

# 근접장 광기록용 서스펜션의 최적설계 Optimal Design of a Near-field Optical Recording Suspension

조 태 민\* · 임 경 화\*\*

Tae-Min Cho, Kyung-Hwa Rim

**Key Words** : Optical Disk Drive(광디스크 드라이브), NFR(근접장 기록), Suspension(서스펜션), Optimal Design(최적설계), Finite Element Method(유한요소법)

## ABSTRACT

So far the study of near-field optical recording(NFR) suspensions has not been investigated sufficiently. In this study the optimization of a NFR suspension is performed using finite element method. NFR suspensions are required to have low compliance modes to allow the slider to comply with the rotating disk, and high tracking stiffness modes to maximize the servo bandwidth of the tracking controller. First of all, a basic integrated type suspension model is obtained using topology optimization. And the parametric study on the sensitivities of the compliance modes and tracking stiffness modes is performed. Finally, a model satisfying static characteristics is selected and shape optimization is performed to improve dynamic characteristics.

### 1. 서 론

최근 멀티미디어의 발달로 인하여 대용량 정보저장기기가 요구되고 있다. 따라서 하드 디스크 드라이브(HDD, Hard Disk Drive)와 광디스크 드라이브(ODD, Optical Disk Drive)등 다양한 보조 기억장치들의 고밀도화에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 초고밀도 광디스크 시스템에 대한 기술개발도 다양하게 연구되고 있다.<sup>(1-3)</sup> 그동안 HDD의 기록 밀도를 증가시키기 위하여 서스펜션(suspension)의 개선에 관한 많은 연구가 수행되었다. Miu 등은 선형(linear) 액추에이터(actuator)에서 사용되던 HDD용 서스펜션을 회전형(rotary) 액추에이터에 적용하여 유한요소법과 실험을 통하여 비교하였으며,<sup>(4,5)</sup> Bogy 등은 공기베어링 강성을 적용하여 HDD용 서스펜션을 유한요소법으로 모델링하여 분석하였다.<sup>(6,7)</sup> Jeans와 김정주 등은 HDD용 서스펜션 유한요소 모델의 동특성을 실험적으로 검증하고, 주요 설계치수를 변경하여 민감도 분석을 수행하였다.<sup>(8,9)</sup> HDD의 경우 디스크에 저장되는 정보의 기록 밀도는 디스크 반경방향의 트랙밀도(TPI, Track Per Inch)와

디스크 회전방향의 선형밀도(BPI, Bit Per Inch)로 구분된다. 특히 트랙밀도는 슬라이더(slider)의 트랙방향 위치 제어에 관련된 문제로 높은 트랙밀도와 빠른 탐색시간(seek time)을 구현하기 위하여 슬라이더의 부상에 지장을 주지 않는 범위 내에서 안정된 서보 대역 폭(servo bandwidth)을 확보해 주어야 한다.

이러한 HDD 슬라이더 개발기술을 기존의 광디스크 드라이브에 접목시킨 근접장 광기록방법(NFR, near-field optical recording method)도 많은 관심을 끌고 있다. 근접장 광기록 방법은 기존 광디스크 드라이브의 원거리 광기록방법(far-field optical recording method)과 HDD의 밀착 기록방법(proximity recording method)이 조합된 형태로 광픽업(optical pick-up)을 약 100 nm 내의 정도로 광디스크에 인접하게 위치시켜 초고밀도로 기록 및 재생시키는 방법이다. 따라서 기록 밀도를 증가시킬 수 있으며, HDD에 비하여 높은 부상 높이를 유지하므로 디스크와 슬라이더간의 초미세 간격으로 야기되는 문제들을 해결할 수 있다. 그동안 근접장 광기록에 관하여 여러 연구들이 이루어졌다. 안채현 등은 NFR용 서스펜션의 구조를 제안하였으며, 슬라이더의 모달 매개변수(modal parameter)를 추출하여 동특성을 분석하였다.<sup>(10)</sup> 오형렬 등은 NFR 시스템 헤드의 조립 정밀도를 분석하였으며,<sup>(11)</sup> 김기현 등은 NFR용 트랙킹 구동기의 설계 및 실험을 수행하였다.<sup>(11)</sup> 그러나 HDD용 서스펜션이 꾸준히 연구되어 많은 개선이 이루어진 반

\* 한국기술교육대학교 대학원  
E-mail : chotaemin@orgio.net  
Tel : (041)530-1147, Fax : (041)530-1253

