

틸팅 액츄에이터의 동특성 해석 Dynamic Analysis of a Tilting Actuator

임형빈†·정진태*·류재욱**·방현철**

Hyunbin Im, Jintai Chung, Jaewook Ryu and Hyunchol Bang

Key Words : Tilting Actuator(틸팅 액츄에이터), Mirror Reactive Type(거울반사형), Lens Transmissive Type(렌즈 투과형), Natural Frequency(고유진동수)

ABSTRACT

A dynamic analysis of a tilting actuator for projection TV is presented in this study. Generally, an excessive vibration of a tilting actuator is occurred a lowering of video quality of projection TV because of a dynamic instability of it. Therefore, a dynamic analysis of a tilting actuator system is positively necessary. In this study, a mathematical model about a mirror-reactive type tilting actuator is presented and evidenced by experiment. A FEM model of a lens-transmissive type tilting actuator is presented and we made prototype of it. Then, it is evidenced by experiment. Besides, a design for hinge configuration of it is presented.

1. 서론

본 연구는 프로젝션 TV의 고화질의 성능과 실내 정숙성을 확보하기 위하여 프로젝션 TV의 부품인 Tilting 렌즈를 구동하는 Tilting Actuator의 동특성 해석에 관한 연구이다. 일반적으로 Tilting Actuator의 과도한 진동은 프로젝션 TV의 광원에서 나오는 빛을 제어하는 렌즈를 동적으로 불안정하게 만들어 프로젝션 TV의 화질 저하를 야기하게 된다. 따라서 Tilting Actuator 시스템의 동특성을 해석하는 것은 반드시 필요한 연구라 하겠다. 또한 Tilting Actuator의 오동작의 최소화는 광 관련 제품의 신뢰성 확보와도 직결되므로 프로젝션 TV 뿐만 아니라 다양한 영상, 전자산업과 광기록 장치 등의 정보산업 등에도 적용할 수 있다.

프로젝션 TV의 화질 개선을 위하여 Tilting 렌즈의 진동 및 소음을 저감하기 위한 국내에서의 기술 개발은 거의 없다. CD-ROM이나 DVD와 같은 광 기록기기의 픽업 장치에 관련된 연구개발은 다수 수행되었는데, 주로 광 픽업의 동적 안정성 확보 및 서보제어에 대한 것이 주류를 이룬다.⁽¹⁻²⁾ 그러나 이러한 연구를 프로젝션 TV의 Tilting 렌즈를 구동하는 Actuator의 진동 및 소음 저감에 응용하는 것은 현실적으로 불가능하다.

국외에서는 프로젝션 TV와 관련하여 Texas Instrument사가 Smooth Picturing 기술을 연구, 개발

하여 비용을 혁신적으로 낮출 수 있는 반사형 거울을 구동하는 Actuator를 개발하였다. 한편, 광 픽업 장치와 대물렌즈의 경사량을 줄이기 위한 시도로 경사량 저감 관련 설계변수 제시와 함께 경사 발생의 원인 분석과 대책 제시가 있었다.⁽³⁻⁴⁾ 그리고, 리브를 사용하여 Actuator 구조를 보강시키는 연구⁽⁵⁾와 가동부의 유연모드와 렌즈홀더의 강성이 갖는 관계에 대한 연구⁽⁶⁾ 등 많은 연구가 수행되었다.

2. 거울반사형 틸팅 액츄에이터의 수학적 모델 수립⁽⁷⁾

프로젝션 TV용 Tilting Actuator의 구동파형은 Fig 1과 같다. Fig 1의 Rising Time은 1ms 정도이다. 이를 주파수로 환산하면, 500Hz이다.

Tilting Actuator의 동작 시 공진주파수는 이 Rising Time에 해당하는 주파수보다 같거나 커야만 Fig 2와 같이 RGB에 대한 동기가 가능한 응답파형을 보여 프로젝션 TV의 화면을 구성할 수 있다.

