

광디스크용 4-wire 액츄에이터의 연성효과에 관한 해석 Analysis of coupled effect for 4-wire actuator of optical disc

한창수, 서현석, 이정현(KAIST), 원종화(삼성전자), 김수현, 박윤근(KAIST)

C.S. Han, H.S.Seo, J.H.Lee(KAIST), J.H. Won(Samsung Elec.), S.H.KIM, Y.K.KWAK(KAIST)

ABSTRACT

In optical disc system, lens actuator of 4-wire has unwanted moment which occurs tilt. The moment around the axis parallel to the tangential direction of the disk occurs to the moving part. when the moving part is moved in tracking direction and focus driving force is applied. This paper analyzed coupled effect due to the moment based on structural analysis and magnetic field analysis, both using finite element method.

Key Words : optical disc(광디스크), pickup actuator(픽업 액츄에이터), 4-wire, FEM(유한요소법)
coupled effect(연성효과), tilt(경사), CD(compact disc), DVD(Digital Video Disc)

1. 서 론

CD(Compact disc)나 CD-ROM(Compact Disc Read Only Memory), MO(Magneto Optical Disc Drive) 등의 광디스크는 음악 및 정보의 기록 재생을 위한 장치로 광범위하게 이용되어 있으며, 최근들어서는 동일한 면적에 보다 고밀도의 정보를 기록재생하기 위해서 MD(Mini Disc), DVD(Digital Video Disk) 등의 새로운 광디스크 장치가 등장하였고, 8 배속, 12 배속 CI-ROM 등의 보다 빠른 정보전송을 위한 광디스크 장치의 개발이 진행되고 있다. 이들은 모두 멀티미디어 시대의 중요한 한 부분을 차지하고 있다.

이 광디스크의 구조는 미디어 부분과 메카니즘 분야 그리고 신호처리분야로 크게 나누어지고, 메카니즘 분야는 회전메카니즘, 조동메카니즘, 미세메카니즘으로 구별된다. 그 중 미세 메카니즘으로서 광학렌즈의 구동장치인 광픽업 액츄에이터는 시스템의 성능을 좌우하는 매우 중요한 부분이다. 광디스크 정보의 기록재생을 위해 사용되는 광픽업 액츄에이터는 자석, 코일 등에 의해 형성되는 전자기력에 의해 구동되는데 이를 일반적으로 VCM(Voice Coil Motor) 방식이라 한다. 이 액츄에이터는 광학렌즈의 광을 디스크에 정확히 초점시키기 위해 광학렌즈의 디스크 방향인 포커싱방향과 신호가 기록된 트랙방향인 트래킹방향으로 구동시키는 역할을 한다. 이 때 이 두 방향의 운동은 전자기력에 의해 독립적으로 구동되어진다. 그러나 이 두방향 이외에도 트랙의 접선방향의 축에 대한 회전운동(이하 이를 경사라 한다.)이 생기게 되는데 이는 액츄에이터의 구동으로 인해 생기는 구조적 중심과 힘의 중심이 벗어나기 때

문이다.

광디스크의 재생신호의 열화는 광디스크와 턴테이블간의 면진동, 이송메카니즘의 경사, 광픽업의 경사, 초점위치의 오차, 트랙추종오차 등에 의해 일어날 수 있다. 이들 각각의 허용치는 시스템의 기준치에 의해 정해지게 되는데 그 중 광픽업의 경사는 각 회사와 시스템마다 약간의 차이가 있지만 대개 CD의 경우는 약 0.4도 정도, DVD의 경우는 약 0.15도 정도로 규제되고 있다. 이와같이 고밀도의 정보기록의 경우는 경사의 규제가 기존의 CD보다 훨씬 엄격하므로, 기존의 구조와 유사한 형태의 액츄에이터에서는 이를 보상하기 힘들다.

