

렌즈 돌출형 광 픽업 액츄에이터의 구동 성능 향상을 위한 Force 특성 분석

0 최인호*, 홍삼열*, 김영중*, 서민석*, 안영우*, 김진용*

Force Characteristics Analysis to Improve Actuating Performance in Extruded Lens Type Optical Pickup Actuator

In-Ho Choi, Sam-Nyol Hong, Young-Joong Kim, Min-Suk Suh, Young-Woo Ahn, Jin-Yong Kim

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 and proposed new finite element analysis method to calculate force precisely, and performed frequency response 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. 서론

최근 정보화의 급속한 발전으로 디스크 미디어를 이용한 정보 기록 장치가 보편화되고 있으며 드라이브의 고배속화와 더불어 고밀도화가 가속화되어가는 추세에 있다. 따라서 디스크의 정보를 읽기 위한 광 픽업 장치는 고배속, 고밀도에 대응하기 위하여 더욱 고대역 및 높은 정밀도 특성이 요구되며 특히 대물 렌즈를 디스크의 면 진동이나 편심 등에 추종하도록 하여 포커싱과 트래킹 동작이 가능하게 하는 2축 구동 액츄에이터는 높은 서보 대역에 대응하기 위한 진동 특성을 확보해야만 한다. 이와 같은 특성의 요구와 더불어 최근 노트북 PC 등 점차 소형화 되어 가는 기기의 박형화는 설계의 자유도를 규제하며 더욱 어려운 기술의 시도를 필요로 하고 있다. [4]

슬립형에 대응하는 광픽업 장치의 박형화를 이루기 위해서는 광학 경로와 대물렌즈의 위치를 최대한 가깝게 위치시키도록 대물렌즈가 구동계에서 돌출된 형태의 액츄에이터 구성이 필연적이다. 그러나 대물렌즈가 돌출된 구조의 액츄에이터는 광축이 진동의 중심점에 일치하지 않기 때문에

지지구조의 진동 모드 중 제어가 어려운 틀링이나 피칭 등의 회전 성분 진동 모드에 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 제어 하기 위해서는 구동 힘 성분을 정확히 분석하고 이를 능동적으로 이용하여 진동 모드를 가진하는 방향이 아닌 저감 시키는 목적으로 가진력을 적절히 설정할 필요가 있다.[1][2]

최근에 회전 성분의 진동 모드를 저감 하기 위해서 구동 힘의 전자기 해석을 2 차원적으로 분석하거나 3 차원 분석의 경우 기존 상용 프로그램에 의하여 각 개체별로 적분 하여 계산하는 방법으로 각 개체에 관한 X, Y, Z 방향의 로렌즈 힘을 구하여 사용하고 있다. 그러나 이들 상용 프로그램들은 대부분이 가동 코일 전체의 힘의 벡터 성분을 구하는 방식으로 힘의 요소별 가진 중심점 위치를 파악 하기가 어렵고 진동 모드에 영향을 주는 모멘트 성분을 도출하는데 한계가 있다. 또한 코일의 가동위치마다 유한요소 해석 과정을 반복하여 많은 해석 시간을 필요로 하며 유한요소 발생과정의 오차에 따라 구하고자 하는 값의 연속적인 결과를 얻기가 힘들다.[5][7]

*LG 전자㈜ 디지털 미디어 연구소 DCT

본 논문에서는 먼저 회전 진동 모드에 영향을 미치는 구동 힘의 주요 성분들을 제시하였고 이를 성분들을 정확히 분석하여 활용하는 방법에 대하여 제안하였다.[6] 구동 힘의 분석 방법은 해의 정확도를 높이기 위하여 3 차원 벡터 포텐셜 방법을 적용한 유한요소 전자기 해석을 수행하였고[3] 힘을 발생 시키는 코일의 가동 전 영역에 대하여 자속밀도의 연속적 분포 데이터를 얻었다. 이분포 데이터를 새로이 정밀하게 요소 분할된 코일의 각각의 요소에 적용하여 힘을 계산 함으로써 회전 진동 모드 계산에 활용하기 위한 요소별 가진 중심점 위치 등을 정확히 도출할 수 있었다. 또한 코일 이동시의 변화 추이는 이미 유한요소 해석으로 계산된 자속밀도값 분포에서 코일의 위치만 변화 시켜 산출함으로써 유한요소 해석 시간을 현격히 줄이고 상당히 연속적인 가동시 동적 변화를 평가 할 수 있었다. 끝으로 본방법의 해석결과를 틀링과 피칭 모드 특성 분석에 적용하여 광축 대물렌즈 위치에서의 위상각 변화를 파악했으며 코일의 형상을 변수가변법으로 반복 계산하여 안정된 구동 특성을 만족하는 설계치를 얻는데 활용하였다. 본 해석 방법의 결과를 적용한 몇 개의 sample 을 측정하여 틀링과 피칭 모드에서의 위상 변화 값을 비교하였고 본 힘의 분석 결과의 정확성과 방법의 타당성을 증명 하였다

