

광 픽업 액추에이터의 부공진 원인 규명과 저감화

서진규* · 정호섭** · 박기환***
(1999년 4월 10일 접수)

Analysis and Reduction of Subsidiary Resonance of an Optical Pickup Actuator

Jinkyu Seo, Hoseop Jeong and Kyihwan Park

Key Words : Optical Pickup Actuator(광 픽업 액추에이터), Subsidiary Resonance(부 공진), Leakage Flux(누설자속), Edge Effect(에지효과), Servo Bandwidth(서보 대역폭)

Abstract

An asymmetric actuator can be used to reduce the distance between the reflective mirror and objective lens of a small optical disk drive for use in the notebook-sized personal computer data storage devices. However, this asymmetric actuator is very sensitive to the subsidiary resonance which is caused by its rigid body motion. In this paper, an analytical approach using a simple lumped parameter system model is presented with a physical insight to investigate why the subsidiary resonance occurs. The finite element method is used to figure out the force and torque characteristics of the asymmetric actuator which are essential to understand the subsidiary vibration characteristics. The frequency responses are presented to examine how the subsidiary resonance is altered for various situations of having different thickness of a yoke and permanent magnet and of having a different magnet circuit. Finally, the design guidelines to avoid the subsidiary resonance will be presented.

기호설명

- M, J_m : 액추에이터의 질량, 관성모멘트
- C_f, C_p : 포커싱과 피칭 감쇄계수
- k_f, k_p : 포커싱과 피칭 스프링 상수
- O_c, M_c, S_c, A_c : 광 픽업중심, 질량중심, 지지중심, 구동중심
- $L_m, L_{sm}, L_{as}, L_s, L_a$: 각각의 중심점들간의 거리(Fig. 2)

1. 서론

노트북과 같은 휴대용 개인컴퓨터는 얇고 가볍게 만들어져서 이용자가 편하게 휴대할수 있도록 디자인 되는 것이 생명이다. 따라서 이러한 시스

템에 사용되기 위한 Compact Disk (CD) 드라이브, 또는 Digital Video Display (DVD) 드라이브는 기존의 성능을 유지 또는 향상시킴과 동시에 전체 시스템의 공간적인 제약을 극복 할 수 있도록 가능한 얇고 가볍게 만들어져야만 한다. 특히 디스크 드라이브의 반사거울(Reflective mirror)과 대물렌즈(Objective lens) 사이의 간격이 드라이브, 특히 광 픽업 액추에이터 부분의 전체높이를 결정하는 주요 인자이므로 이를 줄이는 것이 절대적으로 필요하다. 따라서 이러한 요구 사양을 만족시키기 위하여 비대칭형의 보빈 구조를 가진 액추에이터 형상이 제안되었다. 이처럼 반사거울과 대물렌즈 사이의 거리를 줄이기 위한 방법으로 기존 보빈의 형상을 수정한 액추에이터가 Fig. 1(b)에 나타나 있으며, 이에 반해 기존의 액추에이터가 Fig. 1(a)에 나타내었다. 일반적으로 (a)와 같은 액추에이터를 대칭형(symmetric) 액추에이터라 하고 (b)와 같이 수정된 액추에이터를 비대칭형(asymmetric)액추에이터라 한다.

