

## 초소형 광디스크 드라이브용

### 스윙암 방식 로터리 액츄에이터 설계 및 분석

#### Design and Analysis of Swingarm Type Rotary Actuator for Micro ODD

김 동 옥\* · 홍 어 진\* · 박 노 철\*\* · 박 영 필\*\*\* · 김 수 경\*\*\*\*

D.-W. Kim, E.-J. Hong, N.-C. Park, Y.-P. Park and S.-K. Kim

**Key Words** : .Swingarm(스윙암), Actuator(액츄에이터), Micro ODD(초소형 광디스크 드라이브), VCM(보이스코일 모터)

#### Abstract

Recently the trends in information storage devices need small size, mobility, high capacity, and low power consumption etc. To satisfy those, the development of high performance actuator is an important issue. Compared with general linear actuator for optical disk drive, swingarm type rotary actuator is suitable to design in small form factor and has fast access time for random access.

Swingarm actuator is designed considering the structural problem and the actuating force of VCM(Voice Coil Motor). The increase of mass caused by optical components makes vibration problems of swing-arm, therefore resonance frequency should be increased and inertia has to be reduced. ANSYS FEM tool is employed in optimizing swingarm. The VCM is designed using 3-D electro-magnetic analysis, and parameters of magnetic circuit are determined to make large flux density. The large flux density enables to achieve low power consumption. VCM holder is designed to get the mass balance of total actuator and this balance reduces the magnitude of critical mode relative to pivot bearing. It is expected that swingarm type rotary actuator designed by this method is available to variable type of micro optical disk drives.

#### 1. 서 론

오늘날 정보화의 급속한 발전으로 모든 정보의 디지털화가 진행되고 있다. 특히 정보통신, 멀티미디어의 발달로 많은 양의 데이터를 신속 정확하게 전달 및 저장해야 하므로 휴대용, 초소형, 고용량 정보저장기에 대한 필요성과 그 수요가

계속 증가하고 있다. 디지털 카메라, MP-3 플레이어, PDA, Palmtop PC, 셋톱박스, 프린터 메모리 등등이 그 예이다. 그러나 지금까지 정보저장기기의 기록 밀도 측면에서 우위를 유지하던 하드디스크 드라이브는 기술적인 한계에 직면하였고 광디스크 드라이브 또한 정보화 시대에 요구되는 성능을 확보하지 못하고 있다. 따라서 두 가지 종류의 정보저장기기 기술을 접목시키기 위한 새로운 방식이 다양하게 제안되고 있다. 근접장 광기록(Near Field Recording) 장치 기술이나 MO(Magneto-optical)기술 등이 그 예라고 할 수 있다. 특히 노트북이나 휴대용 개인 단말기 등에

---

\* 연세대학교 기계공학과 대학원  
E-mail : go-bench@hanmail.net  
TEL : (02)2123-3846 FAX : (02)364-6769

\*\* 연세대학교 정보저장기기 연구센터

\*\*\* 연세대학교 기계공학부

\*\*\*\* LG전자 디지털 미디어 연구소

---

의 응용을 위한 소형화 고용량화에 따라 광 스팟의 크기가 작아지고 디스크 면의 피트(Pit)와 트랙 피치(Track Pitch)가 크게 줄어들게 된다. 따라서 그에 만족하는 고성능의 액츄에이터 개발이 필요하다. 본 논문에서는 기존의 하드디스크 드라이브에서 주로 사용하던 스윙암 방식의 로타리 액츄에이터를 초소형 광디스크 드라이브에 적용하여 설계하고자 한다.

## 2. 구동기의 구조

본 논문에서 적용한 광디스크 드라이브 시스템의 구조는 Fig 1.과 같다.

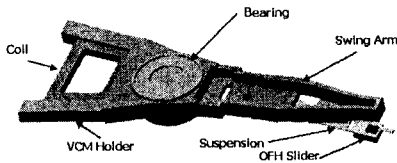


Fig 1. The scheme of the swingarm type actuator

스윙암(Swingarm)은 소형화를 위해 얇은 두께의 외팔보 형태를 가지고 있으며 따라서 두께 면에서 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 임의의 데이터에 대한 접근 시간도 최소화 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이와 같은 공기 부상 헤드를 이용한 로타리 액츄에이터 구동 방법에서는 피봇 베어링에 의하여 회전운동 전달되고, 스윙암의 하단에는 서스펜션/플렉서 구조가 부착되며 이것들은 광학 부상 슬라이더의 정확한 위치결정 시스템에 중요한 역할을 담당하게 된다.