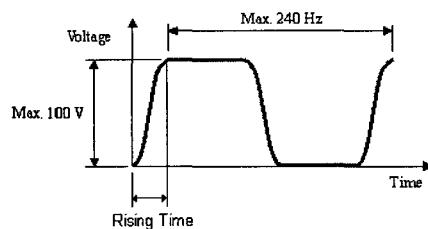


Fig 1. Tilting Actuator의 구동파형

† 한양대학교 대학원 기계공학과
E-mail : vinceim@ihanyang.ac.kr
Tel : (031) 501-4590, Fax : (031) 501-4590

* 한양대학교 기계정보경영공학부

** (주) 하이소닉

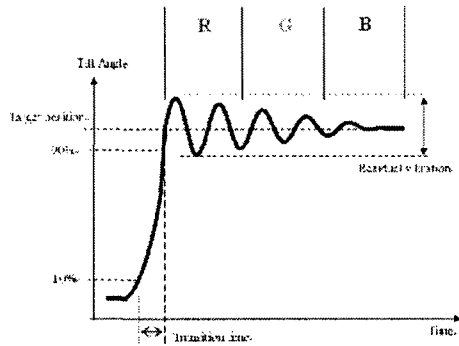


Fig 2. Tilting Actuator 의 시간에 따른 응답과정

기존의 거울반사형 Tilting Actuator 는 동작 시 공진주파수가 500Hz 이상으로 설계되어 있다. 본 논문에서 논하고자 하는 투과형 Tilting Actuator 는 구동각도가 거울반사형의 0.01 도보다 100 배정도 큰 1 도 정도이다. 이는 Actuator 의 Hinge 부의 강성값 저하로 공진주파수를 크게 떨어뜨릴 수 있다. 본 논문에서는 거울반사형과 동일한 공진주파수를 가지면서 안정적으로 구동각도인 1 도를 구현할 수 있는 저진동/저소음의 렌즈 투과형 Tilting Actuator 에 관한 논의를 하겠다.

2.1 거울반사형 Tilting Actuator 의 수학적 모델링

거울 반사형 모델을 Fig 3 에서 보듯이 1 자유도의 Tilting 을 갖는 모델로 단순화시켰다.

거울반사형 Tilting Actuator 의 운동 방정식을 구하면 다음의 식(1)과 같이 나타난다.

$$J\ddot{\theta} + 2cB\dot{\theta} + k_b\theta = M(t) \quad (1)$$

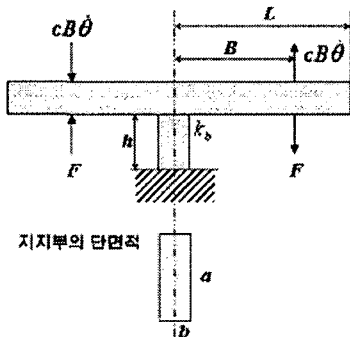


Fig 3. 거울 반사형 Tilting Actuator 의 수학적 모델링

여기서 J 는 질량 관성모멘트, k_b 는 벤딩 스티프니스, c 는 댐핑상수를 나타내고 식은 다음과 같다.

$$J = mL^2 \quad (2)$$

$$k_b = \frac{E}{h} \left(\frac{1}{12} ab^3 \right) \quad (3)$$

입력 가진원을 다음과 같은 모멘트로 표현할 수 있다.

$$M(t) = M_0 u(t) \quad (4)$$

여기서 $M_0 = 2FB$ 이고, $u(t)$ 는 단위계단함수이다.

운동 방정식의 시간응답을 구하면, 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta(t) = \frac{M_0}{k_b} - \frac{M_0}{k_b \sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta\omega_n t} (\sqrt{1-\zeta^2} \cos \omega_d t + \zeta \sin \omega_d t) \quad (5)$$

$$\zeta = \frac{2cB}{2J\omega_n} \quad (6)$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k_b}{J}} \quad (7)$$

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1-\zeta^2} \quad (8)$$

2.2 수학적 모델 검증을 위한 모드 해석 실험

실험 대상체의 특성을 고려하여 Tilting Actuator 의 Hinge 부를 구동시킬 수 있는 Swept Sine 가진을 하여 동작에 따른 공진주파수를 구하고 시간에 따른 응답을 구하였다. 가진 및 응답신호의 증폭 및 분석 장치로 Conditioning Amplifier 와 Pulse Multi Analyzer 사용하였다.

거울반사형 실험 시 두 가지 상태로 하여 측정하였다. 우선, 시스템이 다 갖춰진 상태에서 실험을 수행하고, 그 후 거울을 제거한 상태에서 실험을 수행하였다. Fig 4 는 실험 당시의 거울 반사형 사진과 실험 모습, 그리고 간략한 실험 장치 구조도를 나타낸다.

