

가동 자석과 PCB를 이용한 3축 구동 박형 액추에이터의 개발[#]

Development of 3-Axis Slim Actuator Using Moving Magnet and PCB

윤 영 복[†] · 신 경 식* · 남 도 선* · 양 윤 탁*

Young-Bok Yoon, Kyung-Sik Shin, Do-Sun Nam and Yoon-Tak Yang

(2004년 8월 18일 접수 : 2005년 1월 12일 심사완료)

Key Words : Optical Pick Up(광픽업), Actuator(액추에이터), Finite Element Method(유한요소법), Electro-magnetic Analysis(전자기 해석), PCB(인쇄회로기판), 3-axes motion(3축 구동)

ABSTRACT

We design a new actuator of 3-axis motion for high performance optical devices. The actuator makes it possible to control the tilting motion by using moving magnet and PCB-coil, which have benefits in price and manufacturing. To predict the characteristics of the actuator, especially the effect of moving magnet, finite element method and electro-magnetic analysis were used. By comparing simulation data with experimental results, we verified the accuracy of the simulation and the superiority of the present.

1. 서 론

최근 광디스크 드라이브의 고밀도화에 대한 요구가 점점 높아지고 있다. 이를 이루기 위해서는 대물렌즈의 개구수(numerical aperture)를 높이고 레이저의 파장을 짧게 하여 광 스팟의 크기를 작게 하여야 한다. 하지만 개구수의 증가는 디스크와 대물렌즈 광축간의 경사 변화로 인해 발생하는 코마수차(comma aberration)를 증가시키며, 이로 인하여 광학 신호의 열화가 발생한다. 이를 보상하기 위해서는 능동적으로 디스크의 경사(틸트, tilt)를 보정할 필요가 있다. 따라서 기존의 2축 액추에이터에 디스크 틸트를 보정하기 위하여 틸트 구동을 추가 시킨 3축 액추에이터의 개발이 활발히 이루어지고 있다.^(1~3)

이와 더불어 드라이브의 슬립화에 따라 액추에이터

또한 기구적으로 그 높이가 제한된다. 이러한 기구적 제한 때문에 액추에이터는 불가피하게 비대칭형이 되며 이에 따라, 대칭형에 비해 설계 및 제작면에서 많은 어려움이 따르게 된다. 특히 3축 액추에이터의 경우에는 극히 제한된 공간에 틸트 구동의 기능까지 구현해야 하기 때문에 이를 위한 많은 연구가 진행되어 왔다.

이에, 이 연구에서는 틸트 구동이 가능한 박형 3축 구동 액추에이터 개발을 목표로 하여 이에 대한 연구를 수행하였다. 성능 외에도 제작성 및 가격 측면이 고려되었으며 전자기 해석(electro-magnetic analysis)과 모드해석(modal analysis) 등이 설계에 사용되었다. 설계 안을 바탕으로 하여 샘플 제작을 수행하였으며 액추에이터의 동특성 측정 결과를 얻을 수 있었다.

2. 틸트 구동

틸트 구동을 구현하기 위한 여러 가지 형태의 액추에이터가 제안되어 왔으며 구동 방식 측면에서 크게 3가지의 형태로 나눌 수 있다.⁽³⁾ 6개의 와이어를 사용하는 가동 코일형(moving coil type)과 코일이 액

[†] 책임저자 : 정회원, 삼성전기(주) 중앙연구소 CAE Group
E-mail : andy.yoon@samsung.com

Tel : (031) 210-5485, Fax : (031) 210-6286

* 삼성전기(주) 광디바이스 사업부

이 논문은 2004추계학술대회 우수발표논문으로 추천되었음.

