

EMDIOS 를 이용한 Optical Flying Head 의 형상 최적설계 Optimum Design of Optical Flying Head Using EMDIOS

윤상준[†], 최동훈^{*}

Sang-Joon Yoon and Dong-Hoon Choi

ABSTRACT

This study proposes a design methodology to determine the optimum configurations of the optical flying head (OFH) for near-field recording systems. Since the OFH requires stricter static and dynamic characteristics of slider air-bearings within an optical tilt tolerance over the entire recording band, an optimum design to keep the focusing and tracking ability stable is essential. The desired flying characteristics considered in this study are to minimize the variation in flying height between the SIL and the disk from a target value, satisfying the restriction of the minimum flying height, to keep the pitch and roll angles within an optical tilt tolerance, and to ensure a higher air-bearing stiffness. Simulation results demonstrate the effectiveness of the proposed design methodology by showing that the static and dynamic flying characteristics of the optimally designed OFH are enhanced in comparison with those of the initial. The gap between the SIL and the disk can be kept at less than 100 nm even if the optical tilt tolerance of the SIL is considered.

Key Words : Optical Flying Head/광학부상헤드, Design Framework/설계 프레임워크, Optimum Design/최적설계

1. 서 론

최근 차세대 저장기기 기록방식중의 하나로 고려되고 있는 근접장 광학 (Near Field Recording: NFR)[1]은 광의 출사 구경 (Aperture)을 SIL (Solid Immersion Lens)이나 probe 등의 근접장 광학계를 이용하여 줄임으로써 출사광의 스팟 직경이 빔의 파장 이하가 되도록 제한하고, 이에 누출되는 소멸광 (Evanescent Wave)을 이용하여 정보를 기록/재생한다. 그러나 소멸광은 출사 구경을 통해서 나온 후 진행 방향으로 지수함수적으로 소멸되기 때문에 기록 미디어를 출사 구경으로부터 파장거리 이하로 매우 근접하

게 위치시켜야 하며, 특히 큰 NA (Numerical Aperture)를 사용하는 SIL 시스템의 경우는 구동기의 수직 방향뿐 만이 아니라 틸트 방향에 대한 허용도 역시 극히 작으므로 더욱 정밀한 구동 메커니즘이 요구 된다.

이를 위하여 본 연구에서는 Fig. 1 에서와 같이 수직위치 제어가 비교적 용이하며 고속화가 가능한 OFH (Optical Flying Head)가 사용되는데, 이는 기존 HDD 용 헤드 슬라이더와 달리 SIL 을 장착하기 위하여 상대적으로 큰 형상으로 제작되며, SIL 과 디스크 표면 사이의 간극을 100nm 이하로 유지하고 동시에 렌즈의 틸트 작용으로 인한 효과를 고려하기 위하여 다양한 설계 요구사항들이 필요로 하게 된다. 따라서 본 연구에서는 슬라이더의 부상높이, 피칭, 롤링의 정적 특성뿐 만이 아니라 이들의 동특성 또한 매우 중요한 성능지수로 다루어지고 있다. SIL 과 디스크 표면사이의 적절한 간극을

[†] 한양대학교 최적설계신기술연구센터
E-mail : ysjyoon@hanyang.ac.kr

^{*} 한양대학교 최적설계신기술연구센터
(논문접수일 : 2005 년 3 월 29 일)

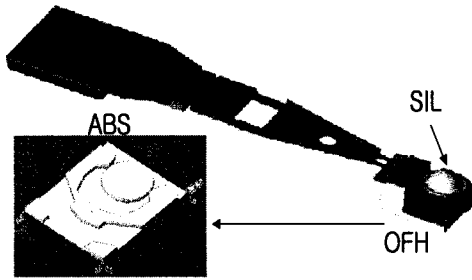


Fig. 1 Optical flying head in NFR system

유지하기 위한 방법 중에 하나로서 OFH의 설계에 관한 연구들[2-4]이 수행되어 왔다. 그러나 이들 대부분은 OFH가 요구하는 다양한 설계요구사항들을 고려할 수 없었으며, 이를 고려한 일부 최적설계의 경우에도 해석기와 최적설계 프로그램간의 데이터 전달과 변환에 설계 전문가의 경험을 상당부분 요구하고 있어서 일반 엔지니어가 사용하기에는 상당부분 불편함이 있었다.