스윙암 구조는 여러 가지 광학 부품들(LD/PD 블록, 광학블럭, 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 공진 주파수를 증가시킴으로써 스윙암의 진동으로 인한 광학 헤드와의 정렬오류를 감소하고 넓은 밴드폭(High Bandwidth)을 확보하는 최적 설계가 필요하다. 또한 소형화, 휴대화에 따라 드라이브 및 구동을 담당하는 VCM의 크기가 작아지므로 소비전력을 최소화하면서도 구동력을 최대화하는 설계가 필요하게 된다. 따라서 본 논문에서는 1inch 디스크를 대상으로 하는 스윙암 액츄에이터의 구조적인 고강성화와 구동력을 최대화하는 방향으로 설계하고자 한다.

## 3. 스윙암 설계

### 3.1 스윙암 모델링 및 최적화

스윙암 액츄에이터 부분의 물성은 크게 플레이트(Plate), 광학부품 블록(Block Optical Unit), 미러 프리즘(Mirror Prism)의 요소가 장착되어 있으며, 하드디스크 드라이브에서의 E-블록의 역할과 유사한 기능을 담당한다. 이 부분이 회전형 액츄에이터에서는 데이터 시킹(Seeking)시 구동기의 관성 모멘트로 작용하기 때문에, 질량을 낮추고, 모멘트를 낮추어서 구동시 필요한 동력을 낮추고, 트랙 탐색 시간을 줄일 수 있다. 따라서 적절한 구조와 위상의 최적 조합을 통해서 액츄에이터의 성능을 향상 시켜야 할 것이다.

일단, 기초 모델로써 Fig 2.에서 보인 것과 같은 단순히 광학 부품계를 지지할 수 있는 단순보와 리브 구조로 구성된 스윙암을 설계하였다. FEM 모사시 Element는 Solid45를 사용하였으며, 총 4604개의 요소가 해석에 사용되었다. 스윙암과 광학 부품계의 물성치는 Table 1.과 같으며, 이를 토대로 파라미터 연구를 하였다.



Fig 2. Initial model and Final model

Table 1. Material properties of Swingarm

	Material	Density	Young's Modulus	Poisson Ratio
LD/PD	Bulk Si	2.33g/cm <sup>3</sup>	165Gpa	0.22
Optical	Fused Silica	2.2g/cm <sup>3</sup>	70Gpa	0.17
BOU	Composition	2.23g/cm <sup>3</sup>	93.75Gpa	0.18
Mirror	Fused Silica	2.2g/cm <sup>3</sup>	75Gpa	0.33
Plate	Aluminum	2700g/cm <sup>3</sup>	69Gpa	0.17

초기 모델에서 질량과 관성 모멘트를 낮추면서, 구동 방향의 강성을 높이기 위해서, 설계 변수를 추가하였다. Fig 3.은 설계 변수를 보여주고 있다. 초기 모델에 추가적으로 단을 주었으며, 앞부분에 질량을 낮추기 위해 보강판을 설치하였다. 설계 변수로써, 스윙암 각단의 높이와 두께가 설정되었으며, 위상의 개념에서 보강판의 위치와 폭, 질량을 낮추기 위한 보강판 내의 홀의 위치와 크기를 설계 변수로 선정하였다.

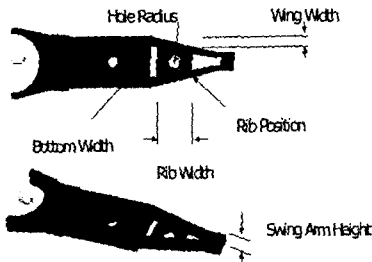


Fig 3. Design Parameter

최적의 설계를 위해서 일차적으로 각 파라미터에 대한 감도 해석(Sensitivity Analysis)이 선행되었다. 이는 최종 최적설계시 국부적 최적값으로 빠지는 오류를 범하지 않기 위해 가장 신뢰할 만한 초기치를 설정하기 위해서 선행되었다. 목표 주파수는 수직 방향 굽힘 모드와 축방향 굽힘 모드였으며, 5회의 반복해석을 통하여 최적 초기값을 설정하였다.