\*\* 한국기술교육대학교 제어시스템공학과

면에, NFR용 서스펜션에 관한 연구는 충분치 않은 실정이다. 따라서 본 논문에서는 NFR용 서스펜션의 최적설계(optimal design) 기법을 확립하고자 하였다. 먼저 위상최적화(topology optimization)를 통하여 기본적인 NFR용 서스펜션의 형상을 고안하였다. 그리고 주요 설계변수의 변화에 관한 동특성(dynamic characteristics) 변수 해석을 수행하였다. 동특성 변수 해석 결과를 바탕으로 NFR용 서스펜션의 정특성(static characteristics)을 만족시키는 형상을 선정하였으며, 동특성을 개선하기 위하여 형상최적화(shape optimization)를 수행하였다.

## 2. 위상최적화

### 2.1 위상최적화

위상최적화는 기초형상의 일부분만을 이용하여 주어진 경계조건하에서 원하는 목적함수(objective function)를 최대화하는 것을 말한다. 이것은 제품의 개념 설계단계에서 초기형상을 얻기 위하여 유용하게 사용된다. Pan 등은 평판모델의 1차 비틀림 모드와 스웨이(sway) 모드의 최대화를 목적함수로 위상최적화를 수행하였으며,<sup>(13)</sup> Lau 등은 HDD용 서스펜션에 슬라이더의 질량을 포함하여 1차 비틀림 모드와 스웨이 모드를 최대화시키는 위상최적화를 수행하였다.<sup>(14)</sup> Fig. 1의 (a)는 NFR용 서스펜션의 위상최적화를 위한 기본 모델이다.

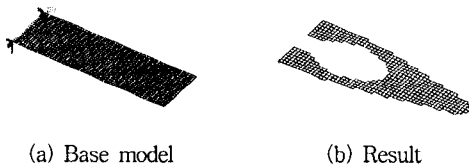


Fig. 1 Topology optimization

위상최적화를 위한 기본모델의 경우 1차 모드로 외팔보(cantilever) 모드가 나타나며, 1차 굽힘 모드가 두 번째 모드로 검출된다. NFR용 서스펜션은 낮은 순응도(compliance) 모드와 높은 트래킹 강성 모드(tracking stiffness mode)가 요구되는데, 위상최적화를 위해 사용한 상용프로그램인 MSC/Optishape의 경우 목적함수로 고유진동수의 최대화만 가능하므로, 1차 굽힘 모드와 스웨이 모드의 최대화를 목적함수로 선정하였다. Fig. 1의 (b)는 기본 체적의 50%만을 이용하여 위상최적화를 수행한 결과로 일반적인 서스펜션의 기본형상과 유사함을 확인할 수 있다.

### 2.2 NFR용 서스펜션의 기본형상

NFR용 서스펜션은 기존의 HDD용 서스펜션에 비해 슬라이더 중심부에 렌즈가 위치해야 하며 슬라이더의 질량이 증가되는 단점이 있다. 그리고 고정 광학계에서 렌즈에 레이저를 전달하는 초정밀 구동기(micro actuator)가 렌즈의 수직

방향 상부에 위치해야 한다. 이러한 제한 사항을 극복하기 위하여 Fig. 2와 같은 이중 서스펜션(dual suspension) 형태를 이용하여, 광경로를 제어하는 초정밀 구동기를 슬라이더의 부상과 직접 연관이 적은 보조 서스펜션(sub-suspension)에 부착함으로써 질량 증가로 인한 고유진동수의 감소를 회피하였다.