* 광주과학기술원 기전공학과

** (주)삼성전기연구소

*** 회원, 광주과학기술원 기전공학과

E-mail : khpark@kjist.ac.kr

TEL : (062)970-2391 FAX : (062)970-2384

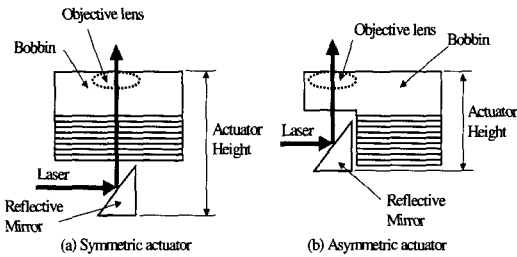


Fig. 1 The configuration of a symmetric actuator and an asymmetric actuator

일반적인 광 픽업 액추에이터의 주파수 응답은 세 부분으로 나누어진다.⁽¹⁾ 첫번째 부분은 저주파 대역에서의 응답이다. 이 부분에서는 액추에이터는 질량, 댐퍼, 스프링의 선형 2차 시스템으로 모델링 될 수 있고 저 주파대역에서의 공진점과 -40dB /decade의 주파수 응답 특성을 나타내는 선형시스템으로 모델링 될 수 있다. 두 번째 부분은 중간대역의 응답부분으로써 강체 액추에이터의 운동으로 인하여 부공진이 일어나는 부분이다. 세 번째 부분은 고주파대역의 응답부분으로써 보빈의 유연한 움직임에 의한 진동 모드로 인해 공진현상이 발생하는 부분이다.⁽¹⁾ 고배속 CD-Rom 드라이브에서의 모터의 최고 회전속도는 10,000rpm 이나 그 이상으로 볼 수가 있다. 이때 광 픽업 액추에이터가 디스크의 전기적 부하(electric loading) 등의 영향으로 인한 외란을 이기려면 적어도 175Hz의 서보 대역폭을 가져야 하며, 고전제이론 통념상 이 주파수의 10 배에 해당하는 서보 대역폭을 확보할 수가 있어야 안정성을 보장할 수가 있다. 따라서 2kHz 이상의 서보 대역폭을 갖는 액추에이터의 설계가 요구된다. 첫번째 부분의 공진은 광 픽업 액추에이터의 서보 대역폭 내에 있기 때문에 제어가 가능하고, 따라서 성능에 큰 영향을 미치지 않는다. 하지만 두번째 주파수대와 세번째 주파수대의 공진은 서보 대역폭 내에 있지 않으며, 서보대역폭을 증가시킨다 하더라도 제어할 수 있는 수단, 즉 피칭모션을 억제시킬 수 있는 액추에이터가 없으므로 제어가 불가능하다. 따라서 만약 액추에이터가 이런 공진점 부근의 주파수대에서 작동 할 경우 심각한 현상을 초래 할 수가 있다. 따라서 가장 바람직한 방법은 액추에이터의 작동 영역에서 공진점이 제거되는 것이며, 만약 제거되지 않는다면 작동 주파수대 바깥으로 옮겨져야 한다.⁽²⁻⁴⁾

진동 특성의 면에서 볼 때 비대칭형 액추에이터는 대칭형 액추에이터에 비해 몇 가지의 문제점을 가지게 된다. 대칭형 액추에이터에서는 부공진을

일으킬 수 있는 요인인 힘과 토크가 액추에이터의 대칭적인 형상으로 인해 서로 상쇄되기 때문에 부공진의 영향이 두드러지게 나타나지 않는다. 하지만 비대칭형 액추에이터에서는 부공진을 일으킬 수 있는 요인이 서로 상쇄되지 않기 때문에 그 영향이 두드러지게 나타나게 된다. 따라서 비대칭형 액추에이터의 설계에 있어 부공진을 줄일 수 있는 방향으로의 설계가 특히 중요하다. Jeong 등은 fine pattern coil을 이용하여 비 대칭형 액추에이터의 부공진을 줄이기 위한 방법을 제안 하였으며,⁽²⁾ Go 등은 Center point들의 불일치에 의한 부공진 현상을 규명하고 Center point들의 불일치 정도와 부공진의 관계를 민감도로 표현하였다.⁽³⁾ 본 논문에서는 부공진을 일으킬 수 있는 원인을 규명하기 위하여 물리적 직관을 통한 해석적인 방법이 제시된다. 2장에서는 액추에이터의 동특성을 나타내는 시스템 식을 단순한 Lumped Parameter System으로 가정하여 유도하였다. 3장에서는 액추에이터의 요크 두께와 영구자석의 두께변화, 그리고 Magnetic Circuit 변화에 따른 시스템의 힘 특성을 나타내었다. 4장에서는 3장의 힘 특성변화 양상을 이용하여 액추에이터의 주파수 응답특성을 살펴보고 마지막으로 5장에서는 결론과 함께 부공진을 줄일 수 있는 설계 지침을 제시한다.

2. 비대칭 액추에이터의 수학적 모델링

Figure 2는 비대칭형 액추에이터의 측면도를 보여주고 있다. 여기서 Z_s 와 θ_y 는 지지점(S_c : Supporting Center)을 중심으로 각각 포커싱 방향의 변위와 피칭 방향의 회전각을 나타낸다. $M, J_m, C_f, C_p, k_f, k_p$ 는 각각 액추에이터의 질량, 액추에이터의 질량관성모멘트, 포커싱 감쇄계수, 피칭감쇄계수, 포커싱 스프링 상수, 피칭 스프링 상수를 나타낸다. 또 O_c, M_c, S_c, A_c 는 각각 광 픽업 중심(Optical Center), 질량중심(Mass Center), 지지 중심(Supporting Center), 구동 중심(Actuation Center)을 나타낸다. Z_i 는 각각의 중심점에서 포커싱 방향으로의 변위를 나타내며, 여기서 i 는 o, s, m, a 를 나타낸다. $L_m, L_{sm}, L_{as}, L_s, L_a$ 는 Fig. 2에서 나타낸 바와 같이 각각의 중심점들 간의 거리를 나타낸다.

