

하드 디스크 드라이브 액추에이터의 동적성능향상을 위한 VCM 설계

VCM Design to Improve Dynamic Performance of Actuator in a Disk Drive

이행수* · 강성우** · 김영훈** · 황태연**

Haeng-Soo Lee, Seong-Woo Kang, Young-Hoon Kim and Tae-Yeon Hwang

Key Words : Hard Disk Drive, Actuator, VCM, TPI, Track Following, Seeking

ABSTRACT

As high-capacity disk drives grow in track density, the allowable level of PES is becoming smaller. In this paper, some design concept of actuator is introduced to suppress the Butterfly mode that imposes the fundamental limitation on servo bandwidth. The effect of dynamics of proposed actuator on PES is examined by simulation.

1. 서 론

HDD의 기억용량은 점점 더 커져만 가고 그에 따라 하나의 디스크에 쓰여져야 할 데이터 트랙의 수는 늘어가고 있는 추세이다. 데이터 트랙의 수가 늘어나기 위해서는 주어진 디스크 공간내에서 그 트랙의 폭이 작아져야 하고 작아진 트랙을 에러신호를 유발시키지 않고 헤드가 추종하기 위해서 헤드를 이동시키는 수단인 액추에이터 시스템의 정밀한 제어가 요구된다.

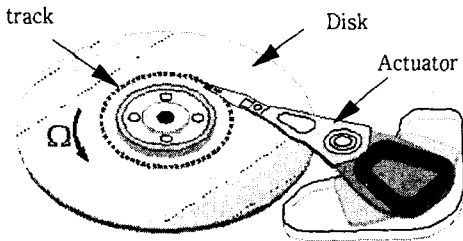
본 연구는 HDD에서 헤드를 원하는 위치로 이동시키는 수단인 액추에이터에 관한 것으로 그림 1과 같이 일정한 각속도 Ω 로 회전하고 있는 디스크상의 특정 트랙을 액추에이터가 추종하고 있는 동작에서 액추에이터 시스템자체가 지

니고 있는 진동모드를 가진하지 않음으로 하여 더욱더 정밀하게 추종하고자 하는 구조에 관한 것이다. 즉, VCM(voice coil motor)형상을 최적화하여 헤드가 트랙을 추종할 때 액추에이터 시스템에 작용되는 가진력성분중 트랙방향에 수직인 방향으로의 하중을 상쇄시켜 트랙을 따라 헤드가 추종함에 있어 안정된 제어가 가능하게 하는 액추에이터 구조의 설계와 PES(position error signal)성능향상에 미치는 영향을 살펴보고자 한다.

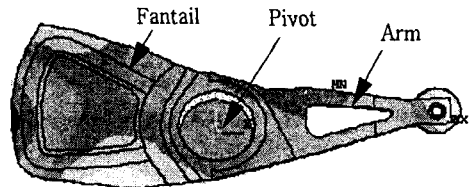
2. Actuator Dynamics

2.1 Butterfly Mode

그림 2는 현재 사용되고 있는 액추에이터 시스템의 평면상의 공진모드를 도시한 것으로 평면상에서 피봇을 중심으로 암부분과 팬테일부분이 같은 방향으로 아래위로 움직이는 형상이다. 모드형상이 나비날개의 움직임과 비슷한 형상으로 Butterfly mode로 명명되고 있다. 그림 3은 현재 사용되고 있는 이러한 액추에이터의 코일에 전류를 가해 헤드가 트랙을 추종할 경우의 헤드의 평면응답, 즉 Bode plot을



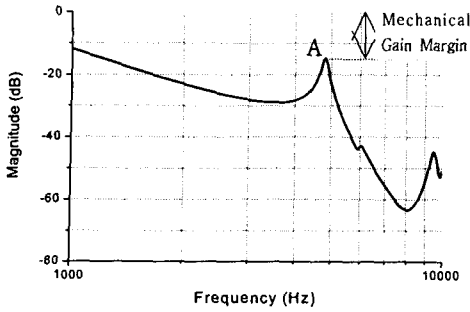
< 그림 1. HDD Actuator-Disk System >



< 그림 2. Butterfly Mode of Actuator >

* 삼성종합기술원 스토리지랩
E-mail : hsoolee@samsung.com
Tel : (031) 280-8344, Fax : (031) 280-6655

** 삼성종합기술원 스토리지랩



< 그림 3. Bode Plot of Actuator >

도시하였다. 그림 3에서의 피크중 가장 낮은 주파수에서 발생하는 피크 A는 평면상의 공진모드- 그림 2의 Butterfly mode-에 의한 것으로 이 피크의 주파수와 그 크기(gain & phase)가 servo제어를 위한 중요한 변수가 되고 있다.

