

## 초소형 광자기 드라이브용 서스펜션의 동특성 해석 Dynamic Analysis of Suspension for Small Form Factor MO Drive

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

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

Key Words : OFH Slider, Suspension, MO Drive, Probabilistic Analysis, Shock Performance, Transient Analysis

### ABSTRACT

One of the trends on information storage device is focused on the development of micro-optical devices with OFH (Optical Flying Head). Many different types of sliders for OFH and optical component systems have been introduced in the literature. However, the important issue on the mechanical system, which consists of suspension, swing arm and VCM (Voice Coil Motor) part has not been discussed up to date. In this research, we analyses the suspension, which is used for the small form factor MO drive. The analysis is in process two ways. One is probabilistic analysis, another is dynamic shock analysis.

Probabilistic analysis is a technique you can use to assess the effect of uncertain input parameters and assumptions on your analysis model. Using a probabilistic analysis you can find out how much the results of a finite elements analysis are affected by uncertainties in the model. Dynamic shock analysis is used for the mobile applications. The mechanical robustness of the suspension simulating the shock responses of a disk-suspension is proposed in this paper.

#### 1. 서 론

오늘날 정보화 사회의 급속한 발전은 정보저장기기의 고용량화, 초소형화, 경량화의 경향을 낳고 있다. 특히나, 정보통신, 멀티미디어의 발달로 많은 양의 데이터를 신속 정확하게 전달해야 할 많은 필요성이 있다. 이에 대한 새로운 정보저장기기 연구에 대한 연구 동향으로써, 새로운 형태의 광 혹은 자기 기록장치들이 발전되거나 도입되고 있다. 그리고, 이러한 현상은 우리의 생활과 직접적인 관련을 맺으면서 가장 큰 이슈로써 모바일 산업 즉, 휴대 산업으로의 정보저장기기의 경쟁과 개발의 필요성이 대두되고 있다. 이러한 정보저장기기 연구의 동향으로써, 광 기록 방식을 위주로 살펴보면 그 주된 연구 방향은 블루 레이저 다이오드를 이용하는 것과 고도의 NA를 가진 렌즈를 개발하는 방식으로 나눌 수가 있다 [1], [2]. 이러한 기술을 마이크로 형태의 디스크 드라이브

이브에 적용한다면, 휴대 가능한 정보저장기기에 대한 요구를 만족시킬 수 있을 것이다.

마이크로 렌즈를 이용하는 방법으로써, 광학 부상 헤드(Optical Flying Head, OFH)를 이용한 것은 이러한 방법론에 대한 해결책으로 도입되고 있다. 이러한 형태의 액츄에이터는 부상 광학 헤드를 포함하는 슬라이더와 이를 지지하는 서스펜션, 그리고 광학계와 서스펜션을 연결하는 스윙암, 그리고 로터리 타입의 VCM이 있을 것이다 [3], [4].

대부분 부상 광학 헤드를 이용한 연구에서, 그 관심은 광학계의 구성에 있었으나, 정작 기계적인 구조물에 대한 연구는 거의 진행되지 않고 있다. 서스펜션, VCM 모터, 스윙암 액츄에이터 등의 기계적인 구조물은 부상 광학 헤드의 자세를 제어하고 정확한 위치 결정을 위한 매우 중요한 요소이다. 이러한 스윙암 타입의 구동기는 선형 구동기에 비하여 접근속도가 빠르며, 얇은 구조가 가능하며, 외부의 충격에 비교적 강한 설계가 가능하다는 장점을 가지고 있다. 이 논문에서 언급되고 있는 구동기는 휴대용이 가능하도록 Compact Flash Type II의 크기에 드라이브 사이즈를 맞추었고, 디스크는 1인치 MO용 디스크를 고려하였다.

액츄에이터의 위치 제어 및 외란에 강한 설계를 위해서는 서스펜션의 최적 설계가 병행되어야 한다. 서스펜션의 경

\* 연세대학교 기계공학과 대학원  
E-mail : set6546@vibcon.yonsei.ac.kr  
Tel : (02) 2123-4677, Fax : (02) 365-8460

\*\* 연세대학교 정보저장기기 연구센터

\*\*\* 연세대학교 기계공학부

우, 수직 방향의 순응성과 구동 방향의 강건성에 대한 특성을 동시에 요구받기 때문에 최적 설계가 필요하다. 이를 위해서 일반적으로 리브나 홀구조 혹은 형태나 재료적인 설계 기법이 이루어지고 있다.