액추에이터는 포커싱 코일에 흐르는 전류와 영구자석의 상관관계에 의하여 포커싱 방향으로 힘 F 를 발생시키게 되며 이 힘으로 인해 액추에이

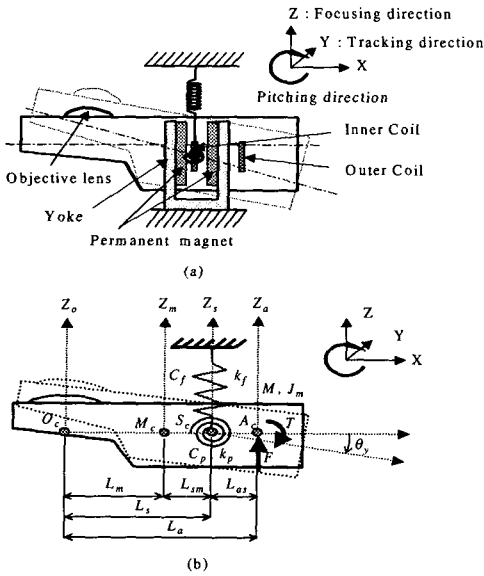


Fig. 2 (a) Schematic cross-section view of the focusing actuator and (b) location of the optical center, mass center, supporting center, and actuation center

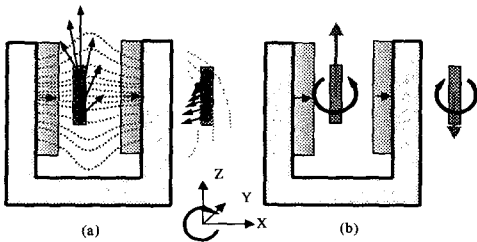


Fig. 3 (a) Magnetic flux and force density distribution in each current element and (b) resultant force and torque at the inner and outer coils of the focusing actuator

터는 포커싱 방향으로 변위이동을 할 수가 있다. 하지만 포커싱 코일상에서는 이러한 포커싱 방향의 힘 이외에도 토크가 발생하기 때문에 액추에이터는 θ_y 방향으로의 피칭모션을 일으키게 된다.

이 피칭모션이 부공진을 일으키어 결국 Z_o 를 변화시키게 되며, 결국 디스크의 데이터를 읽는데 오류를 발생시키는 요인으로 작용된다.

위와 같은 현상을 물리적으로 이해하기 위해 포커싱 액추에이터에서의 자속선은 요크의 안 쪽과 바깥 쪽에서 Fig. 3(a)와 같이 발생한다고 생각하여 보자. (a)에서 알 수 있는 바와 같이 자석의 중심을 연결한 기준 위치 부근에서는 자속선이 일정하게 생성되지만 끝단으로 갈수록 자속선은 휘게 되며 바깥 쪽 코일 근처에서는 그림에서와 같

이 누설자속이 발생하게 된다. 여기에 Lorentz force 식을 적용하면 안쪽 코일과 바깥 쪽 코일에서 힘이 발생하게 되며 발생된 힘 관계를 Fig. 3(a)에 나타내었다. 또 발생된 연속적인 힘을 각각의 코일을 중심으로 한 집중힘으로 변환시키면 Fig. 3(b)와 같이 나타낼 수가 있다. 따라서 광 픽업 중심 O_c 에서 볼 때 액추에이터의 포커싱 방향의 운동은 피칭운동과 서로 연성이다. 또 액추에이터가 기준위치에서 벗어나 있는 경우 코일의 단면을 지나는 자속밀도와 그 방향이 다르므로 코일에서 발생하는 토크는 Z 방향에 대해 함수관계에 있음을 알 수가 있다. 따라서 비대칭 액추에이터의 부공진 현상을 파악하는데 있어 코일에서 발생하는 힘과 토크해석이 무엇보다 중요함을 알 수가 있다. 비대칭 액추에이터의 수학적 모델을 구하기 위해 Lagrangian 을 이용하여 다음과 같은 식을 얻었다.

$$L = \frac{1}{2} M \dot{Z}_m^2 + \frac{1}{2} J_m \dot{\theta}_y^2 - \frac{1}{2} K_f Z_s^2 - \frac{1}{2} K_p \theta_y^2 \quad (1)$$

만약 θ_y 가 충분히 작다면 $Z_m = Z_s + L_{sm}\theta_y$ 로 나타내어진다. 따라서 액추에이터의 동역학식은 다음과 같이 나타난다.

