

초소형 광디스크 드라이브를 위한 스윙암 타입 액추에이터 설계

Design of Swing Arm Type's Actuator for Small-sized ODD

오 세 승* · 박 세 준* · 이 동 주** · 정 호 섭*** · 박 노 철† · 박 영 필****

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

(2004년 10월 27일 접수 ; 2005년 4월 22일 심사완료)

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

ABSTRACT

Recently, the need for subminiature storage systems has increased with the diversification of portable devices. An actuator for small optical disk drives has to satisfy performance requirements such as higher access speed, lower power consumption, and smaller size. In this paper, we proposed the miniaturized rotary type VCM actuator that had an effective focusing mechanism and secured sufficient bandwidth for small form factor (SFF) optical disk drive (ODD). Initial model was designed by electromagnetic (EM) and structural analyses. Such a model was improved using design of experiments (DOE) procedure based on a Blu-ray disk (BD) 1x specifications.

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 Mbyte의 저장 용량이 필요하게 된다. 이에 따라, IBM의 1" HDD(hard disk drive) 타입 또는 플래시 메모리나 스마트 미디어와 같은 솔리드 스테이트 타입의 정보 저장 기기가 PDA나 디지털 캠코더와 같은 휴대용 기기의 데이터 저장 장치에 적용되고 있다. 하지만, HDD나 메모리 타입의 경우 단위 기

록 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(blue-ray disk)의 경우 NA(numerical aperture)=0.85, λ (wavelength)=405 nm의 레이저를 사용하므로, 120 mm의 디스크에 약 27 G의 저장 용량을 확보할 수 있으므로, 이를 사용하여 휴대용 기기에 적용이 가능하도록 광 디스크 드라이브 시스템을 구성할 수 있다.⁽¹⁾

PDA나 디지털 카메라 등에 광 디스크 드라이브를 적용하기 위해서는 PCMCIA II나 CF II의 사이즈에 전체 시스템이 구성되어야 하는 기구적 제한조건을 갖게 된다. 또한, 광 디스크와 액추에이터의 간극을 고려하였을 때, 전체 시스템은 약 3 mm 이하의 두께를 가져야만 한다. 이상의 기구적인 조건 외에도, 휴대용 저장 기기로 적용을 위하여, 빠른 액세스 타임, 충격에 강건한 시스템, 높은 데이터 전송률 등을 만족시켜야만 한다. 기존의 액추에이터를 축소하는 경우, 조동 구

† 책임저자 : 정희원, 정보저장기기연구센터
E-mail : pnch@yonsei.ac.kr

Tel : (02) 2123-4530, Fax : (02) 365-8460

* 정희원, 연세대학교 정보저장기기연구센터

** 연세대학교 정보저장기기연구센터

*** 정희원, 삼성전기 중앙연구소

**** 정희원, 연세대학교 기계공학과

동기로서 Rack & Pinion, Lead & Screw, 모터를 사용하므로 액세스 타입을 만족시키기 어려우며, 제한된 공간에서의 광로 확보에 문제가 있다. 즉, 초소형 광디스크 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 타

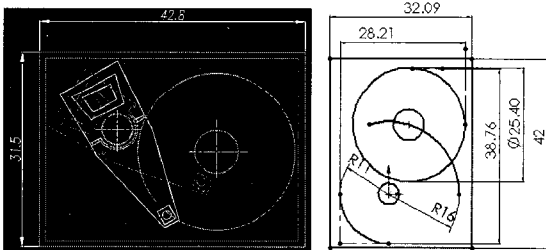
입과 데이터 전송률을 갖고, 상대적으로 충격에 강건한 스윙암 형식의 액추에이터를 사용하는 것이 타당하다고 판단된다. 또한, 현재 명확하게 규정되어 있지 않은 초소형 광 디스크 시스템의 향후 물리적 규격에 대응을 위하여 포커스 방향으로의 독립적인 구동 시스템이 필요할 것이라 생각된다.⁽²⁾

따라서, 이 논문에서는 집적화된 픽업을 사용하여 광로를 확보하여 Fig.1(a)에 그려진 스윙암을 사용하는 1" HDD와 같은 전체 배치를 갖는 동시에 Fig. 2(b)에 그려진 것처럼 CF II 카드에 적용이 가능하도록 기구적인 요구 사항을 만족시키는 액추에이터를 설계해 보고자 한다.