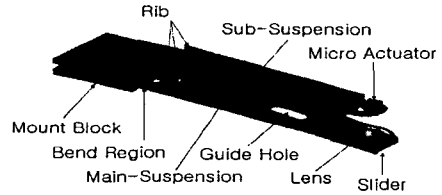


Fig. 2 Dual suspension model for NFR

또한 양산의 효율성 및 경제성을 고려하여 주 서스펜션(main-suspension)은 플렉서(flexure)의 역할을 겸하는 일체형 서스펜션(integrated type suspension)을 적용하여 HDD용 슬라이더에 비하여 상대적으로 무거운 NFR용 슬라이더를 장착하게 하였다. 현재 HDD용 서스펜션의 경우 데이터의 전송속도 증가, 조립오차 감소 및 경제성의 측면을 고려하여 신호선이 서스펜션에 패턴(pattern)으로 설치되고, 플렉서가 없는 일체형 서스펜션을 채용하는 것이 보편화되어 있으며 이에 대한 다양한 연구가 수행되고 있다.<sup>(15,16)</sup> 보조 서스펜션은 주 서스펜션에 비하여 두껍고 상대적으로 강성이 크다고 가정하면 NFR용 서스펜션의 정적 및 동적 특성은 주 서스펜션만 모델링하여 해석해도 큰 무리가 없다. Fig. 3은 주 서스펜션의 유한요소모델로서 일반적인 HDD용 서스펜션과 유사한 형태이다. 서스펜션의 길이는 마운트 블록(mount block)을 포함하여 27.7 mm이며 폭은 7 mm 두께는 0.08 mm이며 재질은 스테인리스강(stainless steel)을 이용하였다. 마운트 블록은 왼쪽 끝단이 완전 고정되었으며 재질은 서스펜션과 같다.

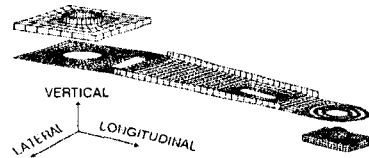


Fig. 3 Finite element model for NFR suspension

주 서스펜션은 마운트 블록 위에 장착되는데 일치하는 절점(node)을 병합(merge)시켜 이를 표현하였다. 주 서스펜션의 양쪽 측면에는 리브(rib)가 부착되는데, 리브의 영향으로 굽힘 모드의 고유진동수는 증가되지만 순응도 모드는 떨어지게 된다. 이를 보완하기 위하여 리브가 부착되지 않은 굽힘영역(bend region)을 설치하였다. 굽힘영역의 폭은 1.5 mm로 선정하였으며, 리브는 굽힘영역의 끝에서 시작하여

높이 0.5 mm, 길이 13.6 mm로 설치되어있다. 그리고 굽힘 영역에는 슬라이더의 수직(vertical)방향 강성을 감소시키기 위하여 홈(groove)이 가공되어 있다. 이 홈은 서스펜션의 길이(longitudinal)방향으로 0.5 mm, 측면(lateral)방향으로 3.5 mm 크기이다. 한편 슬라이더가 적절히 부상하기 위하여 서스펜션이 슬라이더에 지지하는 힘을 예비하중(pre-load)라고 한다. 예비하중의 크기는 5 gf로 가정하였으며 이를 부여하기 위하여 주 서스펜션에 5°의 굽힘각도(bend angle)를 부여하였다.

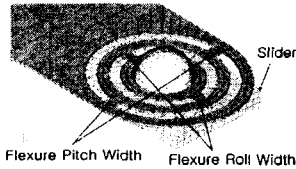


Fig. 4 Shape of NFR Suspension flexure

Fig. 4는 NFR용 서스펜션의 플렉서 부분을 확대한 것이다. 플렉서 부분에서 원형의 구멍은 반구형 렌즈가 있는 슬라이더를 부착하기 위해서 고안되었으며, 홈 주위로 열심자 형태로 배치된 띠 모양의 홈은 슬라이더의 피치(pitch) 방향과 롤(roll) 방향의 자유도를 부여하기 위함이다. 플렉서 부분의 원형의 구멍 주위의 절점들과 슬라이더 반구형 렌즈 주위의 절점들은 서로 병합하여 플렉서와 슬라이더를 조립하였다. 슬라이더는 반경 0.8 mm의 반구형 렌즈가 가로, 세로, 높이가 4×3×0.54 mm 크기인 직육면체 위에 부착된 형태로 재질은 세라믹(ceramic)을 이용하였으며, 슬라이더 전체 질량은 30 mg으로 하였다.

### 3. 동특성 변수 해석과 예비하중에 의한 응력해석

#### 3.1 기본모델의 동특성 해석

동특성 변수 해석을 수행하기 전에 기본모델의 자유상태(free state) 주파수 응답함수(FRF, Frequency Response Function)를 구하여 동특성을 살펴보았다. Fig. 5의 주파수 응답함수는 슬라이더 반구형 렌즈의 밑면 중심에 트랙방향으로 가진하여 슬라이드의 끝단 중심의 트랙방향 변위를 구한 것이다. 1150 Hz 근처의 모드는 슬라이더 롤 모드로서

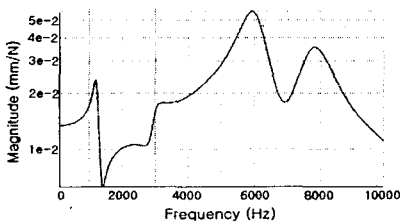


Fig. 5 FRF of base model in free state (track)/(track)

작동상태(working state)에서 사라지는 순응도 모드이다. 트랙방향으로 큰 오차를 일으키는 스웨이 모드는 6000 Hz 근처에 위치하였으며, 7800 Hz 근처의 2차 비틀림 모드도 트랙방향으로 많은 오차를 유발시키는 것을 알 수 있다.