따라서 본 논문에서는 먼저 이 경사량을 일으키는 모멘트의 원인인 불균일한 자장분포를 FEM을 통한 전자기장의 해석으로 분석하고, 이 모멘트를 이용해 FEM의 구조해석용 프로그램으로 모멘트와 경사량의 관계를 해석적인 방법으로 계산하였으며, 주어진 설계의 요구를 수용하기 위한 해석 및 설계방향을 제시하였다.

2. 본 론

2.1 광픽업 액츄에이터의 모멘트 해석

본 논문의 해석대상으로는 현재 일반 CD 용 및 CD-ROM 용으로 널리 쓰이고 있는 4-wire 형식의 광픽업 액츄에이터를 선정하였다. 이 액츄에이터는 구조의 단순함과 제작비용이 적게드는 장점을 가지고 있으며, 축습동식 액츄에이터에 비해 제작이 용이하다. 또한 축습동방식은 경사량이 축과 축수의 간격에 의해 영향을 받게 되는데 그 간격을 줄이는 것이 매우 어렵다는 단점을 가지고 있다. 4-wire 방식의

액추에이터에서 경사를 일으키는 주요원인은 그림 1 과같이 구동력의 중심과 구조적인 중심축의 벗어남으로 모멘트가 발생해서 일어나게 된다.

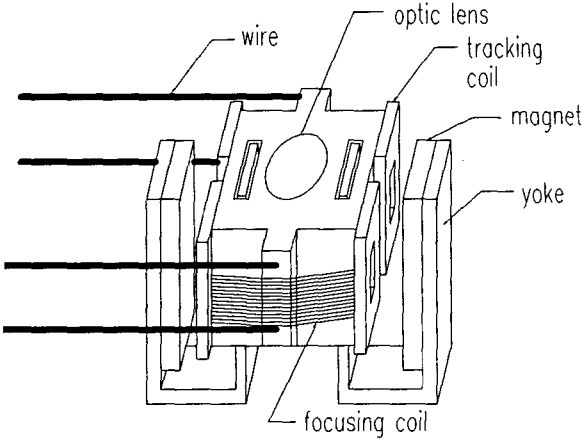


그림 14-wire 액추에이터의 구조

이 때 포커싱 코일은 전체의 자기회로에 대해 긴 코일(Long Coil)형식을 띄게 되므로 액추에이터가 트래킹 방향으로 움직이더라도 포커싱방향의 힘은 항상 변하지 않고 같은 위치에 작용하지만 구조적 중심축은 트래킹 방향의 변위만큼 움직이게 되어 모멘트가 발생하게 된다. 또한 트래킹 방향의 힘도 트래킹코일의 움직임따라 정확하게 트래킹방향의 구조적 중심위치로 힘의 방향이 일치하지 않기 때문에 모멘트를 발생시키게 된다.

이 VCM 방식의 액추에이터는 플레밍의 왼손법칙에 의해

$$F = BIL \quad 1)$$

B: 코일이 놓여있는 곳에서의 자속(Tesla)

I: 코일에 인가되는 전류 (Ampere)

L: 자속에 놓여있는 유효 코일 길이(m)

이라는 전자기력을 힘을 발생하게 되는 데 이를 동역학적으로 표현하면

$$M\ddot{x}_f + c_f\dot{x}_f + k_f x_f = F_f \quad 2)$$

X_f : 포커싱 방향의 구동량

M: 포커싱 방향의 구동질량

C_f : 포커싱 방향의 점성계수

K_f : 포커싱방향의 강성계수

의 2 차식으로 근사화 할 수있다. 트래킹 방향의 구동도 윗식과 마찬가지로 표현할 수 있다.

$$M\ddot{x}_t + c_t\dot{x}_t + k_t x_t = F_t \quad 3)$$

여기서 가속도에 의한 항과 점성에 의한 항을 무시하고 정적인 힘과 변위와의 관계를 고려하면 아래와 같이 간략하게 표현할 수 있다.

$$k_f x_f = F_f \quad 4)$$

$$k_t x_t = F_t \quad 5)$$

마찬가지의 방법으로 경사방향의 움직임을 아래와 같은 식으로 근사화 할수 있다.

