

트래킹 코일 형상 최적화를 통한 롤링 모드 저감

Reduction of Rolling Mode Effect through Optimization of Tracking Coils

윤기탁* · 김철진** · 박노철** · 박영필***
Gi-Tak Yun, Chul-Jin Kim, No-Cheol Park and Young-Pil Park

Key Words : Rolling (롤링), Optical Pickup Actuator (광픽업 액추에이터), Response Surface Method (반응표면법) Design of Experiment (실험계획법), Resonance (공진)

ABSTRACT

Recently, optical disc drives are required to have high density and capacity in according with development of high definition images and rapid increase of various informations. Consequently, the numerical aperture becomes lager, the wavelength of laser is coming to be short. However, it deteriorates rolling mode effect on an optical pickup actuator. Therefore, this paper proposes new design and optimization of tracking coils for reducing it. First, we verify that discord between the center of force and the center of mass by restrictions of design condition is an important factor of rolling mode effect. Then, in order to reduce it, we propose new design parameters of tracking coils. Finally, we reduce rolling mode effect through optimization of tracking coils using Taguchi method and response surface method.

1. 서론

최근 정보화의 급속한 발전으로 인한 고화질의 영상물과 비약적인 데이터의 증가는 정보 저장 장치의 고밀도화와 고배속화를 요구하고 있다. 이를 만족시키기 위해 디스크 미디어 기록방식에서는 개구율(Numerical Aperture, NA)값을 높이고 파장(Wavelength)을 짧게 하여 대물렌즈 집광 빔의 크기를 소형화하는 방식으로 기록용량을 증가시킨다. 그러나, 개구율이 높아지고 파장이 짧아짐에 따라 광디스크와 대물렌즈의 광축경사에 의해 발생하는 코마수차가 급격하게 증가한다. 이는 RF 신호의 열화 및 접근시간(access time)의 저하로 연결되며, 기록기기에서는 기록 품질의 저하를 발생시킬 수도 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 롤링 방향 구동이 가능한 3축 액추에이터에 대한 연구들이 진행되었다.

그러나, 가격경쟁력을 갖추어야 하는 저가형 모델, 예를 들어 CD-RW 나 DVD-ROM 같은 제품에는 비용적인 측면에서 능동적인 경사 보상을 적용할 수가 없다. 따라서, 광축경사에 대한 시스템의 규제를 엄격하게 적용시킨다. 일반적으로 CD-RW 나 DVD-ROM 시스템의 Half Height (H/H)형 광픽업 액추에이터의 경우, 슬림형과는 달리 롤링 모드 주파수를 스피들 모터의 최대 회

전 주파수 이후로 설계를 하는 주파수 회피법(Frequency Avoidance Method)을 적용시킬 경우 DC 감도의 저하, 재생성능의 열화 등이 일어날 가능성이 증가되어 적용이 불가능하다.^[1]

따라서, H/H형 광픽업 액추에이터의 경우 주파수 회피법을 통한 대역변경으로 롤링 모드를 보상하지 않고 롤링 모드의 크기를 감소시켜 보상하는 방법을 사용하고 있다. 일반적으로 광픽업 액추에이터는 무게중심과 힘중심이 일치해야 불필요한 부공간이 발생하지 않게 된다.^[2] H/H형 광픽업 액추에이터의 경우 Fig.1 과 같아 좌우(tracking 방향)나 전후(wire 방향)로는 대칭형상을 가지게 되나, 상하(focus 방향)로는 비대칭적 형상을 갖게 된다. 더불어 광픽업 액추에이터 구동부 질량의 많은 부분을 차지하는 대물렌즈가 설계상 상측에 위치할 수 밖에 없다 따라서, 상하 방향으로 힘중심과 무게중심간의 불일치가 발생하게 되고, 트래킹 방향의 힘이 가해지면 Fig.2 와 같이 롤링이 발생하게 된다. 이런 설계적 한계로 인해 기존 형상과 동특성을 유지시키면서 질량중심과 구동중심을 일치시키기가 난해하게 되었다. 이에 무게중심과 구동중심을 일정한 간격으로 배치하는 비대칭 설계법,^[1] 와이어를 경사지게 고정하는 방법,^[3] 그리고 자성유체를 이용하여 뎀핑값을 증가시켜 공진값을 줄이는 방법^[4] 등이 제시되고 있다. 하지만, 롤링 모드가 발생하는 근본적인 원인이 무게중심과 질량중심의 불일치이므로, 이를 직접적으로 해결할 수 있는 방안이 가장 이상적이다. 따라서, 본 논문에서는 DVD-ROM 드라이브의 광픽업 액추에이터를 대상으로 트래킹 코일에 가해지는 힘과 중심불일치를 해결하는 트래킹 코일