#### 3.2 동특성 변수 해석

일반적으로 서스펜션의 동특성은 기하학적 형상에 많은 영향을 받는다. NFR용 서스펜션의 경우, 플렉서의 폭, 굽힘영역의 폭과 홈의 크기, 리브의 높이와 설치 구간 그리고 서스펜션 안내 홈의 존재 여부가 주요 설계변수가 된다. 따라서 주요 설계 변수의 변화에 대하여 순응도 모드와 트랙킹 강성모드의 변화량에 대한 민감도 해석을 MSC/NASTRAN을 이용하여 수행하였다. 외팔보 모드, 슬라이더 피치 모드, 슬라이더 롤 모드는 순응도 모드로서 슬라이더가 회전하는 디스크의 공기베어링에 원활히 순응하기 위하여 가능한 낮을수록 유리하다. 반면에 스웨이 모드와 2차 비틀림 모드 등 트랙킹 강성 모드는 슬라이더의 트랙방향 이동시 큰 오차를 유발시키므로 가능한 높을수록 좋다. Fig. 6~8은 주요 설계 변수의 변화에 대한 순응도 모드와 트랙킹 강성모드의 변화량을 나타낸 것이다.

플렉서의 피치 방향과 롤 방향의 최소 폭은 에칭(etching)에 의한 가공성 등을 고려하여 0.3 mm로 선정하였다. 플렉서 폭의 영향을 알아보기 위하여 피치 방향과 롤 방향의 치수를 동시에 0.3~0.5 mm로 변경시키면서 해석을 수행하였다. Fig. 6에서 플렉서의 폭이 증가할수록 외팔보 모드를 제외한 모든 모드들이 증가함을 알 수 있다. 트랙킹 강성모드의 증가는 좋은 동특성을 보장하지만 순응도 모드도 같이 높아지므로 동특성 전체를 만족시키는 적절한 값의 조절이 최적화 과정에서 필요할 것으로 보인다.

굽힘영역의 폭에 대한 영향을 알아보기 위하여 치수를 1~2 mm로 변경시키면서 해석을 수행하였다. 해석결과 외팔보 모드에 대한 영향이 매우 큰 것을 알 수 있었다. 순응도 모드 입장에서는 굽힘영역이 넓을수록 좋으나 트랙킹 강성모드가 감소하므로 적절한 조정이 필요하다. 한편 슬라이더 피치 모드와 슬라이더 롤 모드는 변화가 거의 없었다.

굽힘영역에 설치되어 있는 홈의 크기의 영향을 살펴보기 위하여 치수를 길이방향으로 0.5 mm로 고정한 다음, 측면 방향으로 0~5 mm로 변경시키면서 동특성이 미치는 영향을 해석하였다. Fig. 7에서 보는바와 같이 외팔보 모드에 대한 영향이 매우 큰 것을 알 수 있으며 나머지 모드들의 변화율은 매우 적었다. 굽힘영역에서 홈이 커질수록 트랙킹 강성모드의 큰 감소 없이 외팔보 모드의 개선에 도움이 되지만 예비하중에 의하여 굽힘영역에서 응력집중이 예상된다. 따라서 굽힘영역에서의 홈의 크기는 예비하중에 의한 응력해석과 같이 고려되어 결정되어야 한다.

