

# 모달파라미터 재설계를 통한 초슬림형 광픽업 액추에이터의 고주파 진동저감

## The Depression of High Frequency Vibration of the Ultra-Slim-Height Optical Pick-up Actuator Using the Re-Design of Modal Parameters

송병륜\*, 조원익\*\*, 강형주\*\*, 이영빈\*\*, 성평용\*\*, 박영필\*\*\*

Byung Youn Song\*, Won Ik Cho\*\*, Hyung Joo Kang\*\*, Young Bin Lee\*\*, Pyong Yong Seong\*\*, Young Pil Park\*\*\*

**Key Words :** Actuator, Optical Pick-Up, Ultra-slim-height, Modal Parameter, Gain Margin

### ABSTRACT

We propose the re-design method of modal parameters to depress the 2nd resonance peak of the ultra-slim-height optical pick-up actuator. With the addition of the counter mode near the 2nd resonance frequency, we can achieve the gain margin which is sufficient to meet the system requirement. It would alleviate the burden of the additional filter for a high-speed drive.

### 1. 개 요

광저장장치에서의 핵심부품이라 할 수 있는 광픽업의 주된 요소기술은 Form factor의 슬림화, 박형화에 따른 각종 부품의 소형화와, 다기능화에 있다. 초슬림형 노트북에 탑재하기 위한 초슬림형 광저장장치와, 한단계 더 나아가 모바일용 기기에 탑재를 하기위한 Small Form Factor(이하 SFF)의 개발<sup>(1)</sup>이 그 예이다. 이 가운데, 초슬림형 광저장장치의 Form Factor를 구현하기 위해선, 기존의 노트북용 광저장장치의 높이인 12.7mm에서, 초박형 노트북용 광저장장치의 높이인 9.5mm로 3.2mm가 줄어들어야만 하고, 휴대성을 높이기 위해 무게를 감소시키는 설계가 필요하다. 또한 축전지의 용량 감소로, 소비전력은 20%이상 개선이 필요하며, 이를 위해선 저전류 모터의 개발이 필요하다.

초슬림형 노트북용 광저장장치를 구현하기 위해 핵심부품인 광픽업용 액추에이터의 높이도 5.8mm에서 4.6mm로 1.2mm 낮추어야 하는 반면, 기존 슬림형 드라이브에서와 동등수준의 디스크 대응력 또한 유지하여야 하므로, Focus 방향의 구동거리가 일정수준 이상을 설계적으로 만족시켜야 한다.

이 때문에, 초슬림형 광픽업 액추에이터의 렌즈홀더(Lens Holder)는 4.4mm에서 3.6mm으로 더욱 얇아지게되며, 이는 렌즈홀더의 구조를 취약하게 하여, 렌즈홀더 조립체의 유연체 모드(flexual mode)를 취약하게 하여, 2차공진의 저주파화와, 높은 2차 공진봉(2nd resonance peak)을 갖게 하여, 고배속 구동시, 고주파 외란에 대한 시스템의 불안정성을 야기할 수 있다.<sup>(2)</sup>

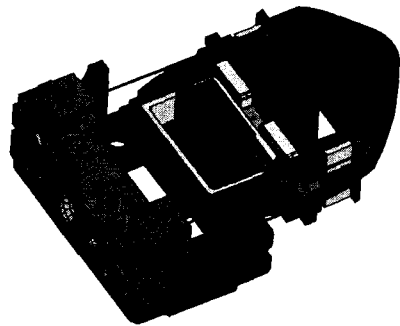


Fig. 1. Ultra-slim-height Optical Pick-up Actuator

따라서, 초슬림형 광픽업 액추에이터에서는 2차 공진 주파수 및 공진봉의 설계가 무엇보다도 중요하다. 이를 위해서 많은 연구가 이루어지고 있다.

