

광디스크용 4와이어 구동기의 경사에 관한 연구

한창수*, 서현석*, 이정현*, 원종화**, 김수현***, 곽윤근***

Study on Tilt of 4-Wire Actuator in Optical Disc

C.S. Han*, H.S.Seo*, J.H.Lee*, J.H.Won**, S.H.KIM***, Y.K.KWAK***

ABSTRACT

In optical disc system, 4-wire actuator has undesired tilt which degenerates the performance of RF signal. This tilt occurs from moment around the axis parallel to the tangential direction of the disk. The main reason of the moment is the coupling effect between focus driving system and tracking driving system. This paper constructed tilt mechanism and analyzed tilt quantity due to the moment based on structural analysis and magnetic field analysis. And the experiment about tilt was executed. The results were compared and discussed about the difference. Then, the design method for reducing tilt angle was suggested.

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

1. 서론

현재 정보기록 및 재생 장치로서 가장 많이 쓰이는 장치는 자기 테이프(Magnetic Tape)방식과 광디스크 방식을 크게 분류할 수 있다. 이 중에서 광디스크 방식은 빠른 정보전송과 고속의 정보 탐색 시간이라는 장점 때문에 일반적으로 음악 재생용인 CD(Compact disc)나 컴퓨터의 보조 기억 장치인 CD-ROM (Compact Disc Read Only Memory) 또는 MODD(Magneto Optical Disc Drive)등에 이용되고 있다.⁽¹⁾ 최근에 들어서는 동일한 면적에 보다 고밀도의 정보를 기록재생하기 위해서 MD(Mini Disc),DVD(Digital Video Disk)등의 새로운 광디스크 장치가 등장하였고, 24배속CD-ROM등의

보다 빠른 정보전송을 위한 광디스크 장치의 개발이 진행되고 있다. 이들은 모두 멀티미디어 시대의 중요한 한 부분을 차지하고 있다.

이 광디스크의 구조를 살펴보면 먼저 미디어 부분과 메커니즘 분야, 그리고 신호처리분야로 크게 나누어지고, 메커니즘 분야는 회전 메커니즘과 조동 (Coarse) 메커니즘, 미세 (Fine) 메커니즘으로 구별된다. 그 중 미세 메커니즘으로서 광학렌즈의 구동 장치인 광 픽업 구동기는 미세한 영역을 움직이는 2축 정밀 구동장치이다. 광디스크 정보의 기록재생을 위해 사용되는 광픽업 구동기는 자석, 코일등에 의해 형성되는 전자기력에 의해 구동하는 데 이를 일반적으로 VCM(Voice Coil Motor)방식이라 한다.⁽²⁾ 이 구동기는 광학렌즈의 광을 디스크에 정확히 초점

* KAIST 기계공학과 대학원
** 삼성전자 기술총괄
*** KAIST 기계공학과

시키기 위해 광학렌즈의 디스크 방향인 포커싱 방향과 신호가 기록된 트랙 방향인 트랙킹 방향으로 구동하는 역할을 한다. 이 때 이 두 방향의 운동은 전자기력에 의해 독립적으로 구동한다. 이 때 이 두 방향의 구동은 트랙의 접선방향의 축에 대한 회전운동(이하 이를 경사라 한다.)을 일으키게 되는데, 이는 구조적 중심과 힘의 중심이 벗어 나기 때문이다.

광디스크의 재생신호의 열화는 광디스크와 턴테이블간의 면진동, 이송 메커니즘의 경사, 광 픽업의 경사, 초점 위치의 오차, 트랙추종오차등에 의해 일어날 수 있다. 이들 각각의 허용치는 시스템의 기준치에 의해 정해지는데, 그 중 광 픽업의 경사는 각 회사와 시스템마다 약간의 차이가 있지만 대개 CD의 경우는 약 0.4도 정도, DVD의 경우는 약 0.15도 정도로 규제되고 있다⁽³⁾⁽⁴⁾. 이처럼 고밀도의 정보기록의 경우는 경사의 규제가 기존의 CD보다 훨씬 엄격하게 되는데 이는 고밀도를 위해 디스크상에 맺혀지는 초점의 크기를 줄이려면 사용되는 레이저의 파장을 줄이거나 대물렌즈의 NA(Numerical Aperture)를 키워야 하므로 이에 따라 요구되는 경사각이 줄어들기 때문이다⁽⁵⁾. 종래의 광 픽업 구동기의 경우는 이러한 경사를 설계에서는 고려하지 못하고, 생산할 때 조립하는 과정에서 기준치를 정해놓고 불량품을 걸러내는 방식으로 문제를 해결하였다. 그러나 최근에 와서 경사의 중요성이 고밀도와 맞물려 중요해 지면서 그것을 해석하는 시도가 있었다⁽⁶⁾⁽⁷⁾. 그러나 기존의 논문은 그 원인을 일부 밝혀내고 나름대로의 대안책을 제시했지만 구체적인 설계변수로 경사량을 사용하기 위한 정형화된 식을 제시하지는 못했다.