추에이터의 베이스에 고정되고 구동부에 영구자석을 결합시킨 가동 자석형(moving magnet type), 그리고 가동 코일형과 가동 자석형을 결합시킨 혼합형이다. 각각 그 특성에 따라 장단점을 가지며 어느 것이 우수하다고 쉽게 단정 할 수 없다. 그러나 이 연구에서는 조립 및 제작 측면에서 가장 유리하다고 판단되는 혼합형을 기본 형태로 선정하였다. 즉 포커스(focus)와 트래킹(tracking) 방향으로는 기존의 가동 코일 방식을 그대로 사용하며, 틸트 방향의 구동을 구현하기 위해서 추가의 가동 자석을 사용하는 방법을 사용하였다. 이 연구에서 설계된 3축 액추에이터의 형태를 Fig.1에 나타내었다.

그러나 가동 자석을 사용하는 액추에이터는, 기존의 가동 코일형에 비해 설계상에 많은 어려움이 따른다. 즉 타 종류의 액추에이터의 경우, 코일에 전류를 인가하지 않을 경우에 가동부에 중력 외에는 힘이 발생하지 않는다. 그러나 가동 자석형 액추에이터에는 전류가 인가되지 않을 경우에도 가동부에 외력이 존재하게 된다. 즉 가동 자석형 액추에이터의 경우에는 가동부(blade assembly)에 부착 되어 있는 틸트 자

석과 고정부의 자성체 사이에 자력이 상호 작용하게 되며 이러한 자력은 가동부에 외력으로 작용하게 된다. 이렇듯 고정부와 가동부와의 사이에서 발생하는 힘은 실제로 액추에이터의 특성에 큰 영향을 미칠 수 있다.

또한 이 연구의 액추에이터는 권선 코일 대신 PCB(printed circuit board)를 사용하여 틸트 구동을 구현하였다. 기존의 가동 자석형 틸트 구동 액추에이터에서는 와이어 홀더에 권선 코일을 사용하여 틸트 구동을 구현하였다.⁽³⁾ 그러나 이러한 방법은 실제 조립에 어려움이 따른다는 단점이 있다. 따라서 이 논문에서는 일반적인 권선 코일이 아닌 PCB 기판을 사용하여 제작에 유리하도록 설계하였다. PCB 기판은 가격적 관점에서도 권선과 큰 차이를 가지지 않으면서도 제작 시 간편함과 신뢰성을 동시에 가지기 때문에 실제 제작적인 면에서 많은 장점을 가진다. PCB는 총 4개의 층(layer)이 적층되어 있으며, 그 중 첫 번째 층의 코일 형태(coil pattern)를 Fig.2에 나타내었다. 나머지 3개의 층 또한 첫 번째와 비슷한 형태를 가지고 있으며 중앙 부분의 코일을 유효 코일로서 사용하게 된다.

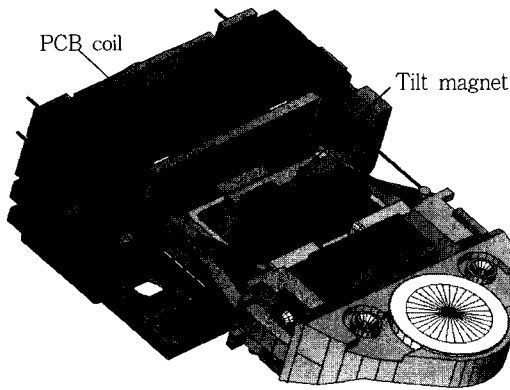


Fig. 1 3-axis slim actuator

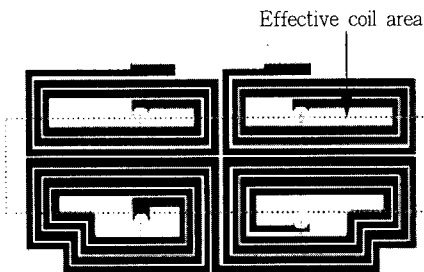


Fig. 2 Pattern of tilt PCB

3. 해석 및 설계

3.1 와이어 지지부의 강성

가동부를 지지하는 와이어 구조물의 각 방향의 강성을 구하기 위해서는 유한요소 해석 또는 이론적인 수식을 통해 구할 수 있다. 이 연구에서는 이론식을 사용하여 강성을 구하였다.⁽⁴⁾ 그러나 실제의 액추에이터에 있어서는 댐퍼(damper)의 영향에 의해 강성이 증가하게 되며 따라서 본 설계에서는 실제 계산된 강성의 값 보다 30% 증가된 값을 사용하였다.