따라서 본 연구에서는 설계작업을 통합적으로 관리하고 자동화하여 설계도구 간의 데이터 전달과 변환에 소요되는 설계자의 부담을 경감시키면서 동시에 향후에 다양한 분야의 해석기를 고려할 수 있도록 설계 프레임워크 (Design Framework)를 설계틀로 사용하고자 하며, 이를 사용하여 OFH의 정적 및 동적 특성을 모두 고려한 ABS (Air-Bearing Surface)의 형상설계를 수행하고자 한다.

2. OFH의 최적설계

2.1 최적화 문제 정식화

NFR 시스템의 도입을 위해서는 SIL과 디스크 표면 사이의 간극이 100 nm 이하로 유지되는 것이 중요하며, 디스크상 기록 영역 내에서 장착된 렌즈의 틸트 변화량[5]이 심하지 않도록 하는 슬라이더의 정상상태 특성 해석이 요구된다. 또한, Fig. 2에 보이는 바와 같이 Disk Waviness, Disk Asperity와 같은 외란들에 대하여 부상 안정성을 높이기 위하여 부상상태의 동특성 해석, 특히 공기베어링의 강성들을 증가시킬 수 있는 설계가 요구된다.

이러한 설계 요구사항들을 모두 고려할 수 있는 최적설계 문제를 정식화하면 다음

식 (1)-(10)과 같다.

Find

$$x_i \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

to minimize

$$F = (FH_{\max} - 50 \text{ nm})^2 + (FH_{\min} - 50 \text{ nm})^2 \quad (1)$$

satisfying

$$40 \text{ nm} \leq \text{Min_}FH_{\min}, \quad (2)$$

$$25 \mu\text{rad} \leq \text{Pitch}_{\min}, \quad (3)$$

$$\text{Pitch}_{\max} \leq 40 \mu\text{rad}, \quad (4)$$

$$-5 \mu\text{rad} \leq \text{Roll}_{\min}, \quad (5)$$

$$\text{Roll}_{\max} \leq 5 \mu\text{rad}, \quad (6)$$

$$1.1 * k_{\text{vertical}}^o \leq k_{\text{vertical}}, \quad (7)$$

$$1.1 * k_{\text{pitch}}^o \leq k_{\text{pitch}}, \quad (8)$$

$$1.1 * k_{\text{roll}}^o \leq k_{\text{roll}}, \quad (9)$$

$$x_i^L < x_i < x_i^U, \quad (i = 1, \dots, n) \quad (10)$$

여기서 n은 슬라이더의 ABS 형상을 결정하는 설계변수의 개수를 나타내며, 하첨자 min와 max는 디스크 반경방향 변화에 따른 내측, 중간, 외측 트랙에서의 값들 중에 가장 작은 값 그리고 가장 큰 값을 나타낸다. FH는 SIL의 중심위치에서 측정된 부상높이이며, Min_FH는 ABS 전 영역에서 디스크와 가장 낮은 간극을 나타낸다.

식 (1)은 실제 정보를 읽고 쓰는 SIL과 디스크 사이의 간격을 디스크 트랙이 변화하더라도 변함없이 50 nm로 유지되도록 하는 목적함수를 나타내며, 식 (2)는 OFH와 디스크의 접촉 가능성 방지를 위하여 슬라이더 전 영역의 부상높이들 중 가장 작은 값을 항상 40 nm 보다는 크게 하는 구속조건을 나타낸다. 그리고 렌즈의 틸트 효과를 제한하기 위하여 식 (3)과 (4)에서는 피치각에 대한 구속조건들을, 그리고 식 (5)와 (6)에서는 롤각에 대한 구속조건들을 나타낸다.