2.2 Servo Bandwidth에 미치는 영향

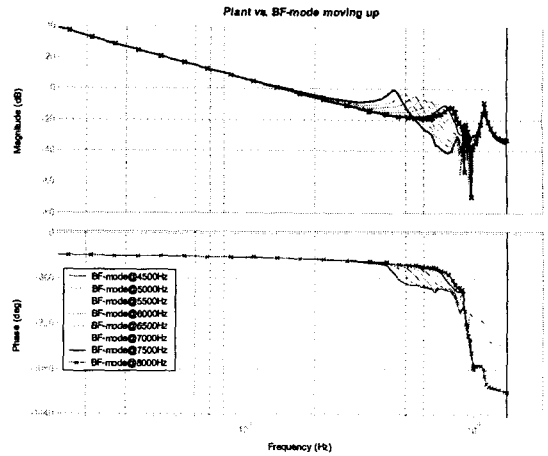
그림 4에 액추에이터의 Butterfly mode(BF mode)가 servo제어에 미치는 영향을 살펴보고자 Butterfly mode 공진주파수를 4500Hz를 기준으로 500Hz씩 증가시킨 plant 모델을 도시하였다. Butterfly mode 공진주파수를 더 높은 주파수대역으로 올림에 따라 그림 4와 같이 mechanical gain margin은 점점 커지게 되고 plant 모델에 대한 error sensitivity function의 shape도 그림 5와 같이 flexible하게 되어 현재의 servo제어에 사용되고 있는 servo bandwidth(BW)를 증가시키는 것이 가능하게 된다(표 1). 이러한 error sensitivity function의 변화와 servo bandwidth의 증가에 의해 디스크의 진동 또는 여러 외란에 의해 발생하는 NRRO (non-repeatable runout)의 크기를 줄일 수 있게 되고 이를 통하여 전체 PES는 저감하게 된다.

3. High Servo-Bandwidth Actuator Design

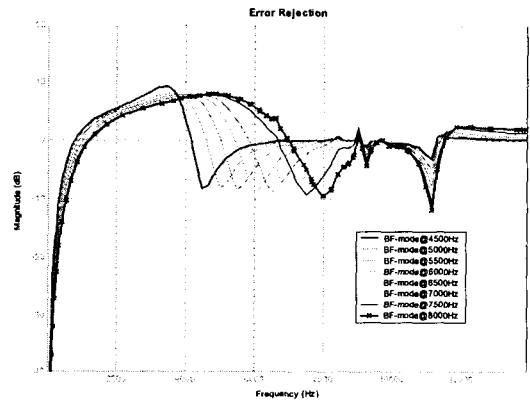
앞 절에서 설명한 것과 같이 액추에이터의 butterfly mode 공진주파수와 그 크기가 servo bandwidth의 상승과 PES저감에 제약을 가하게 된다. 이를 극복하기 위하여 크게

< 표 1. Effect of BF Mode Freq. on Servo BW >

BF mode(Hz)	4500	5000	5500	6000
Servo BW(Hz)	1140	1207	1316	1420
BF mode(Hz)	6500	7000	7500	8000
Servo BW(Hz)	1518	1623	1703	1803



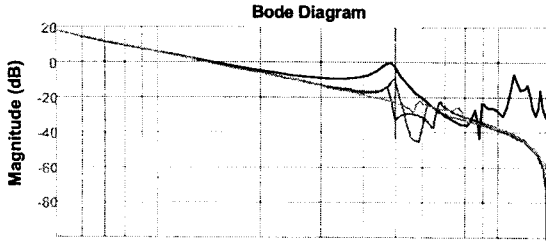
< 그림 4. Plant Model for Various BF mode Freq. >



< 그림 5. Error Sensitivity Functions >

두가지 방법이 가능한데 그림 4에 도시한 것과 같이 butterfly mode 자체를 아주 높은 주파수대역으로 올리는 것이 그 첫 번째이나 이러한 방법은 현재의 액추에이터에 사용되는 pivot의 강성을 두배이상 키우거나 또는 액추에이터 전체 무게를 절반이하로 줄이는 등 현실적으로 접근이 불가능하다. 또 하나의 방법으로는 butterfly mode는 액추에이터의 여러 모드속에 존재하나 그 모드가 발생하는 방향으로 가진력이 존재하지 않아 그림 6과 같이 butterfly mode에 의한 peak치가 감소하여 결국에는 Bode plot 상에 나타나지 않게 하는 것이다. 이 방법을 적용하기 위해 가진력의 조절이 가능하게 한 여러 연구들(1 ~ 4)이 수행되었다.

