

초소형 광자기 드라이브용 HGA 의 동적 충격 시뮬레이션

Dynamic Shock Simulation of Head-gimbal Assembly in Micro MO Drives

오 우 석*· 홍 어 진*· 박 노 철**· 양 현 석***· 박 영 필***

Woo-Seok Oh, Eo-Jin Hong, No-Cheol Park, Hyun-Seok Yang, and Young-Pil Park

Key Words: OFH Slider, Suspension, Micro MO Drives, Shock Performance, ANSYS/LS-DYNA

ABSTRACT

As a disk drive becomes widely used in portable environments, one of the important requirements is durability under severe environmental condition, especially, resistance to mechanical shock. An important challenge in the disk recording is to improve disk drive robustness in shock environments. If the system comes in contact with outer shock disturbance, the system gets critical damage in head-gimbal assembly or disk. This paper describes analysis of a HGA(head-gimbal assembly) in micro MO drives to shock loading during both non-operating state and operating state. A finite element model which consists of the disk, suspension, slider and air bearing was used to find structural response of micro MO drives. In the operational case, the air bearing is approximated with four linear elastic springs. The commercially available finite element solver, ANSYS/LS-DYNA, is used to simulate the shock response of the HGA in micro MO drives. In this paper, the mechanical robustness of the suspension is simulated considering the shock responses of the HGA.

1. 서 론

인터넷의 발전과 캠코더, 카메라나 MP3 플레이어 등과 같은 휴대 기기의 폭발적인 수요 증가로 인하여 그에 대응 할 수 있는 정보 저장기기의 고용량화, 초소형화가 요구되고 있다. 하지만 자기와 광을 이용한 기존의 전통적인 방식의 정보 저장 방법은 근원적인 기술의 제한으로 인해 발전의 한계에 이르렀다는 것이 중론이다. 이를 위해서는 기존의 기술을 대신할 수 있는 새로운 형태의 광 혹은 자기 기록장치들이 연구 되고 있다. 이에 따른 연구의 한 동향으로써 광 기록 방식을 위주로 살펴보면, 크게 블루 레이저 다이오드를 이용하는 것과 고도의 NA 를 가진 렌즈를 개발하는 방식으로 나눌 수 있다[1],[2]. 이러한 기술을 마이크로 형태의 디스크 드라이브에 적용한다면, 고밀도, 휴대용 정보저장기기에 대한 요구를 만족시킬 수 있을 것이다. 이에 대한 해결책으로 최근 광학 부상 헤드(Optical Flying Head, OFH)에 대한 연구가 많은 부분 진행되고 있다. 광학 부상 헤드를 위한 구동기의 한 예로써, 스윙암 타입 로터리 구동 방식을 제안

하였다. 이러한 구동기의 기계적인 구동부는 부상 광학 헤드를 포함하는 슬라이더와 이를 지지하는 서스펜션, 그리고 광학계와 서스펜션을 연결하는 스윙암, 그리고 VCM(Voice Coil Motor)로 구성될 것이다[3], [4].

대부분 부상 광학 헤드를 이용한 연구에서, 그 관심은 광학 계의 구성에 있었으나, 정작 부상 광학 헤드의 자세를 제어하고 정확한 위치 결정을 하는 서스펜션, VCM, 스윙암 구동기와 같은 기계적인 구조물에 대한 연구는 미비한 실정이다. 이러한 스윙암 타입의 구동기는 기존의 광학 드라이브에 사용 되던 선형 구동기에 비하여 빠른 접근 속도와, 초박형 구조가 가능하며, 외부의 충격에 비교적 강건하여 휴대용 저장 장치에 적용이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 이 논문에서 언급되고 있는 구동기는 휴대용이 가능하도록 Compact Flash Type II 드라이브 사이즈를 맞추었고, 디스크는 1 인치 MO 용 디스크를 적용하였다.