3.2 유연모드해석

상용 유한요소해석 프로그램 I-DEAS™를 사용하여 액추에이터의 모달 해석(modal analysis)을 수행하였다. 가동부는 보빈(bobbin), 코일, PCB, 틸트 자석과 접착제 등으로 이루어져 있으며 각각의 부품들은 완전 접촉되었다고 가정하였다. 보빈의 재료인 LCP(liquid crystal polymer)는 제작 형상과 공정에 따라 물성치가 변화하며 또한 코일과 보빈의 이방성, 접착제의 물성치와 접착 조건 등에 의해 해석의 정확성이 좌우되기 때문에, 이 해석에서는 기존 모델의

실험을 바탕으로 보정된 값을 물성치로 사용하였다. 해석의 결과를 Fig. 3과 4에 나타내었으며, 해석 결과 포커스 모드와 트래킹 모드는 각각 19.4 kHz와 30.5 kHz에서 발생하였다.

3.3 자기 해석

(1) 가동자석의 영향

액추에이터의 구동 감도 및 균일한 감도를 가지는 구간의 확보, 경사 변화(shift tilt) 여부 등을 검토하기 위해서는 자기 해석(electro-magnetic analysis)이 반드시 수행되어야 한다. 일반적으로 사용되고 있는 가동 코일형 액추에이터(moving coil type actuator)의 경우에는 자기장 내 전류가 흐르는 코일이 받는 힘, 즉 로렌츠 힘(lorentz force)을 사용하여 쉽게 자기 해석을 수행 할 수 있다. 그러나 가동 자석 형태의 경우에는 로렌츠 힘 외에도 자석과 자석간의 자력이 작용하기 때문에 기존의 방법을 그대로 사용할 수 없으며, 가상 변위를 이용한 가상힘(virtual force)을 이용하여 가동부에 작용하는 힘을 계산하여야 한다.

이러한 해석 상의 차이는 해의 수렴성과 정확성에 많은 영향을 미치게 되며, 신뢰할 만한 해를 구할 경우, 기존의 로렌츠 힘을 사용하여 구하는 경우에 비해 많은 시간이 소요된다.

아울러 가동 자석형 액추에이터의 설계에서는 자석간에 발생하는 힘 때문에 기존에 비해 고려해야 할 문제가 증가하게 된다. 포커스 또는 트래킹 방향으로의 가동부 위치에 따라 자석간에 작용하는 힘은 변화하게 되며 액추에이터의 감도, 초기 경사(initial tilt), 경사 변화 등에 영향을 미치기 때문에 이에 대한 고려가 반드시 필요하다. 또한 와이어의 좌굴 현상이 발생할 수 있으며 이에 대한 고찰이 필요하다. 이렇듯 가동 자석형 액추에이터의 경우에는 기존 해석에 비해 그 계산이 비교적 복잡하며 설계에 고려할 부분이 증가하게 된다. 이를 고찰하기 위한 해석용 프로그램으로는 Maxwell@3D를 사용하였으며 수렴을 확인하기 위한 오차 한계(error criterion)으로는 0.5%를 사용하였다. Fig. 5에 전자기 해석을 위한 모델링 그림을 나타내었다. 부공진과 관련된 모멘트를 구하기 위한 기준점으로는 트래킹 코일의 중심을 사용