$$\begin{bmatrix} M & ML_{sm} \\ ML_{sm} & J_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{Z}_s \\ \ddot{\theta}_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_f & 0 \\ 0 & C_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{Z}_s \\ \dot{\theta}_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_f & 0 \\ 0 & k_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_s \\ \theta_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ L_{as} \end{bmatrix} F + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} T \quad (2)$$

여기서 J_s 는 S_c 를 기준으로 한 관성모멘트를 나타내며 $J_m + ML_{sm}^2$ 과 같다. 식 (2)을 변형시켜 전달함수관계식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} Z_s(s) \\ \theta_y(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{zs} & T_{zs} \\ F_{\theta y} & T_{\theta y} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F(s) \\ T(s) \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서

$$\begin{aligned} F_{zs}(s) &= \frac{Z_s(s)}{F(s)} \\ &= \frac{(J_s s^2 + C_p s + k_p) - L_{as} L_{sm} M s^2}{(M s^2 + C_f s + k_f)(J_s s^2 + C_p s + k_p) - M^2 L_{sm}^2 s^4} \end{aligned} \quad (4)$$

$$F_{\theta_y}(s) = \frac{\theta_y(s)}{F(s)} \quad (5)$$

$$= \frac{L_{as}(Ms^2 + C_f s + k_f) - ML_{sm} s^2}{(Ms^2 + C_f s + k_f)(J_s s^2 + C_p s + k_p) - M^2 L_{sm}^2 s^4}$$

$$T_{zs}(s) = \frac{Z_s(s)}{T(s)} \quad (6)$$

$$= \frac{-ML_{sm} s^2}{(Ms^2 + C_f s + k_f)(J_s s^2 + C_p s + k_p) - M^2 L_{sm}^2 s^4}$$

$$T_{\theta_y}(s) = \frac{\theta_y(s)}{T(s)} \quad (7)$$

$$= \frac{Ms^2 + C_f s + k_f}{(Ms^2 + C_f s + k_f)(J_s s^2 + C_p s + k_p) - M^2 L_{sm}^2 s^4}$$

$F_{zs}(s)$ 와 $F_{\theta_y}(s)$ 는 액추에이터에서 발생하는 포커싱 방향의 힘 F 에 대한 포커싱과 피칭의 전달함수를 나타내며 $T_{zs}(s)$ 와 $T_{\theta_y}(s)$ 는 액추에이터에서 발생하는 토크 성분 T 에 대한 포커싱과 피칭의 전달함수를 나타낸다. 따라서 F 와 T 각각에 대한 광 축 중심의 포커싱 변위 전달함수는 각각 다음과 같이 나타낼 수가 있다.

$$G_F(s) = \frac{Z_o(s)}{F(s)} = F_{zs}(s) + L_s F_{\theta_y}(s) \quad (8)$$

$$G_T(s) = \frac{Z_o(s)}{T(s)} = T_{zs}(s) + L_s T_{\theta_y}(s) \quad (9)$$

따라서 광 픽업축을 중심으로 한 포커싱 변위는 (8)과 (9)를 이용하여 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$Z_o(s) = G_F(s)F(s) + G_T(s)T(s) \quad (10)$$

3. 비대칭 액추에이터의 힘과 토크 해석

액추에이터의 부공진의 원인이 되는 토크는 두 가지 원인에 의하여 발생이 된다. 첫 번째는 M_c , S_c , A_c 의 불일치에 의한 토크이고 두 번째는 플럭스와 코일에 흐르는 전류의 상관관계 때문에 코일 자체에서 발생하는 순수 토크이다. 이들은 각각 그 발생 배경이 다르지만 동일하게 피칭운동을 일으키는 외력인 토크로 나타나므로 수학적으로 같은 식으로 표현이 가능하므로 본 논문에서는 두 번째 경우인 플럭스와 전류의 상관관계에서 발생하는 불균일 힘 특성의 영향에 따른 순수 토크와

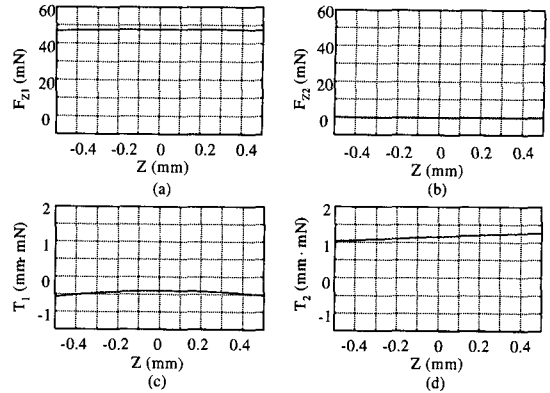


Fig. 4 Force and torque characteristics of case I

부공진 현상을 연구하였다. 따라서 액추에이터의 M_c , S_c , A_c 는 한 점에 일치한다고 가정한다.