이 논문에서는 부상 광학 헤드의 광학적 요구 조건을 만족시키는 설계된 서스펜션에 대한 분석이 두 가지 방향에서 이루어 질 것이다. 하나는 신뢰성에 대한 부분이고, 다른 하나는 외부의 충격에 대한 응답 분석이다.

신뢰성에 대한 분석은 각 설계 변수에 대한 민감도 및 제작시에 요구되는 공차 및 결과물에 대한 신뢰도를 보여주는 분석이다. 따라서, 이와 같은 분석은 필요 이상의 공차를 막아주는 한편, 결과물에 대한 통계학적 신뢰를 얻을 수 있을 것이다. 또한, 외란의 대한 충격 분석은 이 서스펜션이 휴대용 저장장치를 위한 것이기에 더한 강조된다. 최근의 경향에 따라 가장 집중이 되는 이러한 충격 외란에 대한 응답 특성은 시스템에 대한 강건성에 가장 큰 요소라 생각된다. 앞으로 이 논문에서는 신뢰성에 대한 분석과 외란에 대한 응답에 대한 해석이 이루어질 것이다.

## 2장 OFH를 위한 구동기 및 서스펜션의 구조

### 2.1 스윙암 타입 로터리 액츄에이터

본 논문에서 적용한 광디스크 드라이브 시스템의 구조는 그림 1과 같다. 광학 부품으로부터 발산된 레이저를 미러를 통하여 방향을 바꾸고, 슬라이더에 있는 렌즈를 통과하여 디스크의 정보를 읽게된다. 스윙암에는 광학 요소인 LD와 PD가 블록 형태로 탑재되어있으며, 끝단에는 미러가 있고, 서스펜션이 광학 헤드를 부착한 슬라이더를 지지하는 방식으로 구성되었다.

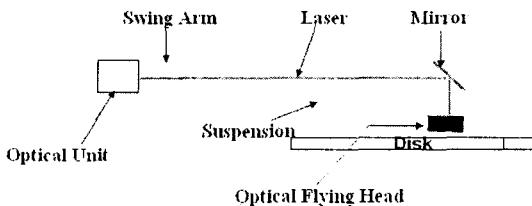


그림 1. 광디스크 드라이브 시스템의 구조

스윙암(swingarm)은 소형화를 위해 얇은 두께의 외팔보 형태를 가지고 있으며 따라서 두께면에서 슬림(slim)형으로 설계하는데 유리하므로 휴대용 정보저장기에 적용이 가능한 구조로 되어 있다. 또한 회전(rotary) 방식의 액츄에이터를 사용함으로써 기존의 광저장장치에서 사용되고 있는 선형(linear) 액츄에이터 시스템에 비하여 데이터 접근시간이 빨라지며 입의 데이터에 대한 접근 시간도 최소화 할 수

있는 장점을 가지고 있다. 이와 같은 공기 부상 헤드를 이용한 로터리 액츄에이터 구동 방법에서는 피벗 베어링에 의하여 회전운동이 전달되고, 스윙암의 하단에는 서스펜션/플렉서 구조가 부착되며 이것들은 광학 부상 슬라이더의 정확한 위치결정 시스템에 중요한 역할을 담당하게 된다. 그림 2는 스윙암 타입 구동기의 개략도를 보여주고 있다.

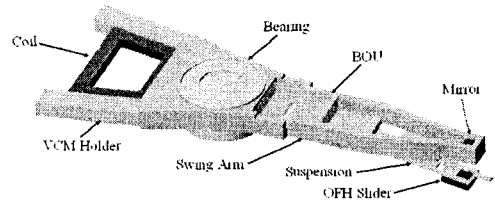


그림 2. 스윙암 타입 구동기의 개략도

스윙암 구조는 여러 가지 광학 부품들(LD/PD 블록, 광학 블럭, 반사 미러등)이 부착됨으로써 질량 및 관성모멘트가 증가하여 공진주파수가 낮아지는 구조적인 문제점을 가지게 된다. 이러한 스윙암의 진동문제는 광학 헤드의 정확한 트랙킹 제어를 방해할 뿐만 아니라 광학적 수차를 발생시킬 가능성을 가지고 있다. 따라서 스윙암의 횡방향 및 종방향 강성을 증가시키고 주요 공진 주파수를 증가시킴으로써 스윙암의 진동으로 인한 광학헤드와의 정렬오류를 감소하고 넓은 높은 서보 대역(high bandwidth)을 확보하는 최적 설계가 필요하다. 또한 소형화, 휴대화에 따라 드라이브 및 구동을 담당하는 VCM의 크기가 작아지므로 소비전력을 최소화 하면서도 구동력을 최대화하는 설계가 필요하게 된다. 따라서 1-inch 디스크를 대상으로 하는 스윙암 액츄에이터의 구조적인 고강성화와 구동력을 최대화하는 방향으로 설계하였다.

