

초소형 광디스크 드라이브를 위한 스윙암 타입 액추에이터 설계 Design of Swing Arm Type's for Small Sized ODD

오제승*·박세준*·이동주*·정호섭**·박노철*·박영필***

Jeseung Oh, Se-June Park, Dong-Ju Lee, Ho-Seop Jung, No-Cheol Park, Young-Pil Park

Key Words : Swing Arm Actuator(스윙암 액추에이터), Ring Magnet(반지형 자석), 2nd Resonance Frequency(부공진주파수), DC Sensitivity(저역감도), DOE(실험계획법)

ABSTRACT

There are many researches being in process to develop the information storage devices applying to the portable devices recently. Based on this need, the information storage devices have to be satisfied with the fast access time, the robustness of the system, high data transfer rate and lower media price. The total size of the drive must design to adapt the portable devices such as CF II card or PC II card size. This paper proposes the swing arm type actuator to insert the designed actuator in the drive of the CF II size. Hereafter the research will be going on to be suitable to the physical standard and design the focus magnetic circuit newly. The swing arm type actuator including this circuit is designed to have the dynamic characteristic satisfying the mechanical specification as well as the BD 1x. Finally, the adaptability to the portable devices was demonstrated by the finite element analysis and optimization of structural part.

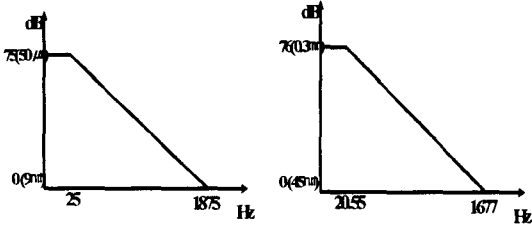
1. 서 론

유비쿼터스 네트워크 시대를 맞아 정보 저장 장치의 휴대용 기기로의 적용에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 특히, 향후 고화질 이미지나 동영상을 위해서 수 백 Mbyte 의 저장 용량이 필요하게 된다. 이에 따라, IBM 의 마이크로 드라이브와 같은 HDD 타입 또는 플래시 메모리나 스마트 미디어와 같은 솔리드 스테이트 타입의 정보 저장 기기가 PDA 나 디지털 캠코더와 같은 휴대용 기기의 데이터 저장 장치에 적용되고 있다. 하지만, HDD 나 메모리 타입의 경우 단위 기록 용량당 단가가 상대적으로 비싸기 때문에 롬 미디어로의 적용에는 적합하지 않다. 따라서 이에 대한 대안으로 저가의 디스크 시스템이 장점인 광 기록 장치의 초소형화에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 현재 상용화 단계에 있는 BD 의 경우 $NA=0.85$, $\lambda = 405nm$ 의 레이저를 사용하므로, 120mm 의 디스크에 약 27G 의 저장 용량을 확보할 수 있으므로, 이를 사용하여 휴대용 기기에 적용이 가능하도록 광 디스크 드라이브 시스템을 구성할 수 있다. [1]

PDA 나 디지털 카메라 등에 광 디스크 드라이브를 적용하기 위해서는 PCMCIA II 나 CF II 의 사이즈에 전체 시스템이 구성되어야 하는 기구적 제한조건을 갖게 된다. 또한, 광 디스크와 액추에이터의 간극을 고려 하였을 때, 전체 시스템은 약 3mm 이하의 두께를 가져야만 한다. 이상의 기구적인 조건 외에도, 휴대용 저장 기기로의 적용을 위하여, 빠른 액세스 타임, 충격에 강건한 시스템, 높은 데이터 전송률 등을 만족시켜야만 한다. 기존의 액추에이터를 축소하는 경우, 조동 구동기로서 Rack & Pinion, Lead & Screw, 모터를 사용하므로 액세스 타임을 만족시키기 어려우며, 제한된 공간에서의 광로 확보에 문제가 있다. 즉, 초소형 광 디스크 드라이브에 대한 연구에 있어서는 그 크기를 최소한으로 줄이면서 원하는 동특성을 만족시킬 수 있도록 설계하는 것이 큰 이슈라 할 수 있다. 따라서, 위의 조건들을 만족시키기 위해서는 빠른 액세스 타임과 데이터 전송률을 갖고, 상대적으로 충격에 강건한 스윙암 형식의 액추에이터를 사용하는 것이 타당하다고 판단된다. 또한, 현재 명확하게 규정되어 있지 않은 초소형 광 디스크 시스템의 향후 물리적 규격에 대응을 위하여 포커스 방향으로의 독립적인 자기 회로를 갖는 구동 시스템이 필요할 것이라 생각된다. [2] 따라서, 본 논문에서는 집적화된 픽업을 사용하여 광로를 확보하는 동시에 CF II 카드에 적용이 가능하도록 기구적인 스펙을 만족시키면서, 그림 1 과 같은 BD 1x 에 대응하도록 독립적인 포커스 자기 회로

