

# 소형 광디스크 드라이브용 선형 구동기의 설계 및 특성 해석 Design and Analysis of a Linear Motor for Slim-line ODD.

심민택\* 박준혁\* 백윤수\*\*

Min-Taek Shim, Joon-Hyuk Park and Yoon Su Baek

**Key Words :** Optical Disc Drive(광디스크 저장장치), Linear Motor(선형 모터), FEM(유한요소법), Permeance Method(퍼미언스법), Moving Coil Type actuator(코일 구동형 액추에이터)

## ABSTRACT

This paper deals with a moving coil type linear motor for fast access of the miniature ODD. This slim-line motor is composed of the mover supported by guide mechanism, the coil wound into it, and the yoke attached to the permanent magnet for stator. The driving force is generated by the PM of the stator and the current in the coils of the mover. Magnetic circuit analysis and Finite Element Method are applied to estimate the thrust force at air gap. In order to compare the force characteristics between two methods, various experiment results are applied to verify on a prototype. Also the flexible modes of the motor are predicted through the FEM and the structural components are modified to locate this on high frequency region.

## 1. 서론

최근 정보화와 디지털화가 가속화되면서, 정보의 저장 및 재생에 관련된 기술에 대한 관심이 높아지고 있다. 사회 모든 분야에서 정보화가 급속히 확산되어 문자, 음성, 화상 등을 통합적으로 다루는 멀티미디어 기술을 주축으로 개인이 사용하는 정보량은 앞으로 더욱 증가 할 것이다. 이는 종래에 문자에 국한되었던 정보가 앞으로는 고선명 화상정보 및 고음질 음성 정보를 동시에 취급해야 하기 때문이다. 따라서 많은 정보를 저장 할 수 있는 기술 개발이 필연적으로 요구되고 있는데, 다른 저장매체에 비하여, 광 디스크 기술은 미디어의 저렴한 가격과 Blue laser, High NA lens 를 사용하는 제 3 세대의 광학 기술에 관한 활발한 연구로 가격경쟁력과 함께 고밀도 대용량의 디지털 정보저장기술로 적합하다.[1-3] 이와 더불어 시장의 요구에 상응하도록, 더욱 작은 크기의 휴대

가 가능한 정보저장기기의 개발이 요구되어지고 있다.[3-5]

광 디스크 드라이브의 구조에서 메커니즘 분야는 디스크를 회전시키는 회전 메커니즘, 넓은 범위를 움직이며 거친 검색을 하는 조동 메커니즘, 높은 주파수 영역의 움직임을 좁은 구간에서 추종할 수 있도록 하는 미세 메커니즘으로 구분된다. 특히 미세 구동기 분야는 박형의 ODD 에 대한 관심의 증가로 인하여 비대칭형의 슬림형 광 픽업 [1]과 Tilt 를 포함한 3 축 구동기 [2] 등의 다양한 연구가 진행 되고 있으나 조동 구동기 분야는 그에 비하여 활발하지 않다. 기존의 랙 앤 피니언 방식의 조동 구동기 또는 스크류 구동방식은 복잡한 형상과 조립의 어려움, 공간상의 제약으로 인하여 소형화하기 힘들고, 그 자체의 비선형성과 늦은 기계적인 응답으로 차세대 ODD 의 구동방식으로는 적합하지 않다. 이에 비하여 자기력을 이용한 VCM 형 리니어 방식의 구동기는 직접구동 방식이면서, 기어와 같은 기계적인 비선형성이 적고, 빠른 응답을 얻을 수 있는 장점이 있다.[6] 그리고, 질량에 비하여 높은 효율의 힘을 얻을 수 있으므로 소형화 된 정보저장기기에 적합하다.[1-5]

조동 구동기(Coarse actuator)와 미세 구동기

\* 연세대학교 기계공학과 대학원  
E-mail : mtshim@yonsei.ac.kr  
Tel : (02) 2123-2827, Fax : (02) 362-2736

\*\* 연세대학교 기계공학과

(Fine actuator)를 하나의 구동기로 구현하려는 연구가 있었지만 시스템 자체의 질량과 광학계의 무게에 의한 낮은 주파수 성능의 한계를 해결하지 못하였다.[8] 하지만 광 픽업의 소형화와 경량화로 최근 이러한 연구가 다시 시작되고 있으며,[9] 이에 본 연구에서는 리니어 방식의 구동기의 메커니즘을 설계하고, 자기 해석을 통하여 필요한 구동력을 구한 후, 이 구동력에 의한 구동기의 운동 특성을 실험을 통하여 알아본다. 그리고, 구조 진동해석을 통하여 높은 구조 공진 대역을 갖도록 하여 서보 대역폭을 높이고, 추후 과제로 트랙방향의 거친 검색 운동과 미세 운동을 하나의 구동기로 구현할 수 있는 여러 가지 조건들을 살펴본다.