### 2.2 서스펜션

서스펜션 어셈블리는 광학 부상 헤드가 디스크 표면에서 일정한 부상 높이를 유지하고 원하는 트랙을 추종하는 역할을 한다. 광학 부상 헤드는 이 서스펜션 예압에 의한 작용력과 헤드 밑의 공기 유동 압력이 평형을 이루면서 부상높이를 유지한다. 서스펜션은 단순하고 신뢰성을 갖는 것 이외에도 수직방향과 피치, 롤 방향에 대해서 매우 유연해야 하며, 동시에 서보 제어계의 밴드폭을 최대화하기 위하여 디스크의 반경 방향, 접선 방향 및 헤드의 요(yaw) 방향으로는 매우 고강성을 유지해야 한다. 뿐만 아니라, 광학적인 수차 문제를 방지하기 위하여 기존의 하드디스크에서의 서스펜션의 특성에 추가적으로 1차 뒤틀림 모드에 대한 공진이 매우 중요하게 되므로, 이 공진 주파수를 최대한으로 높이는 작업이 필요하다. 그림 3은 서스펜션의 설계 변수를 보여주고 있다.

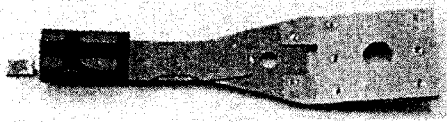


그림 3. 서스펜션의 구조

로드/언로드(Load/Unload)방식을 위하여 엔드-리프터(End-lifter)와 T-바 리미터(T-bar limiter)를 설계하였으면, 광학 경로를 위하여 앞부분에 사각 홈을 뚫었다. 기본적으로, 로드 빔(load beam), 플렉서(flexure), 힌지(hinge), 베이스 플레이트(base plate)의 4부분으로 구성하였다. 힌지 구조는 축방향 강건 설계를 해야하는 로드 빔과 별도로 수직 방향의 순응성을 주기 위하여 독립적으로 설계하였다. 그리고, 플렉서는 슬라이더에 축방향 강성을 주기 위하여 많은 설계 변수를 적용하였다.

### 3장 서스펜션의 신뢰성 분석

이 장에서는 설계된 서스펜션에 대한 설계 변수에 대한 영향도 및 공차를 고려하여 목적에 맞게 양질의 그리고 신뢰할 수 있는 결과 값을 얻기 위한 해석을 할 것이다. 이를 위해서 통계적 설계 시스템(Probabilistic Design System, PDS)을 이용하여 서스펜션을 분석하였다. 확률적 분석 방법은 기본적으로 입력 값에 대한 불확실성(혹은 산포, scatter)에 근거하여 출력 값에 대한 분포를 예측하는 것이다. 이러한 불확실성에 대한 예측은 필요 이상의 공차를 줄이며, 재료 관리 차원에서의 중요도, 혹은 환경 적인 영향에 대한 민감도를 판단하여, 가장 적절한 설계치를 구현하는 것이다. 이러한 분석을 통해서 제작비를 줄일 수 있으며, 제품에 대한 신뢰도를 수치적으로 얻을 수 있다.

일반적으로 입력 값의 불확실성으로는 재료의 물성, 설계된 형상 값, 그리고 경계조건들이 있다. 한편, 이로 인하여 영향을 받을 수 있는 결과에는 그 목적에 따라 변형, 응력 및 스트레인 분포, 피로에 의한 파괴 등이 있을 것이다. 우리는 이러한 신뢰성을 확보하기 위한 도구로써 엔시스(ANSYS)를 사용하여 결과를 확률적으로 살펴보았다.