휴대용 정보저장기에서 휴대성에 대한 요구로써 충격에 대한 대응 및 해석에 관한 연구가 매우 중요하게 부각되고 있다. 일반적으로 하드 디스크 드라이브(HDD)에서 발생하는 충격의 현상은 헤드가 충격 하중을 받아 디스크 면으로부터 도약(head slap)한 후 다시 디스크와 충돌되면서, 디스크 면에 손상을 초래하는 것으로 밝혀졌다. 따라서 이러한 특성에 대한 보완으로서 서스펜션에 가해진 초기하중(preload)을 증가시키고 헤드-서스펜션의 등가 질량을 감소시킴에 따라 충격성능이 개선된다는 연구

* 연세대학교 기계공학과 대학원
E-mail: yipeee@yonsei.ac.kr
Tel: (02) 2123-4677, Fax: (02) 365-8460
** 연세대학교 정보저장기기 연구센터
*** 연세대학교 기계공학과

도 나오고 있다. 이와 같은 설계의 바탕이 될 수 있는 서스펜션에 대한 충격 응답 분석은, 최근 크게 관심을 갖게 되고 있는 휴대용 저장장치에 대한 응용에 있어서 큰 도움이 될 것이다. 따라서, 이 논문에서는 부상 광학 헤드의 광학적 요구 조건을 만족시키도록 설계된 서스펜션 외부의 충격에 대한 응답 분석을 하고자 한다.

2. OFH 용 구동기 및 서스펜션의 구조

2.1 스윙암 타입 로터리 구동기

본 논문에서 적용한 광디스크 드라이브 구동 시스템은 스윙암 타입 로터리 구동기와 슬라이더-서스펜션으로 크게 나누어 진다. 스윙암 타입 구동기에는 광학 요소인 LD와 PD가 블록 형태로 탑재되어 있으며, 끝 단에는 광학 부품으로부터 발산된 레이저의 방향을 바꿔주는 반사 거울이 탑재되어 있다. 한편, 서스펜션은 광학 헤드를 부착한 슬라이더를 지지하고, 슬라이더의 안정적인 부상 및 정밀 위치 결정한다. 스윙암(swing arm)은 소형화를 위해 얇은 두께의 외팔 보 형태를 가지고 있으며, 초박형 구조에 적합한 구조로 설계가 가능하므로 휴대용 정보저장기에 적합하다. 또한, 로터리 방식의 구동기를 사용함으로써 기존의 광디스크 드라이브에서 사용되고 있는 선형(linear) 구동기를 이용한 시스템에 비하여 데이터 접근시간이 빨라지며 임의의 데이터에 대한 접근 시간도 최소화 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이와 같은 공기 부상 헤드를 이용한 로터리 구동기는 피봇 베어링에 의하여 회전운동이 전달되고, 스윙암의 하단에는 서스펜션/플렉서 구조가 부착되며 이것들은 광학 부상 슬라이더의 정확한 위치결정 시스템에 중요한 역할을 담당하게 된다. Fig. 1은 스윙암 타입 구동기의 개략도를 보여주고 있다.

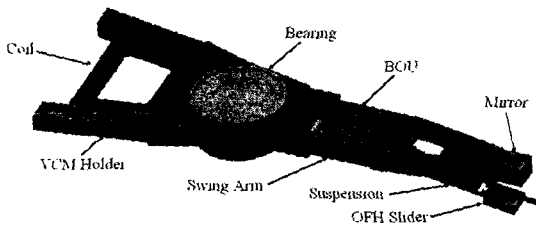


Fig. 1 Schematic of rotary type actuator

이러한 스윙암 구조는 LD, PD, 반사 거울을 비롯한 여러 가지 광학 부품들이 부착됨으로써 질량 및 관성모멘트가 증가하여 공진주파수가 낮아지는 구

조적인 문제점을 가지게 된다. 이러한 스윙암의 진동문제는 광학 헤드의 트랙 추종 능력을 감소 시키며 광학적 수차를 발생시킬 가능성을 가지고 있다. 이에 대한 해결책으로 스윙암의 횡 방향 및 종 방향 강성을 증가시키고 주요 공진 주파수를 증가시키고 이를 통하여 스윙암 타입 구동기의 진동으로 인한 광학헤드와의 정렬오류를 감소시키고 안정한 넓은 높은 서보 대역(high bandwidth)을 확보하고자 하는 연구들이 이루어 지고 있다. 또한 소형화와 휴대가 가능 하기 위해 드라이브 및 구동을 담당하는 VCM의 크기와 소비전력을 최소화하면서도 구동력을 최대화하는 설계가 요구 되고 있다. 따라서 1 인치 디스크를 대상으로 하는 스윙암 타입 로터리 구동기의 구조적인 고강성화와 구동력을 최대화하는 방향으로 설계하였다.

