한국소음진동공학회 1998년도 춘계학술대회논문집, pp. 160~165.

FP코일을 이용한 비대칭형 광픽업 액츄에이터의 설계 및 부공진의 진동저감 대책

°정호섭*, 오관영*, 유익형*

(Design and Vibration Reduction Method of Sub-Resonance in Asymmetric Type Optical Pick-Up Actuator by Using Fine Pattern Coil)

(Ho-Seop Jeong, Kwan-Young Oh, Ik-Hyeong Yu)

ABSTRACT

The sub-resonance modes can be easily excited by the assembling tolerance in the asymmetric type optical pick-up actuators, compared with the symmetric type. In this paper, we propose the novel method for reducing the vibration due to the sub-resonance modes where undesirable modes can be decreased by adding the damping, which can be achieved by increasing the flexibility of holder PCB, against to the sub-resonance modes. Using the finite element method, the change of mode shapes is investigated as the shape of holder PCB is modified. Experimental results support that the proposed method reduces remarkably the vibration of sub-resonance modes of the optical pick-up actuator.

1. 서 론

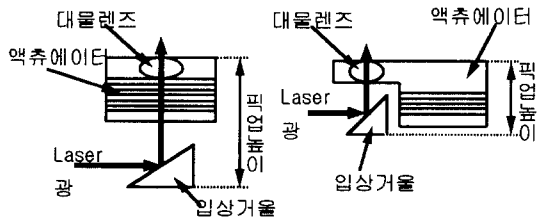
정보화 사회가 점점 다가오면서 고밀도의 기록저장 매체에 대한 관심은 날로 고조되고 있다. 고밀도 기록저장 매체의 하나로 지금 현재 많은 주목을 받고 있는 CD, DVD등의 광 관련 미디어와 관련된 기술들은 선진 기업들의 연구가 치열히 진행되고 있다. 광 미디어 기술은 크게 DVD와 같은 고밀도화 기술과 기존의 CD의 고배속화 기술로 크게 양분되고 있다[1]. 특히 CD, DVD의 고배속화 및 고밀도화와 더불어 광 픽업에서 2자유도 운동을 구현하는 액츄에이터의 중요성은 어느 때보다 대두되고 있다. 또한 Note-PC의 대중화에 따라 이에 채용될 수 있는 멀티미디어 장치의 개발이 중요시 되었고 CD 및 DVD 드라이버를 노트북에 채용하기 위해서는 드라이버 전체의 높이를 12.7㎜이하로 낮추어야 하며 전력소모를 최소화하는 문제가 발생한다. 드라이버 전체의 높이를 지배하는 요소는 액츄에이터의 높이이기 때문에 액츄에이터의 높이를 낮추고자 하는 노력이 있어 왔다.

* : 삼성전기(주) 종합연구소 광메카연구실

그러나 기존의 대칭형의 픽업 액츄에이터에서는 그림 1(a)에서 보는 것처럼 대물렌즈를 액츄에이터의 바로 아래에 배치하였다. 이는 구동 밸런스를 취하기 쉽고 배치 면적이 작기 때문이다. 그러나 액츄에이터 전체가 광로 안에서 동작하기 때문에 입상거울에서 대물렌즈까지의 광로가 길어지고 픽업의 두께가 두꺼워진다. 그러나 그림 1(b)와 같이 액츄에이터의 일부만이 대물렌즈의 광로에 들어가도록 한다면 대물렌즈와 액츄에이터의 변형부만 광로 안을 이동하기 때문에 입상거울에서 대물렌즈까지의 광로를 단축할 수 있고 광 픽업의 두께를 줄일 수 있다. 박형/소형화 되면서 고배속화, 고밀도화에 대응하기 위해서는 경량화해야 하고 위와 같은 조건을 만족시키기 위해서는 비대칭형 액츄에이터의 개발이 필요하다. 그런데 대칭형에서는 무게중심, 지지중심 및 힘중심을 손쉽게 일치시킬 수 있었으나 비대칭형에서는 이를 일치시키는것이 매우 어렵게 되었으며 비대칭형은 대칭형에 비해 상대적으로 질량중심과 힘중심의 불일치의 가능성이 높고 부공진의 발생이 용이하게 되었지만 부공진에 대해서 지금까지는 주로

중량분석을 통한 힘중심과 무게중심을 맞추는 수동적인 방법을 사용하였다.[2, 3] 또는 부공진의 크기를 줄이기 위해서 지터링방향의 회전관성을 크게하거나[4] 비대칭 구동기의 부공진 모드에서 변위가 없는 특정노드와 구동중심을 일치시키는 방법[5], 지지부의 강성을 바꾸어 주는 방법[6]이 제안되었다.