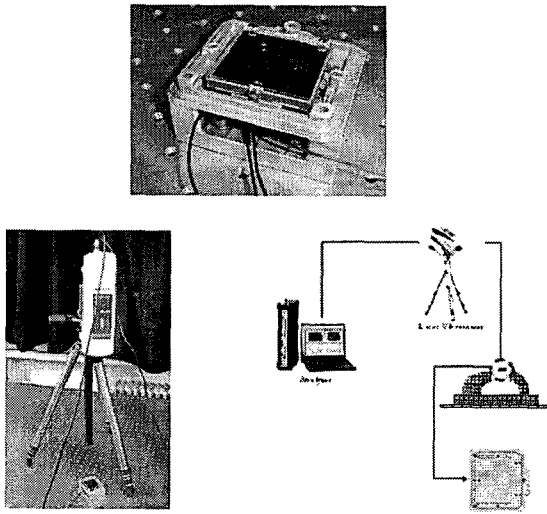
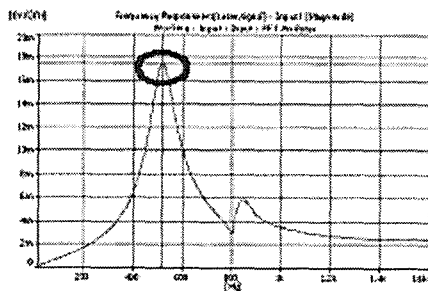
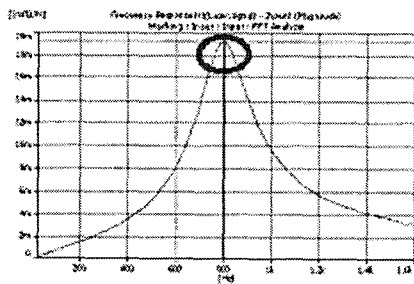


Fig 4. 거울 반사형 Tilting Actuator 의 실험



(a) 시스템이 모두 갖춰진 상태
(공진주파수 : 517.5Hz)



(b) 거울을 제거한 상태
(공진주파수 : 797Hz)

Fig 5. 거울 반사형 Tilting Actuator 의 모드 해석 실험 결과

Fig 5 는 모드 해석 실험 결과를 그래프로 나타내고 동작 시 공진주파수를 구하였다. Fig 5 의 결과에서 보듯이 시스템이 갖춰진 상태에서 실제 구동하는 거울반사형 Tilting Actuator 의 공진주파수는 500Hz 를 넘는 상태이다. 거울을 제거한

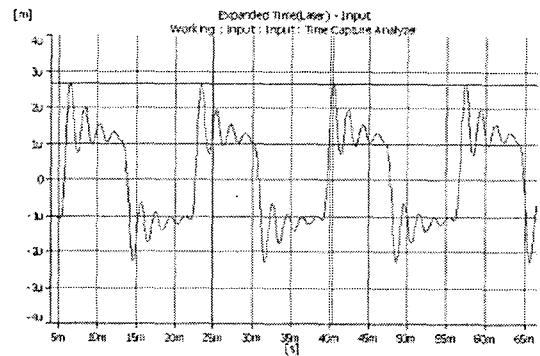


Fig 6. 거울 반사형 Tilting Actuator 의 시간응답

상태와 부착한 상태에서는 공진주파수에서 뿐만 아니라 그래프의 Peak 치에서 차이를 보이고 있다. 이는 거울의 부착 시 판 스프링 같은 구조물로 인해 2 자유도의 움직임으로 나타나는 것이며, 거울을 제거한 상태의 고유진동수가 높은 이유는 거울을 제거하면서 질량이 감소함에 따라 공진주파수가 높아진 것이다.

Fig 6 는 거울 반사형 모델의 시간응답을 나타낸다. Fig 6 의 거울 반사형의 시간응답을 식(9)를 응용해 각도로 환산하게 되면, 움직이는 각도가 -0.004 도~+0.004 도 (0.008 도)정도의 움직임을 보이고 있음을 알 수 있다.

$$l = r\theta \quad (180^\circ = \pi)$$

$$\therefore l = 20 \times 10^{-3} \times \frac{\pi}{180} \times 0.008 \quad (9)$$