최종 설계를 위하여, 관성 모멘트를 최소화하는 것을 목표로 하여, 선행하였던 1차, 2차 모드에 대한 주파수를 제한조건으로 Fig 3.에서 보인 6개의 형상변수로 최적화 하였다. 최적화 도구로

는 FEM 해석 프로그램의 ANSYS를 이용하여, 설계 최적화를 수행하였다. 최적화 결과 11회의 반복해석을 통하여 아래 표와 같이 최적화된 결과를 얻을 수 있었다. 캔틸레버 모드와 스웨이 모드의 공진주파수가 각각 약 30%, 20%씩 증가된 5.8 KHz, 18.4 KHz를 유지하면서도 관성 모멘트가 최소화되었다. Fig 4.는 설계시 스웨이 모드 주파수와 관성 모멘트의 변화 추이를 보여주고 있다. 여기서, 붉은 선은 주파수의 제한 조건이다.

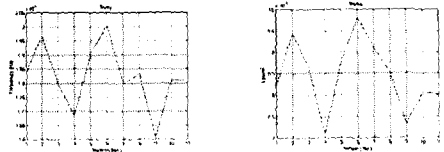


Fig 4. Iteration of frequency and inertia

Table 2.는 최적 설계 전후의 설계 변수와 목표값의 변화를 보여주고 있다.

	Initial	Final
Hieght	0.9 mm	1.3 mm
Rib Width	3.2 mm	3.2 mm
Rib Thickness	0.25 mm	0.2 mm
Rib Position	12.6 mm	12.72 mm
Bottom Width	2.0 mm	1.98 mm
Wing Width	0.4 mm	0.6 mm
Cantilever	4492 Hz	5854 Hz
Sway	15165 Hz	18423 Hz
Inertia	0.87E-2kgmm <sup>2</sup>	0.8E-2kgmm <sup>2</sup>

Table 2. Optimal design result

Fig 5.는 최종 스윙암의 모달 해석 결과로 얻어진 모드형상과 그에 대한 공진 주파수를 나타내고 있다.

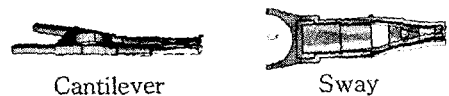


Fig 5. Mode shape

### 3.2 VCM 홀더 설계

VCM 홀더는 구동력을 발생시키는 코일을 지지하는 역할을 담당하며 피봇을 중심으로 스윙암의 반대편에 위치하므로 질량 균형을 유지하도록 설계하였다. 베어링을 중심으로 하는 스윙암 액츄에이터는 무게중심의 불균형이 일어날 경우 볼 베어링의 강성차이에서 유발되는 강제모드(Rigid Body Mode)에 영향을 미치게 되므로 Fig 6.와 같이 4개의 설계변수를 가지고 질량균형을 유지하면서 관성모멘트를 최소화하는 방향으로 최적화를 실시하였다. 요크와 자석의 위치를 고려한 드라이브의 공간여유를 위하여 VCM 전체의 길이는 제한하였다. 스윙암 부분과 마찬가지로 ANSYS 최적화 도구를 사용하였다.

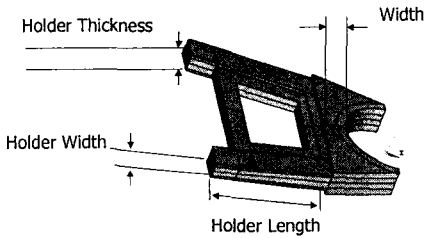


Fig 6. Design Parameter(VCM Holder)

3.3 스윙암 액츄에이터의 제작 및 실험결과  
설계된 스윙암 부분과 VCM 홀더 부분이 결합되어 전체 스윙암 액츄에이터가 제작되었다. 제작시 최소 유효단위는 0.01mm로 하여 일체형의 절삭 가공으로 제작되었으며 비자성체로서 가공성이 좋은 알루미늄 6061이 사용되었다. 그림 7.은 전체 길이 29.6mm, 두께 1.3mm의 전체 액츄에이터를 보여주고 있다.

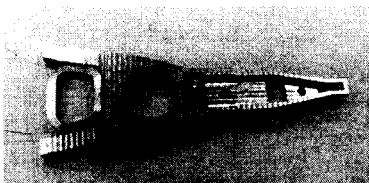


Fig 7. Total actuator with coil

제작의 검증을 위한 실험은 코일과 광학부품을 제외한 스윙암 액츄에이터만으로 실시하였으며 따라서 모사 과정에서도 같은 조건을 부여하여 비교한 결과는 아래 Table 3과 같다. 설계 목적으로 정하였던 1, 2차 모드의 주파수가 각각 10% 이내의 오차 범위 내에서 일치함을 알 수 있다. 이러한 오차는 베어링과의 구속조건과 물성치의 오차에 기인한 것으로 판단된다. 실험은 가진기(Mini Shaker)를 사용하고 스캐닝 바이브로미터(Scanning Vibrometer)를 이용하여 모드형상과 공진주파수를 얻어내었다. 그림 8.은 실제 제작된 스윙암 액츄에이터의 FEM 및 실험에서 나타난 모드형상을 나타낸다.