* 연세대학교 정보저장기기연구센터
E-mail : tank0704@hanmail.net
Tel : (02) 2123-4677, Fax : (02) 365-8460

** 연세대학교 정보저장기기연구센터

*** 연세대학교 기계공학과

의 설계를 제안한다. 또한, 제안된 트래킹 코일로 롤링 모드는 효과적으로 저감하면서도, 감도에 영향을 주지 않도록 실험계획법과 반응표면법을 이용하여 최적화한다.

2. 본 론

2.1 대상모델 선정 및 모달 튜닝

Fig.3 은 대상 DVD-ROM 드라이브의 광픽업 액추에이터이다. DVD는 CD에 비해 레이저의 파장이 짧고 개구율 값이 커 광축경사에 민감하므로 DVD 용 광픽업 액추에이터를 대상모델로 선정하였다. 상용 유한요소 프로그램인 Ansys 를 사용하여 동적 해석모델을 구하고, 선정모델의 동특성 실험을 수행하여 Fig.4 와 같은 트래킹 방향의 주파수 응답함수를 구했다. 이때 해석모델은 조립, 가공, 해석상의 오차로 인해 실험값과는 차이를 보이게 되는데, 정확한 해석 결과를 얻기 위해 사용된 재료의 물성치 값을 변경하여 최종적으로 튜닝된 해석 모델을 구하였다. (Fig.5)

2.2 롤링 모드 원인 분석 및 설계변수 설정

Fig.1 과 같이 상하방향으로 비대칭 형상을 가지게 되는 H/H 형 광픽업 액추에이터는 트래킹 방향으로의 힘이 가해지면 모멘트가 발생된다. 이 발생된 모멘트로 인해 롤링 모드가 발생되고, 이러한 롤링 모드는 2 축 운동만 하는 광픽업 액추에이터에서는 원치않는 모드이다. 따라서, 제어가 불가능하여 제어대역 안에 있을 경우 서보의 안정성이 보장 받을 수 없으므로 제어대역 밖으로 이동시켜야 한다. 그렇지 못할 경우는 저감시켜야만 한다. 따라서 트래킹 가진시 중심불일치로 인해 발생하는 모멘트를 감소시켜 롤링 모드를 감소시킬 수 있음을 예측할 수 있다. 이러한 모멘트로 인한 부공진의 발생 메카니즘은 기존연구^[5]에서도 확인된 바 있다. 이는 대상모델의 트래킹 코일 이동량에 따른 주파수 응답특성 그래프(Fig.6)와 모멘트 암의 값(Table.1)으로 부터 확인할 수 있다. 그러나, 단순한 트래킹 코일의 이동은 무게중심이 상측으로 편중되어 동특성을 악화시키고, 트래킹 코일이 자속의 중심에서 멀어져 감도 저하를 야기한다. 따라서, 모멘트 암을 줄일 수 있는 추가적인 설계변수를 필요로 하게 되고, 이에 Fig.7 과 같은 트래킹 코일 내측 주 작용면 아래부분을 경사면으로 하는 부분적인 형상변경을 제안한다. 이는 설계구조상 변경이 불가능한 무게중심은 그대로 두고, 힘 중심이 무게중심에 근접할 수 있도록

하여 자속밀도의 저하를 방지하면서 롤링 모드를 저감시킬 수가 있게 된다. 이에 최종적으로 Fig.8 과 같이 설계변수를 설정하도록 한다.