본 연구에서는 부공진의 원인을 살펴보고 이를 감소시킬 수 있는 방안으로 홀더 PCB의 형상설계에 대하여 연구하였다. 이를 적용하기 위해서 픽업의 박형화 및 저가화를 구현할 수 있는 Fine Pattern Coil(FPC)을 이용한 비대칭형 액츄에이터를 개발하였다. FPC형 액츄에이터는 힘점, 무게중심점, 지지점의 세점을 일치시킬수 있을 뿐만 아니라 조립공정을 단순화 할 수 있다는 장점을 가진다. 그러나 비대칭형이기 때문에 발생할 수 밖에 없는 부공진의 원인규명 및 부공진 감소에 대한 대책이 필요하다. FPC형 액츄에이터를 I-DEAS 3D로 모형화하고 중량분석을 통해 부공진의 주요인이 되는 힘중심점과 무게중심점의 불균형량을 최소화하였으며 이론적으로 두 점을 일치시켰을지라도 조립과정에서 발생할 수 밖에 없는 부공진을 감소시킬 수 있도록 홀더 PCB의 형상설계하였으며 실험적으로 이를 증명하였다.



(a) 대칭형 액츄에이터 (b) 비대칭형 액츄에이터

그림 1 액츄에이터의 기본 배치도

2. 비대칭형 액츄에이터의 특성분석

2-1 액츄에이터의 개요

광 픽업 액츄에이터의 구동방식은 주로 가동코일(moving-coil)방식이 채택되어 왔으며 지지방식은 축습동식, 판스프링 힌지방식, 4 와이어 방식등의 서너가지 형태가 제시되어 왔지만 현재는 대부분 4개의 와이어 스프링으로 지지된 형태를 채용하고 있다. 4개의 와이어 스프링으로 지지된 액츄에이터는 초점방향과 트랙방향으로 1자유도 운동을 하도록 지지하고 가동코일로 원하는 운동을 구현하는 위치 추종기구이다. 원하는 운동을 구현하기 위해서는 제작된 액츄에이터와 적합한 서보를 포함하는 제어계가 필요하다. 제어계의 설계와 안정적인 성능 확보를 위해서는 제어하고자 하는 서보영역 안에서 부공진이 없어야 하며 2차 공진점은 가능하면 고주파영역에서 나타나야 한다. 따라서 액츄에이터 설계에 있어서 위의 두조건을 반드시 만족시켜야만 한다.

2-2 부공진의 원인 분석

픽업 액츄에이터는 초점방향과 트랙방향의 운동이 연성되지 않도록 설계하기 때문에 초점방향 운동과 트랙방향 운동을 그림 2와 같이 비연성시켜 초점방향에 대해서만모형화 할 수 있다.[7]

라그랑지 방정식을 이용하여 광축(Zo)에 대한 운동방정식을 구해보면 다음과 같다.

$$G_{Z_o}(s) = \frac{Z_o(s)}{F_f(s)} \cong \frac{Z(s) + c\Theta(s)}{F_f(s)}$$

$$= \frac{A + I_c(I_a + I_b)B - (I_a + I_b + I_c)I_a M s^2}{AB - M^2 I_a^2 s^4}$$

where

$$A = J_p s^2 + C_p s + K_p,\ B = Ms^2 + C_f s + K_f \quad (1)$$

여기서 Jp는 피칭방향의 질량관성모멘트, Cp, Kp은 각각 회전방향 감쇠 및 강성계수, M은 액츄에이터의 질량, Cf, Kf은 각각 병진운동방향 감쇠 및 강성계수이며, la, lb, lc 는 각각 지지중심과 무게중심, 무게중심과 힘중심, 지지중심과 광축중심까지의 거리이다.