2.2 서스펜션

서스펜션 어셈블리는 기본적으로 로드 빔(load beam), 플렉서(flexure), 힌지(hinge), 베이스 플레이트(base plate)의 네 부분으로 구성되어 있고 광학 부상 헤드가 디스크 표면에서 일정한 부상 높이를 유지하고 원하는 트랙을 추종하는 역할을 한다. 광학 부상 헤드는 이 서스펜션 초기하중에 의한 작용력과 헤드 밑의 공기 유동 압력이 평형을 이루면서 부상 높이를 유지한다. Fig. 2는 설계된 광학 부상 헤드를 위한 서스펜션을 보여주고 있다.



Fig. 2 Structure of suspension

광학 부상 헤드용 서스펜션은 고용량화를 실현하고 내충격성을 높이기 위하여 로드/언로드(Load/Unload)방식을 채택하였고, 이를 위하여 엔드-리프터(End-lifter)와 T-바 리미터(T-bar limiter)를 설계하였다. 또한 광학 경로를 확보하기 위하여 로드빔의 앞부분에 사각 홈을 두었다. 플렉서는 슬라이더에 축 방향 강성을 강화하기 위하여 설계되었다. 힌지 구조는 축 방향으로의 강건하며 수직 방향의 순응성은 높아야 하는 서스펜션의 모순된 특성을 만족시키기 위하여, 로드빔에 비하여 매우 얇게 설계 되었다.

2.3 광자기 디스크

일반적인 광자기 디스크는 폴리카보네이트(polycarbonate)로 이루어졌다. 표면에는 피트와 기록을 위한 랜드(land) 및 그루부(groove)로 구성된다. 광자기 디스크는 희토류-천이금속의 자기 기록막을 유전체 막으로 둘러싸고 있으며, 기판의 반대쪽에는 레이저광의 반사를 위한 4층 구조로 된 반사층이 있으며 최 외각에는 손상을 방지하기 위한 보호 코팅 막이 존재한다. Fig.3은 일반적인 광자기 디스크의 단면도를 보여주고 있다.

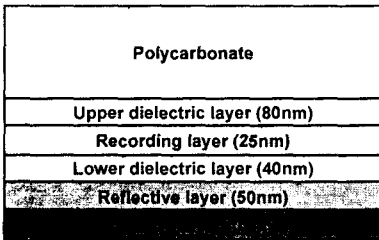


Fig. 3 Structure of MO disk

3. 광자기 드라이브용 HGA의 동적 충격 시뮬레이션

3.1 외부 충격의 모사

기존의 하드 디스크 드라이브의 충격에 관한 연구는 데스크톱용 하드 디스크 드라이브에 대한 것이 다수였다. 데스크톱용 하드 디스크 드라이브의 주된 충격원은 비구동 상태인 제조공정 또는 제품 이송 시 발생되었다. 따라서 충격에 대한 해석 역시 비구동 상태를 중심으로 수행되어 왔다 [5],[6]. 하지만 휴대용 저장장치의 연구와 개발이 활발해지면서 최근의 디스크 드라이브들은 기존의 CSS(Contact Start Stop) 방식과 달리 로드/언로드 방식의 래치(latch) 구조를 통하여, 비구동 상태에서의 임의의 충격에 대하여 보다 강건해졌다. 그러므로 최근에는 구동 상태의 충격 해석이 보다 중요시되고 있다. 본 논문의 충격 해석에 사용된 서스펜션도 로드/언로드 방식을 채용하였으나 기존의 충격의 응답에 관한 연구들과 그 경향을 비교하기 위하여 비구동 상태와 구동 상태 모두에서 충격 해석을 수행하였다. 일반적으로 외부 충격에 대한 명확한 기준이 아직 확립되지 않았으므로 본 논문에서는 충격해석에 사용된 광자기 디스크 드라이브와 동일한 Compact Flash type II 인 IBM의 Microdrive

의 충격 기준을 참조하였다.