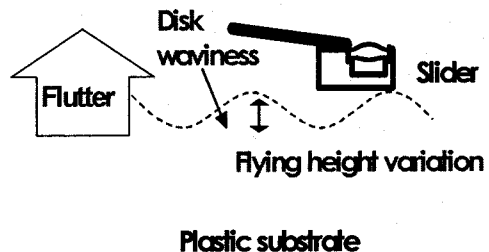


Fig. 2 Flying height variation over plastic substrate

한편 식(7)-(9)는 공기 유회 베어링의 강성들에 대한 구속조건들로 OFH의 수직, 피칭, 롤링 방향에 대한 공기 유회막 강성들이 초기 설계값 대비 모두 10% 이상은 증가되도록 하는 것을 나타낸다. 마지막으로 식 (10)은 각 설계변수들의 상 하한 값을 나타낸다.

2.2 설계 프레임워크

본 연구에서는 최적화 기술, 컴퓨팅 기반구조기술, 통합설계기술이 유기적으로 구현된 소프트웨어 복합체로서, Fig.3 과 같이 분산컴퓨팅 기반구조를 통하여 다분야 통합최적설계 (Multidisciplinary Design Optimization: MDO) 요소 기술들과 기존의 CAD/CAE 도구들을 연계하여 설계 작업을 통합적으로 관리하고 자동화할 수 있는 EMDIOS[6]를 사용하였다. 따라서 EMDIOS의 자동화된 통합관리를 통하여 OFH 설계시 사용되는 슬라이더 공기 베어링 해석기의 데이터 전달과 개선 및 변환에 소요되는 설계자의 부담을 경감시키고 필요한 공통 작업 환경을 제공함으로써 설계의 효율성을 증진시켰다.

이에 최적설계를 위한 전반적인 데이터 전달 및 개선 과정은 다음과 같다. 먼저 초기 ABS 형상과 작동조건 등 수치계산에 필요한 데이터와 설계변수 초기값이 가정된다. 주어진 데이터들이 해석기에 입력되면 결정된 슬라이더의 형상에 따라 디스크 반경 변화에 대한 부상특성들이 모두 계산된다. 여기서 공기베어링에 대한 강성을 계산함에 있어서는 준 정상상태 방법(Quasi Steady-State Ethod)이 사용되었다.

본 연구에서 사용된 최적화 모듈은 EMDIOS 에 내재되어있는 SQP (Sequential Quadratic Programming) 방법에 의하여 설계변수가 개선된다. 위와 같은 작업은 설계변수가 제안된 수렴 조건을 만족할 때까지 반복 수행되며, 결국 최적해를 얻으면 프로그램은 종료된다.

3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

본 논문에서 사용된 OFH 의 크기는 2.4 x 2 x 0.5 mm 이며, 무게는 10.2 mg 이다. 장착된

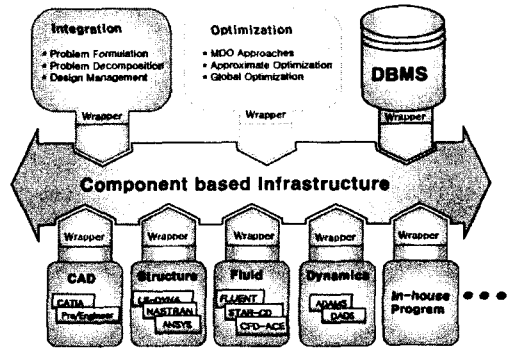


Fig. 3 Design framework (EMDIOS)

SIL 은 지름 1mm 의 반구형으 Polycarbonate 로 제작되었다. Fig.1 에 보이는 바와 같이 optical path 에 대한 간섭 문제로 통합 서스펜션이 사용되었으며, 이들의 수직, 피칭, 롤링 방향 강성은 각각 18 N/m, 11.46 N-mm/rad, 14.32 N-mm/rad 이다. 지름 1 인치의 디스크가 4500 rpm 으로 고속 회전하고 있으며, 디스크 상 기록/재생 영역은 반지름 5.8 mm 부터 11mm 까지이고 이때 상응하는 스큐각은 -2 deg 에서 15 deg 에 이른다.