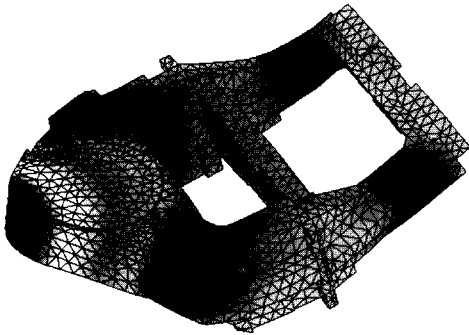


Fig. 3 Flexible mode of blade assembly in the focus direction

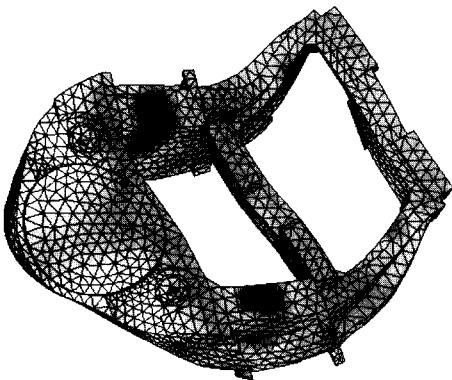


Fig. 4 Flexible mode of blade assembly in the tracking direction

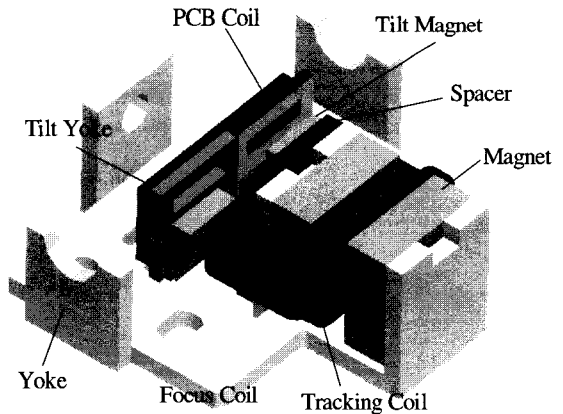


Fig. 5 Actuator modeling for electromagnetic analysis

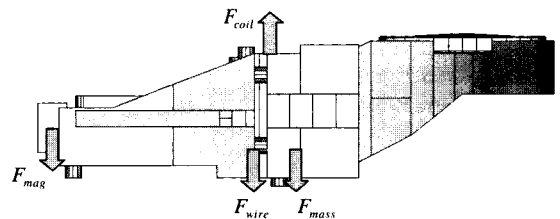


Fig. 6 Force balance of moving part of actuator with including magnetic force

하였으며 이 기준점은 가동부의 위치에 따라 이동하도록 설정하였다.

(2) 가동부의 초기 위치

구동 전압이 인가되지 않을 때에도 가동 자석형 액추에이터의 경우에는 가동부의 틸트 자석과 그리고 고정부 간의 자기력이 발생하게 되며 이로 인해, 인가 전압이 없을 경우에도 가동부에 힘이 작용한다. 가동부에 작용하는 힘은 가동부의 위치에 따라 변하게 되며, 따라서 가동부의 위치를 변화시켜가며 이 힘들을 각각 계산하였다. 계산된 자력과 와이어에 의해 발생하는 반력 그리고 가동부의 자체 질량에 의한 중력이 힘의 평형을 이루는 위치를 계산하면 가동부의 초기 위치를 계산할 수 있다. 설계된 액추에이터에서 초기 위치는 기존 액추에이터와는 반대로 오히려 0.1mm 상승하는 결과를 얻을 수 있었다.

(3) DC 감도 및 선형성

3축 가동 자석형 액추에이터의 경우, 가동부에 부착되어 있는 틸트 자석과 고정부 사이에 발생하는 자력은 가동부의 이동을 방해하려는 방향으로 힘이 변화한다. 이러한 성질은 가동부를 지지하는 와이어의 성질과 비슷한 특성을 지니며 이는 지지부의 강성을 증가시키는 효과를 나타내기 때문에 액추에이터의 DC 감도는 저하되게 된다. 액추에이터의 AC 감도는 지지부의 강성과는 관계가 적으므로 틸트 자석의 영향을 무시할 수 있다.

가동부의 초기 위치를 구하는 방법과 마찬가지로 외력의 평형을 이용하여 액추에이터의 DC 감도를 구할 수 있다. 앞 절에서 가동부의 초기 위치를 구하는 것과 마찬가지로, Fig. 6에서 나타낸 외력의 힘이 0이 될 때 액추에이터는 힘의 평형 상태를 이루며 가동부는 정지 상태에 있게 된다. 가동부의 위치에 따라 단위 전압 당 발생하는 로렌츠 힘도 변화하기 때문에 전과 마찬가지로 가동부의 위치를 변화시켜가며 로렌츠 힘을 계산하였다. 이렇듯 틸트 자석의 영향을 고려하였을 경우와 그렇지 않을 때의 포커스와 트래킹 감도를 계산한 결과 많은 차이가 나는 것을 알 수 있었다.