하드 디스크 드라이브에서 발생하는 충격의 현상은 하드 디스크 드라이브의 베이스가 충격 하중을 받고 이 충격이 스핀들 모터와 구동기의 피복 중심을 통하여 헤드와 디스크 허브에 전달되어 발생된다. 이러한 외부 충격은 매우 짧은 시간에 크기가 큰 가속도가 가해짐으로써 발생한다. 이러한 형태의 충격은 반정현파(half-sine)형태의 임펄스 충격으로 가정할 수 있다[7]. 반정현파 형태의 임펄스 충격의 가속도와 이를 적분하여 얻을 수 있는 속도와 변위는 다음과 같이 수학적으로 표현할 수 있다. u_0 는 외부 충격의 크기를, τ (duration)는 충격의 적용 시간을 의미한다.

$$\ddot{u}(t) = \ddot{u}_0 \sin\left(\frac{\pi t}{\tau}\right) \quad [0 < t < \tau] \quad (1)$$

$$\ddot{u}(t) = 0 \quad [\text{when } t < 0 \text{ and } t > \tau] \quad (2)$$

$$\dot{u}(t) = \frac{\ddot{u}_0 \tau}{\pi} \left(1 - \cos\frac{\pi t}{\tau}\right) \quad [0 < t < \tau] \quad (3)$$

$$\dot{u}(t) = \frac{2\ddot{u}_0 \tau}{\pi} \quad [t > \tau] \quad (4)$$

$$u(t) = \frac{\ddot{u}_0 \tau^2}{\pi^2} \left(\frac{\pi t}{\tau} - \sin\frac{\pi t}{\tau}\right) \quad [0 < t < \tau] \quad (5)$$

$$u(t) = \frac{\ddot{u}_0 \tau^2}{\pi^2} \left(\frac{2t}{\tau} - 1\right) \quad [t > \tau] \quad (6)$$

이를 그래프로 표현하면 Fig. 4와 같다.

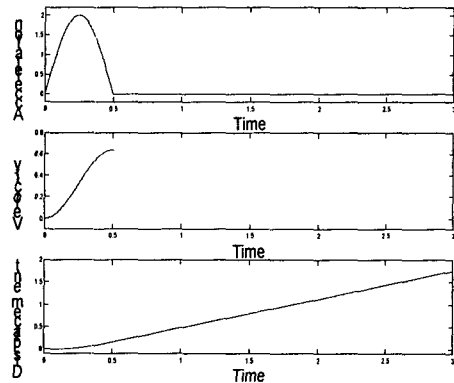


Fig. 4 Half sine shock motion

3.2 비구동 시스템의 유한요소 모델링

유한요소 해석은 엔시스/LS-DYNA를 이용하여 이루어졌다. 전체 모델은 광학 부상 헤드용 서스펜션과 광학계가 포함되어 있는 슬라이더와 1인치 MO 디스크로 구성하였다. 베이스와 스윙암

타입 구동기는 상대적으로 외부 충격에 강건하다. 따라서 전체 모델에서 베이스와 스윙암 타입 구동기는 제외시켰다. 엔시스/LS-DYNA 를 통한 모델링을 함에 있어 두께가 각각 1.2mm 와 0.5mm 로 상대적으로 두꺼운 MO 디스크와 광학 부상 헤드용 슬라이더는 SOLID164 요소가 사용되었다. 반면에 두께가 0.1mm 로 얇은 서스펜션은 SHELL163 요소로 모델링 하였다. 또한 SHELL163 요소는 탄성 변형으로 설정하였다. 유한요소 모델은 1189 개의 요소로 구성 되었으며 Fig. 5 와 같다.

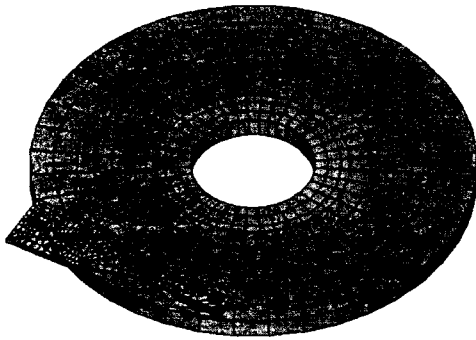


Fig. 5 Finite element model of a disk drive

해석에 사용된 시스템 각 부분의 물성치는 table 1 과 같다.