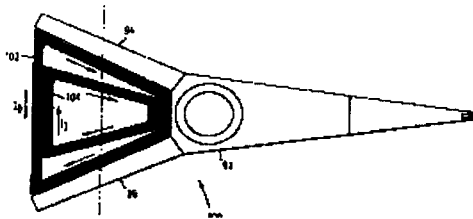
그림 7과 같이 안쪽과 바깥쪽 두개의 코일을 사용하여 track seeking시에는 두개의 코일에 같은 방향으로 전류를 가해 기존의 액추에이터와 같은 동작을 수행하게 하고 track following시에는 두개의 코일에 서로 반대방향으로 전류를 가하여 서로의 힘이 상쇄될 수 있도록 설계한 구조[1]



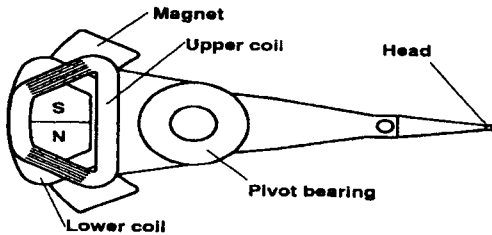
< 그림 6. Suppression of the BF Mode Resonance >

가 제시되었다. M. Miyamoto등[2]은 같은 개념으로 그림 8과 같이 두개의 코일을 위아래로 배치하고 track following 시와 track seeking 시 전류방향을 조절하여 track following 시의 가진을 최소화시키게 하였다. 기존의 액추에이터와 마찬가지로 하나의 코일을 사용하지만 track 방향에 수직인 하중이 발생하지 않도록 magnet와 coil형상을 설계한 구조[3]도 제안되었다(그림 9). 최근 T. Arisaka등[4]은 액추에이터 암의 balancing hole 형상을 최적화하여 butterfly mode에서의 헤드의 움직임이 최소가 되게 하여 액추에이터 dynamics를 개선하고자 하는 연구를 수행하였다.

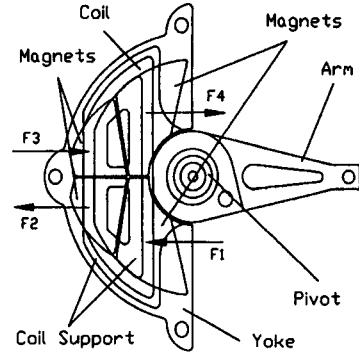
본 연구에서는 두개의 코일을 안쪽과 바깥쪽에 배치하는 참고문헌 [1]의 개념을 확장하여 track following 시 track에 수직인 힘은 서로 상쇄되어 butterfly mode를 가진 시키지 않지만 track에 수평인 방향의 힘은 존재하여 track following 시 발생하는 외란에 강인하여 실제 HDD system에 적용가능한 액추에이터의 설계를 하고자 한다.



< 그림 7. Dual-coil Actuator Model #1 >



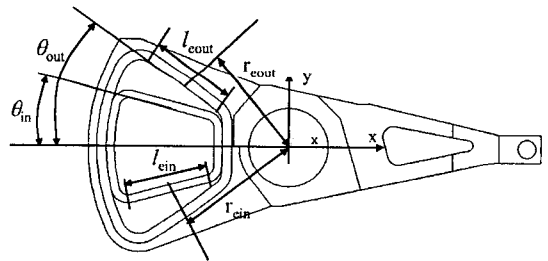
< 그림 8. Dual-coil Actuator Model #2 >



< 그림 9. Actuator with orthogonal force generation >

4. Actuator Design & PES Estimation

4.1 Coil Design



< 그림 10. New Actuator System >

두 개의 코일설계시 그림 10에서와 같이 안쪽 코일에서 발생하는 트랙수직방향분력이 바깥쪽 코일에서 발생하는 트랙 수직방향분력과 track following 시 서로 상쇄되도록 설계하여야 한다. 즉,

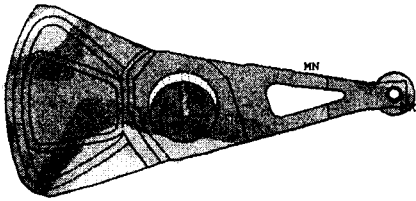
$$2n_{in}l_{ein} \cos\theta_{in} \times Bi = 2n_{out}l_{eout} \cos\theta_{out} \times Bi$$

여기서 n은 코일의 turn수이고 le는 실제 magnet에 의해 힘이 발생하는 코일의 유효길이이다. B는 magnet에 의해 발생하는 자속밀도이고 i는 코일에 가하여진 전류의 크기이다. 또한 track seeking 시와 following 시 코일에서 발생하는 힘에 의한 Torque는 각각 다음의 식으로 계산된다.

$$Torque)_{Seeking} = n_{out}r_{eout}l_{eout}Bi + n_{in}r_{ein}l_{ein}Bi$$

$$Torque)_{Following} = n_{out}r_{eout}l_{eout}Bi - n_{in}r_{ein}l_{ein}Bi$$

여기서 re는 pivot으로부터 유효길이 le의 중심까지의 거리이다. 이 때 충분한 torque가 발생되도록 설계되어 seeking 시 요구되는 seek time 성능에 맞춘 물론 following 시에 필요한 최소의 torque를 가지도록 하여야 한다.