## 2. 선형 구동기의 설계

### 2.1 구동 원리

Fig.1 은 고에너지 밀도를 갖는 희토류계(Nd-Fe-B) 영구 자석을 고정자로 하고 여자 코일을 가동자로 하는 LDM(Linear DC Motor)의 종류의 한 형태를 보여준다. 이 형태는 직류모터와 동일한 원리로 영구 자석에 의한 자기장과 그것을 수직으로 가로지르는 코일에 발생하는 여자전류에 의하여 발생하는 로렌쯔 힘(Lorentz Force)에 의하여 구동력이 발생되며, 그 방향은 플레밍 왼손법칙에 따른다.[6,7] 따라서 추력  $F$  는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F = K_f I (N) \quad (1)$$

여기서  $K_f = Bl_e N$  는 추력 상수이고,  $B$  는 자속 밀도( $T$ ),  $l_e$  는 코일의 유효길이( $m$ ),  $N$  은 코일의 감긴 횟수( $Turns$ )이다.

이러한 LDM 구조는 고속, 고정밀의 위치제어가 가능하므로 광 디스크 드라이브의 구동기로 적용이 가능하다.[1-5]

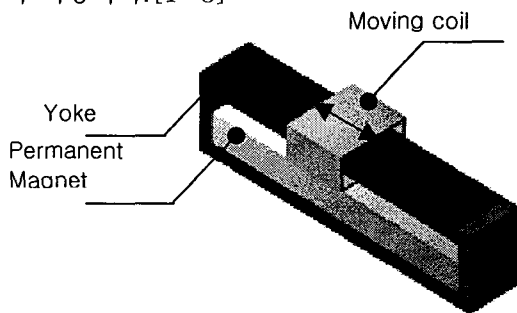
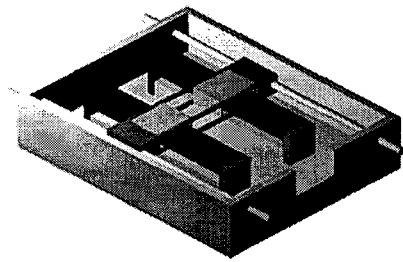


Fig. 1 Structure of LDM

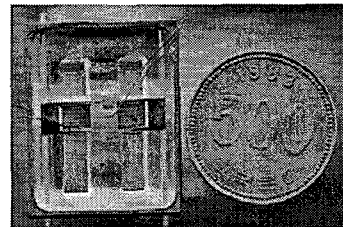
### 2.2 선형 구동기의 설계

본 연구에서 제안한 소형 ODD 용 선형 구동기는 Fig.2 와 같다.

기본적으로 앞서 설명한 LDM 의 구동 방식을 따르며, 쉽게 구할 수 있는 재료로 최소한의 크기를 구현하고 조립의 용이성을 위해 간단형 형태의 구조를 갖는다. 'ㄱ'자 형태의 요크(yoke)가 자기 폐회로를 구성 하므로 양쪽이 대칭인 형태를 갖게 된다. 구동기의 가운데는 미세 구동부의 탑재와 구조적인 최적 설계의 기본 모델로 사용하기 위하여 비워둔 형태이다. 하나의 영구 자석으로 구성 되어 있는 자기 회로부는 자석의 배열을 확장하여 작업 영역을 확장할 수 있는 구조이다. Table.1 은 설계된 구동기의 사양을 나타낸다.



(a) Design concept schematic



(b) Prototype

Fig. 2 Proposed linear motor

Table.1 Specification of designed linear motor

Specification		
Size (with base)	30×26.4×5.7	mm
(without base)	20×20.4×5.7	mm
Working Range	15	mm
Moving Part Mass(with coil)	0.4	kg
Coil turns	77×2	turns
Coil resistance	2.3	Ω
Permanent Magnet $B_r$	1.2	T

### 3. 선형 구동기의 자기 해석

조동 구동기로서 충분한 가속도를 가져 짧은 검색 시간을 구현 하기 위하여서는 큰 추력을 갖는 것이 바람직 하다. 소형화에 따라 선형 구동기의 발생 추력은 크게 감소하게 된다. 구동기의 추력을 계산하기 위하여 본 연구에서는 자기 회로를 이용한 퍼미언스법(Permeance method)과 유한 요소법(FEM)의 두 가지 방법을 이용한다. 유한요소법은 비선형성의 고려, 복잡한 수치해석의 장점이 있고, 퍼미언스법은 간단한 해석 모델에 대하여 저비용 및 시간 절약의 장점을 가지고 있다. 먼저 구성된 자기회로에 대하여 퍼미언스법으로 힘을 구하여 보고, 유한요소법과 비교한다.