Table 1 Material property

	Suspension	Slider	Disk
	Stainless steel	Ceramic	Poly Carbonate
Young's Modulus (GPa)	190	393	3.2
Density (kg/m ³)	8000	1841	1190
Poisson ratio	0.32	0.23	0.3

3.3 서스펜션의 충격 응답 특성

디스크와 슬라이더의 접촉을 고려한 비구동 상태와 구동 상태의 충격해석에 앞서 충격의 크기(amplitude)와 외란 적용 시간(duration)을 변화시켜가면서 서스펜션의 충격 응답 특성을 파악해 보았다. 이 때의 반정현파의 크기는 외란의 크기

와 관련이 있으며, 충격 적용 시간은 중요 공진 주파수의 영역과 관련이 있다. 충격의 크기는 시스템에 주어지는 절대적인 크기의 양의 영향을 주기 때문에, 충격의 크기가 클수록 최대 변위의 값이 함께 증가할 것으로 예상된다. 한편, 충격 적용 시간에 대한 영향은 시스템의 구조물에 미치는 공진주파수에 영향을 주어, 반응하는 임계 주파수에 대한 영향과 충격의 크기와 적용시간의 곱으로써, 표현되는 충격 에너지 관점에서 함께 고려되어야 할 것이다. 충격의 크기는 50G 부터 1000G 까지 변화를 주었으며, 적용 시간은 0.2ms 부터 3ms 까지 변화를 주었다. 충격의 크기와 적용 시간이 증가할수록 슬라이더의 변위가 증가함을 Fig. 6 를 통해 확인하였다. 최대 변위는 충격의 크기와 적용 시간이 각각 최대인 1000G 와 3ms 에서 발생하였다.

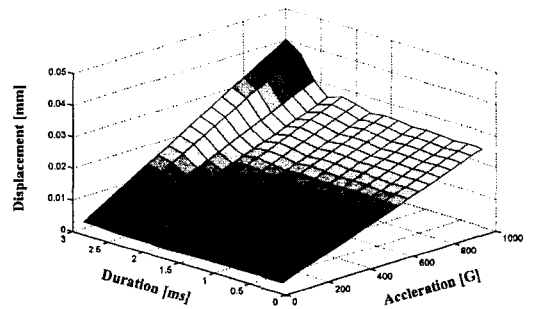


Fig. 6 The variations of maximum displacement of the suspension

이러한 충격 크기와 적용시간에 대한 분석을 통하여, 향후의 발전적 설계에 있어 외란에 의한 공진 영역을 고려한 설계에 대한 고려가 병행되어야 할 것이다.

3.4 비구동 상태의 충격 응답 해석

비구동 상태에서는 200G 의 충격을 1ms 동안 가하여 충격 응답 해석을 하였다. 임펄스 충격은 Fig. 7 과 같이 반정현파 형태의 가속도를 두 번 적용한 z 방향의 변위로 주었다.

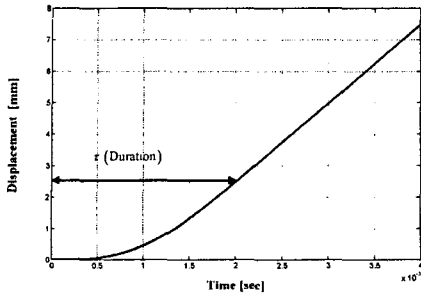


Fig. 7 Displacement history for the base

해석 결과 충격 적용시간 이후 충격으로 인한 반력이 초기하중을 증가하자 슬라이더가 디스크 면으로부터 도약함을 Fig. 8 슬라이더와 디스크의 상대변위를 통해 확인 할 수 있다. 충격에 따른 상대 변위의 최대값은 앞 단(leading edge)과 뒤 단(trailing edge)이 각각 0.165mm, 0.382mm이다. 상대적으로 디스크의 외주 방향에 치우쳐 있는 슬라이더의 뒤 단에서 변위가 앞 단의 변위보다 더 컸다.