리브의 영향을 살펴보기 위하여 리브의 높이를 0.5~0.8 mm로 변경시키면서 해석을 수행하였다. 리브의 높이는 보

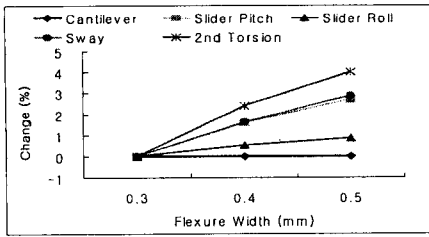


Fig. 6 Changes in natural frequencies as variation of flexure width

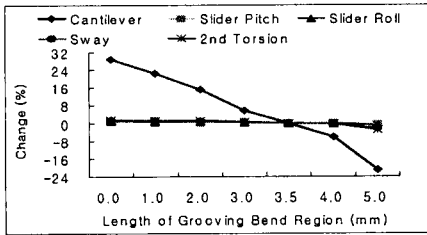


Fig. 7 Changes in natural frequencies as variation of grooving bend region

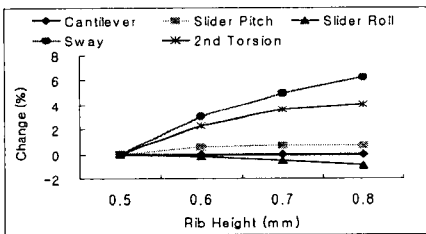


Fig. 8 Changes in natural frequencies as variation of rib height

조 서스펜션과의 간섭 등을 고려하여 최대 0.8 mm로 제한하였다. Fig. 8에서 리브의 높이가 증가할수록 트래킹 강성 모드는 증가하며, 슬라이더 롤 모드는 감소하므로 리브 높이의 증가가 NFR용 서스펜션의 동특성에 좋은 효과를 나타낼 수 있다. 그리고 외팔보 모드는 거의 변화가 없으며, 슬라이더 피치 모드는 약간 증가한다. 한편, 리브가 설치된 구간의 영향을 살펴보기 위하여 리브의 설치 구간의 길이를 12.1~16.8 mm로 변경시키면서 해석을 수행하였다. 해석결과 리브의 설치 구간이 증가할수록 슬라이더 피치 모드는 크게 증가하며 스웨이 모드와 2차 비틀림 모드는 약간 감소한다. 리브의 구간이 감소할수록 슬라이더 피치 모드가 크게 감소하지만 서스펜션의 1차 굽힘 모드와 연성이 되므로 과도하게 리브 구간을 제거해서는 안 되는 것으로 나타났다.

보통 HDD용 서스펜션 경우, 중앙부에 작은 크기의 안내 홈이 가공되어 있다. 이것은 조립의 효율성 등 여러 측면을 고려한 결과이다. 따라서 NFR용 서스펜션에서 안내 홈의 영향을 살펴보기 위하여 홈이 있을 때와 없을 때에 대하여

해석을 수행하였다. 해석결과 서스펜션 안내 홈이 없을 경우 슬라이더 피치 모드와 스웨이 모드는 개선이 되지만 슬라이더 롤 모드의 특성이 많이 나빠져서 전체적으로 큰 이득을 얻지 못함을 확인하였다. 따라서 동특성과 조립의 효율성 등을 감안할 때 안내 홈이 있는 것이 유리한 것을 알 수 있다.

### 3.3 예비하중에 의한 응력해석

예비하중에 의하여 NFR용 서스펜션이 받는 응력을 확인하였다. 예비하중의 크기는 슬라이더의 크기와 형상 등에 따라 달라지는데 본 논문에서는 5 gf를 기준으로 하였다. 현재 해석중인 NFR용 서스펜션의 굽힘영역은 초기에 5° 굽혀져 있는데 이것은 예비하중을 받는 과정에서 퍼지게 된다. 예비하중에 의한 응력의 분포는 주로 굽힘영역의 형상에 의해서 결정된다. 따라서 굽힘영역에서, 홈의 치수를 길이방향으로 0.5 mm로 고정된 다음, 측면방향으로 0~5 mm로 변경시키면서 예비하중에 의하여 서스펜션이 받는 응력을 해석하였다.

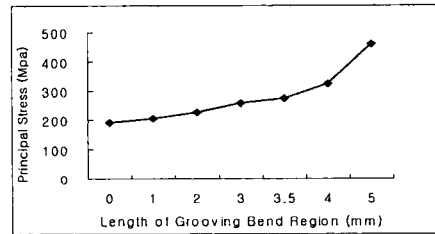


Fig. 9 Changes in principal stress as variation of grooving bend region

Fig. 9는 굽힘영역에서 홈의 폭이 변할 때 예비하중에 의한 서스펜션의 최대 주응력을 나타낸 것이다. 서스펜션에 사용되는 스테인리스강은 재료의 기계적 성질 개선을 위하여 냉간압연 되어,<sup>(17)</sup> 항복응력이 높아지므로 현재의 응력수준은 HDD용 서스펜션의 경우와 비교할 때,<sup>(18)</sup> 적절하다고 판단된다.