* 연세대학교 정보저장기기연구센터
E-mail : greatgun@yonsei.ac.kr
Tel : (02) 2123-4677, Fax : (02) 365-8460
** 삼성전기 중앙연구소
*** 연세대학교 기계공학과

를 갖는 초소형 광 디스크 드라이브의 설계에 대하여 살펴 보도록 한다.



(a) Radial Tracking (b) Axial Tracking

그림. 1 BD 1x 디스크 서보 규격

2. 자기 회로 설계

2.1 포커스 회로의 개념 디자인

제한된 공간 안에서 포커스 구동을 위한 자기 회로의 구성을 위하여 기존의 자기 회로를 그대로 적용시킬 경우 앞서 살펴 본 것과 같이 기구적 제한 조건과 원하는 구동력을 얻기 어렵다. 따라서, 새로운 형태의 자기 회로 구성이 필요하다. 그림. 2 는 포커스 회로의 구동 회로의 간략 회로를 나타낸다. 그림과 같은 반지형 자석은 내측과 외측을 각각 S 극과 N 극으로 착자한 형태이며, 포커스 방향으로의 로렌츠 힘을 얻기 위하여 유효 코일의 길이를 늘릴 수 있도록 원형으로 코일을 감아 코일의 모든 면을 사용할 수 있도록 자기 회로를 구성하였다. 그림과 같이 자기 회로를 구성하는 경우, 포커스 자기부가 스윙암과 같이 회전하게 되므로, 트랙 방향으로 구동시 자석과 코일과의 일정한 간극을 유지할 수 있으며, 유효 코일의 길이가 늘어나게 되므로 제한된 공간에서 상대적으로 큰 힘을 얻을 수 있다는 장점이 있다.

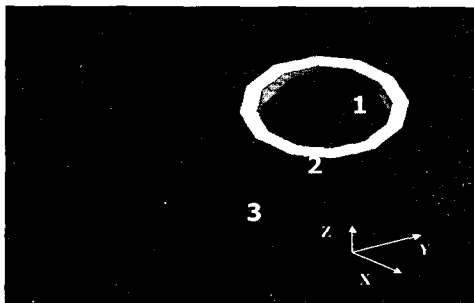


그림 2. 포커스 자기 회로의 간략 모델

표. 1 포커스 자기 회로 구성요소

Components	Item	Value
Magnet (1)	Coercivity(Hc)	12280 G (= 977488 A/m)
	Retentivity(Br)	13920 G (= 1.392 T)
Coil (2)	Resistance	2.08 Ω
	number of turn	39 turn
Yoke (3)	Coercivity(Hc)	20000 G
	Retentivity(Br)	62400 Oe
	Permeability	320432

2.2 자기부 시뮬레이션

포커스 자기 회로의 시뮬레이션을 위하여 그림 1 의 모델을 이용하였다. 자석은 내경 1mm 외경 3mm 의 반지형 자석이며, Yoke 부는 SPCC 재질의 자석을 고정하기 위한 직경 1mm 의 원통형 봉과 바닥 Yoke 로 구성되어 있다. 이상의 모델을 자기 회로 전용 프로그램인 Maxwell 을 이용하여 전자기 해석을 수행하였다. 해석에 사용된 물성치는 표. 1 과 같으며, 자기 해석을 위하여 핸드폰 배터리의 용량과 같은 3.7V 를 기준입력으로 선정하였다. 이 경우에 대하여 해석을 수행하였을 경우, 자기부의 자기 밀도 분포는 그림. 3 과 같으며, 로렌츠 힘은 93mN/3.7V 를 얻을 수 있었다. Seeking 과 미세 트래킹 구동을 위한 로터리 VCM 의 경우 역시 3.7V 를 기준 입력으로 하여 토크를 구하였다. 로터리 VCM 은 그림. 4 와 같으며, 자기 밀도 분포는 그림. 5 와 같다. 해석 결과, 1.13mN·m 의 토크를 얻을 수 있었다.