먼저 2차공진의 고주파화에 초점을 맞추어, 렌즈홀더의 재질을 고강성 재질(예를 들면, 고강성화 LCP=Liquid Crystal Polymer 및 Magnesium)로 사용하는 방법이 있다. 이런 경우 2차공진의 고주파

\*삼성전자 OMS 사업부 Core Technology Group  
E-mail : luc.b.y.song@samsung.com  
Tel : +82-31-200-3280, Fax : +82-31-200-7890

\*\*삼성전자 OMS 사업부 Core Technology Group

\*\*\*연세대학교 정보저장기기연구센터

화라는 명제는 달성할 수 있으나, 2 차 공진봉은 반대로 더 증가하는 경향이 있다. 이는 재료자체가 갖는 재료감쇠(material damping)의 영향에 의한 것으로, 일반적으로 고강성의 재료는 그 재료감쇠 계수가 낮으므로, 동일한 형상의 렌즈홀더에서는 공진봉의 크기가 커지므로, 전체적으로 봤을 때, 효과가 없거나, 혹은 악영향을 가져올 수 있다.

이에 대한 대안으로서, 2 차공진 주파수는 그대로 유지한 채, 2 차 공진봉의 크기만을 선택적으로 줄이기 위한 방법이 연구되었다. 전 주파수에 특성이 좋은 에스테르(Ester)계의 자성유체(ferrofluid)를 사용하는 방법<sup>(2)</sup>과 특정부위에 고감쇠 재료를 사용하여, 2 차공진봉의 크기를 줄이는 방법<sup>(4)(5)</sup>이 있다. 그러나 이러한 방법들은 모두 기존의 렌즈홀더에다 부가적인 재료나 부품을 첨가하여, 2 차공진봉의 크기를 감소시키는 방법으로서, 생산공정이 추가 발생하고, 가격을 상승시키며, 또 다른 불량요인이 된다.

본 논문에서는 상기에서 제시한 문제점들을 보완하고, 원하는 게인마진을 확보하는 방법을 모달파라미터(modal parameter)의 분석과 재설계(re-design)를 통해 얻었으며, 그 방법을 소개하고자 한다.

## 2. 게인마진 부족

게인마진(Gain Margin)은 보상한 시스템의 개루프(Open Loop)에서, 위상이  $-180$  을 통과하는 주파수에서의 게인이  $0\text{dB}$  와 음의 값으로의 여유를 말하며, 이는 폐루프(Closed-Loop) 시스템의 안정도와 관계된다<sup>(6)</sup>.

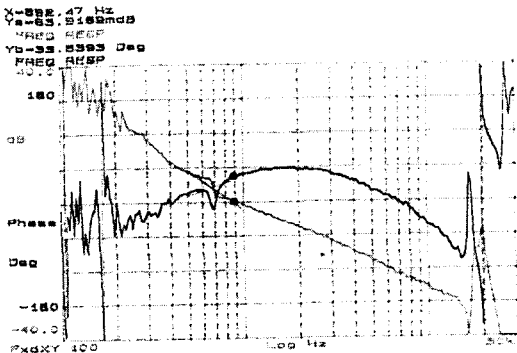


Fig. 3. The Open-Loop transfer function of the focus servo system at CD-RW 8X(1700RPM, 26Hz) in Ultra-slim COMBO drive (before

그림 3은 개선전의 Ultra Slim COMBO에서 CD-RW 8 배속 기록중의 Focus Servo의 Open Loop 이

다. CD 8 배속은 그 회전주파수가  $26\text{Hz}$  이며, 이때의  $0\text{dB}$  교차주파수가  $900\text{Hz}$  정도이다. 저배속에서는 2 차공진봉이  $0\text{dB}$  를 Cross 하지 않으므로, 문제시 되지 않는다. 그러나 다음의 그림 4 와 같이, DVD-ROM 8 배속 재생시와 같은 고배속에서는 회

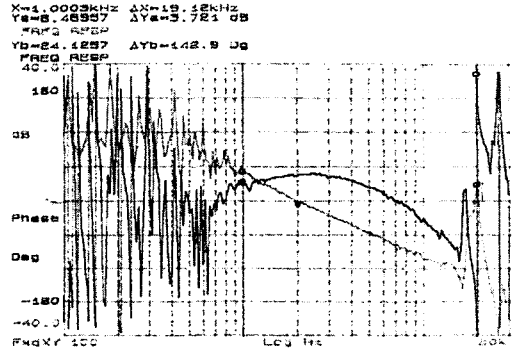


Fig. 4. The Open-Loop transfer function of the focus servo system at DVD-ROM 8X(4600RPM, 77Hz) in Ultra-slim COMBO drive (before modification)

전주파수가  $77\text{Hz}$  이며,  $0\text{dB}$  교차주파수도  $2\text{kHz}$  로 움직이므로 인해, 2 차공진봉이  $0\text{dB}$  교차주파수를 상회하여 시스템이 불안정해 질 수 있다.

