

광 픽업 액츄에이터의 Force 특성 분석.

최인호\*, 홍삼열\*, 정태경\*\*, 정병호\*\*  
\*LG전자, \*\*중앙대학교

Force Characteristics Analysis of Optical Pickup Actuator

In-Ho Choi\*, Sam-Nyol Hong\*, Tae-Kyung Chung\*\*, Byung-Ho Chung\*\*  
\*LG Electronics Inc., \*\*Chung-Ang Univ.

**Abstract** - Recently, optical pickup actuators have been designed to have structures that extruded lens to decrease their height, because they are used in very thin drive for notebook computers. However, because of discordant and undesirable of forces that are supposed to happen in this design feature, subsidiary resonance such as rolling and pitching mode exert bad influence on actuator. In this paper, we presented force constituents to clarify the cause of subsidiary resonance analysis to evaluate characteristics of actuators. As a result, we could find out design parameters to diminish the influence of subsidiary resonance. Sample actuators designed with appropriate parameters were fabricated and put to practical tests. Comparing analysis with experimental results, we verified the accuracy of the analysis and the effectiveness of the method presented.

1. 서 론

제한된 설계 영역에 의해 설계의 자유도를 규제하는 노트북 컴퓨터등의 소형 기기에서 사용되는 렌즈 돌출형 광 픽업 액츄에이터는 광축이 진동의 중심점에 일치하지 않는 구조적 특징을 가지고 있다. 이 구조는 지지구조의 회전 진동 모드 중 제어 어려운 롤링이나 피칭 등에 대하여 심각한 영향을 받을 수 있고 구동 힘의 위치와 부수적인 힘의 발생이 이러한 불필요한 진동 모드를 더욱 가진 시킬 수 있다. 따라서 광 축의 렌즈 관점에서 회전에 관계된 진동 모드 영향을 저감하도록 제어하기 위해서는 구동 힘 성분을 정확히 분석하고 이를 능동적으로 이용하여 가진력을 적절히 설정할 필요가 있다.

본 논문에서는 먼저 회전 진동 모드에 영향을 미치는 구동 힘의 주요 성분들을 제시하였고 이들 성분들을 정확히 분석하여 활용하는 방법에 대하여 제안하였다. 구동 힘의 분석 방법은 해의 정확도를 높이기 위하여 3차원 벡터 포텐셜 방법을 적용한 유한요소 전자기 해석을 수행하였고 힘을 발생시키는 코일의 가동 전 영역에 대하여 자속밀도 분포 데이터를 얻었다. 이 분포 데이터를 새로이 정밀하게 요소 분할된 코일의 각각의 요소에 적용하여 힘을 계산함으로써 회전 진동 모드 계산에 활용하기 위한 요소별 가진 중심점 위치 등을 정확히 도출할 수 있었다. 또한 코일 이동시의 변화 추이는 이미 유한요소 해석으로 계산된 자속밀도 분포에서 코일의 위치만 변화시켜 산출함으로써 유한요소 해석 시간을 현격히 줄이고 상당히 연속적인 가동시 동적 변화를 평가할 수 있었다. 끝으로 본방법의 해석결과를 롤링과 피칭 모드 특성 분석에 적용하여 광축 대물렌즈 위치에서의 위상각 변화를 파악했으며 코일 형상 변화에 대하여 반복 계산하여 안정된 구동 특성의 설계치를 얻도록 하였다. 본 해석의 결과를 적용한 몇 개의 Sample을 측정하여 롤

링과 피칭 모드에서의 위상 변화 값을 비교하였고 힘의 분석 결과의 정확성과 방법의 타당성을 증명하였다.