식(1)의 운동방정식으로부터 무게중심, 지지중심, 힘중심이 각각 틀어졌을때를 시뮬레이션할 수 있다. 결과적으로 지지중심은 비대칭형 액츄에이터에서 크게 영향을 끼치지 못하고 힘중심과 무게중심을 반드시 일치시켜야 한다는 결론을 얻을수 있다.

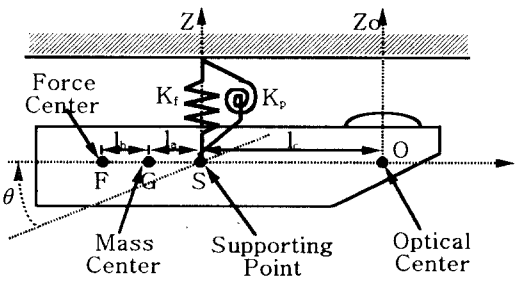


그림 2 초점 방향에서의 단순화된 모형

3. FPC형 액츄에이터의 설계 및 해석

본 연구에서는 비대칭형 액츄에이터로써 박형화/저가화를 이룰수 있는 FPC형 액츄에이터에 대해서 부공진 감소방안을 적용하고자 한다.

3-1 FPC형 액츄에이터의 장단점

기존의 픽업 액츄에이터에 비해 코일 와인딩부가 없어지는 대신 FPC 패턴판을 삽입하기 때문에 보빈의 형상 설계가 상대적으로 매우 간단하고 FPC 패턴의 양산시 단가는 코일 와인딩을 하는 수준을 고려할때 가격측면에서도 장점을 가진다. 또한 패턴판에 와이어 조립을 위한 구멍이 나와 있기 때문에 보빈과 와이어의 조립공정이 간단하다. 그러나 필요 감도를 확보하기 위해서는 어느 정도의 면적을 확보해야 한다. 따라서 FPC의 높이가 높아지고 박형 픽업을 구현하기 위해서는 문제가 된다. 또한 2극 착자된 영구자석이 필요하며 패턴에서 코일 감는수가 제한되므로 영구자석간의 간격을 가능하면 작도록 설계해야 한다.

3-2 중량분석 및 민감도 해석

FPC형 액츄에이터를 설계하기 위해서 가장 먼저 고려한 것은 2장에서 살펴본바와 같이 무게중심과 힘중심을 일치시키기 위해서를 중량분석을 수행하였으며 I-DEAS의 모드해석 기법을 이용하여 제작될 액츄에이터의 진동특성을 미리 예측하였다. 아래에 수행되는 중량분석, 모드해석 및 주파수 응답함수의 결과는 3차원 모델링 및 유한요소 해석이 가능한 I-DEAS V5.0[5]으로 수행하였다. FPC형 액츄에이터는 블레이드, 대물렌즈, 와이어, 코일 패턴판, 요크, 영구자석, 베이스로 구성되어 있다. 그러나 중량해석을 위해서는 영구자석과 요크를 제외한 나머지 부분들의 중량 해석을 통하여 무게중심이 구동력 중심과 일치하도록 하여 구동력이 불필요한 모드들을 가진하지 않도록 하는 것이 반드시 필요하다.

본 연구에서는 무게중심을 힘중심과 일치시키기 위해서 각 부품을 3차원으로 모형화하였으며 I-DEAS를 이용해 각부품을 결합하고 무게중심점의 좌표를 계산하였고 힘중심점과 일치하도록 블레이드 형상을 수정하면서 반복수행하였다. 표1에는 중량분석후의 결과를 나타내었다.

표에서 보는 것처럼 부공진을 발생하는 불균형량의 원인이 되는 Y축에 대해서는 무게중심과 힘중심이 거의 일치시켰지만 금형제작상의 사출조건에 따라 다소 차이가 날수 있고 패턴판의 삽입조건에서 공차가 존재하기 때문에 부공진이 발생할 소지가 있다.