$$k_\theta x_\theta = x_f F_f + \alpha F_t \quad 6)$$

α : 포커싱변위에 따른 트래킹방향의 힘의 중심오차량

x_θ : 경사방향의 경사량

k_θ : 경사방향의 강성계수

식 6)에서의 우변 첫항은 포커싱 코일이 일종의 긴 코일을 형성하므로 모멘트량은 트래킹의 구동량에 비례한다. 그러나 트래킹방향의 모멘트량은 그림 1 에서 코일에 의한 힘의 작용위치가 트래킹 코일의 중심위치에서 얼마나 떨어져있는가에 따라 달라진다. 따라서 트래킹 코일에 작용하는 전자기장의 분포에의해 힘의 작용위치가 달라지므로 이 분포에 관한 해석적인 결과를 필요로한다.

그림 2 는 광픽업 액추에이터를 구성하는 전자기장 회로부분에 대한 FEM 해석결과를 보여주고 있다. 해석을 위하여 사용된 각 재질과 물성치들은 표 1 에나타내었다.

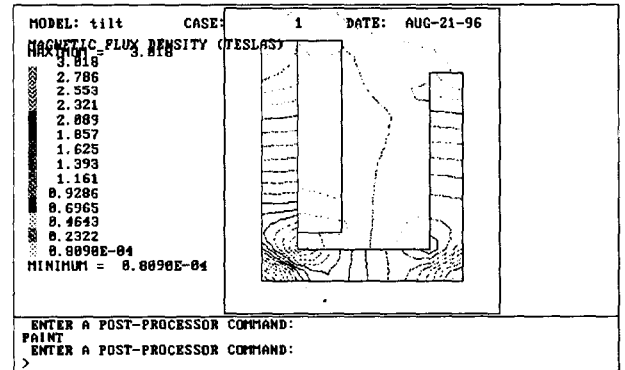
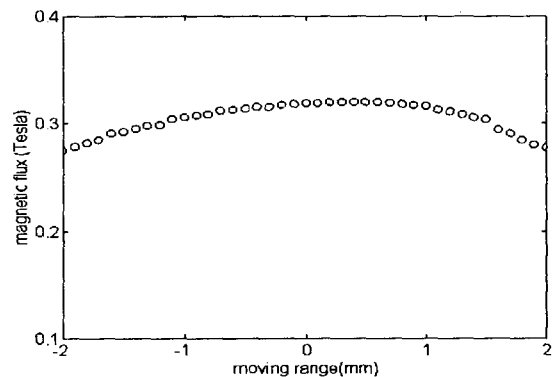


그림 2 전자기장의 해석



품명	재질	물성치
사석	Nd-Fe-B	자기력 상수 $H_c = 800,000 \text{ A/m}$
요크	SPCC	포화자속밀도 : 약 3 Tesla

표 1. 재료의 물성치

그림 2(a)는 전자기회로의 자속밀도의 분포에 대한 등고선을 나타낸 것이다. 일반적으로 요크의 경우 좌측하단의 모서리 부분을 제외하고는 포화되지 않고 있으며, 그림(b)에서는 포커싱 코일이 놓여있는 위치에서의 자속밀도의 분포를 보여주고 있다. 이 양은 전체의 액추에이터의 추력특성을 결정하는 요소로서 일반적으로 높을수록 유리하다.

위의 해석결과에서 나타나듯이 요크의 구조는 제작상의 편의를 위해 우측의 요크부분이 좌측의 요크에 비해 두께와 높이가 약간 작다. 따라서 그림 3에 나타난 것처럼 전체의 자속분포 모양이 대칭적이지 않고 우측으로 약간 기울어진 형상을가지고 있다. 이는 고정된 상태에서 트래킹 코일의 힘의 중심이 코일의 위치에서 약간 아래쪽에 위치하고 있음을 보여준다. 다음 그림 4는 위의 해석결과를 기초로 하여 코일이 놓여있는 위치에서 코일이 포커싱방향으로 이동할 경우 트래킹방향의 힘의 중심이 어떻게 변하는 가를 나타내고 있다.