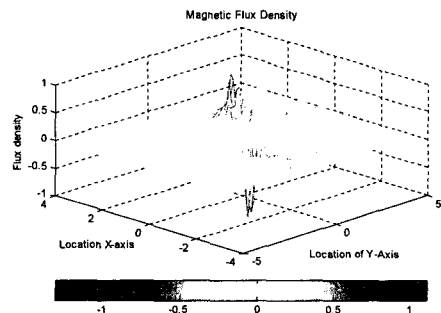


그림 3. 포커스 회로의 자기밀도 분포

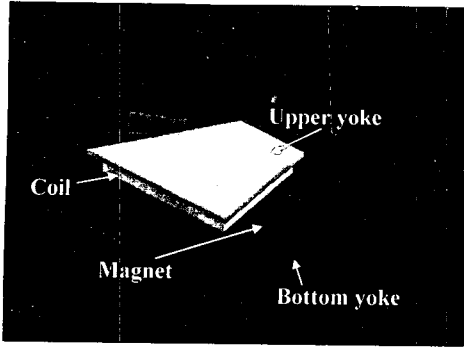


그림 4. 로터리 VCM의 간략 모델

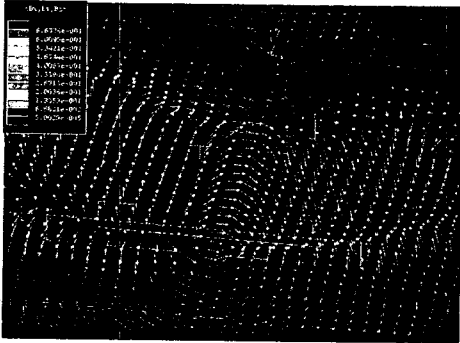


그림 5. 로터리 VCM의 자기밀도 분포

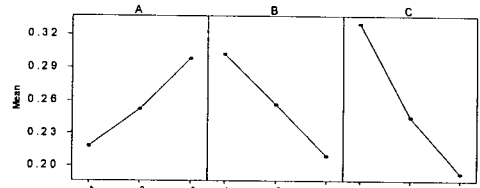
2. 구조부 설계

휴대용 기기에 적용이 가능한 스윙암 액추에이터는 CF II 카드 사이즈의 드라이브 안에 장착되어야 하므로 제작에 있어 기구적인 제약 조건을 갖게 된다. 또한, 독립적인 포커스 구동을 하게 되므로, 포커스 구동에 대한 동적 스펙으로 DC 감도와 부공진 주파수를 만족시켜야 한다. 초소형 광드라이브임을 감안하여 DC 감도의 스펙은 0.2mm/V 이상으로, 부공진 주파수는 디스크 서보 규격을 참고로 하여 약 9Khz 이상으로 선정하였다.

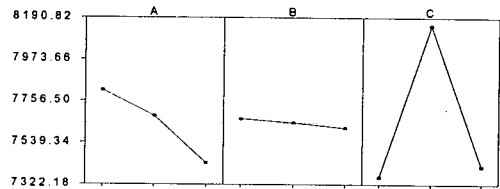
3.1 힌지 스프링 설계

포커스 구동을 위한 자기 회로와 로터리 VCM은 힌지 스프링에 의하여 연결된다. 포커스 방향으로의 강성은 힌지 스프링에 의하여 결정되므로 원하는 감도를 위하여는 힌지 스프링에 대한 설계가 우선시 되어야 한다. 또한, 힌지 스프링은 감도와 부공진 주파수에 영향을 미치므로, 감도와 주파수 두 가지의 종속 변수에 대하여 힌지 스프링의 두께, 길이, 폭 이상의 세 가지 요소를 각각 디자인 변수 a,b,c 로 선정하고 각 변수를 3 수준으로 하여 DOE 를 수행하였다. 따라서 L9(3³)의 DOE 를 통하여 저역감도와 부공진 주파수에 대한

민감도 분석을 통하여 힌지 스프링을 설계하였다. 설계된 힌지 스프링의 치수는 0.5x0.4x0.1mm³이며 이에 대한 민감도 분석 결과는 그림 6 과 같다.