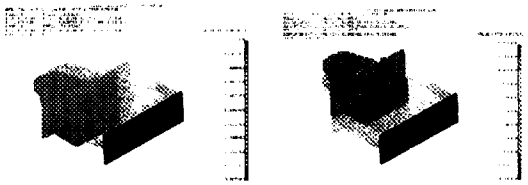
3-3 모드해석

유한요소법을 이용한 강체 모드해석은 액츄에이터의 1차 공진주파수와 부공진을 유발하는 모드의 분석을 유연체 모드해석은 고배속화에 따른 서보대역의 증가를 위한 블레이드 및 보빈의 유연모드가 나타나는 고차공진의 위치파악을 통한 형상의 최적화를 이루기 위해서 수행한다. 그러나 본 연구에서는 주요 관심분야는 부공진 모드이므로 유연체 모드해석은 생략한다.

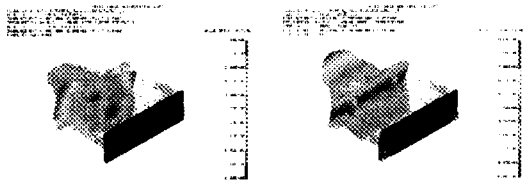
Table 1 중량해석결과(좌표기준값은 렌즈 Center)

구분		해석값
무게		0.33g
무게중심	x(track)	0
	y(jitter)	-5.81
	z(focus)	-1.94
힘중심	x(track)	0
	y(jitter)	-5.8
	z(focus)	-1.15

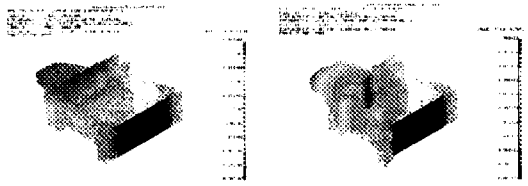
그림 3은 중량분석을 통해 설계된 블레이드와 나머지 부품들을 포함한 가동부의 6개 강체 모드를 나타내었다. 모드해석을 위해서 스프링은 빔요소로 모델링하였고 블레이드를 포함한 나머지 부분은 고체요소로 모형화 하였으며 홀더부에 삽입된 댐퍼가 강성의 역할도 수행하기 때문에 이를 고려하기 위해서 스프링 요소를 첨가하였다. 이때 스프링의 강성계수는 다수의 실험에 의해 구해진 값으로 가정하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 초점방향 구동시에는 피칭모드가 트랙방향 가진시에는 요잉모드가 가진될 가능성이 높음을 알 수 있다. 그림 3에서 볼수 있듯이 피칭모드와 요잉모드 모두 홀더에 삽입되는 댐퍼제가 있는 부분에서의 변위가 거의 없기 때문에 댐퍼의 영향을 거의 받지 못한다. 따라서 부공진으로 발생하는 두모드에 대해 감쇠를 줄수 있도록 액츄에이터의 형태를 설계하면 좋겠지만 블레이드와 와이어의 형태는 거의 바꿀수 없는 요소이기 때문에 홀더의 PCB 설계변경을 통해 개선하고자 한다.



(a) Tracking Mode (b) Focusing Mode



(c) Rolling Mode (d) Pitching Mode



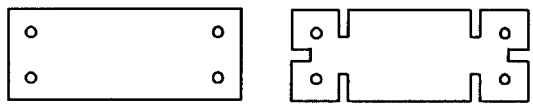
(e) Axial Mode (f) Yawing Mode

그림 3 강체모드해석 결과

3-4 부공진 감소를 위한 홀더 PCB의 재설계

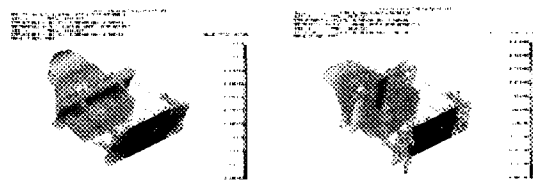
2장에서 살펴본바와 같이 비대칭형 액츄에이터에서는 대칭형에 비해 부공진이 발생할 가능성이 상대적으로 매우 크다. 그러나 지금까지는 발생하는 부공진에 대해서 무게중심점을 힘중심에 맞추는 수동적인 방법만을 취해왔다. 이 방법은 제품의 양산시에 존재하는 조금의 공차에 의해서도 쉽게 불균형량이 발생하고 이는 부공진 모드를 가진하는 원인이 된다. 따라서 발생하기 쉬운 부공진 모드에 효과적으로 감쇠를 줄 수 있다면 양산시에 발생할 수 밖에 없는 무게중심점과 힘중심점의 조립공차에 의한 불일치에 대해 보다 많은 강인성을 줄 수 있다.