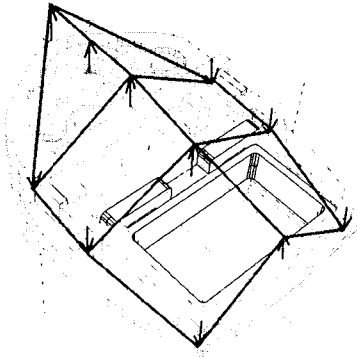
시스템 불안정의 결과로는 포커스오차신호(focus error signal)나 트랙오차신호(track error signal)에 2 차공진주파수 성분의 노이즈가 발생하고, 에러신호가 줄어들지 않거나, 증폭하는 경우가 발생한다. 따라서, 충분한 게인마진의 확보는 시스템 안정성과 밀접한 관계를 맺고 있으며, 이를 Actuator 성능상 지표화를 위해,  $1\text{kHz}$  게인 값에서부터 2 차공진봉의 게인값까지의 차의 절대값을 Actuator 게인마진(Gain Margin)이라 정의한다. 여기서  $1\text{kHz}$  의 값을 사용하는 이유는 통상 ODD(Optical Disc Drive) Servo의 EQ(equalizer)를 설계함에 있어, 펌웨어(firmware)를 전 배속구간에 걸쳐 크게 3 단계 정도로 나눠 설계한다. 최대 24 배속인 경우 통상 1 배속에서 4 배속까지, 6 배속에서 8 배속까지, 12 배속에서 24 배속까지 3 개의 배속별 EQ 모드가 있으며, 통상 저배속 모드인 경우  $0\text{dB}$  교차주파수를  $1\text{kHz}$  에 그 설계를 두기 때문이다. 그러나 데스크탑용 고배속인 경우는 저배속 모드의  $0\text{dB}$  교차주파수를  $2\text{kHz}$  에 두기도 하므로,  $2\text{kHz}$  로 설정하는 경우도 있다.

Ultra Slim Combo의 경우, 이런 게인마진의 값이 개선 전의 경우  $24\text{dB}$  수준으로, 시스템 최소 요구 사양인  $25\text{dB}$  이상을 만족시키기 위해서는, 개선 후 최소  $27\text{dB}$  이상 사양으로 공정능력(Process

Capability)이 중심치를 고려한 단기공정불량을 (Cpk)이 1.00 이상 수준을 확보하는 것을 목표로 하였다.

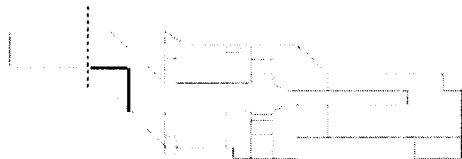
### 3. 모달파라미터 재설계

광픽업 액추에이터의 경우, 주공진을 포함하는 시스템을 단순 2 차시스템으로 가정할 수 있고, 2 차공진의 경우 단순 2 차시스템 혹은 n 차 시스템으로 가정할 수 있다.



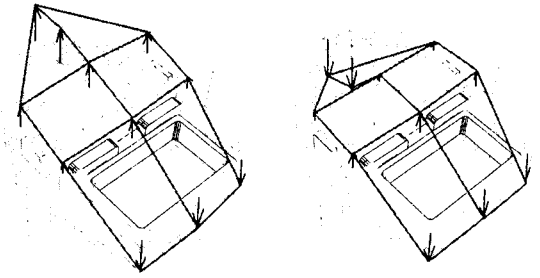
**Fig 5. Primary 2<sup>nd</sup> Resonance Mode Shape**  
where  $\omega_n = 20.75\text{kHz}$  (before),  $20.28\text{kHz}$ (after)