(a) DC 감도



(b) 부공진 주파수

그림 6. 힌지 스프링의 민감도 분석

3.2 스윙암 설계

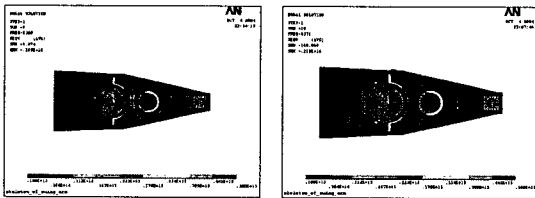
포커스 자기 회로를 포함한 자기부는 그림 6 과 같이 설계하였다. CF II 카드 크기에 전체의 구조가 들어가야 하는 기구적인 제한 조건을 만족 시키고자 CF II 카드 크기를 참고로 스윙암 부분의 치수를 정하였으며, 로터리 VCM 과 스윙암의 관성 모멘트를 같도록 로터리 VCM 을 설계 하였다. 유한 요소 해석을 통하여 설계된 구조부의 모달 해석과 정적 해석, 조화 해석을 수행하여 시스템의 동특성을 살펴 보았다. 이 때 사용된 로렌츠 힘은 2 절에서 자기 해석을 통하여 구한 로렌츠 힘을 이용하였다. 해석 결과는 표. 2 와 같다.

표. 2 초기 모델의 동특성

Item	Unit	Value
Mass(Swing arm)	mg	435
Total Mass	g	1.48
Total Length	mm	28.2
Total Thickness	mm	2.9
Total Width	mm	11
DC Sensitivity	mm/V	0.197mm/V
2nd Resonance Frequency	Hz	8369

3. 스윙암의 최적화

유한 요소 해석을 통하여 얻은 스윙암 엑추에이터의 동특성을 향상 시키기 위하여 DOE 를 통하여 최적화 과정을 수행하였다. 먼저, 1 절에서 살펴본 것과 엑추에이터의 빠른 액세스 타임과 안정적인 정보의 재생 및 기록을 하기 위하여는 넓은 대역폭을 갖는 것이 필요하다. 또한, BD 1x 의 디스크 스펙을 만족하기 위하여 스윙암의 무게는 일정 수준이하로 제한되어야 한다. 무게에 대한 제한조건은 BD 1x 의 디스크 서보 규격의 가속도와 2 절에서 구한 로렌츠 힘의 상관관계를 이용하여 구하였다. 스윙암의 무게를 줄이기 위하여 스윙암의 부분적 제거를 수행할 경우, 부공진 주파수의 저하가 예상되므로, 이상의 조건을 만족시키기 위하여 부공진 주파수는 최대화 하는 동시에 가동부의 무게를 최소화 할 수 있도록 스윙암의 형상을 최적화 할 필요가 있다. 이를 위하여 먼저, 초기 설계된 스윙암 엑추에이터의 응력 해석을 통하여 무게를 줄이기 위한 공간을 선정하였다. 그림. 7(a), (b)는 각각 토션모드와 벤딩 모드에 대한 응력 해석을 수행한 결과이다. 무게를 줄이기 위한 디자인 변수로는 응력값이 상대적으로 낮은 부분을 선택하여 영역 안에서의 길이, 폭, 깊이를 각각 경량화를 위한 디자인 변수로 선정한다. 또한, 부공진 주파수 증가를 위하여 부공진 주파수와 관련이 있는 스윙암의 길이와 두께를 각각 디자인 변수로 선정한다. 최적화에 사용된 디자인 변수는 표. 3 과 같다.