2.2 광픽업 액추에이터의 경사해석

4-wire 액추에이터에서의 변위와 힘의 관계가 윗식 (4),(5)에 같이 강성계수가 항상 구동범위내에서 일정한지에 관하여 아래 그림과 같이 FEM을 이용한 구조해석을 시도하였다. 그림 5는 4-wire 구동기의 모멘트와 경사와의 관계를 구하기 위해 액추에이터를 유한 요소법으로 모사한 예를 나타내었다.

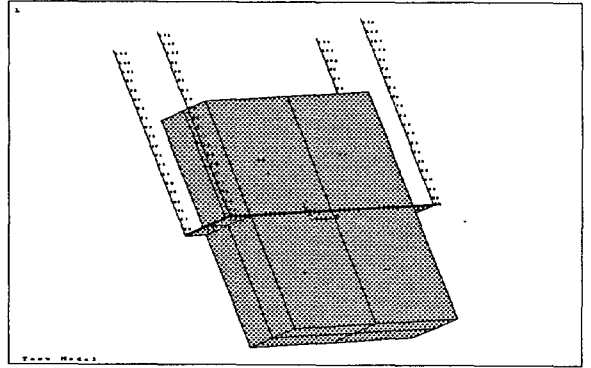


그림 5 유한요소모델

그 해석 결과 강성계수의 값은 주어진 힘의 크기에 비례함을 알 수 있었고, 이에 따라 강성계수는 일정한 상수값을 가진다. 그리고 이를 이용하여 모델로 구성된 액추에이터의 모멘트를 결정하는 값을 계산하였다. 이 모멘트는 포커싱 코일에 의한 모멘트와 트래킹 코일에 의한 모멘트로 나누어 지는 데 2.3에서 제시된 전자기장의 분포를 통해 두 모멘트의 방향이 서로 각 영역에서 다를 수 있다

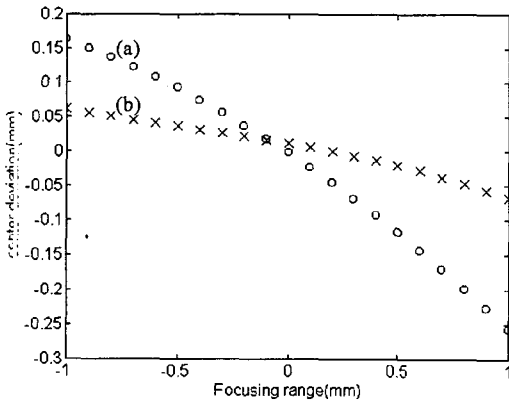


그림 4 α 값

그림 4의 (a),(b)는 각각 트래킹 코일의 길이가 3mm, 5mm 인 경우를 나타낸다. (a)가 (b)보다 현저히 증가한 모습을 보여주고 있는데 이는 자속분포의 변화에 대한 영향이 (a)의 경우가 더 적게 받고 있음을 나타낸다. 만일 트래킹코일의 길이를 자속분포에 대해 완전한 긴 코일(Long Coil)의 형태로 가져가면 윗식 (6)에서 α 값은 거의 포커싱구동변위와 같은 값이 될 것이다.

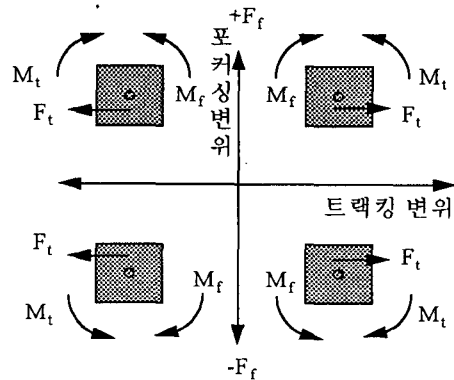


그림 6 모멘트의 위치 관계

따라서 모멘트의 합은 항상 포커싱 코일에 의한 값과 트래킹 코일에 의한 값의 차로써 표시할 수 있으며, 이는 경사의 관점에서 볼 때 유용한 설계방향으로 유도