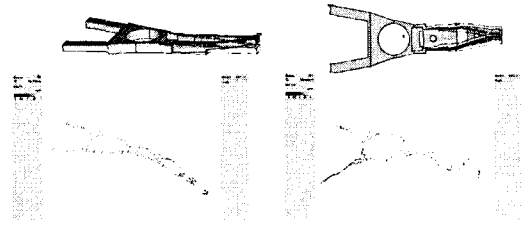


Fig 8. Mode shape (FEM&Exp.)

	FEM	Experiment	Error
Cantilever	5.0 KHz	4.7 KHz	6%
Sway	14.8 KHz	13.2 KHz	10%

Table 3. Resonance Frequency and Error

## 4. VCM 설계

### 4.1 VCM구조 및 제한조건

VCM은 Fig 9.과 같이 기존의 HDD와 같은 구조로서 1개의 분극자석과 상부요크 하부요크로 구성되며 그사이에 분포하는 자속을 이용하여 전류가 흐르는 코일이 식(1)과 같은 로렌츠의 힘을 받아 구동하게 된다.

$$F = nBI \quad (1)$$

즉, 구동힘은 코일의 감은수  $n$ , 전류  $I$ , 자속밀도  $B$ 의 곱에 비례하게 된다.

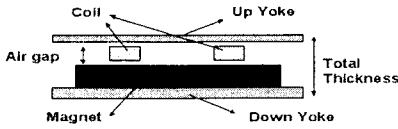


Fig 9. The cross section of VCM

VCM의 일부분인 자석과 코일의 크기에 대한 제한 조건은 IBM사의 1inch 마이크로 드라이브와 동일하게 적용하였으며 전체두께는 5mm 이하로 제한하였다.

#### 4.1 요크 최적화

전체 두께 및 자석의 크기, 코일의 두께를 고려하여 제한조건을 결정하고 자기회로의 중요요소인 요크의 두께를 설계변수로 하여 동일조건에서의 자속밀도를 최대화하는 방향으로 최적화를 실시하였다. 마찬가지로 ANSYS의 3차원 전자기 해석 및 최적화 도구를 이용하여 코일이 위치하는 공간에 분포하는 수직방향 성분의 자속밀도의 변화를 비교하였다.

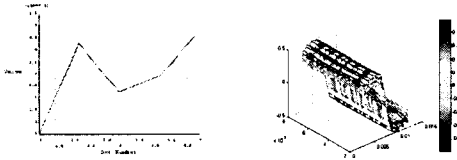


Fig 10. Iteration of yoke thickness and flux

Fig 10.은 반복해석 동안 변화되는 상부요크와 하부요크의 두께변화를 나타내고 있으며 각각의 경우에 자속밀도의 분포를 3차원 그래프로 표현한 것이다. 총 4회의 반복해석을 수행하여 목적함수인 수직방향의 자속밀도의 분포를 최대화하는 최적의 요크 두께를 얻을 수 있었다. 최종 설계값은 상부요크 0.261mm, 하부요크 0.472mm 로서 최적화 되었다. 실제 제작에 있어서는 가공성을 고려하여 0.26mm, 0.47mm로 제작하였다.

#### 4.2 코일 선정

자속 밀도의 분포, 코일의 형상, 코일의 두께 등이 동일한 조건에 대하여 최대의 힘을 발생하도록 코일의 직경을 결정하였다. 전자기 해석 결과

에 따르면 직경이 작은 코일을 여러 회 감을수록 큰 힘을 얻을 수 있다. 그러나 증가하는 저항값은 소비전력에 영향을 미치므로 특히 휴대용 정보저장기기의 VCM에서 중요한 설계인자이다. 설계 과정에서 힘은 ANSYS의 3차원 전자기 해석을 적용하였고 소비전력에 대해서는 수식을 통해 비교함으로써 최적의 코일을 선정하려고 하였다. 회전 방식의 액츄에이터에 대한 소비전력은 식 (2) 와 같이 표현될 수 있다.

$$P = \zeta \frac{J^2 R}{K_t^2} \cdot \frac{\theta^2}{T^4} \quad (2)$$

여기서  $J$ 는 관성모멘트,  $K_t$ 는 토크상수,  $\theta$ 는 회전각도,  $T$ 는 접근 시간을 나타내며  $\zeta$ 는 액츄에이터의 속도 궤적에 따른 상수값이다.