요크에서의 누설자속과 자속밀도의 불균일성에 따른 액추에이터의 토크와 힘 특성을 정량적으로 파악하기 위하여 유한요소법(Finite Element Method)을 사용하였다. 자석의 두께와 요크의 두께변화, 자기회로(Magnetic circuit)의 변화에 따른 누설자속과 에지효과의 변화양상을 알아보기 위하여 다음과 같이 5가지의 경우로 나누어 FE 해석을 수행하였다.

- (1) 요크두께 : 0.8 mm, 영구자석 두께 : 1.0 mm
- (2) 요크두께 : 1.0 mm, 영구자석 두께 : 1.0 mm
- (3) 요크두께 : 0.8 mm, 영구자석 두께 : 1.2 mm
- (4) 요크두께 : 1.0 mm, 영구자석 두께 : 1.2 mm
- (5) U형 요크 위에 자성체 박판을 덧댄 경우

Figure 4는 첫 번째 경우에 대한 FE 해석 결과를 보여주고 있다. Figure 4(a)는 포커싱 방향의 변위 Z 의 변화에 따른 요크 내부의 코일에서 발생하는 포커싱 방향의 힘 F_1 을 나타내고 있다. 내부 코일에서 발생하는 F_1 은 작동 영역이라 불리는 $\pm 0.5mm$ 의 범위에서 2.2% 이내의 변화를 보이고 있음을 알 수 있고, 따라서 작동 영역 내에서 F_1 은 선형적이라고 볼 수 있다. Figure 4(b)는 바깥쪽 코일에서 발생하는 포커싱 방향의 힘 F_2 를 나타내고 있다. F_1 과 비교해 보면 F_2 는 매우 작음을 알 수가 있다. 따라서 포커싱 방향의 힘은 전적으로 F_1 에 의해 결정됨을 알 수가 있다. 하지만 내부 코일과 바깥 쪽 코일이 멀리 떨어져 있는 경우에는 작은 F_2 도 코일 사이의 거리(moment arm)의 영향으로 토크를 발생시키게 된다. 내부 코일에서 발생하는 토크 T_1 과 바깥 쪽 코일

에서 발생하는 토크 T_2 를 각각 (c)와 (d)에 나타내었다. 그림에서 볼때 T_2 가 T_1 보다 정량적으로 크다. 가정에 의해 액추에이터의 피칭모션이 각각의 코일에서 발생하는 순수 토크와 포커싱 힘의 영향이라고 보았을 때 피칭모션은 T_2 에 크게 의존되며, 따라서 액추에이터의 설계에 있어 T_2 을 줄이는 설계가 무엇보다 중요함을 알 수가 있다. 플럭스와 전류의 상관관계에 의해 액추에이터에는 X 방향의 힘도 발생한다. 하지만 이는 매우 작아 액추에이터의 데이터 픽업 성능에 아무런 영향을 미치지 않기 때문에 무시 할 수가 있다.

비대칭 액추에이터의 힘 특성 해석에서 볼 때 작동 영역 내에서 비교적 선형적임을 알 수가 있다. 액추에이터의 포커싱 변위이동 가능 영역인 $\pm 1mm$ 의 전 영역에서 힘 특성을 봤을 때 포커싱 힘은 선형적인 경향을 유지하지만 각 코일에서 발생하는 토크는 포커싱 방향으로 변위이동이 심할수록 비선형성이 매우 강하게 나타남을 FE 해석을 통하여 확인하였다. 이는 에지효과에 의한 토크 특성으로써 가능한 한 코일의 높이를 낮게 설계해야 함을 나타내고 있다.

두 번째 경우로 요크두께의 변화에 따른 누설자속의 영향을 알아보기 위해 요크 두께를 $0.2mm$ 증가시켜 Fig. 5의 결과를 얻었다.

Figure 5의 (a)와 (b)는 액추에이터에 발생하는 포커싱 힘 F 와 전체 토크 T 를 나타낸다. F 는 F_1 과 F_2 의 합이며 T 는 T_1 과 T_2 의 합이다. Figure 5를 통해서 요크 두께의 변화에 따른 액추에이터의 힘과 토크 특성변화는 크지 않음을 알 수 있다.