슬라이더의 부상특성에 결정적인 영향을 주는 파라미터들은 Data Screening 작업을 통하여 결정하였으며, 그 결과 다음과 같이 Recess Depth, 그리고 레일의 형상을 결정하는 포인트 위치 좌표 5 개를 설계변수들로 선정하였다.

시뮬레이션 결과, 초기 설계와 비교하여 설계요구사항들을 모두 만족하는 최적해를 얻을 수 있었다.

계산된 최적설계 과정을 살펴보면, Fig.4 에 도시된 바와 같이 정의된 구속조건들을 모두 만족시키면서 30 번의 설계 개선에 의하여 최적해에 도달하였다. 이때, 방향탐색과 선탐색을 위한 함수계산은 총 265 회가 수행되었다. 최적설계된 OFH 의 형상을 보면, Fig.5 에 도시된 바와 같이 초기 형상과 비교하여 중앙 레일과 Shallow Step 모두 슬라이더 전반부로 크게 이동하였으며, 상태적으로 좌측 후미 레일의 면적이 증가되면서 좌우 레일간의 비 대칭성이 강조되었음을 알 수 있다. 이는 발생하는 OFH 의 양압과

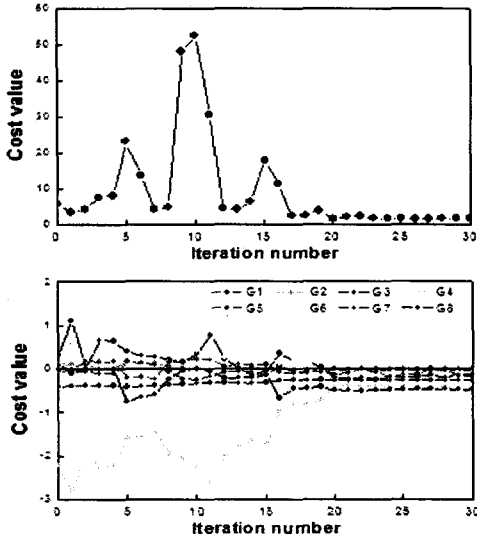


Fig. 4 Convergence history of cost and constraints

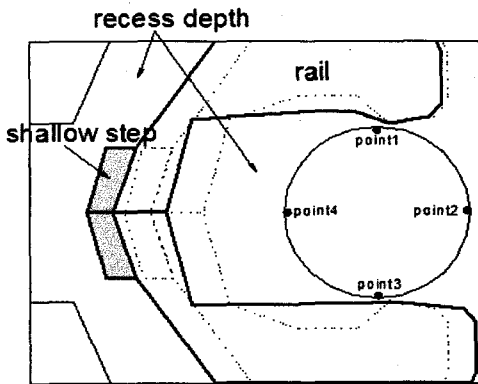


Fig. 5 Initial design(dashed)vs. Optimal design (bold solid)

Table 1 Optimum solutions

	Initial			Optimum		
	ID	MD	OD	ID	MD	OD
FH@Lens [nm]	50.1	53.4	52.8	51.2	51.3	48.8
Pitch [μrad]	35.2	39.8	44.8	31.6	35.1	40.0
Roll [μrad]	-6.60	-6.13	-6.11	2.47	0.05	-4.42
FH _{max}	44.3	45.5	42.5	47.8	46.3	41.0
k _{initial} [g/μm]	0.10	0.10	0.11	0.12 (+20%)	0.13 (+30%)	0.14 (+27%)
k _{max} [μN-m/μrad]	1.08	1.08	1.14	1.37 (+27%)	1.46 (+35%)	1.53 (+34%)
k _{int} [μN-m/μrad]	0.24	0.27	0.29	0.38 (+58%)	0.43 (+59%)	0.52 (+79%)

음압의 크기를 적절히 조절하여 공기 베어링의 강성을 증가시키고 부상성능의 안정화를 유도하기 위한 것으로 판단된다.