식 (2)에서 저항  $R$ 과 토크상수  $K_t$ 는 코일의 지름과 감은수에 대하여 변하는 함수이며 그 관계는 각각 식 (3), (4)와 같다.

$$R = k \frac{Nl}{d^2} \quad (3)$$

$$K_t = 2Nl_e r B \quad (4)$$

코일의 크기와 형상, 그리고 자속 밀도를 동일한 조건으로 가정하였으므로 같은 각도를 같은 시간에 이동할 경우 식(3)과 (4)에 의하여 소비 전력

$P$ 는  $1/d^2 N$ 에 비례하며 이것을 소비 전력 인자(Power Consumption Factor)로 고려하였다.. 아래 Fig 11.은 코일의 직경에 따른 힘의 분포와 소비 전력의 역수를 그래프로 표현한 것이다. 여기서 시스템이 요구하는 소비전력과 토크에 대한 정보에 의하여 적절한 코일의 직경을 결정할 수 있다. 본 논문에서는 코일 직경 0.04mm 부터 1.0mm 까지의 7가지의 경우에 대하여 힘정보와 소비전력 인자를 계산하였으며 최대의 힘을 발생하면서 제작이 가능한 직경 0.05mm로 선정하였다.

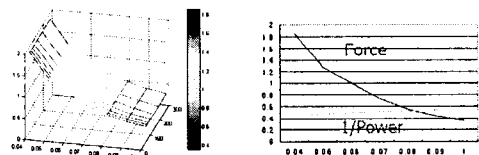


Fig 11. Force and Power consumption

## 5. 결 론

광디스크 드라이브 액츄에이터 시스템의 소형화, 경량화 휴대화의 요구를 만족시키기 위하여 1inch 드라이브에 맞는 크기제한과 5mm의 높이 제한이 있는 회전방식의 스윙암 액츄에이터를 설계하였다. 광학부품으로 인하여 공진주파수가 감소하는 스윙암의 구조적인 문제를 최소화하기 위하여 고강성을 유지하면서 관성모멘트를 최소화 할 수 있는 스윙암을 최적화 하였다. 또한 피벗 베어링의 강제 모드를 최소화 할 수 있도록 질량 균형을 고려하여 전체 액츄에이터를 설계하고 제작하였다. 또한 구동력을 최대화하기 위한 VCM을 설계하였다. 크기제한 내의 동일한 조건에서 최대의 자속 밀도 분포를 얻기 위하여 요크 두께를 결정하였으며 동일한 자속 분포 내에서 코일이 받는 힘을 최대화 할 수 있는 코일을 선정하였다.

위에서 진행되었던 일련의 모델링, FEM을 이용한 최적설계, 코일선정 방법등은 본 논문에서 적용하였던 시스템 뿐만아니라 VCM이 사용되는 다양한 회전형 액츄에이터 설계에 적용되고 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 후 기

본 연구는 한국과학재단(R11-1997-042-11001-0) 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

- (1) Wagner, J. A., 1983, "The Actuator in High Performance Disk Drive: Design Rules for Minimize Access Time", IEEE Transactions of Magnetics, Vol 5, pp1686~1688.
- (2) T. Tamada, 1994, "A High Performance and Low-Profile Moving-Magnet Actuator for Disk Drive, IEEE Transactions of Magnetics, Vol 30, NO. 6, pp4227~4229
- (3) Jintai Chung, "A Design of the VCM Coil Diameter of a Rotary Actuator in a Computer Hard Disk Drive", KSME Journal, Vol.10, No. 1, pp.22~30,1996
- (4) 정재화, 2001, "근접장 광기록 장치용 조동 구동기의 최적설계, 한국소음진동공학회 2001 추계학술대회 논문집, pp.592~596
- (5) Herbert A.Leupold, Nov.1993, "Approaches to Permanent Magnet Circuit Design", IEEE Transactions of Magnetics, Vol 29, NO. 6, pp 2341~2346
- (6) Wagner, J. A., 1983, "Access Time Minimization of a Moving Coil Actuator with Volumetric, Magnetic and Current Constraints", IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, Houston Texas, pp148~155.