따라서 본 논문에서는 먼저 이 경사량을 일으키는 모멘트의 원인인 비대칭적인 자장분포를 FEM을 통한 3차원 전자기장의 해석으로 분석하고, 이 값을 Cotterill-Castigliano second theorem을 이용하여 해석한 경사식에 의해 경사량을 해석적으로 구하였다⁽⁸⁾. 또한 위의 해석적인 결과를 실제의 경우와 비교하고 그 차이점을 고찰하였다. 그리고 이 결과를 이용하여 설계 시 유용하게 쓰일 수 있는 경사에 관한 식 및 설계방향을 제시하였다.

2. 본 론

2.1 구동기의 경사원인

본 논문의 해석대상으로는 현재 일반 CD용 및 CD-ROM용으로 가장 널리 쓰이고 있는 4-와이어 형식의 광

픽업 구동기를 선정하였다. 이 구동기는 구조의 단순함과 제작비용이 적게 드는 장점을 가지고 있으며, 축습동(rotary and sliding)식 구동기에 비해 제작이 용이하다. 또한 축습동 방식은 경사량이 축과 축수의 간격에 의해 영향을 받게 되는데 그 간격을 줄이는 것이 매우 어렵다는 단점을 가지고 있다. 4-와이어 방식의 구동기에서 경사를 일으키는 주요원인은 여러 가지들 들 수 있는데 Fig. 1에서 보는 바와 같이 4개의 고정성 와이어에 의해 지지된 구동기의 경사는 4개의 와이어의 지지부분에서 렌즈가 있는 구동부까지의 길이의 차이 및 조립 시 와이어를 고정시킬 때 각각에 걸리는 인장력의 차이 또는 와이어 양단의 조립위치의 오차로 인한 와이어간의 평형성의 깨짐으로 인한 경사 및 구동부가 트랙킹 또는 포커싱 방향으로 구동할 때 구동력의 중심과 구조적인 무게중심의 위치가 벗어남으로 인해 생기는 모멘트에 의한 경사(active tilt) 등이 주요 원인이다.

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

이 VCM방식의 구동기는 플레밍의 왼손법칙에 의해

$$F = BIL \tag{1}$$

B : 코일이 놓여있는 곳에서의 자속(Tesla)

I : 코일에 인가되는 전류 (Ampere)

L : 자속에 놓여있는 유효 코일 길이(m)

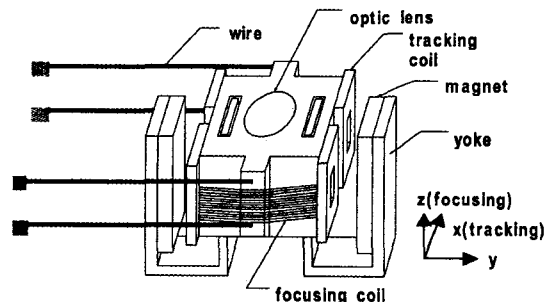


Fig. 1 Structure of 4 - wire actuator

이라는 전자기력을 힘을 발생하게 되는 데 이를 동역학적으로 표현하면

$$M\ddot{U}_z + c_z\dot{U}_z + k_zU_z = F_f \quad (2)$$

- U_z : 포커싱 방향의 구동량
- M : 포커싱 방향의 구동질량
- c_z : 포커싱 방향의 점성계수
- k_z : 포커싱방향의 강성계수

의 2차식으로 근사화 할 수 있다. 트래킹 방향의 구동도 위 식과 마찬가지로 표현할 수 있다.

$$M\ddot{U}_x + c_x\dot{U}_x + k_xU_x = F_t \quad (3)$$

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

$$k_zU_z = F_f \quad (4)$$

$$k_xU_x = F_t \quad (5)$$

Fig. 2에서 나타나 것과 같이 초기의 조립위치가 구동 중심에 위치한다고 가정했을 때, 만큼 이동한 상태에서 각각의 코일에서 발생하는 모멘트를 나타낸 것이다. 이 때의 코일 부분의 모멘트는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$k_\theta x_\theta = M_t - M_f - M_L - M_R \quad (6)$$

$$= F_f U_x - \delta_z F_t - \alpha(F_{L1} - F_{L2}) - \beta(F_{R1} - F_{R2})$$

- U_x : 트래킹 방향의 구동거리
- δ_z : 포커싱 구동력의 중심과 무게 중심과의 거리
- x_θ : 경사방향의 경사량
- k_θ : 경사방향의 강성계수