2. 회전 진동 모드

1) 슬림 광 팩업 액츄에이터 구조

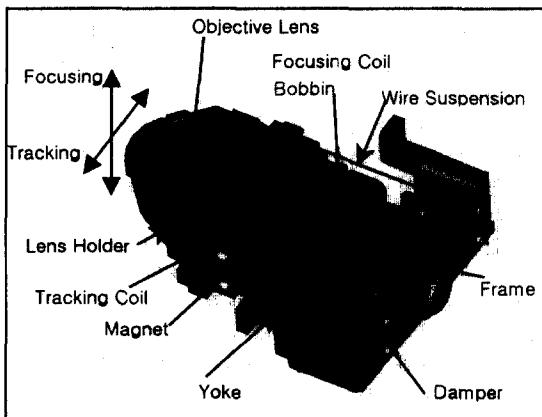


Fig.1 The structure of slim optical pickup actuator

슬림 광 팩업 액츄에이터의 구조를 그림 1에서 보여주고 있다. 광 팩업의 높이를 줄이기 위해서는 광학 경로와 대물 렌즈의 길이를 최대한 가깝게 위치 시키도록 광학 경로를 액츄에이터와 중첩 시켜서 구성 하여야 하며 이때 액츄에이터를 구동 시키기 위한 구동계는 광학 경로를 회피

하도록 구성하여야 하고 그림과 같이 대물렌즈가 돌출된 형태의 액츄에이터 구조가 필연적이다. 그림 1에서 돌출된 대물렌즈를 안착시키고 있는 렌즈 홀더는 4 절 링크 와이어 스프링에 의하여 지지되는 다자유도계 전동계를 구성하고 있으며 전동계의 특성상 제어를 위한 포커싱, 트랙킹 방향의 1차공진 주파수와 그 외 원하지 않는 틀링과 피칭 등의 회전 진동 모드가 발생된다. 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 영향이 될 수가 있다.

2) 회전 진동 모드 가진 성분

앞의 액츄에이터 구조에서 특성에 영향을 미치는 주요 회전 진동 모드는 틀링과 피칭 모드로 이는 각각 트래킹과 포커싱 동작 시 기본 주파수 특성의 위상과 변위에 악영향을 주게 된다. 회전 방향에 따라 틀링 모드는 트랙 방향 가진 시 가진 중심점 위치와 질량 중심의 불일치 원인으로 발생되며 폐루프로 구성된 트래킹 코일의 권선 구조로 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 트랙킹 방향 주파수 위상 특성을 변화 시키게 된다.

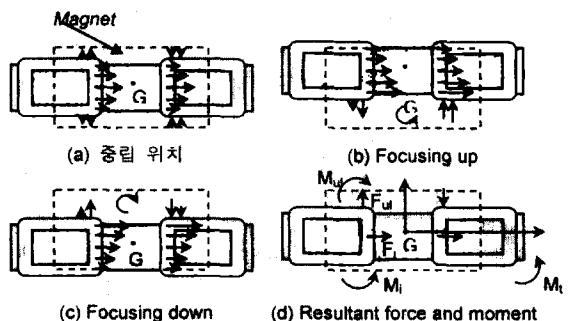


Fig.2 Mechanism of moment generation by the tracking driving coils

$$M_t = M_u + M_d \quad (1)$$

여기서 M_t 는 힘의 중심 이동 변화와 질량 중심 차이에 의한 모멘트이고 M_d 은 폐루프 상하 코일의 자속밀도 비대칭에 의해서 발생하는 모멘트 성분으로 M_u 와 M_d 의 합이 총 틀링 모드 가진 모멘트 성분 M_t 가 된다.