이를 제어공학적 측면에서는, 주공진을 포함한 2 차공진들과 여러 개의 부공진들을 쌍을 이룬 여러 개의 극(pole)과 영점(zero)으로 표현이 가능한 시스템으로 모델링이 가능하며, 진동학적 측면에서 말하자면, 모달 파라미터 인식(modal parameter identification)로 가능하다. 이런 시스템의 경우 적극적인 방법으로 모달 파라미터의 추가 혹은 삭제를 통한 적극적인 재설계(re-design)를 통해, 2 차주공진봉(2<sup>nd</sup> primary resonance peak)의 크기를 제어할 수 있다.<sup>(7)</sup>



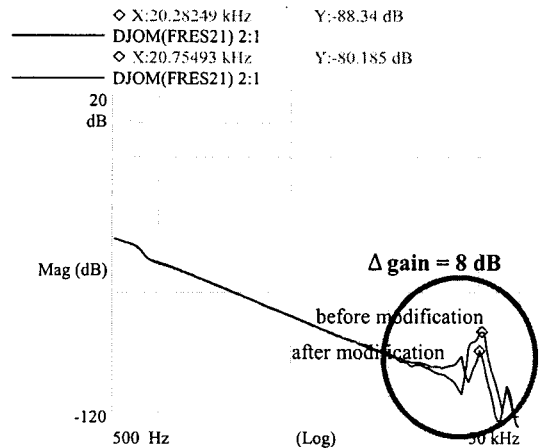
**Fig 6. Parts being cut to change the mode shape**

그림 8 과 같이, 현재의 개선 전 시스템의 경우 주 2 차공진 (Primary 2<sup>nd</sup> resonance)이 20.75kHz 부



**Fig 7. Subsidiary 2<sup>nd</sup> Resonance Mode Shape**  
(a) before modification (b) after modification  
( $\omega_n=17.7\text{kHz}$ ) ( $\omega_n=17.7\text{kHz}$ )

근에 존재를 하는데, 17.7kHz 부근에 부 2 차공진 (Subsidiary 2<sup>nd</sup> Resonance)이 존재하여 주 2 차공진 봉의 크기가 커져 게인마진이 줄어든다. 더구나 그림 7(a)와 같은 부 2 차공진은, 그림 9 와 같이 위상이 위로 향하는 형태로서, 게인이 dip-peak 인 형태이므로, peak 와 주 2 차공진과 겹쳐져서 주 2 차공진의 크기를 크게 하는 악영향을 가져온다. 20.75kHz 에 존재하는 주 2 차공진을 줄이거나 없애는 방법은, 주파수와 게인이 시스템에 맞게 튜닝된 회로적인 필터, 예를 들면 밴드스탑(Band Stop)필터와 같은 필터 등을 구성해서 주 고차공진을 없애는 방법<sup>(6)</sup>이 있으나, DSP 상에 해당 필터가 없는 경우 이를 구성하기 위해서 DSP 에 External 로 별도의 회로가 구성되어야 하고, 이는 드라이브 전체의 가격상승요인이 된다.



**Fig 8. Gain plots before and after the modification**

실제로 상기에서 설명한 필터는 광디스크드라이브용 DSP 로서는 아직 상용화 되어 있지 않고, 일부 DSP 메이커에서는 별도 OP-AMP 여분을 DSP 에 두어 저항과 콘덴서 추가만으로 구현할 수 있게 해 두었다.

그러나, 이와 같은 역할을 해줄 수 있는 것이

회로적으로만 구성되는 것은 아니다. 그림 5와 같이, 변경전의 20.75kHz의 주 2차공진기의 모드형상에서는, 대물렌즈주변의 변형방향이 Focus 구동력과 같은 방향으로 향하며, 이는 그림 6에서 위상선도를 보고서 알 수도 있다.