세 번째 경우로, 자석두께의 변화에 따른 누설자속의 영향을 알아보기 위해 요크 두께를 $0.8mm$, 영구자석을 $1.2mm$ 로 변화시켜 나타난 FE 해석결과가 Fig. 6에 나타나 있다. 첫번째 경우와 비교해 보면 환산력인 F , T 가 모두 커졌음을 알 수가 있는데 이는 자석 크기 변화에 따른 플럭스 밀도가 높아졌기 때문이다. 특히 (b)에서 T 의 크기

가 양의 방향으로 증가한 것은 플럭스 변화에 따른 토크의 크기 변화가 바깥 쪽 코일에서 더 많이 일어남을 의미한다. 네 번째 경우에 대한 FE 해석도 수행되었으며 세 번째 경우와 크게 차이가 나지 않았다.

다섯번째 경우는 U형 요크 위에 자성체 박판을 덧대어 자기적 폐 회로를 구성한 것으로 FE 해석모델은 Fig. 7과 같다. 요크 두께와 자석의 두께는 세 번째 경우와 같으며 FE 해석결과를 Fig. 8에 나타내었다. 세 번째 경우와 비교해 보았을 때, F 는 미소하게 줄어든 것을 알 수가 있다. 이는 U형 요크 위에 자성체를 덧댄으로써 요크의 안쪽에서 흐르는 플럭스가 자성체 쪽으로 더 많이 휘게 되어 결과적으로 내부의 코일 단면을 지나는 플럭스 밀도가 약간 줄어든 결과이다. (b)의 그림에서 T 가 타 경우에 비해 많이 감소한 결과를 나타냄을 알 수가 있는데 이는 누설자속이 현저히 줄어들어 T_2 가 감소했음을 의미한다.

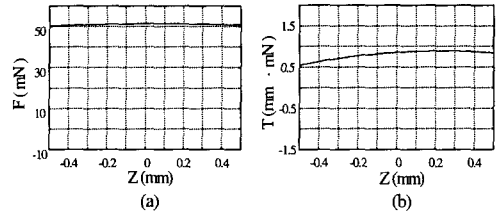


Fig. 6 Force and torque characteristics of case III

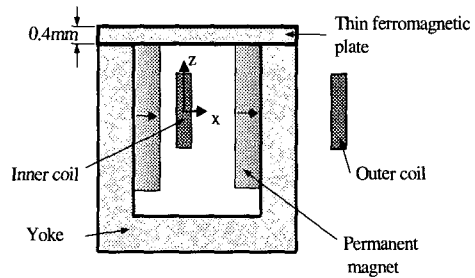


Fig. 7 Configuration of the U shaped yoke with the thin ferromagnetic plate attached to its upper part (Case V)

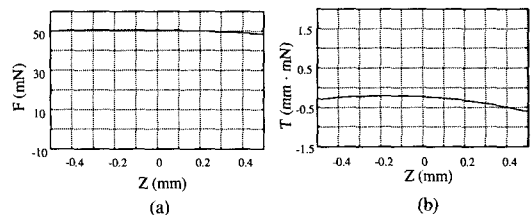


Fig. 8 Force and torque characteristics of case V

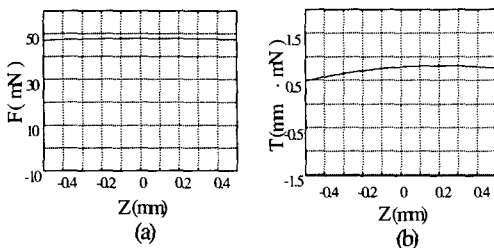


Fig. 5 Force and torque characteristics of case II

위의 결과를 통해 누설자속과 에지효과에 따른 비대칭형 액추에이터의 힘과 토크특성은 다음과 같이 요약 될 수가 있다.

- 1) 부공진은 바깥쪽 코일의 영향을 더 크게 받는다.
- 2) 요크의 두께변화는 토크곡선의 변화와는 큰 관계가 없다.
- 3) U형 요크 위에 자성체를 덧대는 방법을 통하여 누설자속을 크게 줄일 수 있다.
- 4) 내부 코일에서 발생하는 토크와 바깥쪽 코일에서 발생하는 토크는 그 방향이 서로 반대이므로 서로 상쇄되는 효과를 이용하여 토크의 크기를 줄일수도 있다.

주어진 다섯가지의 경우를 통하여 비대칭형 액추에이터에서의 힘과 토크의 특성변화를 알아보았다. 코일의 크기나 형상, 요크와 자석의 재질과 성질 역시 액추에이터의 토크와 힘 특성에 영향을 미치는 중요한 설계 파라미터이다. 이에 대한 정량적인 해석을 내리지 않은 것은 위의 다섯가지 경우를 통하여 코일의 크기와 형상, 요크와 자석의 재질과 성질 같은 요소들에 대한 영향을 간접적으로 얻을 수 있기 때문이다.