한편 탄젠셜 방향의 피칭 모드는 포카스 방향으로 가진 될 때 포커스 코일 힘 발생 중심점이 질량 중심과 일치하지 않는 원인으로 발생되며 폐루프로 구성된 포커스 뒷단 코일 부분이 자기 회로의 누설 자속의 영향을 받아 발생하는 회전 모멘트에 의하여 더욱 가진하게 된다. 그럼 3에 피칭 모드를 가진 하는 모멘트 발생 원리를 자세히 설명해 주고 있다. 이와 같은 피칭 모드는 렌즈가 돌출된 액츄에이터 구조에서 대물렌즈를 진동 중심점에 위치 시킬 수 없기 때문에 포카스 방향의 주파수 특성의 위상을 변화 시키는 요인이 되고 있다.

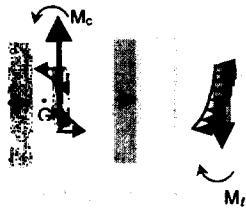


Fig.3 Mechanism of moment generation by the focusing driving coils

$$\mathbf{M}_f = \mathbf{M}_c + \mathbf{M}_\ell \quad (2)$$

여기서 M_c 은 힘의 중심점과 질량 중심사이에
의해서 발생되는 모멘트이고 M_t 은 폐루프 코일
뒷단이 누설자속의 영향으로 발생되는 모멘트 성
분으로 M_c 와 M_t 의 합이 총 피칭 모드 가진 모
멘트 성분 M_f 로 된다.

이상과 같이 액츄에이터의 회전 진동 모드를
가진 시키는 주요 원인은 가동 힘의 위치와 부수
적인 모멘트 성분으로 이를 원하는 방향으로 제
어하고 광축의 대물렌즈 위치에서 회전 성분에
대한 영향을 저감 시키기 위해서는 정확한 힘의
성분 분석이 필수적이다.

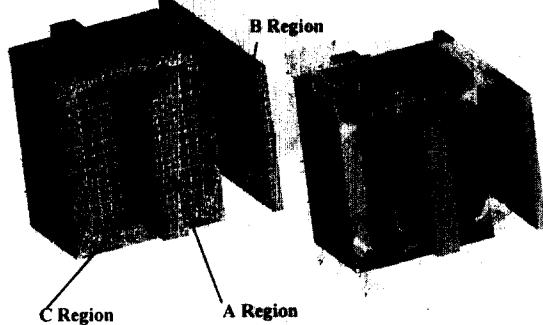
3. 해석 및 결과 분석

1) 3 차원 전자기 유한요소 해석

롤링과 피칭등 회전 진동 모드를 정확히 분석하고 저감 시키기 위해서는 정확한 힘의 성분 분석으로부터 이루어 질 수 있다. 액츄에이터를 가동시키기 위한 힘의 발생은 전자기 로렌쓰 힘을 이용하므로 무엇보다도 자기회로 분석을 통한 자속밀도 분포의 정확한 예측이 필요하다. 최근 구동 힘을 분석하기 위한 자기회로 분석을 위해서는 유한 요소법을 이용한 전자기 해석을 주로 사용하고 있으며 정확성과 신빙성에 대해서도 많은 사례가 제시 되고 있다. 그러나 광 픽업 액츄에이터의 구조상 2차원 해석으로는 정확하고 다양

한 분석이 힘들며 3 차원 해석에 의하여 분석이 이루어 져야 한다. 3 차원 해석의 경우 기존 상용 프로그램은 각 개체별로 적분 하여 계산하는 방법으로 각 개체에 관한 X, Y, Z 방향의 로렌즈 힘을 구하여 사용하고 있다. 그러나 대부분이 가동 코일 전체의 힘의 벡터 성분을 구하는 방식으로 힘의 요소별 가진 중심점 위치를 파악하기가 어렵고 전동 모드에 활용할 모멘트 성분을 도출하는데 한계가 있어서 전동 해석과 연결하기가 어렵다. 따라서 본 논문에서는 Edge-based 벡터 포텐셜 방법을 적용한 3 차원 전자기 유한 요소법의 정확한 계산으로부터 코일이 구동되는 에어 갭 전영역에서 자속밀도의 3 차원 분포를 도출하고 이를 특별히 작성된 프로그램을 이용하여 힘의 분포를 구하는 새로운 방법을 제시하고자 한다. 그림 4는 본 논문에서 해석된 3 차원 유한요소 모델과 자속 분포도를 보여주고 있다.