### 4. 형상최적화

형상최적화는 구조물의 형상을 설계변수로 하여 주어진 목적함수를 최대화시키는 것을 말한다. HDD용 서스펜션의 경우 스웨이 모드의 증가를 목적함수로 형상최적화가 수행된 사례가 있다.<sup>(19)</sup> NFR용 서스펜션은 슬라이더가 주어진 예비하중에 의하여 적절히 부상하여야 하는 정특성과 낮은 순응도 모드와 높은 트래킹 강성 모드를 가져야 하는 동특성을 가져야 한다. 특히 정특성은 기하학적 비선형 해석을 수반하므로, 요구되는 서스펜션의 정특성과 동특성을 한꺼번에 만족시키기 어렵다. 따라서 정특성을 만족시키는 형상을 먼저 결정된 다음, 동특성을 개선시키는 형상최적화를 수행하였다. NFR용 서스펜션의 정특성은 주로 굽힘영역의 형상

에 영향을 받으므로 앞에서 수행된 동특성 변수해석과 예비 하중에 의한 응력해석 결과를 참조하였다. 정특성을 만족시키는 서스펜션의 형상은 기본형상에서 플렉서의 롤 폭을 0.4 mm로 조정하였으며, 리브의 설치구간을 1 mm 감소시킨 모델로 결정하였다.

#### 4.1 동특성을 향상시키는 형상최적화

정특성을 만족시키는 과정에서 굽힘영역의 형상이 결정되었으므로 나머지 설계변수의 변화에 대하여 외팔보 모드는 거의 변하지 않는다. 따라서 식 (1)과 같이 슬라이더 피치 모드, 롤 모드의 최소화와 트랙방향으로 큰 오차를 발생시키는 스웨이 모드와 2차 비틀림 모드의 최대화를 목적함수로 선정하였다.

$$\begin{aligned} \text{Maximize} [ & a_1 \left( \frac{f_1^0 - f_1^i}{f_1^0} \right) + a_2 \left( \frac{f_2^0 - f_2^i}{f_2^0} \right) \\ & + a_3 \left( \frac{f_3^i - f_3^0}{f_3^0} \right) + a_4 \left( \frac{f_4^i - f_4^0}{f_4^0} \right) ] \end{aligned} \quad (1)$$

여기서  $f_1^0, f_2^0, f_3^0, f_4^0$ 는 각각 슬라이더 피치 모드, 롤 모드, 스웨이 모드 및 2차 비틀림 모드의 형상최적화 기본 모델의 고유진동수이며,  $f_1^i, f_2^i, f_3^i, f_4^i$ 는 형상최적화 수행후의 고유진동수이다. 그리고  $a_1, a_2, a_3, a_4$ 는 각각의 모드에 대한 가중치이다. 형상최적화 과정에서 변경할 설계변수는 플렉서의 피치 방향 폭, 롤 방향 폭 및 리브의 높이로 결정하였으며, 굽힘영역 형상은 정특성의 유지 측면에서 변경이 불가능하므로 설계변수에서 제외하였다. 한편 형상최적화 수행시 유지되어야 할 구속조건은 Table 1과 같이 설계변수의 변화 폭을 제한하였으며, 스웨이 모드와 2차 비틀림 모드의 고유진동수 하한값을 지정하였다.

Table 1 Design constraints for optimization

| Description                       | Low limit | Upper limit |
|-----------------------------------|-----------|-------------|
| Flexure pitch width (mm)          | 0.3       | 0.5         |
| Flexure roll width (mm)           | 0.4       | 0.5         |
| Rib height (mm)                   | 0.5       | 0.8         |
| Sway mode (Hz)                    | 6300      | -           |
| 2 <sup>nd</sup> Torsion mode (Hz) | 7800      | -           |

형상최적화 해석은 가중치를 동일하게 적용했을 때와 트랙킹 강성 모드에 10배의 큰 가중치를 부여했을 때에 대하여 각각 수행하였다. 해석조건은 설계변수의 최소변화량을 0.00125 mm로 하였으며, 절대수렴조건 0.001, 상대수렴조건 0.001를 지정하였으며, 최대 50회까지 반복계산을 수행하도록 하여 MSC/NASTRAN을 이용하여 해석하였다. Table 2는 가중치에 따른 형상최적화 결과를 나타낸 것이다. 트랙킹 강성 모드의 가중치를 크게 부여했을 때가 동일한 가중치를 부여했을 때보다 트랙킹 강성 모드의 증가율이 큰 것을 확인할 수 있다.