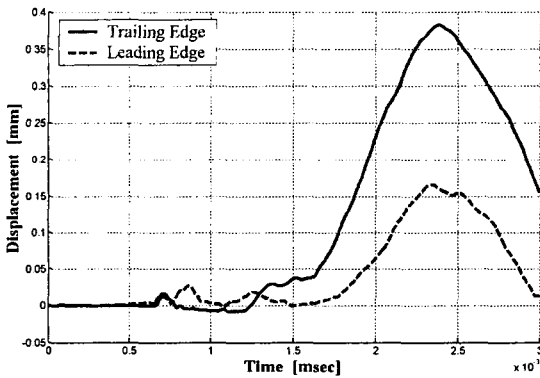


Fig. 8 Relative displacement during non-operating state

3.5 구동 상태의 유한요소 모델링

구동 시스템의 유한 요소 모델은 구조적으로 비구동 시스템의 유한 요소 모델과 동일하지만 광학 부상 헤드 슬라이더와 디스크 사이에 생기는 공기 베어링으로 인한 유체 역학적 강성이 고려되어야 한다[8], [9]. 본 해석에서는 공기 베어링을 Fig. 9 과 같이 슬라이더의 네 꼭지점과 그에 각각 대응하는 디스크 사이에 z 방향 선형 탄성 스프링이 각각 연결 된 것으로 가정하였다.

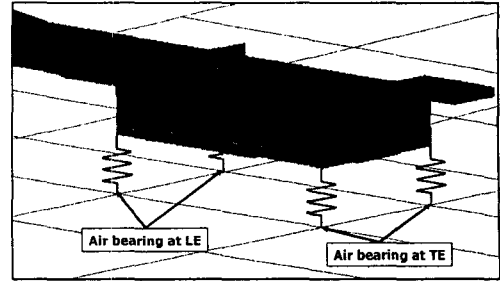


Fig. 9 Modeling of air bearing

네 개의 선형 탄성 스프링은 엔시스/LS-DYNA 의 COMB1165 요소로 모델링 하였다. 슬라이더의 부상 높이는 정상상태 기준으로 총 20kN/m 으로 가정하였고 부상 시 상대적으로 앞 단에 비해 뒤 단의 양압이 높게 공기 베어링 시스템이 설계되었다. 이로 인하여 앞 단과 뒤 단의 공기 베어링은 1: 2.64의 강성비를 갖는 것으로 모델링 하였다. 또한 충격해석에 앞서 외부 충격 시 발생하는 디스크와 슬라이더 헤드의 접촉(contact)에 대한 모델링이 추가적으로 있었다. 접촉에 대한 모델링은 엔시스/LS-DYNA 의 '요소 대 면 접촉 (node to surface contact)' 을 이용하였다. 요소 대 면 접촉은 접촉이 발생하는 부분을 사전에 정확히 알고 있을 때 가장 효율적인 해석 방법이다. 요소 대 면 접촉 모델링을 하기 위해서는 접촉 요소와 목표면을 지정하여야 한다. 일반적으로 평탄하거나 오목한 면을 목표면으로 설정하고 볼록한 면을 접촉 요소로 설정한다. 본 충격 해석에서는 슬라이더의 모서리와 디스크의 평탄한 면이 접촉을 할 것으로 예상되므로 슬라이더를 접촉 요소로 디스크를 목표면으로 설정하였다.

3.6 구동 상태의 충격 해석

구동 상태에서는 외부의 충격을 700G 의 반정현파의 형태로 0.5ms 동안 가하였다. 0.5ms 부터 2ms 까지 천이 구간에서 슬라이더와 디스크의 변위를 살펴 보았다. 충격으로 인한 슬라이더 뒤 단과 디스크의 상대 변위의 최대값은 2.517 μm 이다. 또한 Fig. 10 에서 보는 것처럼 충격 적용 시간 이후에 디스크와 슬라이더가 접촉함을 알 수 있다. 또한, 비구동 상태의 충격 해석과 비교하였을 때 구동 상태에서 발생하는 공기베어링이 충격 응답에 지배적인 역할을 한다는 것을 확인하였다.