4. 비대칭 액추에이터의 진동특성

각각의 경우에 대한 FE 결과와 식 (2)를 이용하여 비대칭형 액추에이터의 주파수 응답특성을 얻을 수 있다. M_c , S_c , A_c 가 모두 한 점에 일치한다고 가정할 경우 액추에이터의 동역학식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} M & 0 \\ 0 & J_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{Z}_s \\ \ddot{\theta}_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_f & 0 \\ 0 & C_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{Z}_s \\ \dot{\theta}_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_f & 0 \\ 0 & k_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_s \\ \theta_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} F + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} T \tag{11}$$

F 와 T 는 Z 에 대해 비선형 함수이므로 식 (11)은 해석적으로 풀 수가 없다. 따라서 FE 해석을 통하여 얻은 결과와 수치보간법을 이용하여 근사적인 방법으로 Z 에 대한 F 와 T 의 비선형 함수를 만들고 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 주파수 응답을 구하였다.

질량과 같은 비대칭형 액추에이터의 일부 파라미터들은 직접 측정 할 수 있으며, 알려져 있지 않은 일부 파라미터들은 실험과 해석과정을 통하여 얻었다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 각각의 경

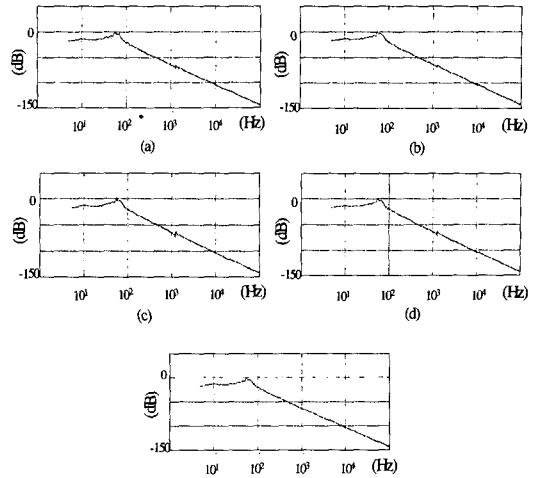


Fig. 9 Experimental results of the frequency responses for (a) case I, (b) case II, (c) case III, (d) case IV, and (e) case V

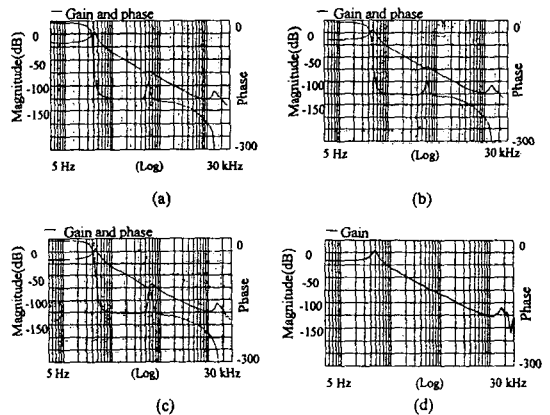


Fig. 10 Experimental results of the frequency responses for (a) case I, (b) case II, (c) case III, and (d) case V

우에 대한 주파수 응답선도를 Fig. 9에 나타내었다.

시뮬레이션 결과에서 알 수 있듯이 마지막 경우에는 예상대로 부공진이 현저히 줄어들어 주파수 응답선도 상에 거의 나타나지 않음을 알 수가 있다. Figure 10은 비대칭형 액추에이터의 주파수 응답 실험 결과이다.

각각의 경우에 대한 시뮬레이션 결과와 실험결과가 서로 잘 일치하고 있음을 알 수가 있다. 실제 시스템에서 M_c , S_c , A_c 를 정확하게 한 점에 일치시키는 것은 공학적으로 불가능하며 이런 불일치 요소들이 복합적으로 작용하여 토크를 발생시킬 때에는 액추에이터의 부공진 현상이 훨씬 심

해질 것이다.

5. 결론

본 논문에서는 비대칭형 액추에이터의 부공진 원인인 M_c , S_c , A_c 의 불일치 이외의 다른 요인을 제시하였으며 시뮬레이션과 실험을 통하여 검증하였다. 순수 토크의 영향으로 발생한 부공진은 제어 서보대역 내에 있지 않기 때문에 액추에이터의 설계과정에서 줄여야만 하는 요소이다. 액추에이터의 진동특성을 분석하기 위해 2-D 모델을 유도하였으며 FEM과 수치해석을 통한 simulation 결과와 실험에서의 결과가 일치함을 확인하였다.