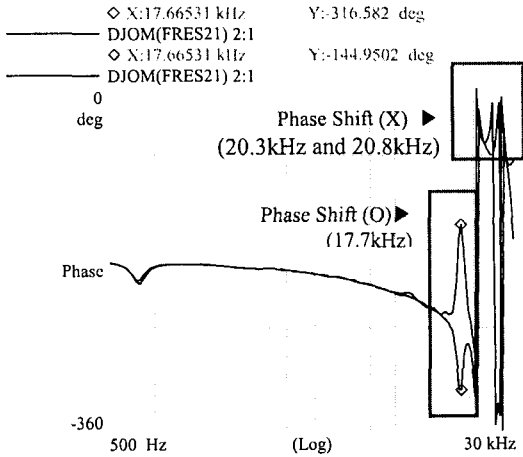


Fig 9. Phase plots before and after the modification

만일 이 공진봉을 상쇄시켜주는 모드를 공진주파수 근처에서 생성하거나 주위의 모드를 변경하여 위상을 반대방향으로 위치시킬 수 있다면, 즉 게인이 dip-peak이 아닌 peak-dip의 형상을 띠다면, 앞에서 제시한 회로와 유사한 역할을 할 수 있으며, 공진봉의 증첩을 피하여, 주 공진봉의 크기도 줄이고, 시스템의 게인마진도 확보할 수 있다. 이러한 가정 하에, 그림 6과 같이 렌즈홀더의 측면을 절삭하면, 그림 7(a)와 같은 형상이 부 2차공진의 형상이, 그림 7(b)와 같이 Focus 구동력과 반대 방향으로 대물렌즈가 움직이는 형상, 즉 peak-dip을 생성할 수 있으며, 위상이 아래로 향하기 때문

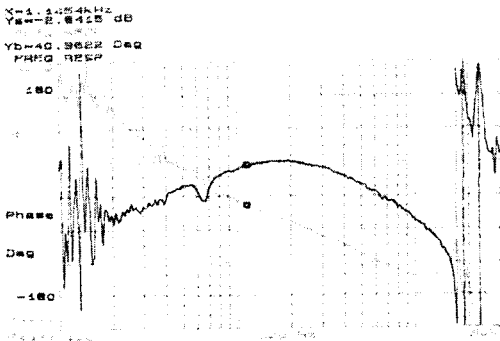


Fig10. The Open-Loop transfer function of the focus servo system at CD-RW 8X(1700RPM, 26Hz) in Ultra-slim COMBO drive (after the modification)

에, 구동력과 렌즈부의 움직임이 반대 방향임을 알 수 있다. 이 모드를 구조변경을 통해, 17.7kHz 부근에 위치하게끔 설계를 시도한 결과, 그림 8와 같이, 개선 후 2차공진봉의 크기가 8dB 가량 낮아졌으며, 게인마진 측면으로 보면, 게인마진이 24dB에서 32dB로 대폭 향상되었다.

이때 부 2차공진의 주파수는 거의 불변하고, 그림 9와 같이 단지 위상만 역전(inverse)하여, 게인이 peak-dip에서 dip-peak으로 변화하였으며, 주 2차공진은 측면 절삭의 영향으로 약간의 주파수 변동만 있을 뿐, 경향은 일치한다.

#### 4. 성능

개선전후를 비교해보면, 그림 8과 같이 주 2차공진봉의 크기의 경우 -80.2dB 대비 -88.3dB로 약 8dB 확보가 가능하며, 게인마진 측면으로 보면, 게인마진이 24dB에서 32dB로 향상되었다.

그림 9는 개선전후의 위상을 비교한 것이다. 개선전의 위상은 -180도 기준으로 위방향으로 향하는 것이었으나, 개선후의 위상은 아래방향으로 향하게 되었다. 이렇게 개선된 액추에이터를 Ultra Slim Combo 드라이브에 적용시킨 결과, 충분한 게인마진의 확보로 시스템상의 안정성이 확보되었으며, 그림 10은 당사의 SU-308B 드라이브에서 CD-RW 8X 구동시 Open Loop를 측정된 것이며, 그림 3 및 그림 4 대비 충분한 마진과 안정한 성능을 구현했다.

그러나 이러한 기법은 필터를 사용하는 시스템과 마찬가지로, 능동제어를 당하는 플랜트가 가변적이어서는 안되며, 제품간의 생산의 분포가 크면, 악영향을 가져올 수 있다. 즉, 20kHz대의 주 2차공진봉을 제어하기 위해, 회로적인 필터를 사용하든, 본 논문과 같이 모달파라미터 재설계를 하든, 주 2차공진봉의 위치는 20kHz에서 크게 벗어나서