Table 2 Optimization results of a NFR suspension

| Description                       | Base model | Optimization                       |                                     |
|-----------------------------------|------------|------------------------------------|-------------------------------------|
|                                   |            | $a_1 = a_2 = 1$<br>$a_3 = a_4 = 1$ | $a_1 = a_2 = 1$<br>$a_3 = a_4 = 10$ |
| Slider pitch mode (Hz)            | 1008.8     | 1011.0                             | 1029.6                              |
| Slider roll mode (Hz)             | 1166.1     | 1159.3                             | 1160.2                              |
| Sway mode (Hz)                    | 6146.3     | 6532.3                             | 6582.4                              |
| 2 <sup>nd</sup> Torsion mode (Hz) | 7897.4     | 8306.0                             | 8365.1                              |
| Flexure pitch width (mm)          | 0.3        | 0.3                                | 0.5                                 |
| Flexure roll width (mm)           | 0.4        | 0.5                                | 0.5                                 |
| Rib height (mm)                   | 0.5        | 0.8                                | 0.8                                 |

Fig. 10은 동일한 가중치를 주었을 때, 형상최적화가 수행되는 과정에서의 목적함수의 변화량을 나타낸 것으로 목적함수는 11.8 %가 개선되었다.

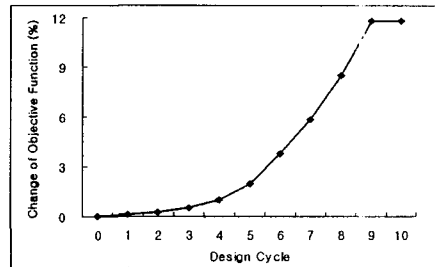


Fig. 10 Changes in objective function as variation of design cycle with same weight factor

형상최적화 결과를 바탕으로 플렉서의 피치 폭은 0.3 mm, 롤 폭은 0.5 mm, 리브의 높이는 0.8 mm로 결정하였다. 최적화된 모델의 자유상태와 작동상태의 모드해석 결과를 Table 3과 같이 Hutchinson사의 서스펜션 850 LSF (Laterally Stiff Flexure) 모델과 비교하였다. 비교 결과 순용도 모드는 모두 좋은 동특성을 가짐을 확인하였고, 트랙킹 강성모드도 적절한 성능을 가짐을 알 수 있다.

Table 3 Modal analysis of optimized model

| Mode shape              | Free state (Hz) |                | Working state (Hz) |                |
|-------------------------|-----------------|----------------|--------------------|----------------|
|                         | NFR             | Hutchinson 850 | NFR                | Hutchinson 850 |
| Cantilever              | 145.9           | 172.8          | -                  | -              |
| Slider pitch            | 1011.0          | 1011.8         | -                  | -              |
| Slider roll             | 1159.3          | 1321.1         | -                  | -              |
| 1 <sup>st</sup> Bending | 1862.4          | 2498.7         | 1271.5             | 2078.0         |
| 1 <sup>st</sup> Torsion | 2971.5          | 2379.7         | 2048.6             | 2364.4         |
| 2 <sup>nd</sup> Bending | 4969.0          | 7069.1         | 4922.5             | 6339.4         |
| Sway                    | 6532.3          | 7320.6         | 6946.6             | 6862.4         |
| 2 <sup>nd</sup> Torsion | 8306.0          | 7826.8         | 7369.7             | 7500.8         |

## 5. 결론

충분한 연구가 이루어지지 않은 NFR용 서스펜션에 대한 최적설계 기법을 확립하고자 하였다. 먼저 위상최적화를 수행하여 기본적인 NFR용 서스펜션의 형상을 결정하였다. 그리고 주요 설계변수의 변화에 대한 동특성 변수해석을 수행하였다. 동특성 변수해석 결과를 바탕으로 NFR용 서스펜션의 정특성을 만족시키는 모델을 선정하여 동특성을 개선하는 형상최적화를 수행하였다. 최적화된 모델은 기존의 HDD용 서스펜션의 동특성과 비교하여 만족할 만한 성능을 가짐을 확인하였다.