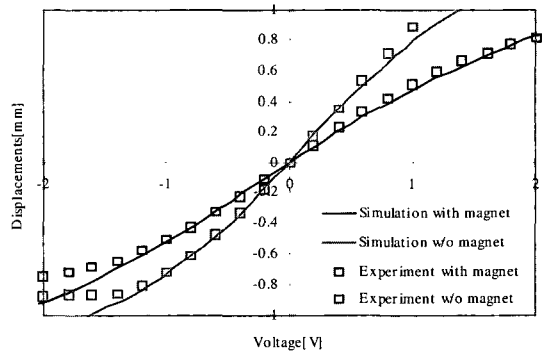
4. 제작 및 특성 측정

앞 장에서 수행된 해석을 바탕으로 3축 구동 박형 액추에이터를 설계·제작하였으며 그 사진을 Fig. 7에 나타내었다. 제작된 액추에이터는 기존의 2축 구동

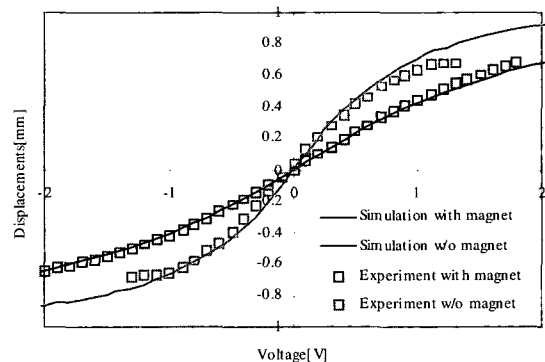
제품 조립 공정에 비해 틸트 자석, 틸트 요크, PCB의 부착이 새롭게 추가되었다. 기존의 3축 가동 코일형 액추에이터의 경우에는 특별한 공정이 추가되지는 않으나, 한정된 공간에 틸트 코일의 집착해야 하며 또한 한정된 면적에 6개의 와이어 납땜을 해야 하는 등의 어려움이 따른다. 이에 비해 본 액추에이터는 공정 수는 증가되었으나 틸트 구동부가 포커스·트래



Fig. 7 Slim tilt actuator with PCB and tilt magnet magnet



(a) Focus direction



(b) Tracking direction

Fig. 8 Displacements according to applied voltage

킹 구동부와 위치를 달리하며 4개의 와이어만을 사용하기 때문에 각 공정이 기존 공정에 비해 어려워지지 않고 조립성 면에서 우수하다 할 수 있다.

제작된 액추에이터의 동특성을 평가하기 이전에 우선 틸트 자석의 영향이 가장 크게 나타나는 DC 감도에 대해 측정하였다. 틸트 자석에 의한 영향을 살펴보기 위해 틸트 자석의 부착되었을 경우와 틸트 자석을 제거한 뒤에 각각의 DC 감도를 측정하였다. DC 감도를 측정하기 위해서 인가 전압을 등간격으로 증가시켜가며, 이에 따른 가동부의 위치 변화를 측정하였다. 포커스 방향과 트래킹 방향의 측정 결과를 각각 해석 결과와 비교하여 Fig. 8에 나타내었다. DC 감도는 그림에서의 기울기로 표현될 수 있으며 그림에서 알 수 있듯이 해석과 실험 결과가 서로 잘 일치함을 알 수 있다. 틸트 자석이 부착되었을 경우에 기울기, 즉 DC 감도가 매우 감소하고 있음을 그림에서 볼 수 있다. 특히 트래킹 방향으로의 DC 감도는 50% 이상 감소되고 있음을 볼 수 있다. 이러한 실험 결과는, 이와 같은 가동 자석형 액추에이터의 설계 시에는 반드시 틸트 자석의 영향을 고려해야 함을 말해주고 있다.

