 광축의 경사 조정기능을 수행하는 부분으로, 경사 조정시 광축상에서 대물렌즈의 주점이 이탈하지 않도록, 요오크 하부의 경사 조정을 위한 구부의 중심이 대물렌즈의 주점과 일치하여야 한다.

### 2) 자석

요오크의 공극 자속은 2축 구동부의 DC 계인에 적접적인 영향을 미치는 요소로서, 가동부에 충분한 구동력을 주기 위해서는 자장의 세기가 큰 자석을 사용해야 한다. 또한, 광학헤드는 고온 환경에서 사용되는 경우(차량용, 컴퓨터내장용)가 많으므로 2축 구동부의 자석은 고온에서 감자(減磁) 현상이 없어야 한다. 본 논문에서는 이러한 요건을 만족하고 소형 제작이 가능한 Nd-Fe-B 계열의 소결 자석(日本 Sumitomo社 특허)을 사용하였다.

### 3) 포커스/트랙킹 코일

포커스 코일의 저항은 다음 식으로 표현된다.

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (10)$$

$\rho$  : 코일의 비저항

$S$  : 코일의 단면적

$l$  : 코일의 총 길이

포커스 코일의 인더턴스는 2축 구동부의 위상을 결정하는 항목으로서 서보 설계시 중요한 인자가 된다. 위상과 인더턴스와의 관계는 식 (11)과 같이 표현된다.

$$\phi = \tan^{-1} \left( \frac{2\pi f l}{R} \right) \quad (11)$$

트랙킹 코일의 저항 계산은 포커스 코일의 경우와 동일하다. 그러나, 인더턴스의 계산은 코일의 내부에 코어가 없기 때문에 단순히 솔레노이드의 경우와 동일한 방법으로 계산할 수 있다.

## VI. 시뮬레이션 결과

2축 구동부의 기본 설계를 하고 각 파라메터 값을 표 2에 정리하여 나타내었으며, 식(12)에 전체 전달 함수를 나타내었다.

$$\frac{V(s)}{X(s)} = \frac{285.4}{178.9} \cdot \frac{31272.72}{s^2 + 17.681s + 31272.72} \cdot \frac{20800}{s + 20800} \quad (12)$$

표 2. 2축 구동부 파라메터 계산 결과

Table 2. Results of calculation of the parameters of a 2-axis actuator.

구 분	포커스	트랙킹
코 일	저 항 (R)	5.2 Ω
	인더턴스(L)	220 - 270 μH
	유효길이(l)	8 mm
	권선수(n)	70 turns
	직경	0.12 mm
자 석	자속밀도(B)	0.2548 Tesla
와이어	직경	0.15 mm
	스프링 상수(K)	34.4 N/m (※ 39.0 N/m)
	길 이	16 mm
가동부	질량(M)	1.1 g
점 성 감쇄부	점성마찰계수 (D)	0.01945 Nsec/m

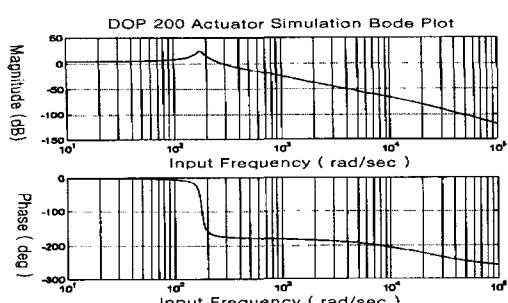


그림 6. 포커스 방향 동특성 곡선(시뮬레이션 결과)  
Fig. 6. Bode Plot of focus direction(result of simulation).

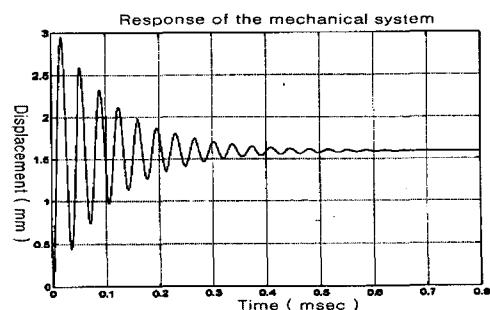


그림 7. 단위계단 입력에 대한 포커스 방향 기계진동 특성(시뮬레이션 결과)

Fig. 7. Vibration characteristics of focus direction to unit step input (result of simulation)

표 2에서 스프링 상수 k는 34.4 N/m이나 점성 감쇄부의 영향으로 39.0 N/m로 증가하는 효과가 실험적으로 나타났다. 따라서, 부동 와이어의 설계시에는 반드시 점성 감쇄부에 의한 효과를 고려하여야 한다.