Element Number : 55278
Node Number : 88545

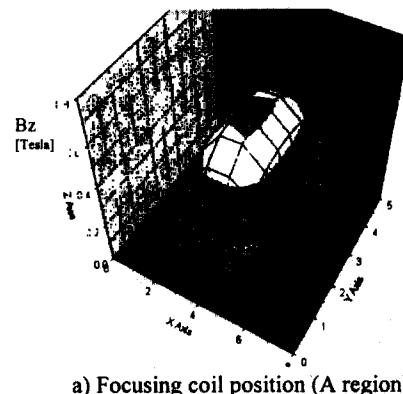


a) Mesh diagram

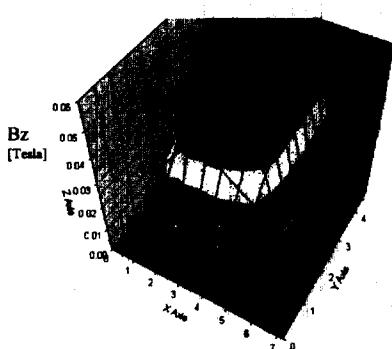
b) Flux distribution

Fig.4 3D FEM analysis results

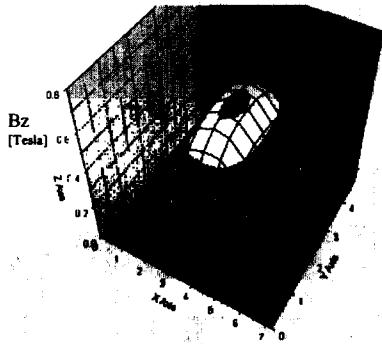
그림 5는 그림 4에서 계산된 전자기 해석 결과로부터 코일이 위치한 영역별로 도출된 3 차원 자속밀도 분포 그래프이고 이 데이터를 이용하여 다음의 힘의 분석을 수행 하도록 하였다.



a) Focusing coil position (A region)



b) Focusing coil rear position (B region)



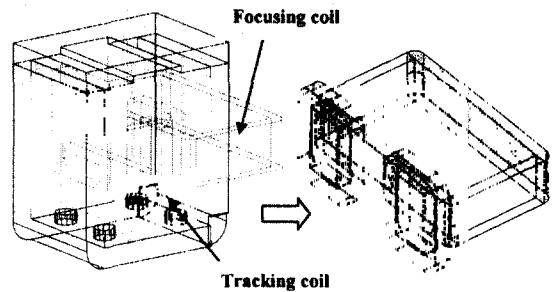
c) Tracking coil position (C region)

Fig.5 Flux-density distribution in coil moving region

2) 코일 상세 요소 분할법

힘의 분석에서 가진 중점과 모멘트 성분을 정확히 도출 하여 전동 모드에 관계된 성분들로 적용하기 위해서는 코일의 각각의 요소별로 힘의 성분을 약 0.01mm 단위로 세밀하게 계산 하는 것이 필요하며 유한요소 방법으로 이와 같은 분해능을 만족시키기 위해서는 수많은 요소와 절점을 발생 시켜야 하고 많은 계산 시간을 필요로 하므로 현실적으로 어려움이 많다. 본 논문에서는 새로이 작성된 프로그램에 의하여 코일에 대하여 새로이 상세 요소 분할을 수행하고 그림 5의 3차원 자속밀도 분포값을 각각의 요소에 보간 하여 적용하고 힘의 분포를 계산 함으로써 분해능을 높이고 회전 진동 모드 계산에 활용하기 위한 요소별 가진 중심점 위치와 모멘트 성분 등을 정확히 도출 하였다. 또한 코일 이동시의 변화 추이는 이미 계산된 자속밀도값 분포에서 코일의 위치만 변화 시켜 산출함으로써 유한요소 해석 시간을 현격히 줄이고 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