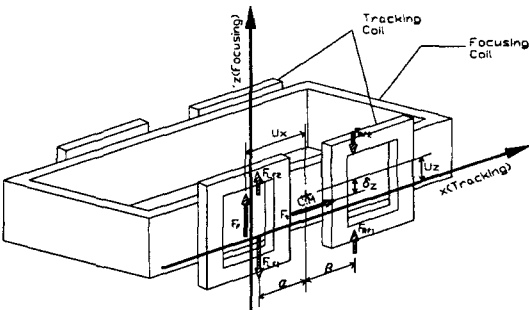


Fig. 2 Moments construction of the actuator

$F_{L1,2}$: 왼쪽 트래킹 코일의 포커싱 방향의 힘

$F_{R1,2}$: 오른쪽 트래킹 코일의 포커싱 방향의 힘

α : $F_{L1,2}$ 으로 인한 힘의 중심과 무게중심까지의 거리

β : $F_{R1,2}$ 으로 인한 힘의 중심과 무게중심까지의 거리

식 (6)에서의 우변 첫 항은 트래킹 방향으로의 구동 시 이미 포커싱 방향으로 작용된 힘이 트래킹 방향의 구동 거리에 비례하여 발생한 모멘트이고, 두번째 항은 포커싱 방향으로 구동할 때 트래킹 방향으로의 힘에 의한 모멘트이다. 그런데 이 때 트래킹 모멘트의 양은 포커싱 코일에 작용하는 전자기장의 분포에 의한 힘의 중심이 트래킹 방향에 따라 다르고, 포커싱 모멘트도 마찬가지이다. 또한 세번째와 네번째 항은 다음과 같다. 발생하는 모멘트 중에서 특히 트래킹 코일의 x방향으로 감겨진 코일은 트래킹 코일의 중심이 구동중심에 위치할 경우 발생하지 않는다. 그러나 Fig.2와 같이 트래킹, 포커싱 방향으로 구동되면 F_{L1} , F_{L2} 및 F_{R1} , F_{R2} 의 값은 서로 차이가 발생하기 때문에 트래킹 방향으로 발생하는 모멘트량에 합쳐지는 결과를 가져온다. 따라서 코일이 놓여있는 위치에서의 정확한 전자기력의 위치를 계산할 필요가 있다.

2.2 구동기의 전자기장 해석

위 절에서 설명한 바와 같이 코일이 놓여있는 위치에서의 전자기장 해석은 2차원에 의한 방법과 3차원에 의한 방법으로 해석할 수 있다. 2차원 방법은 실험식에 의해 동가의 회로모델을 구성해 해석하는 퍼미언스(Permeance)법이나 유한요소법(FEM)에 의한 해석방법 등을 들 수 있다. 그러나 기존의 이러한 방법으로는 3차원 구조를 가지고있는 요크나 코일의 형상에 대해 정확한 전자기력을 구하는 것이 불가능하다. 따라서 본 연구에서는

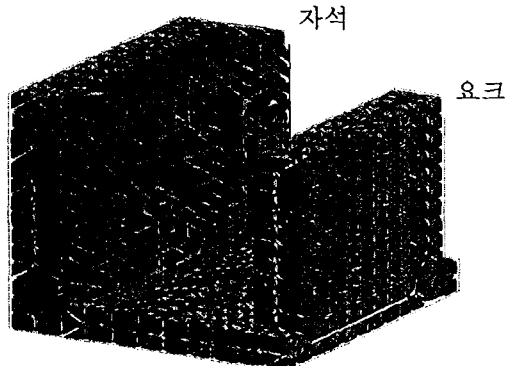


Fig. 3 Model for magnetic circuit

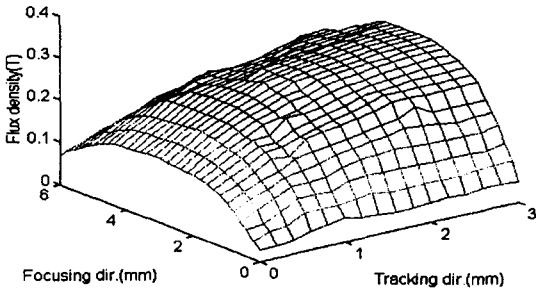


Fig. 4 magnetic flux distribution on focusing coil

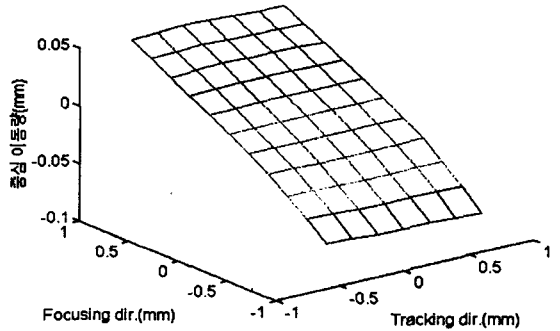


Fig. 5 Center deviations of tracking coil

Table 1 Material Properties of Magnetic Circuit

재료명	재질	물성치
자석	NdFe	자기력 $H_c = 800,000$ A/m
	B	
요크	SPC	포화자속밀도 : 2.3 Tesla

유한요소법을 이용한 3차원 전자기장의 해석을 통해 코일이 놓여있는 위치에서의 정확한 3차원 전자기장 해석을 시도하였다.

Fig. 3는 전자기장의 유한 요소 모델을 나타낸 그림이다. 포커싱 방향 및 트래킹 방향으로 비대칭적인 구조를 가지고 있음을 알 수 있다. Fig. 4은 포커싱 코일이 놓여있는 위치에서의 전자기장의 분포를 나타낸 결과이다.

위 해석은 Fig.2의 포커싱 코일의 절반부분의 자속 밀도를 나타낸 것이다. 이는 자석의 중앙 위치에서 트래킹 방향으로의 상호 대칭적이기 때문이다. 또한 이 때 해석을 위하여 사용된 각 재질과 물성치들은 표 1에 나타났다.