2.3 Taguchi 방법

광픽업 액추에이터는 기본적으로 감도가 우수해야 한다. 그러나 이번 대상모델에서는 위와 같은 설계변수 설정으로 인해 자속밀도가 저하됨에 따라 트래킹 감도의 저하가 예상된다. 이에 롤링 모드는 억제하면서 트래킹 감도를 유지시킬 수 있도록 하는 최적설계가 요구되어진다. 따라서, 최적설계를 위해 Taguchi 방법을 이용하도록 한다. Taguchi 방법은 각 변수에 따른 목적함수의 민감도를 통해 변수를 최적화를 하고 노이즈에 강건하도록 하는 설계기법이다. 이번 연구에서는 위에서 설정한 설계변수들에 대한 사전 해석을 통해 최적화가 용이한 구간을 선정하고, Taguchi 방법을 이용하여 각 변수에 따른 목적함수의 민감도를 구한 다음 최적화를 위한 변수 및 세부 구간을 추출한다. 일반적으로 Taguchi 방법은 초기위치에서의 값만이 고려된다. 그러나, DVD-ROM 의 광픽업 액추에이터는 하위 매체인 CD와 호환이 되어야 한다. 따라서, 두 매체간의 다른 초점거리를 모두 만족시키기 위해 매체에 따라 광픽업 액추에이터를 포커싱 방향으로 이동시키는데, 이를 offset 이라 한다. 이러한 이동특성은 광픽업 액추에이터의 동특성에 영향을 미칠 수 있는 주요한 인자이므로 고려되어야 한다. 따라서, 이러한 특성을 고려하기 위해 offset 이동특성을 노이즈 요인에 적용시켜 Taguchi 방법을 수행하도록 한다.

$$Max \left(\frac{Tracking\ Sensitivity(mm/V)}{Mass(g) \times Rolling\ Moment(N*mm)} \right) \quad (1)$$

목적함수는 식(1)과 같이 롤링모드를 최대한 억제하고, 트래킹 감도 저하를 극소화 하는 것으로 설정한다. 설계변수 3 개를 각각 3 수준으로 설정하여 $L_9(3^3)$ 의 내부배열을, offset 이동특성에 대한 노이즈 요인을 3 수준으로 설정하여 외부배열을 각각 구성한다. 이렇게 최종적으로 Table.2 와 같이 총 27 번의 실험을 수행, 목적함수의 값을 구한다.^[6] 위와 같이 구성한 실험은 다시 평균분석(ANOM) 방법에 따라서 각 변수의 수준별로 결과를 분석한다. 그리고, 각 설계변수의 S/N 비 값이 가장 큰 수준을 도출하여 다음과과정의 중심점으로 사용한다. 위 실험의 목적함수 결과값으로 평균분석 방법을

통해 구한 결과가 Fig.9 와 Fig.10 이며, 이는 각각 변수 수준에 따른 목적함수의 S/N 비와 평균값을 나타낸다.