될 수 있다. 그림 7은 트래킹과 포커싱 방향의 모멘트가 액츄에이터에 작용했을 때의 포커싱과 트랙킹의 각 위치에서의 경사량을 나타내었다. 그림 7(a),(b)는 각각 2.1절에서 해석한 짧은 코일(그림 4의 (a))과 중간 코일(그림 4의 (b))일 때의 경사량 값을 나타내었다.

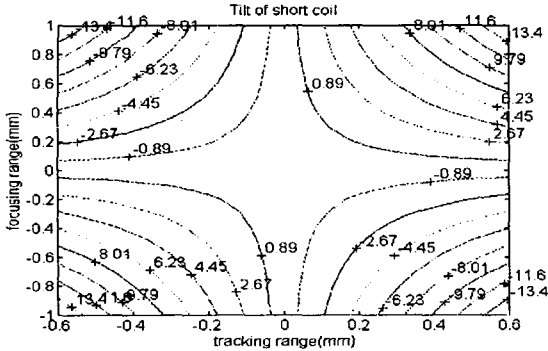


그림 7(a) 짧은 코일의 경사량

그림 7(b)는 트래킹 방향의 모멘트량이 그림 7(a)에 비해서 크므로 전체적인 경사량이 줄어들었음을 알 수 있었다. 구동영역을 포커싱 방향으로 $\pm 0.7\text{mm}$, 트래킹방향으로 $\pm 0.4\text{mm}$ 라 할 때 짧은 코일 일 때는 CD의 허용치인 7mrad 을 넘는 구동영역이 있으며, 중간 코일에서는 가까스로 허용기준치를 만족하고 있으나 DVD의 경우에는 만족하지 못한다

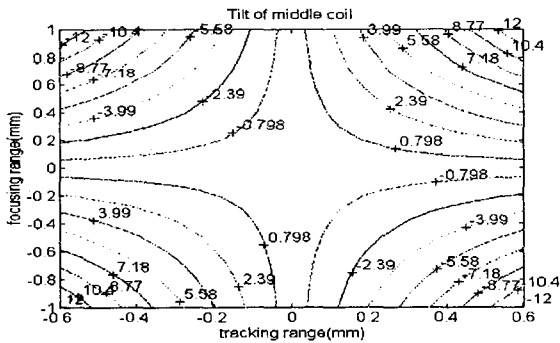


그림 7(b) 중간코일의 경사량

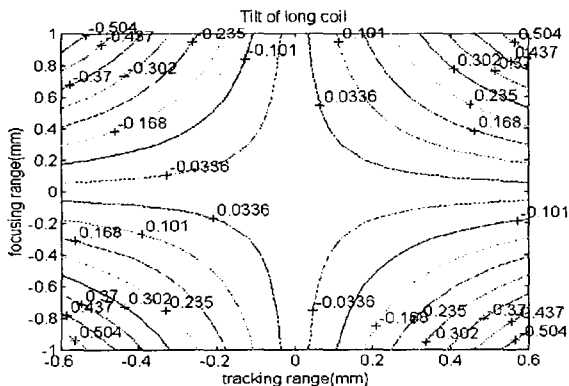


그림 7(c) 긴 코일의 경사량

그림 7(c)는 긴 코일일 때의 경사량인데 매우 이상

적인 경우로 트래킹 방향의 모멘트가 최대 커지는 경우이다. 구동영역에서 경사량의 최대값이 0.3mrad 을 넘지 않고 있음을 알 수 있다. 따라서 DVD의 경우에도 충분히 요구조건을 만족하고 있다.