본론에서 다른 몇가지의 경우에 대한 해석 결과를 토대로 다음과 같은 부공진을 줄이기 위한 설계 지침을 제시할 수가 있다. 첫째, 내부 코일에서의 토크 현상은 코일의 가장자리에 갈수록 심해지는 에지효과(edge effect)에 의해서 발생되기 때문에 액추에이터의 포커싱 방향으로 변위이동이 커질수록 내부코일에서 발생하는 토크의 크기 역시 비선형적으로 커짐을 Fig. 4(c)를 통하여 알 수가 있다. 따라서 코일의 높이를 되도록 작게 설계하는 것이 바람직하다. 두 번째로, 누설자속은 요크 외벽 근처에 집중되어 있으므로 바깥쪽 코일의 위치를 요크 외벽에서 되도록 멀리 떨어지도록 설계하는 방법이 있다. 위의 두 가지 방법은 파라미터 변경에 따른 다른 액추에이터의 코일 지지 가이드의 재 설계가 요구되는 부분이며 설계 파라미터의 변경에 따라 토크의 변화양상이 일의적으로 결정되지 않기 때문에 파라미터 변경에 따른 부공진 저감화를 위해 최적설계가 요구된다고 하겠다. 하지만 시뮬레이션과 실험결과를 토대로 알 수 있었던 바와 같이 기본적인 자기 회로의 변화 없이 단순히 설계 파라미터만의 변경으로는 액추에이터의 토크를 줄이기엔 한계가 있다. Bio-Savart의 법칙에 의하면 흐르는 전하에 의해 자기장은 항상 형성이 됨을 알 수가 있다. 따라서 누설자속이 완전히 없다고 하더라도 바깥쪽 코일에 흐르는 전류에 의해 생성된 자기장과 요크 내부에 존재하는 자기장과의 상호작용으로 인해 바깥쪽 코일에서는 항상 힘이 생성되며 이것은 토크성분으로 작용하게

된다. 따라서 각각의 코일에서 생성되는 토크의 정량적인 크기를 비슷하게 하여 서로 상쇄시키는 방법으로 설계할 수도 있을 것이다. 비대칭형 액추에이터는 구조상으로 볼때 본 논문에서 언급한 토크의 발생 요소 이외에도 공기감쇠(air damping) 효과가 액추에이터의 상하 면에서 비대칭적으로 일어나므로 또 다른 피칭운동 요소로 작용할 수도 있을 것이다. 따라서 이런 요소들이 복합적으로 작용하는 다입력 시스템으로의 해석도 필요할 것이다.

참고문헌

- (1) Takesjita N., Fujita T., and Kime K., 1995 "Dynamic Characteristics of Lens Actuator for Digital Video Disc," *SPIE* Vol. 1514, pp. 159~166.
- (2) Jeong Hoseop, Oh Kwanyoung, and Yu Ikhyeong, 1998, "Design and Vibration Reduction Method of Subsidiary Resonance in Asymmetric Type Optical Pick-up Actuator by using Fine Pattern Coil," *Journal of Korean Society of Noise and Vibration Engineering*, pp. 160~165.
- (3) Go Sangsun, Ryu Jeha, Park Kyihwan, and Jeong Hoseop, "Actuating Characteristics of an Asymmetric Optical Pick-up Fine Actuator of a High Speed CD-ROM, 1998," *Journal of Korean Society of Noise and Vibration Engineering*, Vol 8, No. 2, pp. 346~352
- (4) "비대칭 액추에이터의 부공진 규명을 위한 해석과 설계 기술 개발 및 DVD DRIVE 구동 환경 개발에 대한 연구," 3 차년도 최종 보고서, 광주 과학 기술원 메카트로닉스 연구센터.
- (5) Ichigara Junichi, Tezuka Koichi, and Ogawa Koichi, 1992, "Development of Actuators for Small-Size Magneto-Optical Disk Drives," *Jpn. J. Appl. Phys.* Vol. 31 Part. 1, No. 2B pp. 519~523.
- (6) Wortelboer Pepijn, Van Groos Pieter J.M. and Okko H. Bosgra, June 1994, "Limits of Implementation a CD Player Control Case Study," *America Control Conference*, pp. 3209~3213.
- (7) Katayama R., Yoshihara K., Yamanaka Y., Tsunekane M., Kayanuma K., Iwanaga T., Okada O., and Ono Y., 1992, "Multi-Beam Optical Disk Driver for High Data Transfer Rate Systems," *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 31, Pt. 1, No. 2B, pp. 630~634.
- (8) Yamamoto Tetsu, yumura Takashi and Shimegi Hiroo, 1986, "Development of High Performance Head Positioner for an Optical Disk Storage System," *SPIE* Vol. 695, Optical Mass Data Storage II, pp. 153~159.