시뮬레이션 결과의 포커스 방향 동특성 곡선은 그림 6과 같으며, 그림 7은 단위 계단 입력에 대한 기계 진동 특성을 보여준다.(Matlab S/W 사용)

표 3에 2축 구동부 특성의 시뮬레이션 결과치를 나타내었다.

표 3. 2축 구동부의 특성(시뮬레이션 결과)

Table 3. Characteristics of a 2-axis actuator (result of simulation).

구 분	포커스	트랙킹
DC 저항 (5 Hz)	1.6 mm/V	0.81 mm/V
위상 (1 kHz)	- 194 deg	- 184 deg
공진 주파수	28.1 Hz	28.1 Hz
DC 저항	5.2 ohm	4.8 ohm
Q 값	16 dB	20 dB

## VII. 2축 구동부의 제작 및 특성 실험

그림 8은 설계치에 준하여 제작한 2축 구동부의 분해도이고, 그림 9에 제작한 2축 구동부를 광학헤드의 광학계에 장착한 사진을 나타내며, 그림 10에 제작한 2축 구동부의 주파수 응답 곡선을 나타내었고, 표 4에는 동특성 측정 결과를 나타내었다.

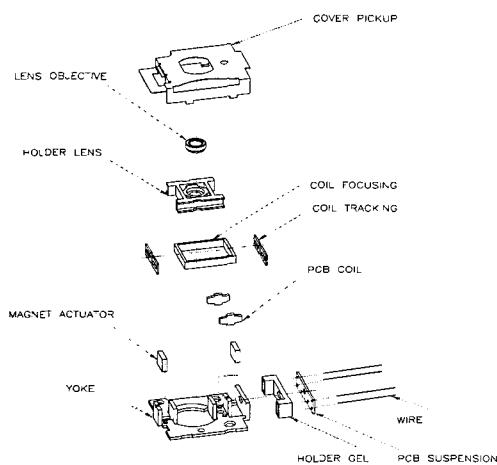


그림 8. 2축 구동부의 분해도

Fig. 8. Decomposition draft of a 2-axis actuator.

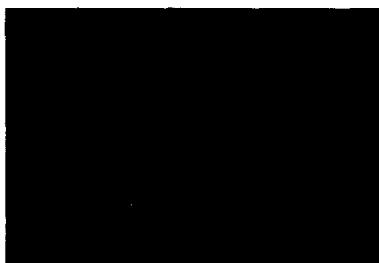


그림 9. 광학헤드의 광학계에 2축 구동부를 장착한 사진

Fig. 9. Photo of 2-axis actuator assembled to the optical system of an optical head.

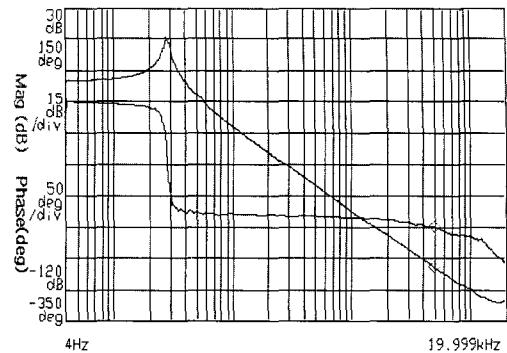
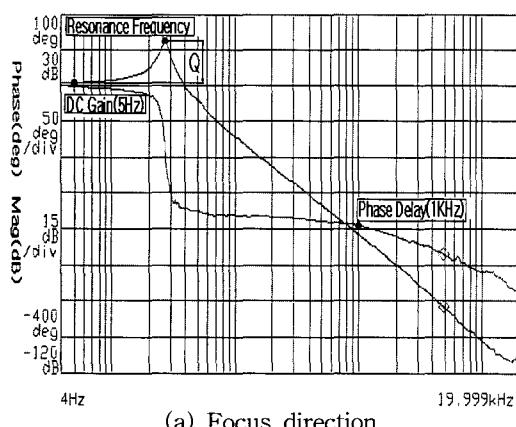


그림 10. 2축 구동부의 주파수 응답 곡선

Fig. 10. Frequency response curve of a 2-axis actuator.

표 4. 2축 구동부의 동특성 측정 결과

Table 4. Result of measurement of dynamic characteristics of a 2-axis actuator.