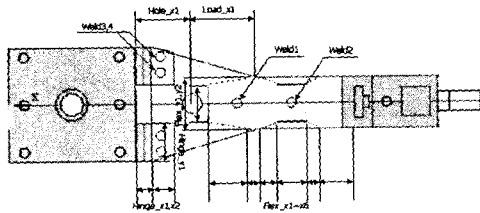
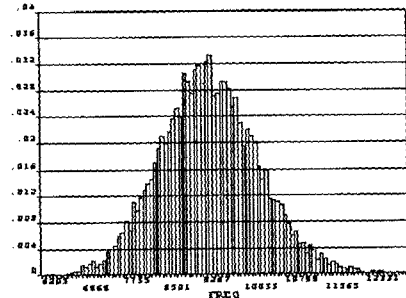


그림 4. 신뢰성 분석을 위한 변수

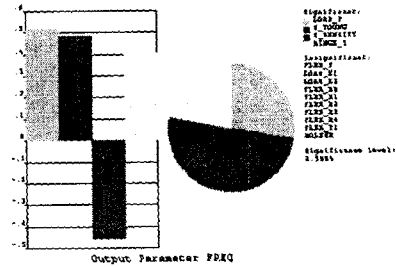
먼저, 입력 값에 대한 불확실성의 요소로써, 로드 빔과 플렉

서의 형상 변수 값과 재료의 물성치 및 치수에 대한 고려를 하였다. 그리고, 목적 결과 값으로는 최적 설계시에 목표가 되었던 주파수에 근거하여 목적 공진 주파수에 대한 영향을 확률적으로 분석하였다. 입력 값은 형상 변수에 대한 변화 폭은 공차  $20\mu\text{m}$ 을 기준으로 임의의 입력 값을 가지도록 설정하였으며, 재료의 물성치 및 치수에 관한 분포는 5%의 가우시안(gaussian) 분포를 가지는 것으로 설정하였다. 또한 통계적 방법으로는 몬테카를로 방법과 표면 반응법을 기반으로 설정하였다.

그림 5(a)는 입력값의 변화에 대한 1차 뒤틀림 모드의 결과 분포를 보여주고 있으며 그림 5(b)는 이 모드에 대한 각 변수의 민감도를 보여주고 있다.



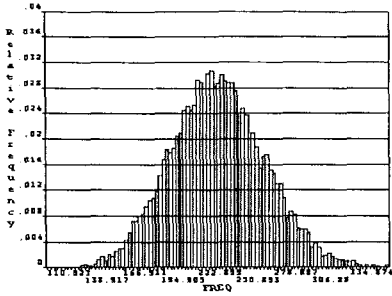
(a) 1차 뒤틀림 모드에 대한 히스토그램



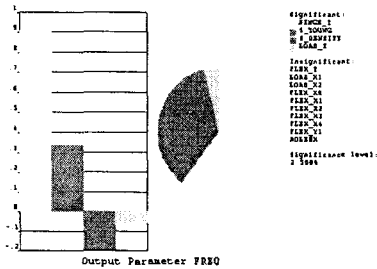
(b) 1차 뒤틀림 모드에 대한 민감도

그림 5. 1차 뒤틀림 모드에 대한 분포도

그림 5에서 보는 것처럼 입력값의 분포에 대한 1차 뒤틀림의 결과는 평균 9371 Hz이며, 표준편차는 926 Hz로 나타났다. 이는 1차 뒤틀림 모드에 대한 목표 값인 9450 Hz에 비하여 1%이내에서의 변화이다. 그리고, 그림 5(b)에서 보는 것처럼 대부분의 민감도는 로드 빔과 플렉서의 재료측면의 영향이 큰 것으로 나타났다. 그림 6은 수직 방향의 순응성에 영향을 줄 수 있는 캔틸레버 모드에 대한 영향 분석을 동일한 조건하에서 수행한 결과이다.



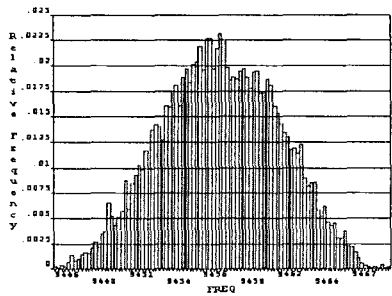
(a) 캔틸레버 모드에 대한 히스토그램



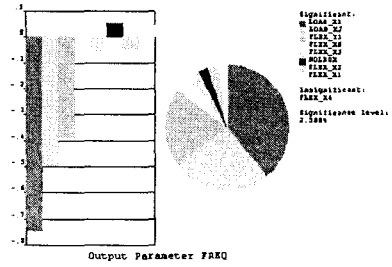
(b) 캔틸레버 모드에 대한 민감도  
그림 6. 캔틸레버 모드에 대한 분포도