2.4 최적화 과정

목적함수의 최적화를 위한 각 변수들의 최적수준을 구하는 방법으로 많은 경우 반응표면법을 사용한다. 반응표면법은 Taguchi 방법을 이용한 실험점 채택을 통해 통계적인 분석방법으로 국부적인 영역의 목적함수 근사식을 구성하는 것이다.^[7] 본 논문의 경우 설계변수는 적은 반면 정확한 곡면 특성을 요구하기 때문에 이에 적합하도록 중심합성계획법(Central Composition Design ; CCD)을 이용하도록 한다. 중심합성계획법은 설계영역의 중심인 0 수준의 실험점을 중심점으로 하여 일정한 크기의 반경을 가지는 위치에 존재하는 점들을 선택하는 방법이다.^[8-10] 이 중심점은 위에서 행한 실험계획법에서 구한 S/N 비가 가장 높은 점들로 설정하고 Table.3 과 같이 배열하여 실험을 구성한다. 이는 Ansys 를 이용하여 해석하며, 이 목적함수 값으로 반응표면식을 구한다. 일반적으로, 목적함수가 선형적이면 1 차함수, 비선형적이면 2 차이상의 함수를 사용한다.^[11] 본 논문에서는 변수간의 상호작용을 고려하고, 정밀한 반응표면 식을 구하기 위해 교호항과 3 차항을 추가하였으며, 그 결과로 얻은 반응표면식은 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned}
 F = & 1280.39 - 43.04x_1^3 - 2907.30x_2^3 \\
 & - 258.07x_3^3 - 4648.97x_1^2x_2^2x_3^2 \\
 & - 72.05x_1^2x_2^2x_3 + 3479.46x_1^2x_2x_3^2 \\
 & - 784.37x_1x_2^2x_3^2 - 711.08x_1x_2x_3^2 \\
 & + 215.09x_1x_2^2x_3 - 385.46x_1^2x_2x_3 - 232.61x_1^2 \\
 & + 4787.92x_2^2 + 192.27x_3^2 + 465.72x_1x_2x_3
 \end{aligned} \quad (2)$$

(x_1, x_2, x_3 : 각 설계변수 A,B,C 의 수준)

통계적인 처리를 위해 상용 통계 프로그램인 SAS 를 활용하였으며, 위 식의 R-square 값은 0.99 로 충분히 신뢰 할 수 있는 반응표면식이라 할 수 있다.

2.5 최적화 결과 및 검증

유전자 알고리즘을 적용하여 위에서 구한 반응표면식이 극대값을 가지도록 하는 각 설계변수들의 수준을 구하면 $x_1 = 0$ 수준, $x_2 = -1$ 수준, $x_3 = 0$ 수준이다. 이를 각 설계변수의 실질적인 치수로 나

타내면 $A = 0.20mm$, $B = 0.75mm$, $C = 1.00mm$ 가 된다. 이렇게 구한 설계변수의 값을 적용시켜 다시 유한 요소 해석을 한 결과를 기존모델과 비교하여 Fig.11 에 나타내었다. 최적화 된 모델이 기존의 모델에 대비해서 트래킹 감도는 변화가 거의 없이 유지되면서 롤링과 위상이 상당히 억제됨을 확인할 수 있다. 이를 수치적으로 표현하면 트래킹 감도 저하는 약 3%로 최소화 하였으며, 롤링 모드는 기존 모델보다 모멘트 기준으로 약 95% 가 저감되었다. (Table.4)

3. 결 론

롤링을 효과적으로 저감시키면서도 트래킹 감도 저하를 최소화하는 트래킹 코일의 형상을 제안하고, 최적화하였다. 먼저 트래킹 코일의 설계변수를 설정하고, 롤링저감과 감도저하를 동시에 만족시키도록 목적함수를 결정한다. 그리고, 노이즈에 강건하도록 Taguchi 방법을 사용하여 설계변수의 최적수준을 결정한다. 이를 바탕으로 중심합성계획법을 이용하여 설계변수의 최적값을 구하였으며, 그 결과 롤링을 효과적으로 저감시키고, 트래킹 감도 저하를 최소화하였다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 지정 정보저장기연구센터의 지원(R11-1997-042-11001-0)을 받아 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) 정덕영 등, 2002, “광픽업 액츄에이터의 롤링 저감 대책”, 춘계학술대회논문집, 한국소음진동공학회, pp. 368-372.
- (2) 박재훈 등, 1999, “Optical Pick-Up Model Development for Vibration Analysis”, 추계학술대회논문집, 한국소음진동공학회, pp. 256-261.
- (3) 사재천, 2001, “틸트저감을 위한 광픽업 액츄에이터 서스펜션 설계와 연속체의 동적안정성 연구”, 서강대학교.
- (4) 송병륜 등, 2001, “자성유체 댐퍼를 이용한 광픽업 액츄에이터의 동특성 개선”, 춘계학술대회논문집, 한국소음진동공학회, pp.496-503.
- (5) 정기원 등, 2003, “트래킹 코일 최적화를 통한 광픽업 액츄에이터의 동특성 개선”, 추계학술대회논문집, 한국소음진동공학회, pp.214-219.
- (6) Ranjit K. Roy, 2001, “Design of Experiments Using the Taguchi Approach”, Wiley.
- (7) Raymond H. Myers et al., 1995, “Response Surface Methodology : Process and product optimization using designed experiments”, Wiley.