동시에, Fig.2와 같은 BD 1x 서보규격에 대응하도록 독립적인 focusing 구동 시스템을 갖는 초소형 광디스크 드라이브의 설계에 대하여 살펴보도록 한다.

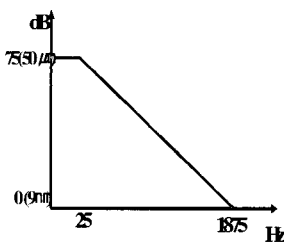


(a) Arrangement of 1" HDD

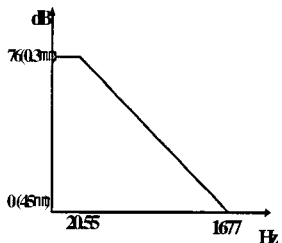


(b) Design spec for ODD

Fig. 1 Dimension of total disc drive



(a) Radial tracking



(b) Axial tracking

Fig. 2 Disk servo standards for BD 1x

2. 자기 회로 설계

2.1 포커스 회로의 개념 디자인

제한된 공간 안에서 포커스 구동을 위한 자기회로의 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. Fig.3은 포커스 구동 회로의 간략한 모델을 나타낸다. 그림과 같은 반지형 자석은 내측과 외측을 각각 S극과 N극으로 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

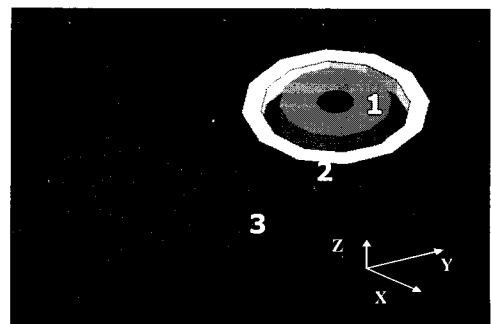


Fig. 3 Schematic view of focusing magnetic circuit

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.

2.2 자기부 시뮬레이션

포커스 방향의 자기 회로의 시뮬레이션을 위하여 Fig. 3의 모델을 이용하였다. 자석은 내경 1mm 외경 3mm의 반지형 자석이며, Yoke부는 SPCC 재질의 자석을 고정하기 위한 직경 1mm의 원통형 봉과 바닥 Yoke로 구성되어 있다. 이상의 모델을 자기 회로 전용 프로그램인 Maxwell을 이용하여 전자기 해석을 수행하였다. 해석에 사용된 물성치는 Table 1과 같으며, 자기 해석을 위하여 핸드폰 배터리의 용량과 같은 3.7 V를 기준입력으로 선정하였다.

Table 1 Component parts of focusing magnetic circuit

| 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 |

Table 2 Component parts of tracking coil

| Components | Item | Value |
|---------------|------------------|----------|
| Tracking coil | ϕ | 0.1 mm |
| | Number of turn | 64 turn |
| | Input resistance | 3.885 Ω |
| | Input current | 61.434 A |

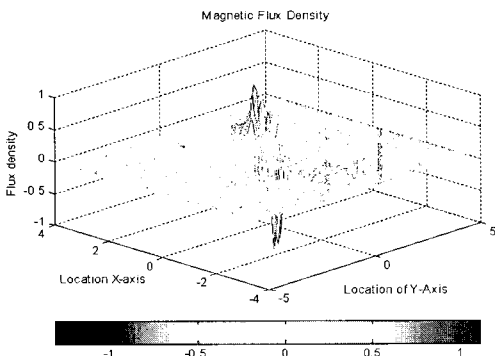


Fig. 4 Magnetic density flux of focusing

이 경우에 대하여 해석을 수행하면, Fig. 4에서 보듯이 원형 자석을 중심으로 하여 자석과 coil사이 일어난 자속 밀도 분포를 나타내는 그래프를 얻을 수 있었다. 이 때의 로렌츠 힘은 93 mN/3.7V를 얻을 수 있었다. Seeking과 미세 트랙킹 구동을 위한 로터리 VCM의 경우 역시 3.7 V를 기준 입력으로 하여 토크를 구하였다.