동일한 방법으로 트래킹 코일이 놓여있는 위치에서의 전자기장의 분포도 구할 수 있었다. 이 값을 이용하여 위 식 (6)에서 제시한 δ_z 값을 구할 수 있다. 여기서 포커싱 코일이 자기회로에 대해 긴 코일(long Coil)의 형태를 가지기 때문에 포커싱 방향으로의 모멘트는 트래킹의 구동량과 포커싱 구동력과의 곱의 형태로 나타난다. 그러나 트래킹 방향의 모멘트는 짧은 코일의 형태이므로 구동력의 중심이 자기회로의 분포에 따라 조금씩 변하게 되어있다. Fig.5는 각각 트래킹 및 포커싱 구동영역에 대한 δ_z 값을 나타내었다.

또한 δ_z 값은 포커싱의 구동량과 일치하지는 않지만 그 양에 거의 직선적으로 비례하는 모양을 가진다. 또한 트래킹 방향으로도 거의 같은 분포를 가짐을 알 수 있다. 따

라서 위 식 (6)은 다음과 같이 쓰여질 수 있겠다.

$$k_{\theta} x_{\theta} = F_j U_x - \eta F_i U_z - \alpha(F_{L1} - F_{L2}) - \beta(F_{R1} - F_{R2})$$

η : 비례상수 (7)

그런데 위에서 앞에서 설명한 조립오차로 인한 초기경사 및 와이어의 조립형상의 오차로 인한 구동 시에 발생하는 경사로 인해 계산한 결과는 실제의 조립된 후 측정된 결과와 차이가 있을 것으로 판단된다. 그러나 초기 경사량은 조립의 정도에 따라 달라지는 값이므로 고려의 대상이 아니다. 따라서 먼저 해석한 결과를 보이고 나중에 실험을 통해 그 차이를 규명하고자 한다.

2.3 구동기의 경사해석

4-wire 구동기에서의 변위와 힘의 관계가 위 식 (4),(5),(6)에서의 강성계수인 k_r, k_t, k_{θ} 를 구하는 방법은 일반적으로 유한 요소법과 해석적인 방법으로 나눌 수 있는데 유한 요소법을 이용한 해석은 작업시간이 많이 걸리고, 최적해를 구하는 설계문제에 응용하는 데 있어서 해석적인 해보다 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 위의 세 강성계수를 구하는 식을 구하였고, 또 이를 이용해 경사량을 구하였다. 본 논문에서 경사량과 시스템 변수들과의 관계를 알기 위하여 해석적인 해를 구하는데 Fig. 6,7과 같은 모델을 설정하였다.

여기서 트래킹 방향으로의 힘에 의해 생기는 모멘트와 포커싱 방향으로의 힘에 의해 생기는 모멘트는 상호 반대 방향으로 작용한다. 각 변수들은 계산의 편의를 위해, , 는 구동기의 변위를 나타낸다. 그리고 Fig.6과 같이 4와이어 구동기에 각 방향의 힘과 모멘트가 작용한다고 가정하면, 각 와이어에는 Fig. 7과 같은 내력(internal forces)이 작용한다고 볼 수 있다.

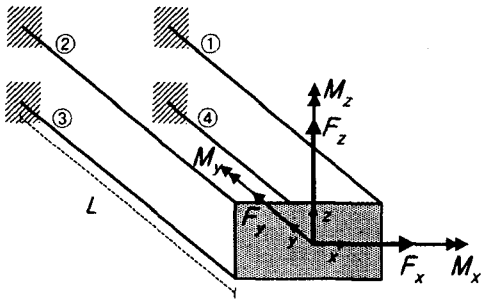


Fig. 6 4-wire actuator model

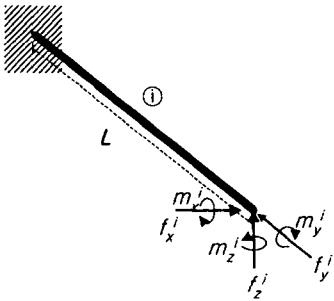


Fig. 7 Internal forces in each beam

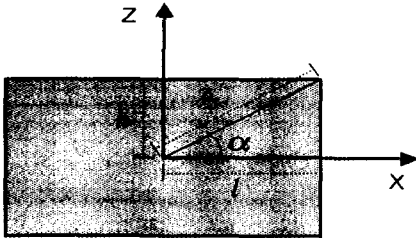


Fig. 8 geometric parameters of Lens mounting part

각 방향의 평형 방정식과 기하학적 구속조건(geometric constraints), 그리고 Cotterill-Castigliano second theorem에서 구해진 힘-변위 관계(force-displacement relationships)를 이용하여 아래와 같이 경사량 문제를 정식화(formulation) 하였다.⁽⁸⁾⁽⁹⁾ 먼저 문제를 정식화하기 위해 기하학적 구속조건을 살펴보면 다음과 같다.