그림 6에서 보는 것처럼 캔틸레버 모드에 대한 평균 237.3 Hz에 표준 편차 34.7 Hz의 변화를 보이고 있다. 이는 목표 값인 235 Hz에 비하여 1%정도의 변화를 보이고 있는 것으로 나타나 있다. 민감도 측면에서도 로드 빔과 플렉서의 물성치와 재료의 두께가 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 다른 목표주파수인 슬라이더 피치와 롤 모드, 그리고 스웨이 모드에서도 유사한 결과를 보이고 있다.

다음은 재료적인 측면은 정확한 수치로 가정한 후, 제작시 발생할 수 있는 형상에 대한 면만을 고려한 해석이다. 그림 7은 형상 변수에 대한 1차 뒤틀림 모드에 대한 신뢰성 분석의 결과를 보여주고 있다.



(a) 형상 변수에 대한 1차 뒤틀림의 히스토그램



(b) 형상 변수에 대한 1차 뒤틀림의 민감도  
그림 7. 형상 변수에 대한 1차 뒤틀림의 분포도

그림 7에서 보는 것처럼 1차 뒤틀림 모드에 대한 형상 변수에 대한 영향은 평균 9458 Hz에 표준편차 4.2 Hz로 거의 평균값에 준 하는 결과를 얻을 수 있었다. 상대적으로 재료적인 변화에 대해서 훨씬 더 민감한 결과를 나타냈으며, 1차 뒤틀림 모드의 경우, 로드 빔의 형상 변수가 더 영향을 미치는 것으로 나타났다.

이와 같은 형상 변수에 대한 공차 20  $\mu\text{m}$ 이 적절했으며, 재료적인 영향을 5%의 가우시안 분포에 대한 영향을 조사한 결과 약 1%정도의 평균값의 차이를 보이는 것으로 나타났다. 따라서, 이 정도의 공차와 재료관리가 된다면, 원하는 목적 값에 신뢰할 만한 결과 출력물을 얻을 수 있을 것이다. 이러한 분석에 대한 결과로써, 우리는 좀더 신뢰한 결과 값들의 데이터를 얻을 수 있었고, 향후 특별히 관리해야 하는 결과에 대한 영향도를 이러한 분석을 통해서 성능을 확보할 수 있을 것이라 생각된다.

#### 4장 서스펜션의 충격 응답 해석

일반적으로 하드디스크 드라이브에서 발생하는 충격의 현상은 헤드가 충격 하중을 받아 디스크 면으로부터 도약한 후 다시 디스크와 충돌(head slap) 되면서 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 연구도 나오고 있다 [5], [6]. 이와 같은 설계의 바탕이 될 수 있는 서스펜션에 대한 충격 응답에 대한 분석은, 최근 크게 관심을 갖게 되고 있는 휴대용 저장장치에 대한 응용에 있어서 큰 도움이 될 것이다.

헤드-서스펜션과 디스크의 관계에 있어서 기존의 구동 방식에서는 CSS(contact start stop) 타입과 로드/언로드 방식이 있다. 이번에 설계된 서스펜션은 로드/언로드 방식을 채택하였으나, 기존의 서스펜션과의 비교를 위해서 두 가지 경우를 모두 가정하여 해석하였다.

그림 8은 비구동시(unload)에서의 래치구조가 없다고 가

정하고 외란을 가하였을 때의 서스펜션 끝단의 변이의 변화를 보여주고 있다 [7],[8],[9],[10].