한편, Recess Depth는 5 μm에서 4.28 μm로 다소 감소하였다.

Table 1에서는 디스크 상에서 최적설계된 슬라이더의 부상성능, 즉 부상높이, 피치각, 롤각의 크기가 초기 설계치와 함께 직접 비교되었다. 목표 부상높이 50 nm에 대하여 최적화된 OFH는 전 디스크 기록영역에 대하여 전반적으로 일정한 부상높이를 유지하고 있었으며, 피치각과 롤각 역시 초기 설계치와는 달리 디스크 전 기록영역에서 제한조건을 모두 만족하고 있었다. 한편, 슬라이더의 진동특성 및 충돌 가능성 지수인 공기베어링 강성은 초기치 대비 모두 최소 20% 이상 강화되었다. 따라서 헤드와 디스크 사이의 동적 안정성 면에서도 매우 우수할 것으로 예상된다.

최적화된 OFH의 성능을 검증하기 위하여 먼저 OFH의 특성중에 하나인 렌즈 틸트에 의한 부상높이의 변화를 살펴보았다. Fig.5에 도시된 원형의 렌즈 표면 가장자리 네 곳에서의 부상높이 변화를 Fig.6에서 비교하였으며, 그 결과 모두 100 nm 내에서 안정되게 부상하고 있음을 확인하였다.

다음은 OFH의 부상 안정성을 검증하기 위하여 Impulse Velocity, Disk Asperity, 그리고 Disk Waviness에 대한 슬라이더의 동특성을 Fig.7, 8, 그리고 9에서 각각 살펴보았다. 여기서 FH@TEC와 FH@Lens는 후미 레일 중간 그리고 SIL 중심에서의 부상높이를 나타낸다. 그 결과, 요구되는 정적 부상상태에서 증가된 공기유향막 강성이 보다 안정된 동특성을 OFH에 제공할 수 있음을 알 수 있었다

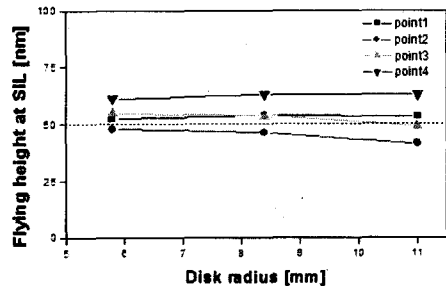


Fig. 6 Flying heights over clear aperture

4. 결론

본 연구에서는 SIL 과 디스크 표면 사이의 간극을 100 nm 이하로 유지하면서 동시에 렌즈의 틸트 작용으로 인한 효과와 동적 안정성을 고려한 OFH 의 설계를 수행하였다. 이를 위하여 슬라이더의 부상높이, 피칭, 롤링의 정적 특성뿐만 아니라 이들 방향에 대한 공기유향막 강성들을 성능지수로 사용하였으며, 설계작업을 통합적으로 관리하고 자동화하여 설계도구 간의 데이터 전달과 변환에 소요되는 설계자의 부담을 경감시키면서 동시에 향후에 다양한 분야의 해석기를 고려할 수 있도록 설계 프레임워크인 EMDIOS 를 설계툴로 사용하였다.

최적설계 결과, OFH 의 정적 및 동적 특성을 모두 고려한 ABS (Air-Bearing Surface)의 형상설계를 자동화된 방법으로 구하였으며, Impulse Velocity, Disk Asperity, 그리고 Disk Waviness 에 대한 동특성 해석을 통하여 최적화된 OFH 의 부상 안정성을 재 확인하였다. 또한, 렌즈 틸트로 인한 부상높이의 변화를 검토하여 NFR 시스템에서 요구하는 SIL 과 디스크간의 간격이 모두 100 nm 이 내로 유지됨을 보였다.