1) 기하학적 구속 조건

렌즈가 장착되어 있는 부분을 아래 그림과 같이 단순화 하고, 각각의 와이어가 사각형의 모서리에 고정되어 있다

고 가정하였을 때 Fig. 8 과 같이 변수들을 설정하였다. 구동기가 실제로 움직이는 변위가 상대적으로 미세하다고 가정하면, 렌즈 중심의 변위 U_x, U_y, U_z 와 회전 각 $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ 에 대한 각 와이어 끝단의 변위들의 관계는 아래의 식들과 같다. 또한 각 beam들은 렌즈 부분에 고정되어 있으므로 beam 끝단의 회전각은 모두 같다고 할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 u_x^1 &= U_x + S\theta_y \sin \alpha \\
 u_y^1 &= U_y + l\theta_z - h\theta_x \\
 u_z^1 &= U_z - S\theta_y \cos \alpha \\
 u_x^2 &= U_x + S\theta_y \sin \alpha \\
 u_y^2 &= U_y - l\theta_z - h\theta_x \\
 u_z^2 &= U_z + S\theta_y \cos \alpha \\
 u_x^3 &= U_x - S\theta_y \sin \alpha \\
 u_y^3 &= U_y - l\theta_z + h\theta_x \\
 u_z^3 &= U_z + S\theta_y \cos \alpha \\
 u_x^4 &= U_x - S\theta_y \sin \alpha \\
 u_y^4 &= U_y + l\theta_z + h\theta_x \\
 u_z^4 &= U_z - S\theta_y \cos \alpha \\
 \theta_x^i &= \theta_x, \theta_y^i = \theta_y, \theta_z^i = \theta_z
 \end{aligned} \tag{8}$$

2) 평형 방정식

앞에서 언급한 바와 같이 구동기에서 가진력으로 받는 힘은 F_f 와 F_f^i 이고, 이로 인하여 모멘트가 발생하는데 이는 각각 F_z, F_x, M_y 에 해당한다. 각 방향으로 주어진 힘과 각 와이어에서의 내력을 고려한 평형 방정식은 아래와 같이 된다.

$$F_x = \sum f_x^i = F_f \tag{9}$$

$$F_y = \sum f_y^i = 0 \tag{10}$$

$$F_z = \sum f_z^i = F_f \tag{11}$$

$$M_x = \sum m_x^i + (-f_y^1 - f_y^2 + f_y^3 + f_y^4)h = 0 \tag{12}$$

$$\begin{aligned}
 M_y &= \sum m_y^i + (f_x^1 + f_x^2 - f_x^3 - f_x^4)h \\
 &\quad + (-f_z^1 + f_z^2 + f_z^3 - f_z^4)l \\
 &= \text{func}(F_x, F_z, U_x, U_z) \\
 &= U_x F_z - \delta_z F_x - \alpha(F_{L1} - F_{L2}) - \beta(F_{R1} - F_{R2})
 \end{aligned} \tag{13}$$

3) 힘-변위 관계식

Fig.7과 같은 힘이 작용하는 와이어의 경우에 내력의 전체 작업일(total work of the internal forces) $-W_{in}$ 은 아래 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$-W_{in}^i = \frac{1}{2EI} \int_0^L (m_z^i + f_x^i)^2 dy + \frac{1}{2EI} \int_0^L (-m_x^i + f_z^i)^2 dy + \frac{1}{2AE} \int_0^L f_y^i{}^2 dy + \frac{1}{2GI_t} \int_0^L m_y^i{}^2 dy \quad (15)$$

그리고 식 (15)는 Cotteril-Castigliano second theorem에서,

$$u_j^i = \frac{\partial(-W_{in}^i)}{\partial f_j^i}, \theta_j^i = \frac{\partial(-W_{in}^i)}{\partial m_j^i} \text{ 를 이용하여 다음과 같}$$

이 힘-변위 관계식을 얻는다.

$$u_x^i = \frac{1}{2EI} \left(m_z^i L^2 + \frac{2}{3} f_x^i L^3 \right) \quad (16)$$

$$u_y^i = \frac{f_y^i L}{AE} \quad (17)$$

$$u_z^i = \frac{1}{2EI} \left(-m_x^i L^2 + \frac{2}{3} f_z^i L^3 \right) \quad (18)$$

$$\theta_x^i = \frac{1}{2EI} (2m_x^i L - f_z^i L^2) \quad (19)$$

$$\theta_y^i = \frac{m_y^i L}{GI_t} \quad (20)$$

$$\theta_z^i = \frac{1}{2EI} (2m_z^i L + f_x^i L^2) \quad (21)$$

4) 평형 방정식의 해

위에서 제시한 방정식과 구속조건을 연립하여 아래와 같은 방정식들을 얻을 수 있다. 먼저 $m_y^1 = m_y^2 = m_y^3 = m_y^4$ 이므로 라 $m_y = m_y^i$ 하면,

$$pm_z^1 + qf_x^1 = U_x + rm_y \quad (22)$$

$$pm_z^2 + qf_x^2 = U_x + rm_y \quad (23)$$

$$pm_z^3 + qf_x^3 = U_x - rm_y \quad (24)$$

$$pm_z^4 + qf_x^4 = U_x - rm_y \quad (25)$$

여기에서, $p = \frac{L^2}{2EI}$, $q = \frac{L^3}{3EI}$, $r = \frac{SL \sin \alpha}{GI_t}$ 이다.