< 그림 11. Butterfly Mode of New Actuator >

4.2 Actuator Dynamics

설계된 액추에이터 시스템의 butterfly mode를 그림 11에 도시하였고 그림 12는 그 액추에이터에 대한 bode plot이다. 그림 12에서 알 수 있듯이 기존의 액추에이터와 마찬가지로 5kHz대역에서 butterfly mode는 존재하나 그 peak치가 현저히 감소함을 알 수 있다. 이는 곧 butterfly mode를 발생시키는 가진력이 크게 줄어 가진이 거의 되지 않음을 의미한다.

4.3 PES Estimation

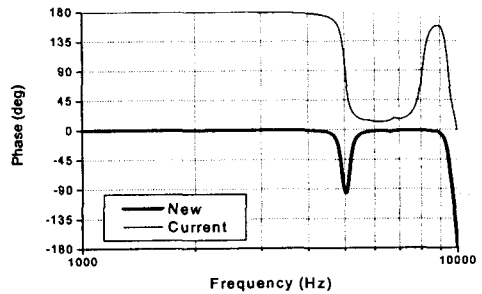
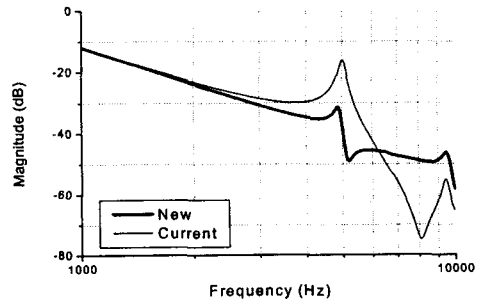
그림 13과 같이 새로운 액추에이터에 대한 error sensitivity function을 최적화시킨 결과, 120kTPI(tracks/inch) HDD system에서의 전체 PES(nm-rms)는 표 2에서와 같이 기존 액추에이터대비 약 27%의 감소가 있음을 알 수 있다.

5. 결론

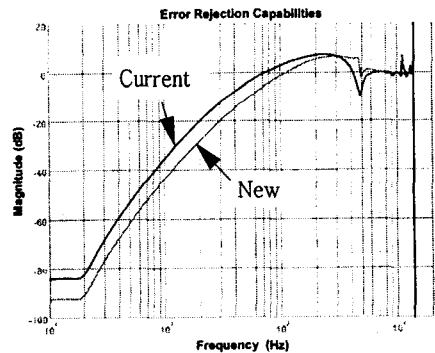
헤드가 트랙을 추종할 때 액추에이터 시스템에 작용되는 가진력성분중 트랙방향에 수직인 방향으로의 하중을 상쇄시켜 트랙을 따라 헤드가 추종함에 있어 안정된 제어가 가능하게 하는 액추에이터 구조의 설계와 PES(position error signal)성능향상에 미치는 영향을 살펴보았다. 이를 통하여 HDD의 TPI를 증가시킬수 있고 고용량 HDD의 제작이 가능하다.

참 고 문 헌

- (1) Huang, F. Y. et al., 2000, "Dual Coil Rotary Actuator," U. S. Patent 6,104,581.
- (2) Miyamoto, M. et al., 2000, "A New Head Actuator for High Frequency Band," IEEE Transactions of Magnetics.
- (3) Lin, H. et al., 2001, "Development of a Single Coil Coupled Force VCM Actuator for High TPI Magnetic Recording," IEEE Transactions of Magnetics, Vol. 37, No. 2, pp 850~854.
- (4) Arisaka, T. et al., 2003, "Development of a Head



< 그림 12. Dynamics of New Actuator >



<그림 13. Error Sensitivity Function of New Actuator>

<표 2. PES Estimation for New and Current Actuator>

Actuator	Servo BW	PES (nm-rms)		
		RRO	NRRO	Total
New	1680Hz	4.6	4.2	6.2
Current	1140Hz	6.0	6.0	8.5

Actuator Based on the New Design Concept for the Wide Servo Bandwidth in a Hard Disk Drives," Proceedings of the 2003 JSME-IIP/ASME-ISPS Joint Conference, pp 187~188.