로터리 VCM은 Fig. 5와 같으며, Table 2에 나오는 코일을 이용하여 Maxwell을 이용하여 구한 자속 밀도 분포는 Fig. 6과 같다. 해석 결과, 1.13 mN-m의 토크를 얻을 수 있었다.

3. 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 구

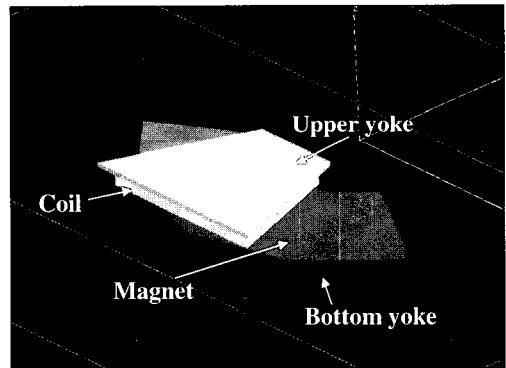


Fig. 5 Simplified model of the rotary VCM

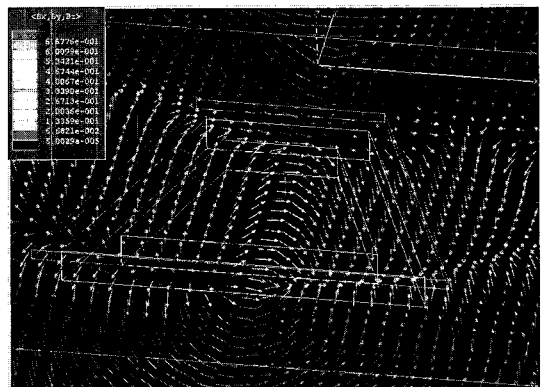


Fig. 6 Magnetic density flux for the tracking

동에 대한 동적 요구 사항으로 DC 감도와 부공진 주파수를 만족시켜야 한다. 초소형 광 드라이브를 감안하여 DC 감도의 요구 사항은 0.2 mm/V 이상으로, 부공진 주파수는 디스크 servo 규격을 참고로 하여 약 9 kHz 이상으로 선정하였다.

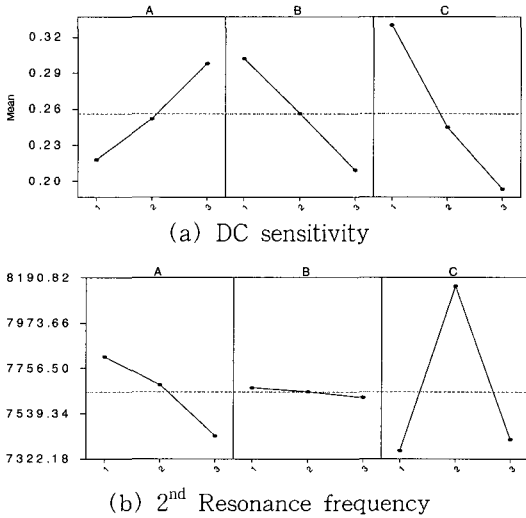


Fig. 7 Sensitivity analysis for hinge

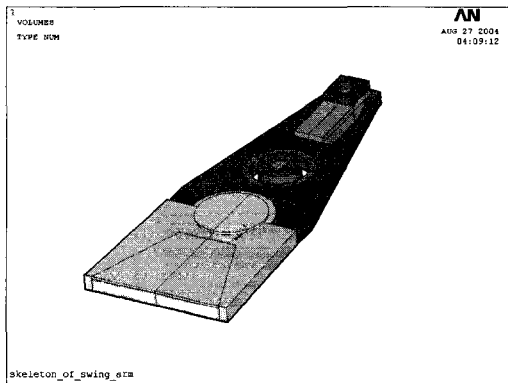


Fig. 8 Schematic view of rotary VCM type actuator

Table 3 Dynamic characteristics of initial model

| 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 | 0.197 mm/V |
| 2nd resonance frequency | Hz | 8369 |