(a) Torsion Mode (b) Bending Mode

그림 7. 응력 해석 결과

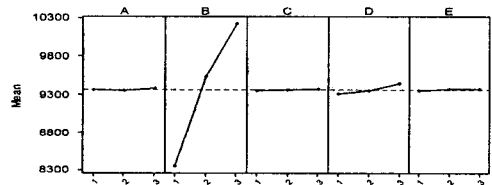
표.3 디자인 변수

	1 Level	2 Level	3 Level
A	1.6mm	1.7mm	1.8mm
B	1mm	1.2mm	1.4mm
C	6.55mm	6.6mm	6.65mm
D	0.2mm	0.25mm	0.3mm
E	0.7mm	0.8mm	0.9mm

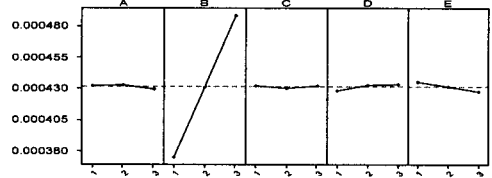
이상의 5 개의 디자인 변수를 각각 3 level 로 선정 후 표. 4 와 같은 L27(3⁵)의 DOE 를 이용하여 스윙암의 무게와 부공진 주파수에 대한 민감도 분석을 수행하였다.

표. 4 L27(3⁵)의 직교배열표

A	B	C	D	E	구동부무게	부공진주파수
1	1	1	1	1	3.77E-04	8252.1688
1	1	1	1	2	3.73E-04	8290.1474
1	1	1	1	3	3.69E-04	8284.2292
1	1	2	2	1	4.25E-04	9484.8079
1	1	2	2	2	4.31E-04	9637.1057
1	1	2	2	3	4.27E-04	9627.7931
1	1	3	3	1	4.95E-04	10297.9791
1	1	3	3	2	4.92E-04	10307.8778
1	1	3	3	3	4.88E-04	10324.5651
2	1	2	3	1	3.80E-04	8405.45
2	1	2	3	2	3.76E-04	8417.1698
2	1	2	3	3	3.73E-04	8410.3306
2	2	3	1	1	4.34E-04	9425.1589
2	2	3	1	2	4.30E-04	9436.6598
2	2	3	1	3	4.26E-04	9478.2817
2	2	3	1	2	4.86E-04	10174.7359
2	2	3	1	2	4.92E-04	10183.9814
2	2	3	1	3	4.88E-04	10220.6345
2	3	1	3	2	3.75E-04	8346.0729
2	3	1	3	2	3.75E-04	8366.4676
2	3	1	3	3	3.72E-04	8358.2579
2	3	2	1	3	4.35E-04	9686.7544
2	3	2	1	3	4.32E-04	9623.0419
2	3	2	1	3	4.28E-04	9628.367
2	3	3	2	1	4.86E-04	10182.9374
2	3	3	2	1	4.83E-04	10174.878
2	3	3	2	1	4.79E-04	10181.1857



(a) 부공진 주파수



(a) 구동부 무게

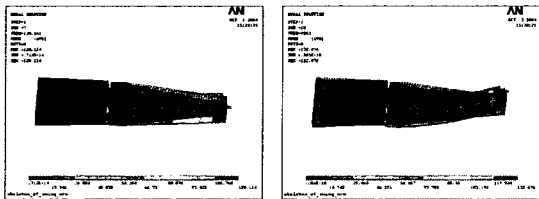
그림. 8 민감도 분석 결과

민감도 분석 결과, 디자인 변수 B, D 가 상대적으로 대하여 레벨에 따른 영향이 큰 것을 확인 할 수 있다. 따라서 최종 모델의 선정을 위하여, 디자인 변수 A, C, E 는 각각 3 Level, 2 Level, 3 Level 의 값으로 고정 한 후, B, D 에 대하여 L9(3²)의 Full Factorial 을 사용하여 최적화 된 치수를 선정하였다. Full Factorial 의 결과는 표. 5 와 같다. 무게의 제한 조건과 대역폭을 고려하여 이상의 9 개의 결과에서 최종적인 치수를 선택하였다.