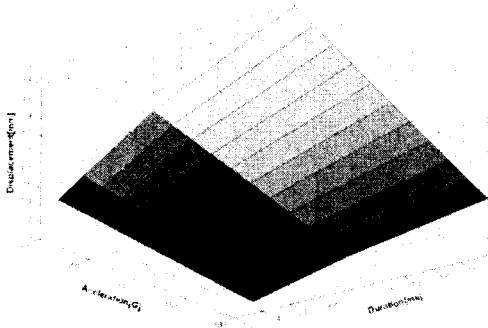


그림 8. 엔로당시의 서스펜션의 충격 응답

엔시스의 과도 해석(transient analysis)을 통하여 분석을 수행하였다. 외란의 형태로는 반정현(half-sine) 함수의 형태로 가했으며, 그 크기와 외란 적용 시간(duration)을 변화시켜가면서 변위를 확인하였다. 이 때의 정현파의 크기는 외란의 크기와 관련이 있으며, 외란 적용 시간은 중요 공진 주파수의 영역과 관련이 있다. 즉, 외란의 크기가 증가됨에 따라 외란이 주는 절대적인 영향이 달라지며, 외란 적용 시간이 짧아짐에 따라 외란에 영향을 받을 수 있는 공진 주파수 영역이 변화하면서 시스템에 심각한 영향을 줄 수 있다. 이러한 접근은 추후의 설계에 있어서 외란에 의한 공진 영역을 고려한 설계도 함께 병행되어야 할 것이다.

다음은 구동 상태에서의 서스펜션의 충격 해석 도구로는 FEM 해석 프로그램 엔시스를 이용하였다. 유한요소모델 시뮬레이션시 요소는 SOLID45 와 SHELL63 을 사용하였으며 12409개의 요소와 10368 개의 노드로 이루어졌다. 그림 9는 서스펜션 어셈블리와 디스크에 대한 유한요소모델을 보여주고 있다.

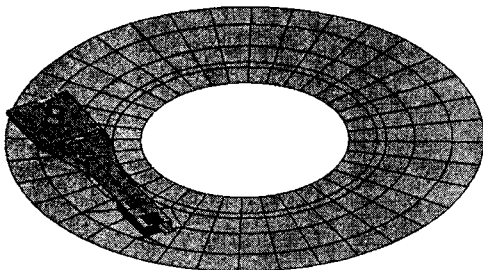


그림 9. 서스펜션 어셈블리와 디스크의 유한요소 모델

본 해석에서는 엔시스의 과도 해석과 구동 상태(load state)에서의 충격이 가해질 때 슬라이더와 디스크의 접촉을

고려하였다.

접촉은 엔시스의 '3차원 면 대 면(3-D surface to surface)' 접촉 알고리즘을 사용하였다. '면 대 면' 접촉의 경우에는 반드시 목표면과 접촉면을 설정하여야 했다. 일반적으로 한 면이 다른 면보다 유연한 경우 상대적으로 유연한 면을 접촉면으로 한다. 따라서 세라믹을 소재로 사용하는 슬라이더의 영률이 폴리 카보네이트(poly-carbonate)로 이루어진 디스크보다 약 100 배 이상 크므로 슬라이더 하단부는 목표면(target)으로, 디스크는 접촉면(contact)으로 모델을 하였다. 라그랑지 승수법을 이용하여 다른 물체를 침투할 수 없다는 접촉 적합성을 부여하기 위해 접촉 압력이라는 자유도를 추가하였다. 컨택 조건을 부과하면서 엔시스에서는 원래의 접촉면의 요소(element)를 각각 SOLID45 와 SHELL63 에서 자동으로 TARGET170 과 CONTACT174로 각각 변환이 된다. 본 연구 대상 모델의 작동상태에서의 부상 높이는 200 nm이며, 슬라이더를 디스크로부터 부상시키는 역할을 하는 공기 베어링(air bearing)은 슬라이더의 네 모서리에 각각 4개의 z 방향의 선형 스프링으로 간략화 하여 모델링 하였다. 공기 베어링은 정상상태 기준으로 총 20 kN/m로 가정하였으며, 슬라이더 부상 높이고 공기베어링의 강성은 반비례하므로 부상 높이가 낮은 앞단(leading edge)와 부상 높이가 높은 뒷단(trailing edge)의 공기베어링은 2.46 : 1의 강성비를 갖는 것으로 모델링 하였다. 그림 10.은 반정현파가 가해졌을 때의 슬라이더 디스크의 시간에 관한 변위의 변화 추이를 보여주고 있다.