액추에이터의 동특성 실험을 수행하였다. 측정된 결과를 정리하여 Table 1에 나타내었다. 포커스와 트래킹 방향의 각 특성을 비교해보면 틸트 자석의 영향이 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 틸트 자석은 강성에 큰 영향을 주므로 포커스·트래킹 방향에 따른 1차 공진주파수가 일반적인 액추에이터와는 다른 경향을 보이고 있는 것을 볼 수 있다. 와이어가 서로 평행하게 조립되었다면 포커스와 트래킹 방향으로의 강성이 서로 같기 때문에 1차 공진 주파수는 서로 같은 값을 가져야 한다. 그러나 개발된 액추에이터는, 와이어가 서로 평행함에도 불구하고, 1차 공진 주파수에서 그 값의 큰 차이를 보이고 있다. 특히 기존의

액추에이터에서는 포커스·트래킹 방향의 공진 주파수가 롤링 방향의 주파수에 비해 절반 정도의 수준임을 감안 할 때, 본 액추에이터의 트래킹 방향의 공진 주파수가 거의 롤링 방향의 주파수까지 접근함에서 틸트 자석의 영향을 볼 수 있다. 이는 해석에서 예측 하였던 것과 같이 포커스와 트래킹 방향으로는, 자력이 가동부의 움직임을 방해하려는 방향으로 작용하고, 롤링 방향으로는 가동부의 움직임과 같은 방향으로 힘이 작용하기 때문이다. DC 감도면에서는 트래킹 방향이 포커스 방향보다 작은 값을 가지나 AC 감도에서는 오히려 트래킹 방향에서의 값이 큰 것은 이러한 사실을 잘 반영하고 있다. 아울러 해석에서 구한 2차 공진 주파수 또한 실험 결과와 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

이 논문에서는 대물렌즈와 디스크 간의 상대 경사로 인해 발생하는 코마 수차를 극복하기 위한 틸트 구동이 가능한 3축 구동 박형 액추에이터를 개발하였다. 보빈에 자석을 부착하는 가동 자석 형태를 이용하여, 틸트 구동을 구현하였으며, 권선 코일 대신 PCB를 사용하여 제작의 용이성을 추구하였다. 이러한 가동 자석이 액추에이터의 특성에 미치는 영향, 특히 강성에 미치는 영향을 자기 해석을 통해 예측할 수 있었으며 이를 실험에서 구할 수 있는 DC 감도, 공진 주파수 등을 통하여 검증할 수 있었다.

참 고 문 헌

- (1) 박관우, 서민석, 홍삼열, 김영중, 최인호, 김진용, 2002, "3축 구동이 가능한 Slim형 Pick-up Actuator 개발 및 동특성 분석," 한국소음진동공학회, 춘계학술대회논문집, pp. 373~377.
- (2) 김석중, 이용훈, 최한국, 2000, "고밀도 광저장 기기용 틸트 액추에이터 동특성 분석 및 평가," 한국소음진동학회논문집, 제 10 권, 제 4 호, pp. 584~595
- (3) 김세원, 임경화, 조태민, 신경식, 윤영복, 2003, "광디스크 드라이브용 3축 초박형 액추에이터 개발," 한국소음진동공학회, 추계학술대회논문집, pp. 208~213.
- (4) 한창수, 서현석, 이정현, 원종화, 김수현, 박운근, 1998, "광디스크용 4와이어 구동기의 경사에 관한 연구," 한국정밀공학회지, 제 15 권, 제 7 호, pp. 52~60.

Table 1 Dynamic characteristics of 3-axis actuator

	Unit	Focus	Track	Tilt
DC sensitivity	[mm/V] or [degree/V]	0.73	0.57	1.50
1st resonance frequency	[Hz]	69.0	83.1	97.8
AC sensitivity	[um/V]	74.8	96.8	-
2nd resonance frequency	[kHz]	21.3	26.0	-
Peak level in 2nd resonance	[dB]	32.3	33.7	-