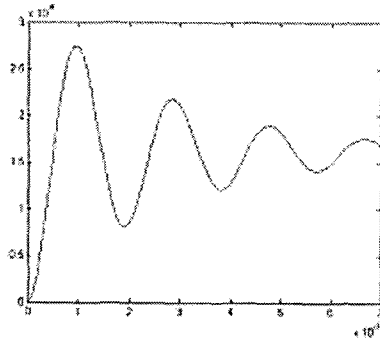
$$= 0.000002792m = 2.792 \times 10^{-6} m$$

2.3 거울반사형 모델의 모드 실험 결과와 모델링 결과와의 비교

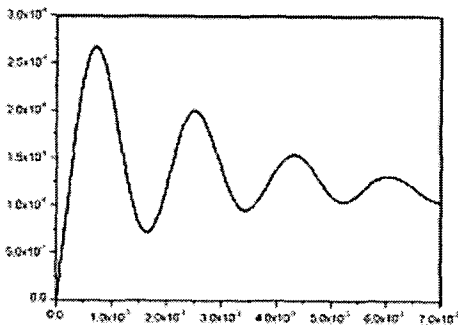
그림 7 은 수학적 모델을 상용 Tool 인 Matlab 을 이용하여 시간응답을 계산한 결과와 그림 6 의 한 주기와의 비교를 나타낸다.

Table 1. 수학적 모델의 파라미터와 실험결과 파라미터와의 비교

구분	동작 시 공진주파수 (Hz)	질량관성 모멘트 (kgm ²)	강성 (Nm)
수학적 이론치	517.5	1.25? 0 ⁻⁵	121.3
실험 결과치	527.8	1.10? 0 ⁻⁵	133.5
오 차	1.9%	1.4%	9.1%



(a) 수학적 모델을 이용한 결과
(공진주파수 : 527.8Hz)



(b) 모드해석 실험의 결과
(공진주파수 : 517.5Hz)

Fig 7. 수학적 모델의 결과와 실험결과와의 비교

Fig 7 을 보면, 실제 실험 거동과 거의 유사한 모습을 보이고 있다. Table 1 은 수학적 모델과 실험결과와의 파라미터를 비교한 값들이다. Table 1 에서 파라미터의 결과값들이 거의 10%안쪽의 오차만을 보이고 있다.

3. 상용유한요소해석 Tool 을 이용한 렌즈 투과형 틸팅 액츄에이터의 해석 모델 수립

Fig 8 은 기본 구조를 유한요소해석 Tool 인 ANSYS 를 이용하여 정해석을 수행한 결과이다. 본 모델은 요소타입은 Solid45 로 설정하였다.

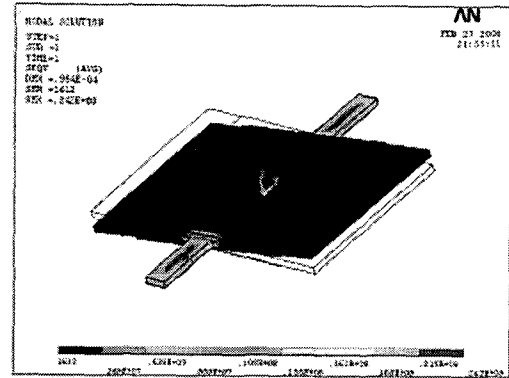
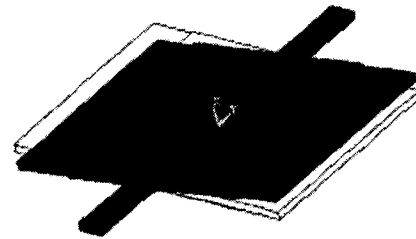
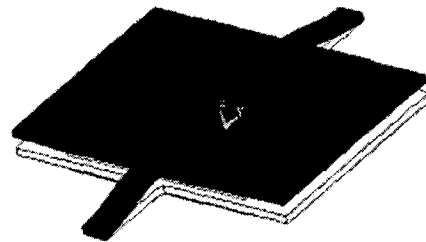


Fig 8. 투과형 모델 Hinge 부의 정해석 결과



(a) 1 차 고유모드(500.1Hz)



(b) 2 차 고유모드(1111Hz)

Fig 9. 투과형 모델 Hinge 부의 모달해석 결과

거울 반사형의 경우 -0.004 도 \sim $+0.004$ 도 정도의 작은 각도의 움직임이었으나, 투과형의 경우 -0.3 도 \sim $+0.3$ 도의 큰 각도의 움직임이 있어야 적절한 TV 화면을 구성할 수 있다. 정해석 결과 Tiltting 의 최대 각도는 -0.29 도 \sim $+0.29$ 도 정도이고, von Mises 응력은 약 24.2MPa 정도이다.