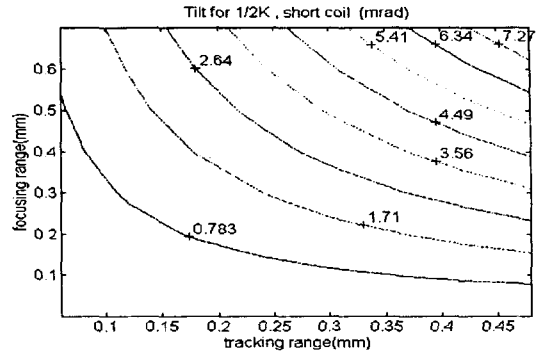


그림 8(a) 0.5K일 때의 경사량

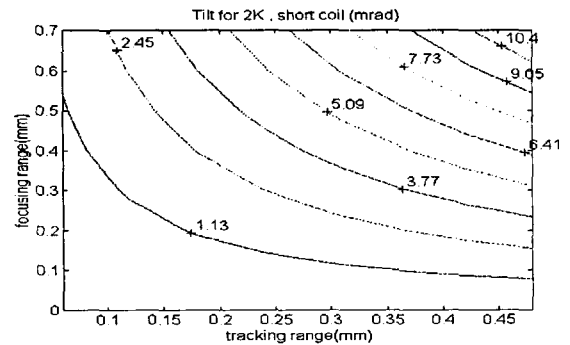


그림 8(b) 2K일 때의 경사량

그림 8은 짧은 코일의 경우에 대해 각각 강성계수의 크기를 1/2 배, 2 배로 바꾸어서 해석한 결과이다. 결론적으로 강성계수를 낮추면 경사량이 작아지고 있으며, 현재의 강성계수를 1/2로 낮추면 CD의 경우엔 안전하게 사양을 만족하고, 2배 이상 높이면 CD의 경우에도 사용할 수 없음을 보여주고 있다. 따라서 위의 해석 결과를 토대로 다음과 같이 경사량을 줄이기 위한 설계방향을 제시할 수 있겠다.

- 1) 트래킹 코일의 형태를 긴 코일의 형태로 바꾼다. 이때 트래킹 코일의 유효길이가 길어져서 전체적인 추력 특성이 개선되는 장점이 있으나 이상적인 경우의 긴 코일은 구조적인 제약으로 구현하기 어려운 단점도 있다.
- 2) 와이어의 강성을 줄이는 것이다. 이를 통해 DC 구동 감도를 높이고 이에따른 소비전력의 감소라는 장점이 있으나 전체적인 구동대역폭이 좁아지므로 줄이는 데 한계가 있다. 결과적으로 볼 때 전체의 성능 및 설계의 요구조건과 밀접하게 연관되어 있으므로 설계시 필요에 따라 적절한 선택을 해야 할 것이다.

3. 결론

본 논문에서는 광디스크 픽업 액츄에이터의 경사의 한 원인이 되는 2축 구동방향의 연성효과에 대해 연구를 하였다. 이 연성효과가 포커싱 및 트래킹 방향 각각의 힘의 위치와 구조적 중심과의 벗어남으로 인한 모멘트에 의해 발생함을 알 수있었고, 보다 정확한 정량적인 값을 얻기위해 유한요소법을 이용한 전자기장의 해석 및 구조해석을 시도하였다. 이 연구를 통해 아래와 같은 결과를 얻었다.

- 1) 경사를 일으키는 메카니즘에 관한 관계식을 구하였다
- 2) 트래킹 코일의 길이와 와이어의 강성이 경사량에 미치는 영향을 해석하였다.
- 3) 픽업 액츄에이터의 경사를 줄이기위한 설계 방향을 제시하였다.

보다 정확한 결과를 위해 3차원 전자기장 해석을 통한 비선형적인 전자기장의 분포를 구하는 것과 실험을 통해 해석을 검증하는 연구가 필요하다.

4. 참고문헌

- 1)水野 定夫 외 "DVD 용 광 픽업",O plus E 1996.6 pp86-92
- 2)l.co J,Grassens " optical storage architectures from an acuator point of view",SPIE 1994, pp122-123
- 3) Murayama, "광디스크 기술",Radio technology co, 1989