마찬가지로, z축에 대하여 정리하면

$$-pm_x^1 + qf_z^1 = U_z - sm_y \quad (26)$$

$$-pm_x^2 + qf_z^2 = U_z + sm_y \quad (27)$$

$$-pm_x^3 + qf_z^3 = U_z + sm_y \quad (28)$$

$$-pm_x^4 + qf_z^4 = U_z - sm_y \quad (29)$$

여기에서, $s = \frac{SL \cos \alpha}{GI_t}$ 이다.

y축에 대해서는

$$u_y^i = \frac{f_y^i L}{AE} = U_y \pm l \theta_z^i \pm h \theta_x^i \quad \theta_x = \theta_x^i = \frac{1}{2EI} (2m_x^i L - f_z^i L^2),$$

$$\theta_z = \theta_z^i = \frac{1}{2EI} (2m_z^i L + f_x^i L^2) \text{ 를 이용하고, 편의상}$$

$$\theta_x = \frac{1}{2EI} (2m_x^i L - f_z^i L^2), \quad \theta_z = \frac{1}{2EI} (2m_z^i L + f_x^i L^2)$$

과 같이 간략히 정리하면 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$tf_y^1 = U_y + wm_z^1 + xf_x^1 - ym_x^1 - zf_z^1 \quad (30)$$

$$tf_y^2 = U_y - wm_z^2 - xf_x^1 - ym_x^1 - zf_z^1 \quad (31)$$

$$tf_y^3 = U_y - wm_z^3 - xf_x^1 + ym_x^1 + zf_z^1 \quad (32)$$

$$tf_y^4 = U_y + wm_z^4 + xf_x^1 + ym_x^1 + zf_z^1 \quad (33)$$

여기에서, $t = \frac{L}{AE}$, $w = \frac{Ll}{EI}$, $x = \frac{L^2 l}{2EI}$, $y = \frac{Lh}{EI}$, $z = -\frac{L^2 h}{2EI}$ 이다.

$F_y = \sum f_y^i = 0$ 이므로 식 (30)-(33)을 이용하면 $t(f_y^1 + f_y^2 + f_y^3 + f_y^4) = 4U_y = 0$ 이 되므로 $U_y = 0$ 임을 알 수 있다. 그리고

$$m_x^1 + m_x^2 + m_x^3 + m_x^4 + (-f_y^1 - f_y^2 + f_y^3 + f_y^4)h = 0 \quad (34)$$

$$m_z^1 + m_z^2 + m_z^3 + m_z^4 + (f_y^1 - f_y^2 - f_y^3 + f_y^4)l = 0 \quad (35)$$

이 되어 식 (34)-(35)은

$$M_x = \sum m_x^i + (-f_y^1 - f_y^2 + f_y^3 + f_y^4)h = 0$$

$M_z = \sum m_z^i + (f_y^1 - f_y^2 - f_y^3 + f_y^4)l = 0$ 의 두식을 만족하므로 성립한다. 또한

$$M_y = \sum m_y^i + (f_x^1 + f_x^2 - f_x^3 - f_x^4)h + (-f_z^1 + f_z^2 + f_z^3 - f_z^4)l,$$

$$F_x = \sum f_x^i, \quad F_z = \sum f_z^i$$

$$M_y = \text{func}(F_x, F_z, U_x, U_z) = U_x F_z - \delta_z F_x - \alpha(F_{L1} - F_{L2}) - \beta(F_{R1} - F_{R2}),$$

$$F_L = F_{L1} - F_{L2} = \sum (f_{L1}^i - f_{L2}^i), F_R = F_{R1} - F_{R2} = \sum (f_{R1}^i - f_{R2}^i)$$

를 이용해 정리하면 식 (36)과 같이 된다.

$$U_x \sum_{i=1}^4 f_z^i - \delta_z \sum_{i=1}^4 f_x^i - \alpha \sum_{i=1}^4 (f_{L1}^i - f_{L2}^i) - \beta \sum_{i=1}^4 (f_{R1}^i - f_{R2}^i) \quad (36)$$

$$= 4m_y + (f_x^1 + f_x^2 - f_x^3 - f_x^4)h + (-f_z^1 + f_z^2 + f_z^3 - f_z^4)l$$

또, $\theta_x^i = \theta_x$, $\theta_z^i = \theta_z$ 로부터

$$2m_x^1 - f_z^1 L = 2m_x^2 - f_z^2 L \quad (37)$$

$$2m_x^1 - f_z^1 L = 2m_x^3 - f_z^3 L \quad (38)$$

$$2m_x^1 - f_z^1 L = 2m_x^4 - f_z^4 L \quad (39)$$

$$2m_z^1 + f_x^1 L = 2m_z^2 + f_x^2 L \quad (40)$$

$$2m_z^1 + f_x^1 L = 2m_z^3 + f_x^3 L \quad (41)$$

$$2m_z^1 + f_x^1 L = 2m_z^4 + f_x^4 L \quad (42)$$

가 되므로 식 (22)-(42)까지 21개의 식에 여기에 들어있는 미지수는 f_x^i , f_y^i , f_z^i , m_x^i , m_z^i ($4 \times 5 = 20$ 개)와 m_y 이므로 총 21개이다. 따라서, 미지수의 수와 방정식의 수가 같아지므로 위의 식들을 연립하여 해를 구할 수 있다. $U_y = 0$ 이라 가정하고 (이 방향으로의 외력은 무시할 만큼 작다.) 해를 연립하여 풀면

$$\theta_y = \frac{L^3 \left(\frac{-24EI(I + Al^2)\delta_z U_x}{(4I + Al^2)L^3} + \frac{24EI(I + Ah^2)U_x U_z}{(4I + Ah^2)L^3} \right)}{2(GI_L L^2 + 12EIh^2 + 12EIh^2)} \quad (43)$$