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(힌지 두께), B(힌지 길이), C(힌지 폭)로 선정하고 각 변수를 3 수준으로 하여 DOE를 수행하였다. 따라서 L9(3³)의 DOE를 통하여 저역감도와 부공진 주파수에 대한 민감도 분석을 통하여 힌지 스프링을 설계하였다. 설계된 힌지 스프링의 치수는 0.5 × 0.4 × 0.1 mm³이며 이에 대한 민감도 분석 결과는 Fig. 7과 같다.

3.2 스윙암 설계

포커스 자기 회로를 포함한 로터리 VCM타입의 액추에이터를 알루미늄 재질을 사용하여 Fig. 8과 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 VCM과 스윙암의 관성 모멘트를 같도록 로터리 VCM을 설계 하였다.

유한 요소 해석을 통하여 설계된 구조부의 모우드 해석과 정적 해석, 조화 해석을 수행하여 시스템의 동특성을 살펴보았다. 이 때 사용된 로렌츠 힘은 2장에서 자기 해석을 통하여 구한 로렌츠 힘을 이용하였다. 해석 결과는 Table 3와 같다.

4. 스윙암의 최적화

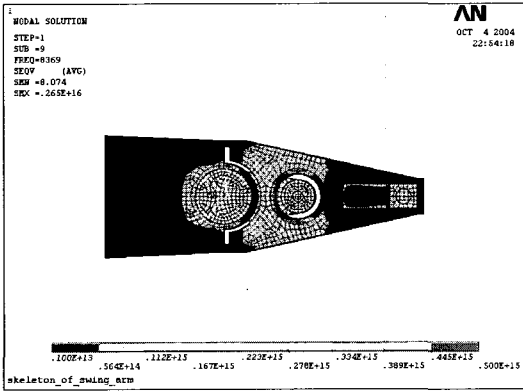
유한 요소 해석을 통하여 얻은 스윙암 액추에이터의 동특성을 향상시키기 위하여 DOE를 통하여 최적화 과정을 수행하였다. 먼저, 1절에서 살펴본 것과 액추에이터의 빠른 액세스 타임과 안정적인 정보의 재생 및 기록을 하기 위하여는 넓은 대역폭을 갖는 것이 필요하다. 또한, BD 1x의 디스크 스펙을 만족하기 위하여 스윙암의 무게는 일정 수준 이하로 제한되어야 한다. 무게에 대한 제한조건은 BD 1x디스크 서보 규격의 가속도와 2절에서 구한 로렌츠 힘의 상관관계를 이용하여 구하였다. 스윙암의 무게를 줄이기 위하여 스윙암의 부분적 제거를 수행할 경우, 부공진 주

파수의 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 액추에이터의 응력 해석을 통하여 무게를 줄이기 위한 공간을 선정하였다. Fig. 9(a), (b)는 각

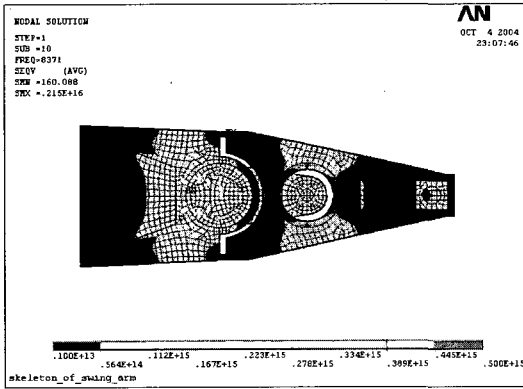
각 torsion mode와 bending mode에 대한 응력 해석을 수행한 결과이다.