이를 위해서 그림 3에서 해석한 모드해석 결과를 관찰하면 요잉모드에 대해 PCB판이 유연하게 움직이고 있는것을 볼 수 있다. 따라서 홀더와 PCB 사이에 댐퍼를 추가한다면 요잉모드에 대해 감쇠를 얻을 수 있다는 것을 알수 있다. 그러나 피칭모드에 대해서는 이런 효과를 얻을 수 없기 때문에 기존의 PCB판의 형상을 재설계하여 쉽게 움직일 수 있도록 만들고 홀더와 PCB 판 사이의 추가 댐퍼부위에 댐퍼제를 추가하면 피칭모드와 요잉모드에 대해 효과적인 감쇠를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 또한 피칭모드와 요잉모드의 지지부분을 유연하게 함으로써 피칭과 요잉 부공진 주파수가 상대적으로 낮아져서 고배속에서의 컷오프 주파수 부근을 피할수 있게 하여 안정적인 서보를 할수 있게 한다. 이를 위해 그림 4와 같이 PCB 판의 형상을 재설계하여 PCB판에 유연성을 증가시켰다.



(a) 변경전 (b) 변경후

그림 4 홀더의 PCB 판의 설계변경



(a) Pitching Mode (b) Yawing Mode

그림 5 형상변경후의 강체모드해석 결과

홀더 PCB판의 설계를 변경한 후에 모드해석을 하면 그림 5와 같이 나타난다. 그림에서 볼 수 있듯이 초점방향과 트랙방향에서의 고유진동수는 큰 차이가 없지만 부공진을 유발하는 피칭모드와 요잉모드에 대해서는 홀더 PCB판의 모드 형상과 고유진동수가 매우 다르게 나타나는 것을 볼 수 있다. PCB의 형상이 각 모드에 형상을 따라 움직이며 댐퍼를 홀더와 PCB 판의 사이에 주입한다면 감쇠 효과를 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다. 또한 CD-ROM과 DVD-ROM의 고배속화에 따라 서보영역은 5kHz로 높아지고 있는데 위에서 제안한 방법에 의하면 표2에 보는 것처럼 부공진 모드(피칭, 요잉 모드)의 고유진동수가 상당히 떨어지고 있다. 이것은 부공진의 주파수가 서보영역의 절점 주파수와 멀어지기 때문에 안정된 서보를 실현하는데 유리하다.

Table 2 홀더 PCB의 설계변경후 고유진동수의 변화

Mode	설계변경전	설계변경후
Tracking Mode	51.8 Hz	51.9 Hz
Focusing Mode	52.1 Hz	52.0 Hz
Rolling Mode	88.6 Hz	88.6 Hz
Pitching Mode	2138 Hz	1369 Hz
Axial Mode	3835 Hz	2141 Hz
Yawing Mode	5281 Hz	2916 Hz

4 실험 및 고찰

위에서 제시한 홀더 PCB의 형상 재설계가 부공진에 효과적으로 영향을 미치는지를 검증하기 위해서 QDM(Quick Delivery Molding)을 이용하여 위에서 설계한 FPC형 액츄에이터를 그림 5와 같이 제작하였다. 실험방법은 동적 신호처리기에서 Sine-Sweep으로 액츄에이터를 가진하고 Laser Vibrometer로부터 검출된 속도신호를 적분하여 입력전압에 대한 출력변위의 전달함수를 구하였다. 이로부터 액츄에이터의 기본성능인 DC감도, AC감도, 1차공진, 2차공진, 감쇠계수등을 구할수 있다.