## 후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호: R01-1999-000-00260-0) 지원으로 이루어졌으며, 재단의 지원에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- (1) 김현기, 장 혁, 김광선, 임경화, 2000, "광디스크 드라이브 공기베어링 슬라이더의 형상 민감도 해석," Journal of the Microelectronics & Packaging Society, Vol. 7, No. 4, pp. 37~42.
- (2) 임경화, 2000, "헤드간섭으로 인한 회전디스크의 안정성 분석," 한국소음진동공학회논문집, 제 10 권, 제 5 호, pp. 865~872.
- (3) 송대선, 이문도, 전홍걸, 박노철, 박영필, 2001, "광 정보저장장치의 기술동향," 한국정밀공학회지, 제 18 권, 제 4 호, pp. 25~36.
- (4) Miu, D. K., Frees, G. M. and Gompertz, R. S., 1990, "Tracking Dynamics of Read/Write Head Suspensions in High-Performance Small Form Factor Rigid Disk Drives," ASME Journal of Vibration and Acoustics, Vol. 112, pp. 33~39.
- (5) Chiou, S. S. and Miu, D. K., 1992, "Tracking Dynamics of In-line Suspensions in High-Performance Rigid Disk Drivers with Rotary Actuators," ASME Journal of Vibration and Acoustics, Vol. 114, pp. 67~73.
- (6) Ruiz, O. J. and Bogy, D. B., 1990, "A Numerical Simulation of the Head-Disk Assembly in Magnetic Hard Disk Files: Part I-Component Models," Transactions of the ASME, Vol. 112, pp. 593~602.
- (7) Ruiz, O. J. and Bogy, D. B., 1990, "A Numerical Simulation of the Head-Disk Assembly in Magnetic Hard Disk Files: Part II-Solution of the Coupled System," Transactions of the ASME, Vol. 112, pp. 603~613.
- (8) Jeans, A. H., 1992, "Analysis of the Dynamics of a Type 4 Suspension," Transactions of the ASME, Vol. 114, pp. 74~78.
- (9) 김정주, 전정일, 변용규, 노광춘, 정정주, 정태건, 1997, "고트랙밀도 HDD 서스펜션의 동특성 해석," 대한기계학회 논문집(A), 제 21 권, 제 11 호, pp. 1885~1895.
- (10) 안채현, 임경화, 2003, "근접장 광기록용 슬라이더의 동특성 분석," 한국소음진동공학회논문집, 제 13 권, 제 3 호, pp. 164~171.
- (11) 오형렬, 권대갑, 이준희, 윤형길, 김진용, 김수경, 김영식, 2001, "NFR 시스템 헤드의 광 부품 조립 정밀도 분석," 한국소음진동공학회 2001년도 춘계학술대회논문집, pp. 718~721.
- (12) 김기현, 이문구, 권대갑, 2001, "근접장 기록 장치를 위한 트래킹 구동기의 설계 및 실험," 한국정밀공학회지 제 18 권, 제 8 호, pp. 174~181.
- (13) Pan, L., Lau, G. K., Du, H. and Ling, S. -F., 2002, "On optimal design of HDD suspension using topology optimization," Microsystem Technologies Vol 9, No 1/2, pp. 137~146.
- (14) Lau, G. K. and Du, H., 2002, "Improved Mechanical Designs for HDD," IEEE Magnetic Recording Conference, Digest of the Asia-Pacific, pp. TU\_P\_21\_01~02.
- (15) Ohwe, T., Mizoshita, Y. and Yoneoka, S., 1993, "Development of Integrated Suspension System for a Nanoslider with a MR Head transducer," IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, Vol. 29, No. 6, pp. 3924~3926.
- (16) Jen, C. W., Frank, E., Ohwe, T. and Gordon, A., 1996, "On Suspension Dynamics for Pico-Sliders," IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, Vol. 33, No. 5, pp. 3172~3174.
- (17) Singh, G. P., Brown, B. R., Werlich, H. and Kozlovsky, W., 2000, "Laser Processing to Adjust the Suspension Preload of Magnetic Recording Head Stack Assemblies," IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, Vol. 36, No. 5, pp. 2724~2726.
- (18) Yang, Y. P. and Kuo, C. C., 1997, "Passive and active design of hard disk suspension assemblies using multiobjective optimization techniques," Computer methods in applied mechanics and engineering Vol. 145, No 1/2, pp. 147~166.
- (19) Watanabe, T., Ohwe, T. and Mizoshita, Y., 1997, "An Optimization Method for Precision Positioning of Pico-CAPS," IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, Vol. 33, No. 5, pp. 2644~2646.