무게를 줄이기 위한 디자인 변수로는 응력값이 상대적으로 낮은 부분을 선택하여 영역 안에서의 길이(C), 폭(E), 깊이(D)를 각각 경량화를 위한 디자인 변수로 선정한다. 또한, 부공진 주파수 증가를 위하여 부공진 주파수와 관련이 있는 스윙암의 길이(A)와 두께(B)를 각각 디자인 변수로 선정한다. Fig. 10은 최적화에 사용된 디자인 변수들을 나타낸 그림이고, 그 값들은 Table 4와 같다.

이상의 5개의 디자인 변수를 각각 3 level로 선택한 후 Table 5와 같은 L27(3⁵)의 DOE를 이용하여 스윙암의 무게와 부공진 주파수에 대한 민감도 분석을 수행하였다.



(a) Torsion mode



(b) Bending mode

Fig. 9 Von-mises stress of swing arm actuator

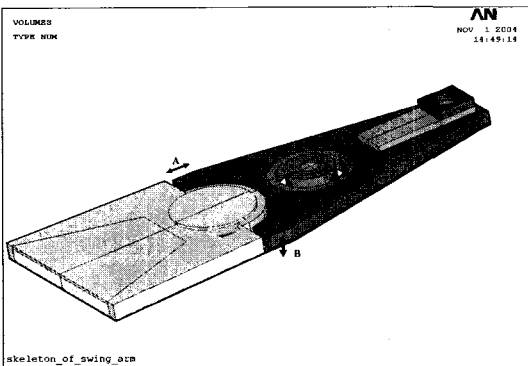


Fig. 10 Design factors

Table 4 Design factors for optimization

| | 1 level | 2 level | 3 level |
|---|---------|---------|---------|
| A | 1,6 mm | 1,7 mm | 1,8 mm |
| B | 1 mm | 1,2 mm | 1,4 mm |
| C | 6,55 mm | 6,6 mm | 6,65 mm |
| D | 0,2 mm | 0,25 mm | 0,3 mm |
| E | 0,7 mm | 0,8 mm | 0,9 mm |

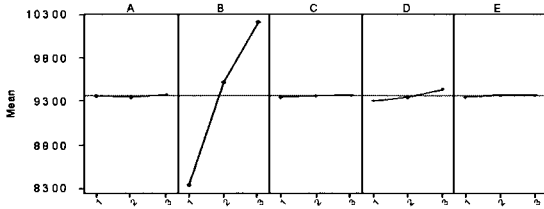
Table 5 Orthogonal array for L27(3⁵)

| A | B | C | D | E | Mass of moving part/mg | 2nd resonance frequency/Hz |
|---|---|---|---|---|------------------------|----------------------------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 376.90 | 8252.17 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 373.04 | 8290.15 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 369.19 | 8284.23 |
| 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 434.90 | 9484.61 |
| 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 431.18 | 9537.11 |
| 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 427.46 | 9527.79 |
| 1 | 3 | 3 | 3 | 1 | 495.32 | 10297.98 |
| 1 | 3 | 3 | 3 | 2 | 491.75 | 10307.88 |
| 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 488.17 | 10324.57 |
| 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 380.02 | 8405.45 |
| 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 376.47 | 8417.17 |
| 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 372.92 | 8410.33 |
| 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 434.26 | 9432.16 |
| 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 430.28 | 9496.69 |
| 2 | 2 | 3 | 1 | 3 | 426.31 | 9478.28 |
| 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 495.92 | 10174.74 |
| 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 492.23 | 10183.96 |
| 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 488.54 | 10200.83 |
| 3 | 1 | 3 | 2 | 1 | 379.19 | 8346.07 |
| 3 | 1 | 3 | 2 | 2 | 375.39 | 8366.47 |
| 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 371.58 | 8358.26 |
| 3 | 2 | 1 | 3 | 1 | 435.30 | 9586.75 |
| 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 431.79 | 9623.04 |
| 3 | 2 | 1 | 3 | 3 | 728.27 | 9628.37 |
| 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 486.44 | 10180.94 |
| 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 482.50 | 10174.88 |
| 3 | 3 | 2 | 1 | 3 | 478.56 | 10181.19 |