Table 2 Material properties of Wire and Moving part

Diameter(d)	0.1(mm)
Elastic Modulus(E)	1.3×10^8 (mN/mm ²)
Moving mass(M)	1.13×10^{-3} (Kg)
Width(구동부:l)	7.0mm
Height(구동부:h)	2.4mm
와이어 길이(L)	11.4mm
Poisson ratio	0.3

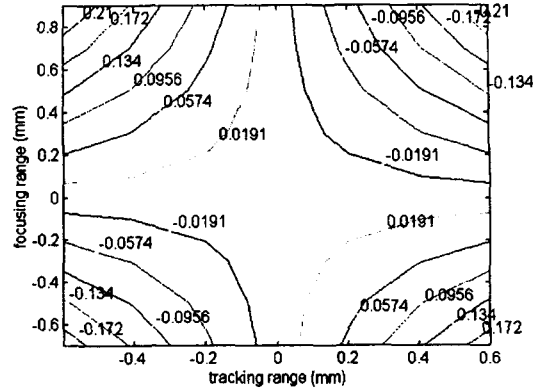


Fig. 9 Tilt contour of 4-wire actuator

이 된다. 따라서 경사에 대한 와이어의 강성계수는

$$K_\theta = \frac{U_x F_f - \delta_z F_t - \alpha(F_{L1} - F_{L2}) - \beta(F_{R1} - F_{R2})}{\theta_y} = \frac{4(12EIh^2 + 12EIh^2 + GI_L L^2)}{L^3} \quad (44)$$

이 때 사용한 와이어의 물성치 및 구동부의 질량은 Table 2에 나타내었다.

먼저 위 식 (43)에 Table 2에 의해 주어진 물성치를 대입하여 구하면 Fig. 9와 같이 나타난다. 이 경우는 $U_x = 0$, $U_z = 0$ 인 위치에서 경사를 0°로 가정하고 계산한 것이다.

경사량은 각 축 방향으로 없는 것으로 나타나는 데 이는 구동부의 구동력의 중심과 무게 중심이 최초의 조립과 정확하게 일치했다는 것을 가정하였기 때문이다. 이 값은 대각선 방향으로 갈수록 점차 커지는 것을 볼 수 있다. 구동영역의 가장 끝단에서의 경사량은 약 0.18-0.2° 정도로서 초기 경사량을 더하면 약 0.4-0.5° 정도 될 것으로 보인다. 따라서 CD 허용치는 만족하지만 보다 고밀도의 광디스크 장치인 DVD와 같은 장치에서는 사용할 수 없게 된다. 그리고 더욱 고밀도화 되가는 광디스크 장치에서 요구하는 경사량의 요구정도가 갈수록 더 작아질 것이기 때문에 이를 고려한 구동기의 설계가 반드시 필요하게 될 것이다. 다음은 위 해석 결과와의 비교를 위해 경사에 관한 실험을 하였다.

2.3 경사에 관한 실험

실험 장치는 Fig.10과 같이 구성하였다. 사용한 레이저(Laser)는 He-Ne 형 이며, 반사를 정확히 하기 위

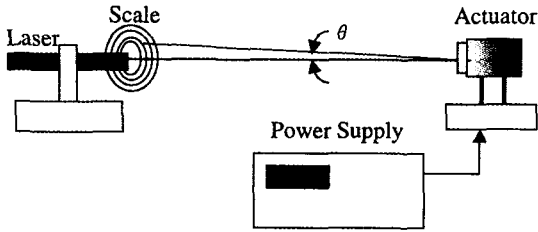


Fig. 10 Experiment setup for tilt measurement

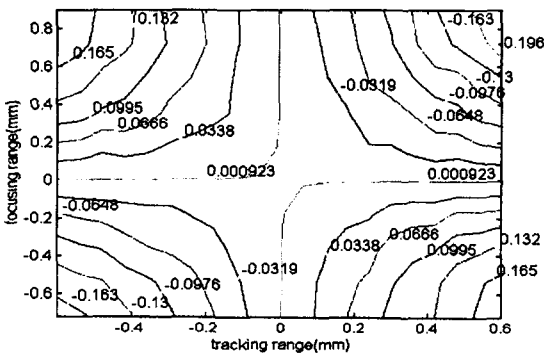


Fig. 11 Measurement data about Tilt

해 대물렌즈의 중량과 동일한 피막된 거울을 구동기에 장착하였고 이 때 레이저에서 나온 광은 반사되어 레이저에 부착되어있는 원형자(Circular Scale)에 반사광이 검출된다. 이 때 경사가 발생하면 그 경사량에 비례하여 경사가 일어나는 방향으로 빔이 이동하기 때문에 이를 이용하여 경사량을 측정하였다.

실험은 3개의 서로 다른 샘플에 대해서 시행되었으며 그 결과는 거의 동일하게 나왔다. 이는 측정된 샘플이 실제로 양산된 것이므로 조립에 의한 편차가 거의 없음을 보여준다. 측정된 결과는 Fig.11 와 같이 나타났다.⁽¹⁰⁾

실험값과 해석 값이 약간의 차이를 보이는 것은 해석 시 트랙킹 코일의 형상을 사각형으로 가정한 데 비해 실제의 경우 코일은 감는 조건에 따라 바깥쪽이 원형 모양을 가지게 되어 해석결과와 차이가 나는 것으로 보인다.