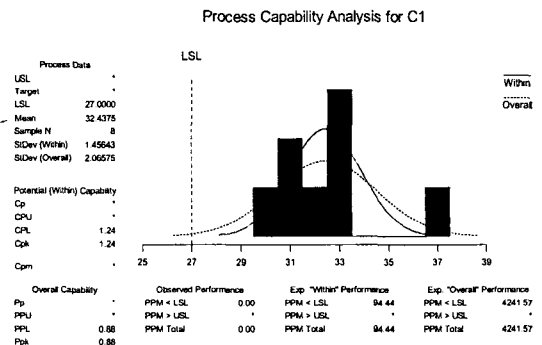


Fig11. The Capability of Process of the Gain Margin

는 안되며, 그 공진봉의 크기도 같은 수준을 유지해야 한다. 이런 조건 하에서 공정능력을 산출한 결과가 그림 11 과 같다. 게인마진 25dB 의 요구성능에 대해, 27dB 를 LSL(Lower Specification Limit)로 설정하고, 중심치를 고려한 단기공정능력인 CPK 를 산출한 결과 1.00 이상 도출되었으므로, 생산시 제품안정성도 확보되었다. 개발한 초슬립형 광픽업 액추에이터의 성능은 표 1 과 같다.

**Table1.** The Dynamic Characteristics of Ultra Slim Combo Actuator

ITEM	UNIT	Ultra Slim Combo	
		FCS	TRK
DC Sensitivity	mm/V	0.7	0.7
AC Sensitivity	G/V	8.9	9.3
	um/V	55	58
Resistance	Ohm	3.8	3.8
1st Resonance Freq.	Hz	63	63
1st Resonance Q factor	dB	8.0	9.0
2nd Resonance Freq.	kHz	18	31
Gain Margin	dB	32	37
Phase Delay (10 kHz)	deg	35	30
Moving Range	mm	(+)1.3,(-)0.8	(+)0.7,(-)0.7

## 5. 결 론

더욱 얇아진 초슬립형 광픽업 액추에이터의 렌즈홀더(Lens Holder)는 취약해진 구조로 인한 2 차 공진의 저주파화와, 높은 2 차 공진봉으로 인한 시스템의 게인마진 부족을 해결하기 위해, 본 논문에서는 모달파라미터(modal parameter)의 분석으로 접근하였고, 그 결과 모달파라미터 가운데 모드형상(mode shape)의 재설계를 통해, 개선 전 대비 약

8dB 를 추가확보 했으며, 이는 1kHz 게인대비 게인마진으로 표현한다면, 24dB 에서 32dB 로 CD24X 및 DVD8X 를 구동하는데 문제가 없는 수준의 게인마진을 확보했다.

이와 같이, 소형화 및 박형화의 추세에 있는 휴대용 광저장장치에 있어서, 고주파 특성을 설계적으로 보장하기 위해서는, 기존의 방법과 같은, 재료의 변경이나, 구조보강 및 부차적인 댐핑재료를 사용하는 방법보다는, 모달파라미터의 재설계라는 적극적인 방법으로 원하는 수준의 성능을 안정적으로 얻을 수 있음을 확인하였다.

## 참고문헌

- (1) M.A.H van der Aa et.al, "Small Form Factor Optical Drive : Miniaturized Plastic High-NA Objective and Optical Drive", Technical Digests of Joint International Symposium on Optical Memory and Optical Data Storage 2002, Hawaii, USA, IEEE/LEOS, pp 251-253
- (2) Byung Youn Song et.al, "The Actuator for High Speed CD/DVD Rewritable System", Technical Digests of Joint International Symposium on Optical Memory and Optical Data Storage 2002, Hawaii, USA, IEEE/LEOS, pp 353-355
- (3) Byung Youn Song et.al, "Development of Ferrofluidic Damper for Optical Pick-up Actuator", Proceedings of the Asia-Pacific Vibration Conference 2001, Hangzhou, China, Jilin Science and Technology Press, Vol. I, pp 259-263
- (4) 박관우 외, "3 축구동이 가능한 Slim 형 Pick-up Actuator 개발 및 동특성 분석", 한국소음진동공학회 2002 년도 춘계학술대회논문집, pp. 373-377
- (5) JP 공개평 08-221785, SANKYO SEIKI MFG Co. Ltd. 1996, Optical Pick-up Device.
- (6) Ogata, Modern Control Engineering, Prentice Hall Press
- (7) Harris, Shock and Vibration Handbook, 4th Edition, McGraw Hill