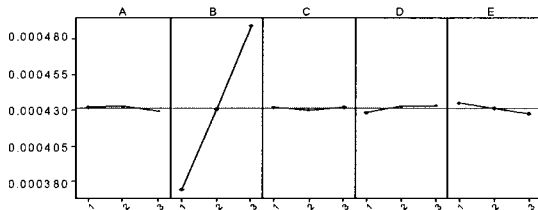
민감도 분석 결과, Fig. 11에서 확인할 수 있는 바와 같이 디자인 변수 B, D가 상대적 대하여 레벨에 따른 영향이 큰 것을 확인 할 수 있다. 따라서 최종

모델의 선정을 위하여, 디자인 변수 A, C, E는 각각 3 level, 2 level, 3 level의 값으로 고정된 후, B, D에 대하여 L9(3²)의 full factorial을 사용하여 최적화 된치수를 선정하였다. Full factorial의 결과는 Table 6와 같다. 무게의 제한 조건과 대역폭을 고려하여 이상의 9개의 결과에서 최종적인 치수를 선택 하였다.

최적화 과정을 통하여 최종 설계된 스윙암 액추에



(a) 2nd resonance frequency



(a) Mass of moving parts

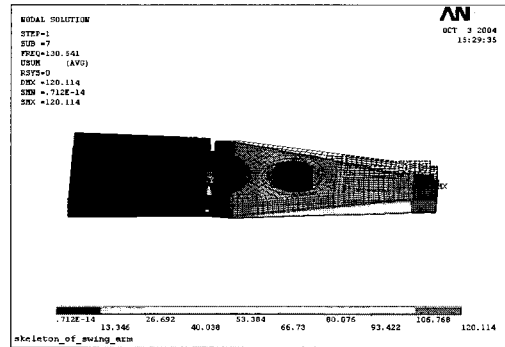
Fig. 11 Results of sensitivity analysis

Table 6 Full factorial array of L9(3²)

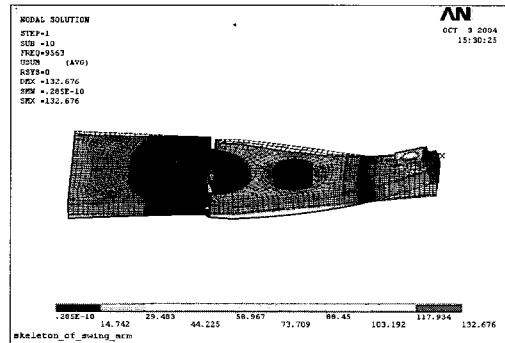
| B | D | Mass of moving part/mg | 2nd resonance frequency/Hz |
|---|---|------------------------|----------------------------|
| 1 | 1 | 387.83 | 8602.86 |
| 1 | 2 | 387.00 | 8556.28 |
| 1 | 3 | 386.18 | 8503.00 |
| 2 | 1 | 430.70 | 9478.58 |
| 2 | 2 | 429.87 | 9445.27 |
| 2 | 3 | 429.05 | 9405.24 |
| 3 | 1 | 473.57 | 9753.82 |
| 3 | 2 | 742.75 | 9770.99 |
| 3 | 3 | 471.92 | 9786.04 |