표 3은 평가한 액츄에이터의 주요성능을 표시하였고 그림 6은 초점과 트랙방향에서의 특성을 나타내는 보드선도이다. 공진주파수는 시뮬레이션보다 5Hz정도 높은 이유는 홀더에 들어가는 댐퍼제의 강성효과를 스프링으로 모형화 하였는데 스프링의 강성계수를 정확히 알 수 없기 때문에 나타난 차이이며 초점 및 트랙방향에서 피칭모드와 요잉모드가 조금씩 나타나고 이 현상의 주요요인은 와이어 조립 및 FPC판의 조립공차에 의해서 발생하는 것으로 샘플 평가에서 조립상황에 따라서 다르게 나타나는 것을 확인하였다. 2차 공진점은 15~17kHz정도에서 나타났으며 20kHz이상으로 2차공진을 올리기 위해서 이후 제작시에는 보빈 구조를 좀더 강하게 만들 필요가 있다.

홀더와 PCB형상의 변화에 따른 영향을 알아보기 위해서 조립된 상태의 액츄에이터에 댐퍼제를 첨가하지 않은 경우와 댐퍼제를 홀더에만 주입한 경우 및 홀더와 PCB사이에도 댐퍼제를 추가한 경우에 대해서 부공진이 존재하는 액츄에이터에 대해 실험을 행하였다. 그림 7(초점방향), 8(트랙방향)은 이 결과를 보여준다. 그림에서 볼 수 있듯이 홀더에만 댐퍼를 주입한 경우 초점방향은 부공진이 거의 줄어들지 않고 트랙방향은 약간은 줄어들고 있으나 부공진이 그대로 존재하고 있다. 그러나 홀더와 PCB 사이에 댐퍼를 첨가한 경우에는 부공진의 영향이 크게 줄어들고 있음을 알 수 있다. 즉 PCB의 형상을 바꿈으로써 부공진 모드에 감쇠를 줄 수 있을 뿐만 아니라 조립과정에서 발생할지도 모르는 불균형 모멘트에 대해 감쇠효과를 줄 수 있음을 알 수 있다.

5. 결론

FPC를 이용한 비대칭형 픽업 액츄에이터를 설계, 제작하였으며 액츄에이터의 형태가 비대칭이기 때문에 발생하기 쉬운 피칭모드와 요잉모드에 대해 부공진량을 감소시키기 위한 방법으로써 홀더 PCB의 형상을 재설계법을 제시하였다. 이를 FPC형 액츄에이터에 적용한 모델에 대하여 유한요소해석법을 이용하여 PCB 형상의 변화에 따른 부공진 모드형상의 변화를 보였으며 실험적으로 그 효과를 증명하였다. 이 방법은 비대칭형 액츄에이터의 설계에 있어서 존재할 수 밖에 없는 조립공차, 누설자속에 의한 부공진을 감소시킬 수 있는 효과적인 방법이다.

References

1. 한창수, 김수현, 곽윤근, "고배속 광 픽업용 초정밀 액츄에이터," 제7회 광기술 워크샵, pp66-74, 1997.
2. 임경화, 이용훈, 김석중, 이재원, "고밀도 기록용 광픽업의 Actuator 동특성," 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문집, pp258-263, 1995.
3. 이광석, 오재견, 최영석, "광Pickup Actuator," 제7회 광기술 워크샵, pp25-37, 1997.
4. 고상선, 류제하, 박기환, 정호섭 "고배속 CD-ROM용 비대칭형 광픽업 미세 구동기의 구동특성," 한국소음진동공학회 게재예정, 1998.
5. H. L. Mark, I-DEAS Master Series Student Guide, Structural Dynamics Research Corporation, 1997.

Table 3 FPC형 액츄에이터 주요사양

주요사양	FPC형 액츄에이터	
질량, g	0.33	
	Focus	Track
1차공진, Hz	55.9	56.8
Q Factor, dB	12.1	13.2
DC 감도, mm/V	0.78	0.33
AC 감도, μm/V	1.75	0.87
2차공진, kHz	15.0	15.7
저항, Ω	4.6	4.8