Fig 9 은 기본구조를 이용해 모달해석을 ANSYS 로 수행한 결과이다. Fig 9 의 모달해석 결과에서 보듯이 Tiltting Actuator 의 1 차 고유진동수가 500Hz 에 도달함을 알 수 있다.

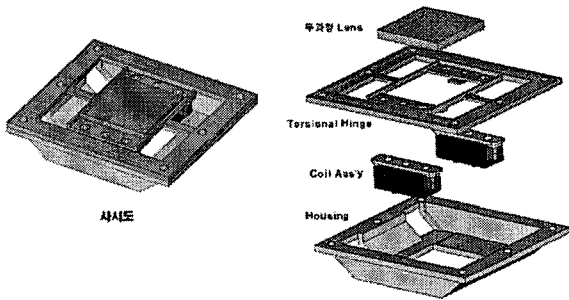


Fig 10. 시작품의 3 차원 CAD 설계 도면

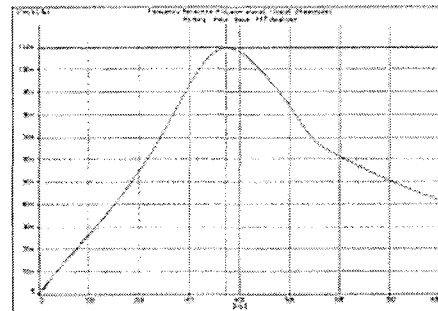


Fig 12. 시작품의 실험 결과

4. 기본 구조를 이용한 시작품의 제작 및 실험적 검증

4.1 시작품의 제작

유한요소해석을 통한 시뮬레이션으로 기본구조를 제시해 시작품을 설계 제작하였다. Fig 10 은 시작품의 설계 도면을 나타내고 있다.

4.2 시작품의 실험적 검증

거울 반사형 Tilting Actuator 의 실험과 마찬가지로 Hinge 부를 구동시킬 수 있는 Swept Sine 가진을 하여 동작 시 공진주파수를 구하고 시간에 따른 응답을 구하였다. 가진 및 응답신호의 증폭 및 분석 장치로 Conditioning Amplifier 와 Pulse Multi Analyzer 사용하였다. Fig 11 는 실험 당시 시작품의 사진과 실험 모습, 그리고 간략한 실험 장치 구조도를 나타낸다.

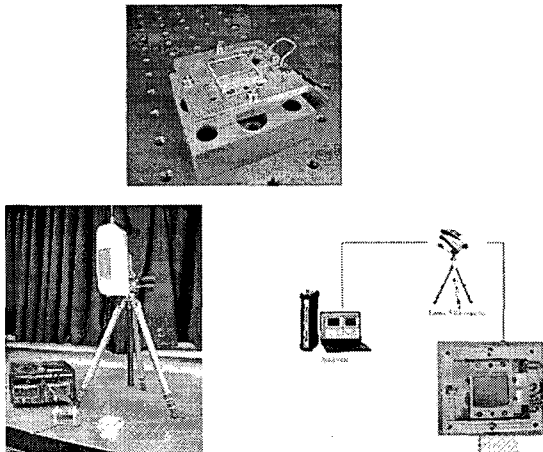


Fig 11. 시작품의 실험

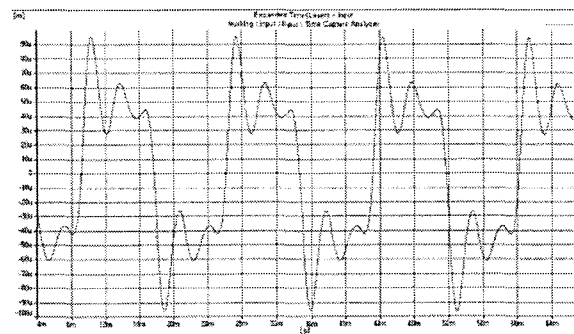


Fig 13. 시작품의 시간응답 결과

Fig 12 는 시작품의 그래프를 나타내고 동작 시 공진주파수를 구한 결과이다. 동작 시 공진주파수를 보면 약 374.4Hz 정도를 나타내고 있다.