Table 7 Dynamic characteristics of optimum model

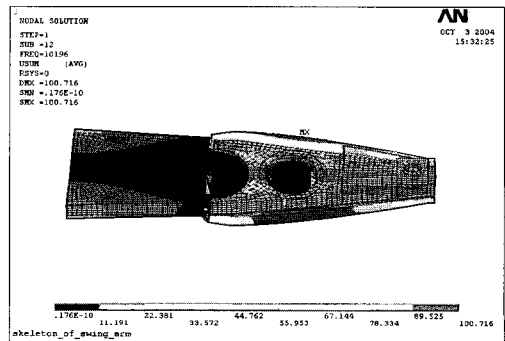
| Item | Unit | Value |
|------------------------------------|------|-------|
| Mass(swing arm) | mg | 426 |
| Total mass | g | 1.5 |
| Total length | mm | 28.2 |
| Total thickness | mm | 2.9 |
| Total width | mm | 11 |
| Dc sensitivity at 5 Hz(focusing) | mm/V | 0.197 |
| Ac sensitivity at 200 Hz(focusing) | um/V | 120.2 |
| Dc sensitivity at 25 Hz(tracking) | mm/V | 1.05 |
| Ac sensitivity at 200 Hz(tracking) | um/V | 20 |
| 2nd resonance frequency | Hz | 9563 |



(a) Focusing mode(130 Hz)

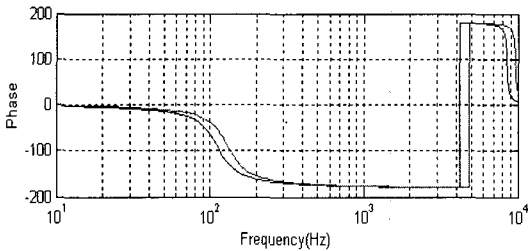
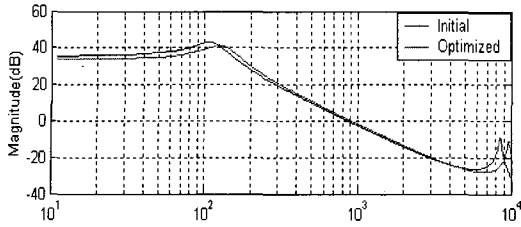


(b) Bending mode(9563 Hz)

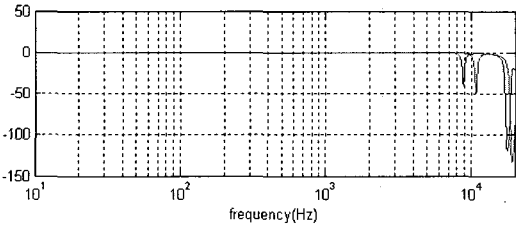
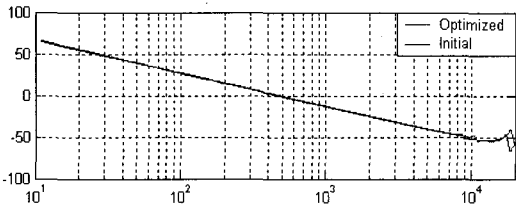


(c) Torsion mode(10196 Hz)

Fig. 12 Results of modal analysis



(a) Focusing mode



(b) Tracking mode

Fig. 13 Frequency response

이터의 동특성을 판단하기 위하여 모드 해석, 정적해석과 각 방향으로의 조화 해석을 수행하였으며, 그 결과는 다음에 나오는 Fig. 12과 같다.

시뮬레이션 결과 Fig. 13에서 확인할 수 있듯이 초기 모델의 부공진 주파수 8.2 kHz에서 약 14% 증가한 9.5 kHz의 부공진 주파수를 얻을 수 있었으며, 스

윙암의 무게는 초기 모델에 비하여 약 0.9%가 감소함을 확인하였다. 또한, 최종 모델의 포커스 방향으로의 DC 감도는 약 0.2 mm/V를 나타내었으므로 비교적 우수한 감도를 갖는 다고 판단할 수 있다.

5. 결 론

CF II card 사이즈의 드라이브 안에 장착되는 스윙암 형식의 액추에이터를 설계하였다. BD 1x서보 규격을 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 small form factor 액추에이터의 유한요소 해석을 통하여 동적 특성을 살펴보았다.

참 고 문 헌

- (1) Van der Aa, M. A. H. and Schleipen, J. J. H. B., 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", 한국소음진동공학회 추계 학술대회논문집, pp. 234~238.
- (3) Lee, J. K., 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.