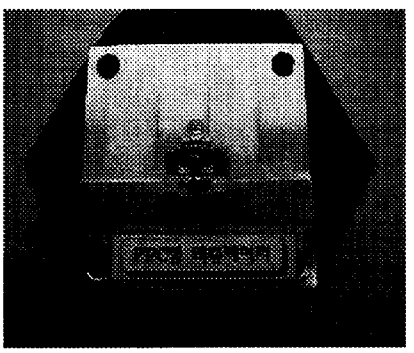


그림 5 FPC형 액츄에이터

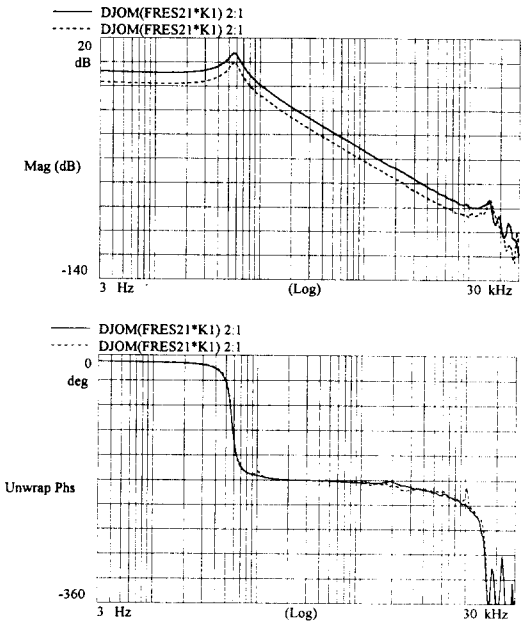


그림 6 FPC형 액츄에이터의 동특성 실험결과

——— 초점방향 - - - - - - 트랙방향

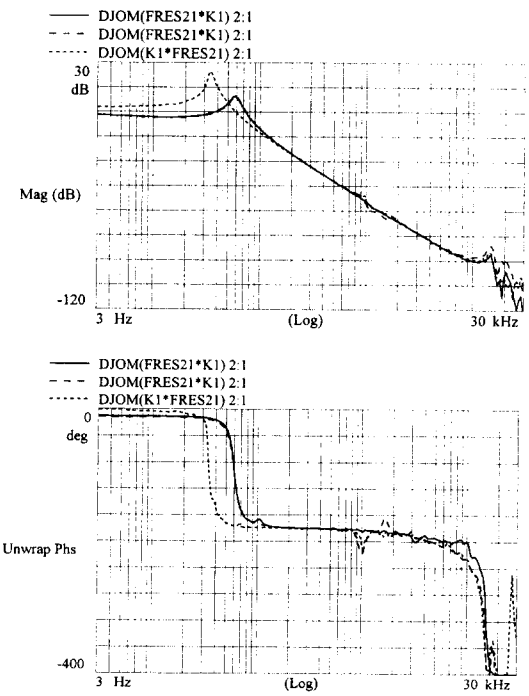


그림 7. 댐퍼추가에 의한 부공진의 변화:초점방향

- - - - - - 댐퍼를 주입하지 않은 경우

— — — 홀더에만 댐퍼를 주입한 경우

——— 홀더와 PCB 사이에 댐퍼를 추가로 주입한 경우

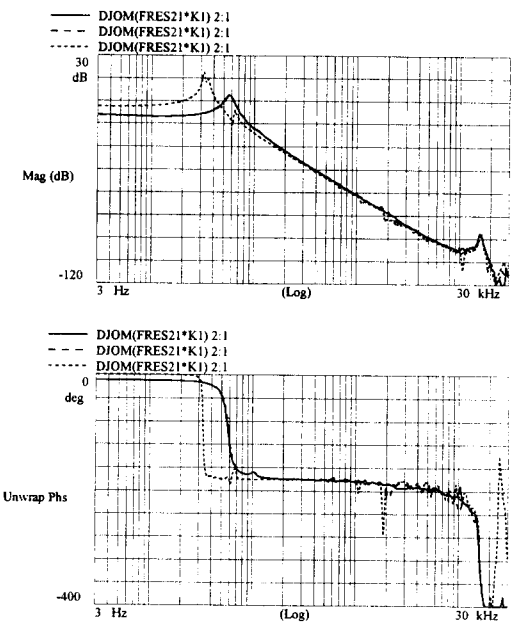


그림 8. 댐퍼 추가에 의한 부공진의 변화:트랙방향

- - - - - - 댐퍼를 주입하지 않은 경우

— — — 홀더에만 댐퍼를 주입한 경우

——— 홀더와 PCB 사이에 댐퍼를 추가로 주입한 경우