(8) Kyung-Jin Hong et al., 2000, "A study on the construction of Response surface for Design Optimization", KSME Journal Vol.24 No.6, pp. 1408-1418.

(9) 이종진 등, 2003, "진동 특성을 고려한 마이크로 액추에이터 판 스프링의 최적설계", 추계학술대회논문집, 한국소음진동공학회, pp. 220-225.

(10) 임용빈 등, 2001, "실험설계의 원리와 응용 - 공업 통계 데이터 분석을 중심으로", 자유아카데미

(11) 소현준 등, 2003, 반응표면법을 이용한 솔레노이드형 자기액추에이터의 치수 최적화 설계, 춘계기계학회.



Fig.5 최종 튜닝된 해석 모델

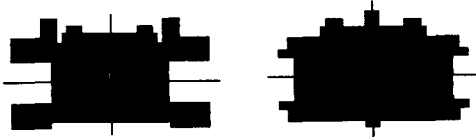


Fig.1 H/H 형 액추에이터 대칭성 비교

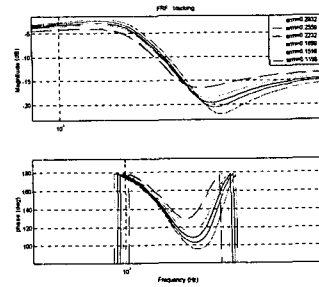


Fig.6 모멘트 암 값에 따른 롤링 모드

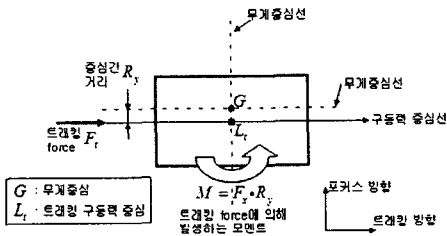


Fig.2 중심불일치로 인한 모멘트 발생 메커니즘

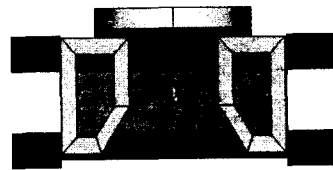


Fig.7 트래킹 코일의 형상변경 모델



Fig.3 DVD-ROM 용 광픽업 액추에이터

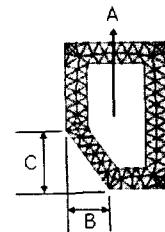


Fig.8 디자인 변수

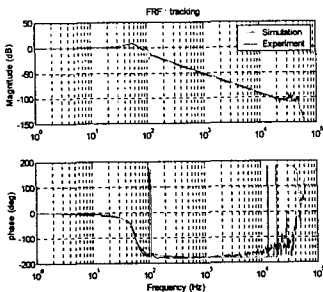


Fig.4 트래킹 방향 주파수 응답특성

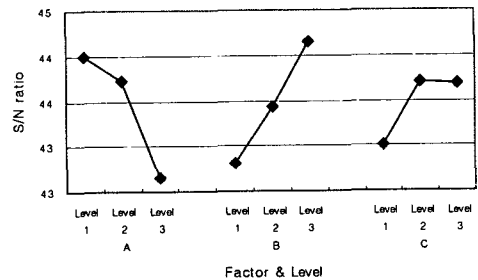


Fig.9 S/N 비 그래프

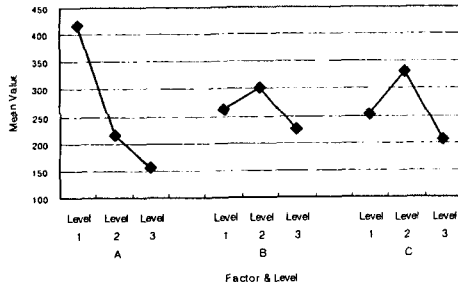
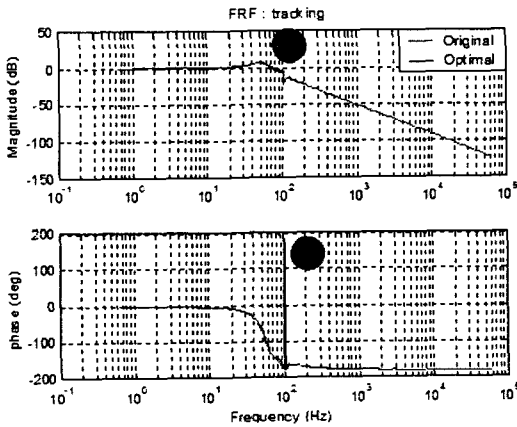
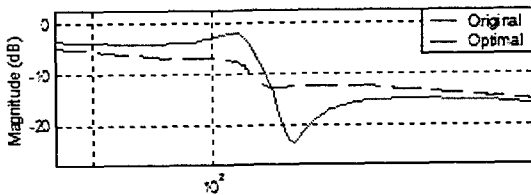


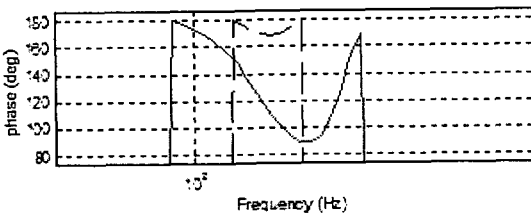
Fig.10 평균값 그래프