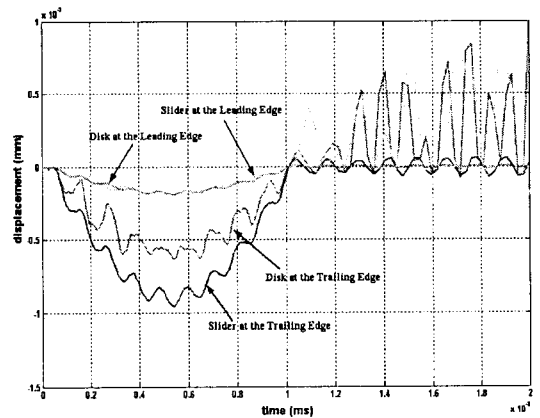


그림 10. 구동시 슬라이더와 디스크의 변위 변화

그림 10에서 보는 것처럼 작동상태에서 800G의 반정현파가 1ms 에 걸쳐 양의 방향으로 가해졌고, 1ms부터 2ms까지의 천이구간에서의 슬라이더와 디스크의 변위를 살펴보았다.

디스크와 슬라이더의 변위는 각각 슬라이더 앞단 보다 슬라이더 뒷단에서 디스크의 내주 보다는 외주에서 큰 값을

가지는 것으로 나타났다.

## 5. 결론

우리는 이 논문을 통하여 초소형 광자기 드라이브를 위한 서스펜션에 대한 소개와 분석을 해 보았다. 초소형 광자기 드라이브의 구동 방식으로는 로터리 타입의 스윙암 구동 방식을 이용하며, 광학 렌즈를 슬라이더에 탑재하여 디스크를 따라 구동하는 방식을 채택하였다. 또한 광학 부분들은 스윙암에 부착되어 광경로의 안정성을 확보하였다. 일반적으로 서스펜션은 수직 방향의 순응성과 피치, 롤 방향의 슬라이더의 자유도를 주면서 구동방향으로의 고강성을 요구하는 서로 상대적인 성질을 동시에 유지하여야 한다. 또한, 기존의 하드디스크 드라이브에서 사용되었던 서스펜션은 서보 대역을 확보하기 위하여 스웨이 모드가 가장 중요한 요소였으나, 광학용 서스펜션으로는 광학수차를 발생할 수 있는 1차 뒤틀림 모드가 추가적으로 큰 영향을 미친다. 따라서, 광학용 서스펜션은 기본적인 순응도를 유지하고, 적절한 스웨이 모드를 가지며, 1차 뒤틀림 모드의 공진 주파수를 높이는 방향으로 설계되었다. 이렇게 설계된 서스펜션은 제작시 발생할 수 있는 형상 오차나 재료적인 측면에서의 다변성을 고려한 신뢰성 분석이 진행되었다. 그 결과 공차는  $20\ \mu\text{m}$ , 그리고 재료의 물성과 두께는 5%정도의 가우시안 분포를 유지한다면, 적절한 확률적인 결과를 얻을 수 있었다. 또한, 휴대용 정보저장기기로의 응용에 있어서의 가장 큰 이슈인 외부의 충격에 대한 분석이 이루어졌다. 이를 위하여 헤드-서스펜션 어셈블리 및 디스크가 모델링 되었으며, 슬라이더 표면과 디스크는 스프링으로 공기 베어링을 대체하였다. 외부의 충격에 대해서는 반정현파를 일정시간 간격동안 가진하는 것으로 가정하였으며, 분석은 엔시스의 과도 응답과 접촉(contact)을 고려한 해석이 진행되었다. 그 결과 800G의 외란에서 슬라이더의 앞단과 뒷단이 각각  $0.63\ \mu\text{m}$  와  $1.9\ \mu\text{m}$ 의 변위를 갖는 것으로 나타났다. 이러한 해석 및 분석 과정은 차후에 외부의 충격에 강건한 서스펜션의 설계를 가능케 할 것이고, 제작시 신뢰할 수 있는 결과물을 얻을 수 있을 것이라 생각된다.

## 후 기

본 연구는 한국과학재단(R11-1997-042-11001-0)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) Mar다 K., Carlson P., and Resh R., 1995, "Why head suspensions need shock treatment" Data Storage, July/August, vol. 2, p. 51-56
- (6) Ishimura N., 1993, "Experimental studies of head-disk interface on shock-proof performance", JSME Trans., No. 930-61, pp. 13-16
- (7) 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
- (8) Jose L.Aristegui and Thomas L.Geers, "Shock Analysis of a Disk-drive Assembly", Journal of Information Storage and Processing Systems Vol.2 pp25-31
- (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
- (10) Suresh Kumar, Vijay D. Khanna and M. Sri-Jayantha, 1994, "A study of the head disk interface shock failure mechanism", IEEE transactions of magnetics, Vol.30, No6, November