#### 3.1 퍼미언스 모델을 이용한 자기 해석

먼저 고려하고자 하는 모델의 프린팅 자속의 대략형상을 보기위해 Fig.4 의 2D FEM 의 자속 선을 보면 구역 1 의 일정 구간에서는 영구자석으로부터 나온 자속이 윗 요크로 직접 흐르지만 양 끝단의 구역 2 부분에서는 옆 요크로 돌아가는 자속이 생김을 알 수 있다. 이렇게, 두 구역으로 나누어 계산한 자속과 지면으로 바로 나오는 누설 자속을 고려하여 Fig. 3 와 같은 등가 자기회로를 설계하고, 키르히호프 법칙을 이용하여 공극에서의 자속을 계산한다. 퍼미언스법은 집중 정수 개념을 이용하기 때문에 구해진 자속은 평균 자속이다.

자기 회로법을 이용한 결과  $B_g = 0.4059(T)$  이다.

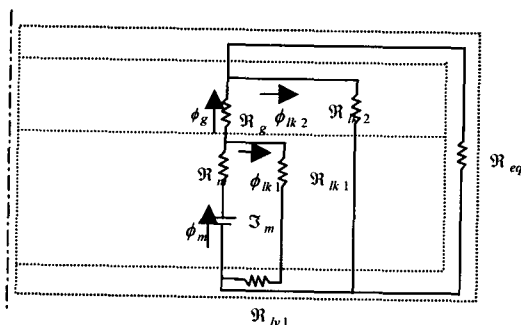


Fig. 3 Equivalent magnetic circuit

#### 3.2 유한요소법을 이용한 자기해석

자기회로를 이용한 퍼미언스법으로 공극 사이의 자기장을 근사적으로 구한 후 이의 타당성을 검증하기 위하여 상용 프로그램인 ANSYS 5.5 을 사용하여 자기 발생부의 유한요소해석을 수행하였다.

Fig.5 는 3D FEM 해석 결과이다. 여자 코일에 작용하는 자기장은 공극에서의 z 방향의 자기장

$B_z$  이고 두개의 자석이 서로 각 각의  $B_z$  에는 영향을 끼치지 않고 자속이 자기 저항이 작은 요크로 흐름을 관찰 할 수 있다.

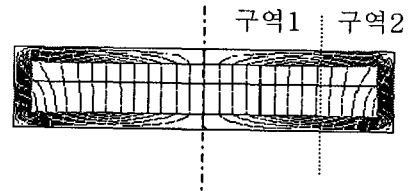


Fig. 4 2D FEM result

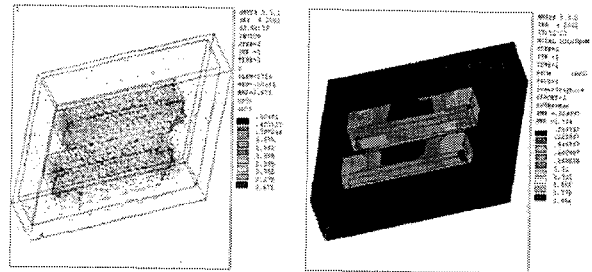


Fig. 5 3D FEM results

위와 같이 FEM 으로 해석한 결과와 퍼미언스법으로 해석한 결과를 비교하면 Fig.6, Table.2 와 같다.

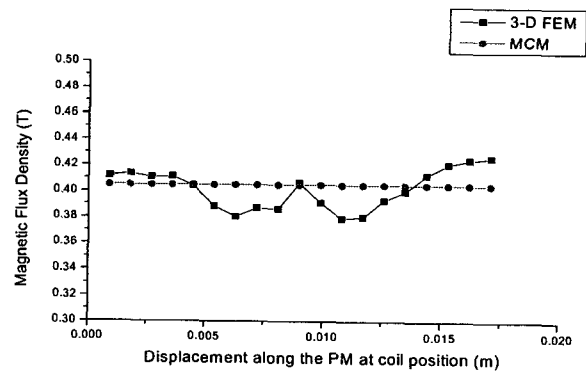


Fig. 6 Compare permeance method with 3D FEM

Table.2 Magnetic flux density in the air gap and the Maximum thrust force.