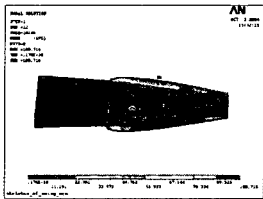
표. 5 L9(3²)의 Full Factorial

B	D	무게	주파수
1	1	3.70E-04	8298.0512
1	2	3.72E-04	8374.0451
1	3	3.74E-04	8413.9864
2	1	4.24E-04	9467.3787
2	2	4.26E-04	9562.9983
2	3	4.28E-04	9616.7899
3	1	4.79E-04	10181.1857
3	2	4.80E-04	10297.4088
3	3	4.82E-04	10367.0225

최적화 과정을 통하여 최종 설계된 스윙암 액추에이터의 동특성을 판단하기 위하여 모달 해석, 정적해석과 각 방향으로의 조화 해석을 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.



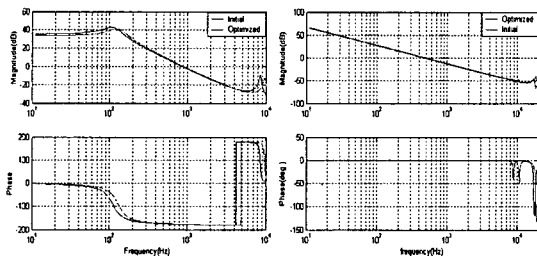
(a) Focusing Mode 130Hz (b) Bending Mode 9563Hz



(c) Torsion Mode 10196Hz

그림. 9 모달 해석 결과

시뮬레이션 결과 초기 모델의 부공진 주파수 8.2kHz 에서 약 14% 증가한 9.5kHz 의 부공진 주파수를 얻을 수 있었으며, 스윙암의 무게는 초기 모델에 비하여 약 0.9%가 감소함을 확인하였다. 또한, 최종 모델의 포커스 방향으로의 DC 감도는 약 0.2mm/V 를 나타내었으므로 우수한 감도를 갖는 다고 판단할 수 있다.



(a) Focusing Mode (b) Tracking Mode

그림 10. 조화 해석 결과

표. 6 동특성 해석 결과

Item	Unit	Value
Mass(Swing arm)	mg	426
Total Mass	g	1.5
Total Length	mm	28.2
Total Thickness	mm	2.9
Total Width	mm	11
DC Sensitivity at 5Hz (Focusing)	mm/V	0.197
AC Sensitivity at 200Hz (Focusing)	um/V	120.2
DC Sensitivity at 25Hz (Tracking)	mm/V	1.05
AC Sensitivity at 200Hz (Tracking)	um/V	20
2nd Resonance Frequency	Hz	9563

4. 결론

CF II card 사이즈의 드라이브 안에 장착되는 스윙암 형식의 액추에이터를 설계하였다. BD 1x 의 스펙을 만족시키는 동시에 향후 선정될 물리적 규격을 만족할 수 있도록 독립적인 포커스 구동을 하기 위하여 반지형 자석을 이용한 새로운 자기 회로를 구성하였다. 또한, 실험 계획법을 통하여 힌지 스프링과 스윙암을 최적화 하였다. 마지막으로 최적화 된 액추에이터의 유한요소 해석을 통하여 동적 특성을 살펴 보았으며, 설계된 액추에이터가 휴대용 기기에 적용이 가능함을 검증하였다.

참고 문헌

- (1) M.A.H. van der Aa, J.J.H.B. Schleipen, ODS 2002, Small Form Factor Optical Drive: Miniaturized Plastic High-NA objective and Optical Drive, Philips
- (2) 손도현 등, 1998, "초소형 광드라이브용 포커싱 액추에이터 설계 연구", 추계학술발표회 논문집, 한국소음진동공학회, pp. 234~238.(LG)
- (3) Jungkyu Lee, ODS 2003, Design and Analysis of small swing arm type optical pickup for small form factor optical drive, LG electronics
- (4) Kenichi Seki,1997, Robust design for dynamic performance : optical pick up example, Sony
- (5) William Y. Fowlkes, Clyde M. Creveling,neth, Engineering method for robust product design, Addison-Wesley Sons, Inc.