2.4 경사량을 줄이기 위한 제안

식 (43)에서 구한 경사량에 관한 식을 살펴보면 경사량을 결정하는 변수들의 관계를 알 수 있다. 크게 두 가지로 나누어 생각하면 첫째는 경사 강성계수에 해당하는 구동부의 형상 및 와이어의 길이 부분과 모멘트의 원인이 되는 부분, 즉 U_x , δ_z 의 크기에 의해 결정된다. 따라서 경

사량을 줄이는 데 있어서 각각의 영향에 대해 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

- 1) 식 (43)의 L,h,l중에서 경사량에 가장 큰 영향을 미치는 변수는 l값이다. 이 변수가 들어있는 항이 다른 항에 비해 상대적으로 10배이상 크기 때문에(현재의 구동기 구조에서) 이 값을 키우면 경사량이 줄어들게 된다. 그러나 이 값은 구동기의 전체 폭을 결정하므로 설계 시 제한을 받게 된다.
- 2) U_x , δ_z 중에서 U_x 는 포커싱이 긴 코일의 형태를 가지고 있으므로 그 값을 줄이기 위해 짧은 코일의 형태를 위한 것은 포커싱 구동력의 감소라는 성능저하를 가져오므로 어렵다. 그러나 δ_z 는 U_x 에 비해 상대적으로 작은 값을 가지는데, 이를 개선하기 위해 현재 짧은 코일의 형태를 가지고 있는 트랙킹 코일을 긴 코일의 형태를 전환하는 것이 가능하다. 이렇게 δ_z 를 증가시키면 트랙킹 모멘트의 값이 포커싱과 마찬가지로 커져서 경사량을 줄이는 역할을 하게된다.
- 3) 현재 사용하는 원형 와이어는 트랙킹 방향과 포커싱 방향의 강성이 거의 같다. 트랙킹 방향의 강성을 높이기 위해 사각 다면의 와이어를 사용하면 트랙킹 코일을 긴 코일로 하는 효과를 가지게 된다.

그러나 이상에서 제안한 것과 같이 구동기 설계시 여러 가지 제한조건이 설계요소로서 작용하기 때문에 설계자는 다른 성능들과의 적절한 타협점을 찾아 설계해야한다.

3. 결 론

본 논문에서는 광디스크 픽업 구동기의 경사의 한 원인이 되는 2축 구동에 의해 발생하는 경사에 관한 메커니즘과 그 양을 해석하고, 실험치와 비교하였다. 이 경사는 포커싱 및 트랙킹 방향 각각의 힘의 위치와 구조적 중심과의 벗어남으로 인한 모멘트에 의해 발생함을 알 수 있었고, 보다 정확한 정량적인 값을 얻기 위해 유한요소법을 이용한 3차원 전자기장의 해석 및 cotteril-catigliano second theorem에 의해 구조해석을 시도하였다. 이 연구를 통해 아래와 같은 결과를 얻었다.

- 1) 경사를 일으키는 메카니즘에 관한 관계식을 구하였다.
- 2) 4-와이어 구동기의 힘-변위의 관계식 및 경사에 관한 해석적인 식을 구하였다.
- 3) 실험을 통해 해석한 결과와 경사량을 비교,분석하였다.
- 4) 경사에 영향을 미치는 변수들의 관계 해석을 통해 경

사량 설계 시 중요한 설계 변수를 파악하였다.

- 5) 경사량을 줄이기 위한 방법으로 긴 코일을 채택하는 법 및 와이어의 형상을 바꾸는 법등을 제안하였다.
 추후에 현재의 구조로 광디스크의 어느 정도까지의 고밀도를 실현할 수 있는지의 한계해석을 수행하고, 경사용 구동기를 부착하여 경사문제를 능동적으로 해결할 수 있는 방법에 대해 연구할 것이다.

참 고 문 헌

1. 村山登, 小出博, 山田和作, 國兼眞, 共著, “光ディスク技術,” 라지오技術選書.
2. Alan B. Marchant, “Optical recording(a technical overview),” Addison-Welsley Publishing Company, 1990, Massachusetts, USA.
3. 水野 定夫 외 “DVD용 광 픽업,” O plus E, pp. 86-92, 6月 1996.
4. Masaharu Takano etc., “Special report (DVD vies with VOD),” NIKKEI electronics ASIA, pp. 50-55 May. 1996.
5. Leo J.Grassens “optical storage architectures from an actuator point of view,” SPIE pp. 122-123, 1994.
6. Takayuki komori, etc., “Tilting control of Optical pickup Objective,” 電子情報通信學會論文誌, Vol. J77-C-II No. 9, 9月 1994.
7. J. Anzai etc., “Objective Lens Actuator for Optical Disk Drive of High Density,” 第41回應用物理學關聯 聯合講演會豫告集, No. 3, P.1019, 1994.
8. M. S. EL Naschie, “Stress,Stability and Chaos in structural engineering : An Energy approach,” Macgrow-Hill, 1990.
9. Lawrence E. Malver, “Introduction to the mechanics of a continuous medium,” Prentice-Hall, Inc., New Jersey, USA, 1969.
10. The MathWorks, Inc. “User’s guide, SIMULINK,” Natick, Mass. 01760, 1993.