2. 본 론

2.1 회전 진동 모드

2.1.1 슬림 광 픽업 액츄에이터 구조

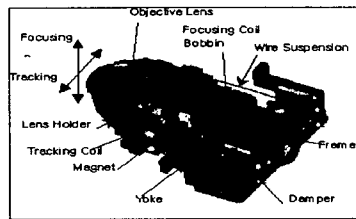


Fig. 1 The structure of slim optical pickup actuator

슬림 광 픽업 액츄에이터의 구조를 그림 1에서 보여 주고 있다. 광 픽업의 높이를 줄이기 위한 돌출된 형태의 액츄에이터 구조에 포함된 렌즈 홀더와 이를 지지하는 4절 링크 와이어 스프링으로 구성된 다자유도계 진동계는 진동계의 특성상 원하지 않는 롤링과 피칭 등의 회전 진동 모드를 발생한다. 여기서 제어되지 않는 회전 진동 모드는 액츄에이터의 제어 영역에서 시스템의 서보를 어렵게 하며 특히 대물렌즈 중심이 진동의 중심과 일치하지 않는 돌출된 구조의 액츄에이터에서는 특성에 심각한 영향을 미칠 수 있다.

2.1.2 회전 진동 모드 가진 성분

회전 방향에 따라 롤링 모드는 트랙 방향 가진 시 가진 중심점 위치와 질량 중심의 불일치 원인으로 발생되며 페루프로 구성된 트래킹 코일의 권선구조로 인한 부수적인 회전 모멘트 힘에 의하여 더욱 가진이 된다. 이는 다음 그림 2의 트래킹 코일 힘의 분포도로 자세히 설명이 되고 있다. 본 그림에서 액츄에이터가 포커스 방향으로 이동시 코일이 받는 자속밀도 분포의 대칭성이 점차 어긋나게 되어 가진 중심점 위치를 이동시키며 또한 상하 코일의 힘의 차이가 모멘트 성분을 더욱 증가시켜 트래킹 방향 주파수 위상 특성을 변화시키게 된다.

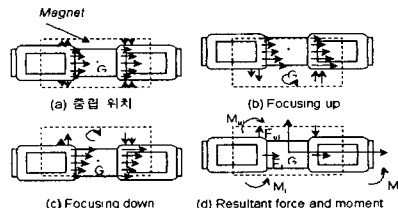


Fig. 2 Mechanism of moment generation by the tracking driving coils

$$M_i = M_i + M_{ul} \quad (1)$$

여기서  $M_i$ 는 힘의 중심 이동 변화와 질량 중심차이에 의한 모멘트이고  $M_{ul}$ 은 페루프 상하 코일의 자속밀도 비대칭에 의해서 발생하는 모멘트 성분으로  $M_i$ 와  $M_{ul}$ 의 합이 총 롤링 모드 가진 모멘트 성분  $M_i$ 가 된다.

한편 탄젠셜 방향의 피칭 모드는 포커스 방향으로 가진 될 때 포커스 코일 힘 발생 중심점이 질량 중심과 일치하지 않는 원인으로 발생되며 페루프로 구성된 포커스 뒷단 코일 부분이 자기회로 누설 자속의 영향을 받아 발생하는 회전 모멘트에 의하여 더욱 가진하게 된다. 그림 3에 피칭 모드를 가지는 모멘트 발생 원리를 자세히 설명해 주고 있다. 이와 같은 피칭 모드는 렌즈가 돌출된 액츄에이터 구조에서 대물렌즈를 진동 중심점에 위치시킬 수 없기 때문에 포커스 방향의 주파수 특성의 위상을 변화시키는 요인이 되고 있다.

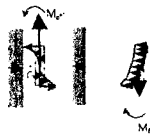


Fig. 3 Mechanism of moment generation by the focusing driving coils

$$M_j = M_c + M_l \quad (2)$$

여기서  $M_c$ 는 힘의 중심점과 질량 중심차이에 의해서 발생하는 모멘트이고  $M_l$ 은 페루프 코일 뒷단이 누설 자속의 영향으로 발생하는 모멘트 성분으로  $M_c$ 와  $M_l$ 의 합이 총 피칭 모드 가진 모멘트 성분  $M_j$ 로 된다.