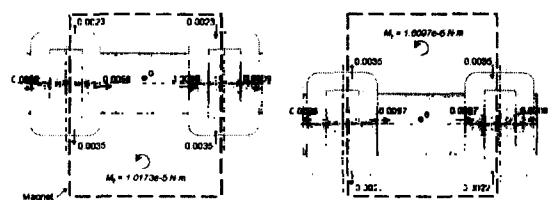
Fig.6 New mesh for coils

$$\{F_x\}^e = i \cdot \{B_z \cdot n \cdot \ell\}^e \cdot \cos \theta$$

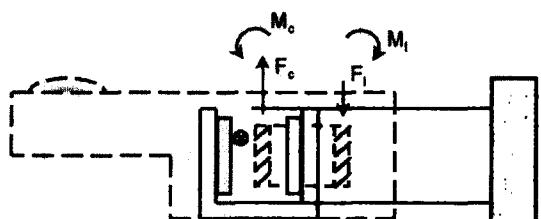
$$\{F_y\}^e = i \cdot \{B_z \cdot n \cdot \ell\}^e \cdot \sin \theta \quad (3)$$

i : 인가 전류 B_z : 코일 쇄교 자속밀도
 n : 코일 턴수 ℓ : 코일 길이
 $\{\cdot\}^e$: 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 틀링 모드에 관계된 트랙킹 코일에서의 힘의 분포와 모멘트값을 등가화한 결과이고 그림 b)는 피칭 모드를 분석 하기위한 포커싱 코일에서의 힘의 등가치로 대표적인 결과를 간략히 묘사 하고 있다.



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



$$* F_c = 0.0259N, F_t = 0.0031N$$

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.

3) 위상각 분석 결과

1) 롤링 모드 위상각 변화 분석

앞서 계산된 결과를 적용하여 주파수 응답 해석을 수행하였으며 롤링 모드 주파수 위치에서 위상각 변화량을 계산하였다. 이는 포커싱 방향으로 옵셋될 때 앞서 계산된 결과처럼 자속밀도 분포의 비선형성에 따른 힘의 분포 변화로 위상각이 변화한다. 그림 8에 포커싱 옵셋량에 따른 롤링 모드 위상각 변화량을 보여주고 있다.

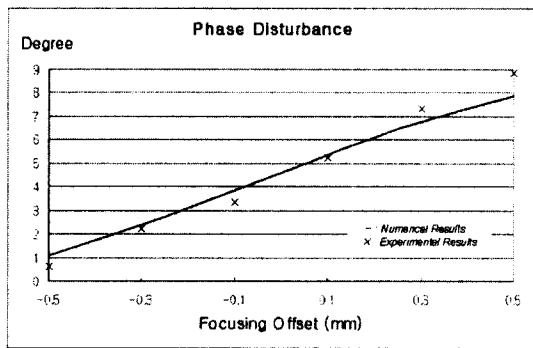


Fig.8 Phase disturbance of rolling mode by focusing offset

이때 정확히 계산된 위상각 변화량은 롤링 진동 특성을 평가하는 기준이 된다. 슬립의 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 해석 결과의 정확성을 입증하였다.

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.

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

L_k : Leakage effect

f_c : 포커싱 코일의 주요 힘

f_t : 포커싱 코일의 누설 자속에 의한 힘

다음 그림 9에 대표적으로 계산된 L_k 조건에 따른 위상각 변화 값을 보여 주고 있으며 이때 위상각 변화가 0인 점을 설계치로 선택하여 안정된 특성을 구현 했으며 계산치 및 측정치의 오차도 5%이내로 해석 결과의 정확성을 확인 하였다.