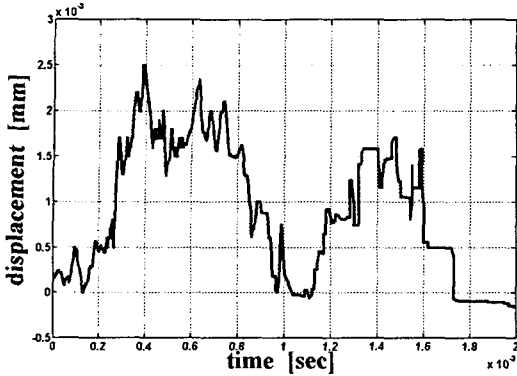


Fig. 10 Relative displacement at trailing edge

4. 결론

본 논문에서는 충격 해석을 통하여 휴대를 위한 초소형 광자기 드라이브의 가장 큰 이슈인 외부 충격에 대한 분석을 하였다. 이를 위하여 서스펜션과 디스크를 모델링 하였다. 구동 상태에서는 광학 부상 헤드 슬라이더와 디스크 사이에 생기는 공기 베어링으로 인한 유체역학적 강성은 선형 탄성 스프링으로 모사하였고 외부 충격으로 인한 슬라이더 헤드와 디스크의 접촉을 고려하였다. 외부의 충격에 대해서는 반정현파 형태의 임펄스를 일정시간 간격 동안 변위의 형태로 가하였다. 충격 응답 해석은 효과적인 동적 해석을 위하여 앤시스/LS-DYNA 를 이용하였다. 비구동 상태와 구동 상태의 충격 해석에 앞서 서스펜션에 외부 충격의 크기와 적용 시간에 변화를 주어 서스펜션의 충격 응답 경향을 파악하였다. 비구동 상태에서는 충격으로 인한 반력이 서스펜션의 초기하중을 증가 할 때 슬라이더가 디스크 면으로부터 도약함을 확인 하였다. 또한 최근 저장 장치의 휴대성이 요구됨에 따라 부각이 되고 있는 구동 상태의 해석을 통하여 공기 베어링이 충격 응답에 지배적인 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 이러한 충격 해석과 분석을 통

하여 차후에 외부의 충격에 강건한 서스펜션의 설계에 응용 할 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 한국과학재단(R11-1997-042-11000-0)지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) J.H. Heong, J.Y. Shim, S.Q. Lee, J.H. Lee, H.K. Yoon, D.G. Gwon, 2002, "Swing arm type pick-up actuator design for near field recording", ISOM/ODS technical digest, pp.341-343
- (2) S. Hata, Y. Yamada, J. Ichihara and A. Simokohbe, 2002, "A micro lens actuator for optical flying head", Optical Memory and Optical Data Storage Topical Meeting, International Symposium, pp. 40-42
- (3) Hatem R. Radwan and Charles Kim, 1996, "Semi-optical design of actuator voice coil motors in disk drives", Adv. Info. Storage Syst., vol. 7, pp.315-330
- (4) Wagner, J. A., 1983, "The actuator in high performance disk drive: Design rules for minimize access time", IEEE Transactions of Magnetics, Vol. 5, pp 1686-1688
- (5) Jose L.Aristegui and Thomas L.Geers, 2000, "Shock Analysis of a Disk-drive Assembly", Journal of Information Storage and Processing Systems, Vol.2 pp25-31
- (6) C. Lin, 2002, "Finite element analysis of a computer hard disk drive under shock", J. Mechan. Design, Vol.124 No,121
- (7) Eric M. Jayson, Paul W. Smith and Frank E. Talke, 2003, "Shock modeling of the head-media interface in operational hard disk drive", IEEE transactions of magnetics, Vol. 39, No5, September
- (8) Q. H. Zeng and D. B. Bogy, 2002, "Numerical simulation of shock response of disk-suspension-slider air bearing systems in hard disk drives", Microsystem Technologies, Vol 8, pp 289-296
- (9) Eric M. Jayson, James M. Murphy, Paul W. Smith and Frank E. Talke, 2002, "Shock and head slap simulations of operational and nonoperational hard disk drives", IEEE transactions of magnetics, Vol. 38, No5, September