이상과 같이 액츄에이터의 회전 진동 모드를 가진시키는 주요 원인은 가동 힘의 위치와 부수적인 모멘트 성분으로 이를 원하는 방향으로 제어하고 광축의 대물렌즈 위치에서 회전 성분에 대한 영향을 저감시키기 위해서는 정확한 힘의 성분 분석이 필수적이다.

## 2.2 해석 및 결과 분석

### 2.2.1 3차원 전자기 유한요소 해석

정확한 힘의 성분 분석을 위해서는 자기회로 분석을 통한 자속밀도 분포의 정확한 예측이 필요하다. 각 개체별로 적분하여 각 개체에 대한 X, Y, Z 방향의 로렌츠 힘을 구하는 기존 3차원 상용 프로그램은 힘의 요소별 가진 중심점 위치를 파악하기가 어렵고 진동 모드에 활용할 모멘트 성분을 도출하는데 한계가 있어서 진동 해석과 연결하기가 어렵다. 따라서 본 논문에서는 Edge-based 벡터 포텐셜 방법을 적용하여 3차원 자속밀도 분포를 도출하고 이를 특별히 작성된 프로그램을 이용하여 힘의 분포를 구하는 새로운 방법을 제시하고자 한다. 그림 4는 본 논문에서 해석된 3차원 유한요소 모델과 자속 분포도를 보여주고 있다.

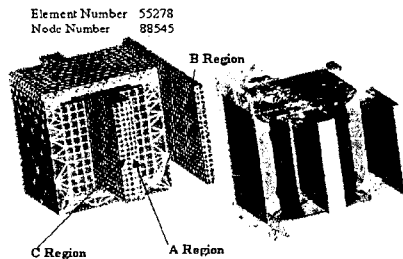
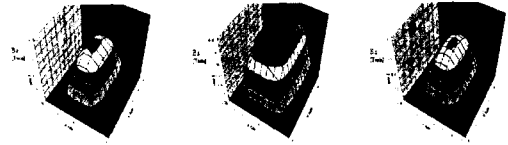


Fig. 4 3D FEM analysis results

그림 5는 그림 4에서 계산된 전자기 해석 결과로부터 코일이 위치한 영역별로 도출된 3차원 자속밀도 분포 그래프이고 이 데이터를 이용하여 다음의 힘의 분석을 수행하도록 하였다.



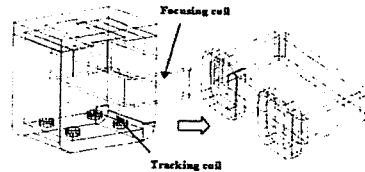
(a) A region (b) B region (c) C region  
(a) Focusing coil position  
(b) Focusing coil rear position  
(c) Tracking coil position

Fig. 5 Flux-density distribution in coil moving region

### 2.2.2 코일 상세 요소 분할법

힘의 분석 결과를 회전 진동 모드에 관계된 성분들로 적용하기 위해 본 논문에서는 새로이 작성된 프로그램에 의하여 코일에 대하여 새로이 상세 요소 분할을 수행하고 그림 5의 3차원 자속밀도 분포를 각각의 요소에 보간하여 적용하고 힘의 분포를 계산함으로써 분해능을 높이고 회전 진동 모드 계산에 활용하기 위한 요소별 가진 중심점 위치와 모멘트 성분등을 정확히 도출하였다. 코일 이동시의 변화 주이는 이미 계산된 자속밀도값 분포에서 코일의 위치만 변화시켜 산출함으로써 상당히 연속적인 결과로 가동시의 동적 변화를 평가 할 수 있었다.

다음 그림 6에는 코일을 포함한 자기회로 모델과 힘을 분석하기 위해 새로이 상세 요소 분할된 코일 모델을 보여 주고 있다.