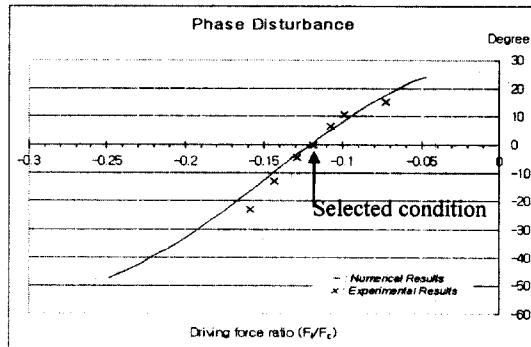
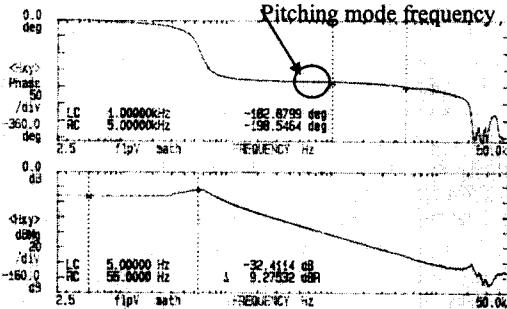
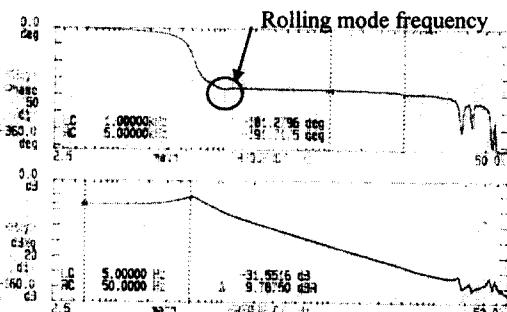


Fig.9 Phase disturbance of pitching mode

4. 결론



a) Focusing direction



b) Tracking direction

Fig. 10 Frequency response characteristics

본 논문에서는 슬립 광학업 장치에서 렌즈 출형 액츄에이터의 구조적 특성상 문제가 되고 있는 회전 진동 모드의 가진 성분들을 제시 하였

고 이를 정확히 분석하고 저감 하기위한 방법들을 제안하였다. 특히 힘을 분석하기 위한 전자기 해석에서 유한요소법과 코일에서의 상세 요소 분할법의 결합은 분석 결과의 정밀도를 만족시키면서 계산 시간을 줄일 수 있는 효율적 해석 방법의 제안이라고 생각되며 정확한 힘의 분석으로부터 도출한 주파수 응답 특성의 위상각 변화량은 분석 결과로부터 회전 진동 모드의 특성을 평가 하기에 충분한 정확성을 입증하였다.

끝으로 최종 결과로 설계된 Sample을 실지 제작하여 평가한 결과 그림 10에서와 같이 안정된 주파수 응답 특성을 얻었고 본 방법의 효과와 타당성을 확인 할 수 있었다

참 고 문 헌

- [1] Nagasato & Hoshino, "Development of Two-Axis Actuator with Small Tilt Angles for One-Piece Optical Heads", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 35, pp.392-397, 1996
- [2] Saegusa, Saitoh, Katoh, Umemoto, Suenaga & Yamauchi, "Damping Design of Objective-Lens Actuator with Dual-Parallel Link Suspensions", 日本機械學會論文集 63 卷 pp.2023-2029, 1997
- [3] S.Bouissou and F. Piriou "Study of 3D Formulation to Model Electromagnetic Devices", *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 30, pp. 3228-3231, September 1994
- [4] I.H.Chi, W.E.Chung, Y.J.Kim, I.S.Eom, H.M.Park & J.Y. Kim, "Compact Disk/Digital Video Disk (CD/DVD) Comp-atile Optical Pickup Actuator for High Density and High Speed", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 37, pp.2189-2196, 1998
- [5] I.H.Chi, S.P.Hong, W.E.Chung, Y.J.Kim, M.H.Lee & J.Y. Kim, "Concentrated Anisotropic Magnetization for High Sensitivity of Optical Pickup Actuator", *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol.35, No.3, pp.1861-1864, 1999
- [6] 홍삼열, 최인호, 김영중, 서민석, 안영우, "광 픽업 액츄에이터의 Rolling 특성 및 Tilt angle에 관한 연구", 한국정밀공학회 추계학술대회, 1999
- [7] 서진규, 정호섭, 박기환, "광 픽업 비대칭형 액츄에이터의 부공진 규명과 해석", 한국소음진동 공학회 춘계학술대회논문집, pp.300-304, 1999