(a) 동특성 그래프



(b) ① 영역 상세도



(c) ② 영역 상세도

Fig.11 개선 전,후 동특성 그래프 비교

Table.1 트래킹 코일 위치에 따른 모멘트

Arm (mm)	Moment (N*mm)	Mass
0.2932	0.005351	동일
0.2559	0.003847	
0.2232	0.003401	
0.1899	0.002974	
0.1516	0.002280	
0.1198	0.001996	

Table.2 직교배열표

구분	A	B	C	Noise		
	Level	Level	Level	1	2	3
1	1	1	1	Experiment Data 3×9		
2	1	2	2			
3	1	3	3			
4	2	1	2			
5	2	2	3			
6	2	3	1			
7	3	1	3			
8	3	2	1			
9	3	3	2			

Table.3 중심합성계획법(CCD)

Exp	Factor A		Factor B		Factor C	
	Level	data	Level	data	level	data
1	-1	0.175	-1	0.750	-1	0.950
2	-1	0.175	-1	0.750	1	1.050
3	-1	0.175	1	0.850	-1	0.950
4	-1	0.175	1	0.850	1	1.050
5	1	0.225	-1	0.750	-1	0.950
6	1	0.225	-1	0.750	1	1.050
7	1	0.225	1	0.850	-1	0.950
8	1	0.225	1	0.850	1	1.050
9	-k	0.157	0	0.800	0	1.000
10	k	0.243	0	0.800	0	1.000
11	0	0.200	-k	0.713	0	1.000
12	0	0.200	k	0.887	0	1.000
13	0	0.200	0	0.800	-k	0.913
14	0	0.200	0	0.800	k	1.087
15	0	0.200	0	0.800	0	1.000

Table.4 개선 전,후 특성값 비교

모델구분	A/C 감도 (mm/V)	Moment (N*mm)	위상차 (deg)
Original	0.0751	0.004348	90
Optimal	0.0726	0.000232	11.80
차이	3 %	95 %	87 %