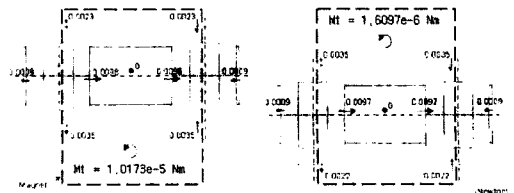


(a) Electromagnetic model (b) Finely discretized coils  
Fig. 6 New mesh for coils

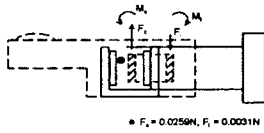
$$\begin{aligned} \{F_x\}^e &= i \cdot \{B_z \cdot n \cdot l\}^e \cdot \cos \theta \\ \{F_y\}^e &= i \cdot \{B_z \cdot n \cdot l\}^e \cdot \sin \theta \end{aligned} \quad (3)$$

$i$  : 인가 전류  $B_z$  : 코일 쇄교 자속밀도  
 $n$  : 코일 턴수  $l$  : 코일 길이  
 $\{ \}^e$  : 요소 영역

수식 (3)의 개념에 의하여 각각의 요소별로 힘의 성분을 계산하고 그 결과 그림 7과 같이 회전 진동 모드에 활용하기 위한 힘의 분석 결과를 얻었다. 그림 a)는 롤링 모드에 관계된 트랙킹 코일에서의 힘의 분포와 모멘트값을 증가화한 결과이고 그림 b)는 피칭 모드를 분석하기 위한 포커싱 코일에서의 힘의 등가치로 대표적인 결과를 간략히 묘사하고 있다.



(a) Force distribution in tracking coil (for rolling mode)



(b) Force distribution in focusing coil (for pitching mode)  
Fig. 7 Force analysis results

위와 같은 과정을 코일의 가동 범위 전 영역에서 수행하였고 회전 진동 모드 영향을 주파수 특성에서 파악하기 위하여 다음과 같이 주파수 응답에 대한 위상각 변화의 관점에서 특성을 평가하고자 하였다.

### 2.2.3 위상각 분석 결과

#### 2.2.3.1 롤링 모드 위상각 변화 분석

앞서 계산된 결과를 적용하여 주파수 응답 해석을 수행하였으며 롤링 모드 주파수 위치에서 위상각 변화량을 계산하였다. 그림 8은 포커싱 읍셋량에 따른 롤링 모드 위상각 변화량을 보여주고 있다.

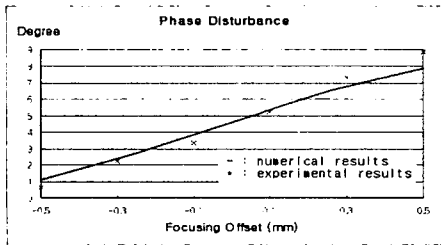


Fig. 8 Phase disturbance of rolling mode by focusing offset

이때 정확히 계산된 위상각 변화량은 롤링 진동 특성을 평가하는 기준이 된다. 설계 제약 조건으로 초기 위치에서 이상적인 조건을 구현하지 못하였으나 위상 변화량 값이 계산치와 측정치 모두 설계 사양을 만족하는 최대 +10도 이내의 좋은 결과의 설계치를 얻었고 그 오차도 5% 이내로 해석결과의 정확성을 입증하였다.

#### 2.2.3.2 피칭 모드 위상각 변화 분석

피칭 모드도 앞의 방법과 같이 주파수 응답 해석을 수행하여 질량 중심점과 가동부 지지점을 기준으로 피칭 모드의 위상각 변화량을 도출하였다. 그림 7의 b) 결과에서 다음 수식 (4)와 같이  $L_k$  (Leakage effect)를 정의하고 이 값의 변화에 따른 피칭 모드 위상각 변화를 계산하였다.