구 분	포커스	트래킹	단위
DC 계인(5 Hz)	1.3/1.6/1.3	0.70/0.81/ <b>0.67</b>	mm/V
위상(1 kHz)	-193/-194 /-192.7	-182/-184 /-183.4	deg
공진 주파수	30/28.1/29.5	30/28.1/29.7	Hz
DC 저항	5.2/5.2/5.2	4.9/4.8/5.2	ohm
Q 값	16/16/17.3	20/20/20.6	dB

注) 각 특성치는 (설계/시뮬레이션/실험)의 결과치를 표시한다.

DC 계인과 공진주파수는 측정치가 설계치보다 다소 작게 나왔다. 이것은 부동 와이어의 강성  $k$ 값이 실리콘 젤에 의해 증가했기 때문으로 생각된다. 위상과 DC 저항은 설계치와 측정치가 정확히 일치하였다. Q 값은 전술한 바와 같이 해석적으로 구할 수 없으므로 본 논문에서는 실험적으로 구하였다. 그 결과, 목표치에 근접하는 측정치를 얻을 수 있었다.

그림 11은 단위 계단 입력에 대한 기계진동 특성을 측정한 것이다. 이 결과 역시 그림 7의 시뮬레이션 결과와 거의 일치함을 알 수 있다. 그림 11의 우측 상단의 Y : 1.3025 V는 2축 구동부의 DC 계인을 표시하는 수치이며 거리 변화가 전압으로 환산된 결과이다.

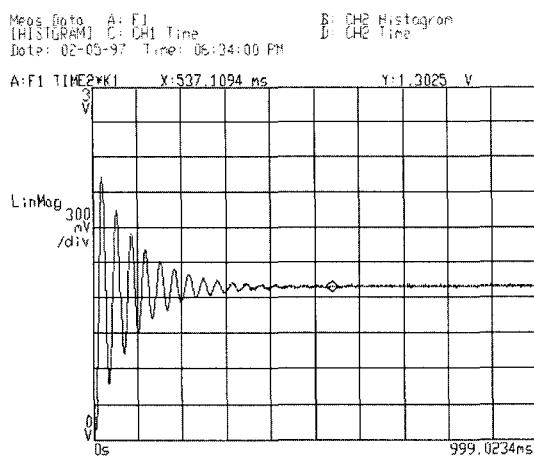


그림 11. 단위 계단 입력에 대한 기계진동 측정 결과  
(포커스 방향)

Fig. 11. Result of measurement of vibration characteristics to unit step input (focus direction).

### VIII. 결 론

광학헤드의 핵심 구성요소인 포커스 및 트랙킹 서보용 2축 구동부를 와이어 부동형 와플보 형태로 설계하고, 시뮬레이션 및 시제작을 한 결과, 표 4에서와 같이 설계치와 시뮬레이션 및 실험 결과가 거의 일치하였다. 따라서, 본 논문의 2축 구동부의 설계방법이 타당함을 확인할 수 있었다. 또한, 설계상의 원인외에 접

착제 또는 납땜의 위치, 양의 비대칭상태 또는 접착제의 불완전응고 상태가 2축 구동부의 성능에 악영향을 미치는 것을 규명하므로서, 생산 품질관리의 기초를 마련하였다.

### 참 고 문 헌

- [ 1 ] 최영석, “제 2회 산학연계를 통한 정보화교육 교재: 자동화(Compact Disc의 광기술)”, 중소기업청, 전문대학중소기업기술협력회, 인덕전문대학 공동주최, 1997
- [ 2 ] 田中善一郎, “最前線レポート DVD, 大容量記録媒體が切り開くマルチメディア市長”, 日經BP社, 1995
- [ 3 ] Francis S. Tse., "Mechanical Vibrations, Theory and Applications", Tower Press, Chap.3, 1978.
- [ 4 ] 최영석, “홀로그램 레이저 디오드를 이용한 박형 CD 광학피업 설계”, 전자공학회 교육 논문지, 제 11권, 2호, pp.88-97, 1997
- [ 5 ] Joseph E. Shigley, "Mechanical Engineering Design", McGraw-Hill Book Company, Chap.3, 1982.
- [ 6 ] 최영석 외 25명, “4세대 고신뢰성 차량용 광피업의 설계 및 제조기술”, 국산 신기술, p.15, 1996

---

### 저 자 소 개



崔 永 鍾(正會員)  
1962년 2월 15일생. 1985년 2월 부산대학교  
기계설계학과 졸업. 1992년 8월 서울대학교  
기계설계학과 공학박사. 1990년 2월 - 1997  
년 2월 (주)대우전자 OM연구소 책임 연구원  
1997년 3월 - 현재 인덕대학 메카트로닉스과  
전임강사