후 기

이 연구는 한국과학기술원 지정 최적설계신기술연구센터의 지원에 의해 수행되었습니다.

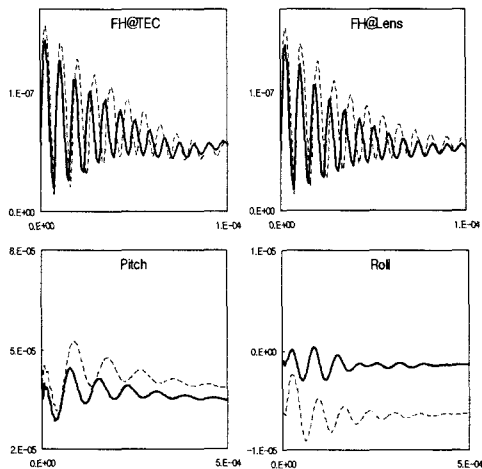


Fig. 7 Impulse response: initial (dashed) and Optimal (bold solid)

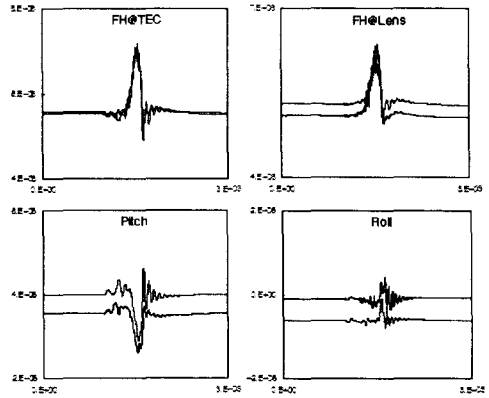


Fig. 8 Disk asperity : initial (dashed) and optimal (bold solid)

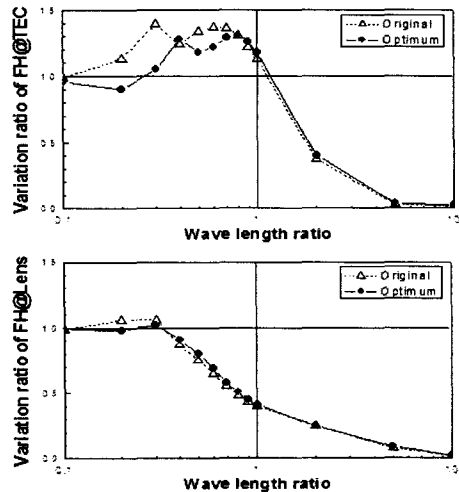


Fig. 9 Flying stabilities on disk waviness

참고문헌

- [1] S. Kim, Y. Kim, J.-M Park, J.-Y. Kim, J.-K. Lee, K.-H. Chung, and D.-E. Kim, 2002, "Design of Optical Flying Head for Near-Field Recording," Transaction of the Magnetics Society of Japan, vol.2, no.4, pp.341-344.
- [2] A. Itoh, et al., 2004, "Double MAMMOS: 3-Dimensional MO Recording", Trans. Magn. Soc. Japan, Vol.4, pp.135-140.
- [3] S.-H. Kim, Y. Yee, et al., 2004, "Integrated MEMS Optical Flying Head with Lens Positioning Actuator for Small Form Factor Optical Data Storage", Sensors and Actuators A, Vol.14, pp.429-437.
- [4] S. Kim, et al, 2004, "Small Optical Flying Head Technologies Interfaced with Plastic Disks.", Trans. Magn. Soc. Japan, Vol.4, pp. 245-248.

- [5] T. Song, H. Kwon, N. Park, and Y. Park, 2002, "Elliptical Solid Immersion Lens for NFR", Optical Memory and Optical Data Storage Topical Meeting, International Symposium, pp. 210-212.
- [6] EMDIOS, <http://emdios.hyu.ac.kr>