$$L_k = \frac{f_l}{f_c} \quad (4)$$

$L_k$ : Leakage effect

$f_c$ : 포커싱 코일의 주요 힘

$f_l$ : 포커싱 코일의 누설 자속에 의한 힘

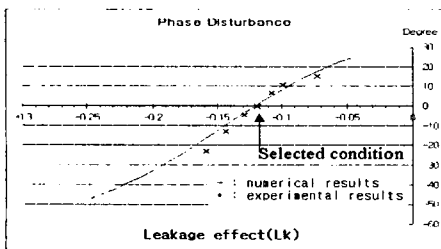
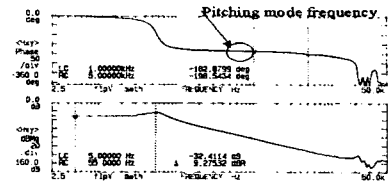
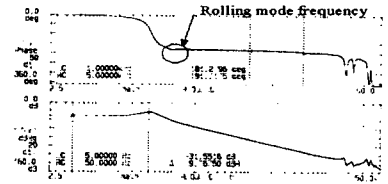


Fig. 9 Phase disturbance of pitching mode

그림 9에 대표적으로 계산된  $L_k$  조건에 따른 위상각 변화를 보여 주고 있으며 이때 위상각 변화가 0인 점을 설계치로 선택하여 안정된 특성을 구현했으며 계산치 및 측정치의 오차도 5% 이내로 해석 결과의 정확성을 확인하였다.



(a) Focusing direction



(b) Tracking direction

Fig. 10 Frequency response characteristics

## 3. 결 론

본 논문에서는 슬림 광픽업 장치에서 렌즈 돌출형 액츄에이터의 구조적 특성상 문제가 되고 있는 회전 진동 모드의 가진 성분들을 제시하였고 이를 정확히 분석하고 저감하기 위한 방법들을 제안하였다. 특히 힘을 분석하기 위한 전자기 해석은 유한요소법과 코일에서의 상세요소분할법의 결합으로 분석 결과의 정밀도를 만족시키면서 계산 시간을 줄일 수 있는 효율적 해석 방법의 제안이라고 생각되며 정확한 힘의 분석으로부터 도출한 주파수 응답 특성의 위상각 변화량은 회전 진동 모드의 특성을 평가하기에 충분한 정확성을 입증하였다.

끝으로 최종 결과로 설계된 Sample를 실지 제작하여 평가한 결과 그림 10에서와 같이 안정된 주파수 응답 특성을 얻었고 본 방법의 효과와 타당성을 확인 하였다.

### (참 고 문 헌)

- [1] Nagasato & Hoshino, "Development of Two Actuator with Small Tilt Angles for One-Piece O Heads", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 35, pp.392-397, 1999
- [2] Saegusa, Saitoh, Katoh, Umemoto, Suenaga & Ya "Damping Design of Objective-Lens Actuator Dual-Parallel Link Suspensions", 日本機械學會論文集 6 pp.2023-2029, 1997
- [3] S.Bouissou and F.Piriou, "Study of 3D Formula Model Electromagnetic Devices", IEEE Transaction Magnetics, Vol. 30, pp.3228-3231, September 1994
- [4] I.H.Choi, W.E.Chung, Y.J.Kim, I.S.Eom, H.M J.Y.Kim, "Compact Disk/Digital Video Disk (CD Compatible Optical Pickup Actuator for High Densi High Speed", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 37, pp2189-219 (5) I.H.Choi, S.P.Hong, W.E.Chung, Y.J.Kim, M.H J.Y.Kim, "Concentrated Anisotropic Magnetization fo Sensitivity of Optical Pickup Actuator", IEEE Trans on Magnetics, Vol.35, No.3, pp.1861-1864, 1999
- [6] 홍삼열, 최인호, 김영중, 서민석, 안영우, "광픽업 액츄에 터의 Rolling 특성 및 Tilt angle에 관한 연구", 한국정밀공학 추계학술대회, 1999
- [7] 서진규, 정호섭, 박기환, "광 픽업 비대칭형 액츄에이터의 부품규 명과 해석", 한국소음진동공학회 춘계학술대회논문집, pp.300-304, 1999