Fig 13 의 결과에서 변위값을 Tilting 각도로 환산하면, -0.28 도~ $+0.28$ 도 정도이다. ANSYS 를 이용한 유한요소해석의 결과보다 0.01 도의 각도 차이를 보이고 있다.

5. 투과형 Tilting Actuator 의 구동 한지부 형상 제시

Fig 13 은 현재 시작품의 설계 시 가장 영향이 큰 변수들을 나타내고 있다.

투과형 Tilting Actuator 의 가장 영향이 큰 설계 변수는 Hinge 부 단면의 B 값과 Hinge 부의 길이 L

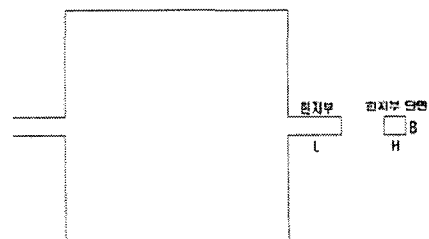


Fig 13. 시작품의 Hinge 부 개략도

Table 2. B 와 L 의 변화에 따른 동특성 변화

No	1	2	3	4
B(mm)	3.2	2	3.5	2.8
L(mm)	10.6	10	5	13
Tilting 각도(도)	? .29	? .36	? .10	? .02
응력(MPa)	24.2	43.7	24.5	17.9
고유진동수(Hz)	500.1	580.8	1116.9	450

이다. Table 2 는 ANSYS 를 이용하여 B 와 L 값의 변화에 따른 동특성을 분석한 결과의 일부이다.

1 번이 현재 시작품에 설계된 형상이다. 2 번은 각도와 고유진동수는 만족하나 응력이 30MPa 을 넘으므로 신뢰성에 우려가 있다. 3,4 번은 Tilting 각도가 현저히 부족하다.

6. 결론

본 연구를 통해서 거울 반사형과 렌즈 투과형 Tilting Actuator 의 동특성을 파악하였다.

거울 반사형에 대해서는 수학적 모델을, 렌즈 투과형에 대해서는 유한요소해석 모델 등을 수립하였다. 또한, 렌즈 투과형에 있어서는 구동 힌지부에 대한 형상 설계 방향을 제시하였다.

결론을 다시 한 번 요약한다면 다음과 같다.

(1) 거울 반사형에 대한 수학적 모델을 제안해 해석하여 실험적 방법을 통해 그 모델의 적합성을 확인하였다.

(2) 렌즈 투과형 Tilting Actuator 에 대한 유한요소해석모델을 수립하였다.

(3) 유한요소해석 모델을 이용하여 렌즈 투과형 Tilting Actuator 의 시작품을 제작해 실험적 검증을 하였다.

(4) 렌즈 투과형의 힌지부에 대한 설계 방향을 제시하였다.

후 기

본 연구는 교육인적자원부, 산업자원부와 한국기술산업재단에서 시행한 산학협력중심대학 육성사업의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

(1) 김윤영, 이호철, 1996, 광픽업 지지부 초기 설계를 위한 외팔보 구조진동해석? 한국소음진동공학회지, 제 6 권 제 6 호, pp.763~770.

(2) 김석중, 이용훈, 손용기, 이철우, 임경화, 1998, 고밀도 기록용 광픽업의 정밀 액츄에이터 동특성 연구? 한국소음진동공학회지, 제 8 권 제 1 호, pp.87~98.

(3) Makato, N., Isao, H., 1996, Development of Two-axis Actuator with Small Tilt Angles for One-Piece Optical Heads? Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 35, pp. 392~397.

(4) 한창수, 서현석, 이정현, 원종화, 김수현, 광윤근, 1998, 광디스크용 4 와이어 구동기의 경사에 관한 연구? 한국정밀공학회지, 제 15 권 제 7 호, pp 52~60.

(5) N. Takahashi, H. Sato, H. Osawa, and K. Nagai, 1997, Development of Digital Video Disk/Compact Disk (DVD/CD)-Compatible Pickup Head with Dual lens Rotating Actuator? Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 36, pp.467~473.

(6) T. Matsui, 1994, Optical Head Lens Actuator for High Information Bit Rate Recording? IEICE TRANS. ELECTRON, No.10, pp. 1581~1586.

(7) Robert F. Steidel, Jr. 김광식 역, 1995, 기계진동학개론, 보성문화사.