	3D FEM	Permeance
$B_g (T)$	0.3823	0.4059
Max.Force (mN/A)	236	250

위와 같은 자기 해석을 통하여 구동에 필요한 추력을 확보하였고, 이 힘은 마찰력과 더불어 구동 감도에 영향을 준다.

#### 4. 선형 구동기의 구조해석

소형 광디스크 드라이브의 조동 구동기로 사용하기 위하여서는 충분한 DC gain 을 가져야 할 뿐만 아니라 구조적으로도 구동기의 제어 영역을 충분히 극복할 수 있는 공진 주파수를 갖도록 설계가 되어야 한다. 저 주파수의 공진은 제어기로 극복이 가능하나 고주파 대역의 부차 공진은 가제어하지 않기 때문에, 기본적으로 조동 구동기의 제어 영역인 0~300Hz 에서 충분히 먼 고주파 영역에 공진을 갖도록 하여야 시스템이 안정성을 갖을 수 있다. 구조해석은 상용 프로그램인 ANSYS 로 하였고 나타나는 모드형상을 피하여 더욱 높은 공진 대역을 갖도록 구조 보강 설계를 할 수 있다.

##### 4.1 FEM 을 통한 선형 구동기의 구조 해석

선형 구동기의 구동부는 질량을 줄이기 위하여 간단한 모양으로 제작 되었고, 구동부의 중심은 추후 과제로 보강재의 위치를 최적설계 개념을 통하여 결정하기 위해 긴 프레임의 형상을 갖는다.

구동기는 기본적으로 1 자유도의 병진 운동만을 하기 때문에 강제 모드에 의한 공진은 고려하지 않고, 고주파대역의 유연체 모드의 형상을 FEM 으로 알아보아, 많은 진동 모드 중에 주로 어느 모드에 의해 불필요한 진동이 생기는지 원인을 파악하도록 한다..

Fig.7 은 FEM 을 통한 기본 상태의 구동부의 공진 모드를 나타낸다. 코일을 부착한 구동부의 1 차 공진 모드로서 5.028kHz 의 공진 주파수를 갖는다. 중공 상태의 긴 프레임 구조를 가지므로 twisting 하는 유연체 모드가 먼저 나타남을 알 수 있다.

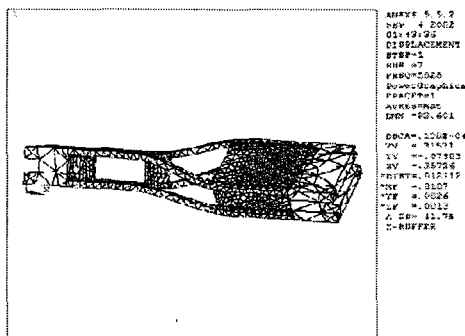


Fig.7 1<sup>st</sup> resonance mode (5.028kHz)

이는 검색 동작의 관점에서는 충분하지만 트래킹 동작까지 함께하기엔 낮은 대역에 있다.

하나의 구동기로 트래킹 동작까지 가능하게 하기 위해서는 공진을 야기하는 주요 모드를 20kHz 이상의 주파수 영역으로 끌어 올려야 하고, 이를

위하여 구동부의 구조적인 최적 설계가 필요하다.

Fig.8 은 약간의 구조 보강 후 같은 모드 형상이 12.171kHz 의 공진 주파수 대역까지 향상되었음을 보여준다. 이는 구조적인 변수들만 수정하여 나타나는 결과이며, 차후 더욱 높은 공진 대역을 확보하고, 다양한 파라미터들을 최적설계 기법을 이용해 결정하여 수정 후 하나의 구동기로 추종 능력 가지 갖추기 위한 최소의 크기를 결정하는 연구가 진행될 것이다.

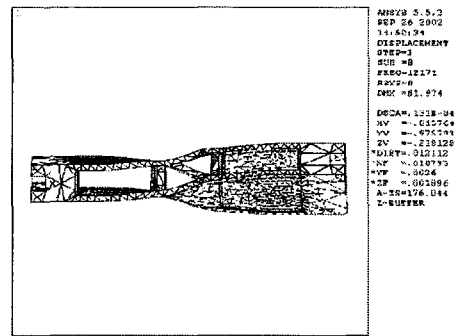


Fig.8 1<sup>st</sup> mode of modified model (12.171kHz)

#### 5. 선형 구동기의 동특성 실험

본 장에서는 설계,제작된 기본 모델 구동기의 동특성 실험을 통하여 먼저 조동 구동기로서의 성능 평가를 하여본다.

제안된 구동기는 질량만 있는 2 차 시스템으로 모델링을 하고 모의 실험한 후, 실험과 비교하였다. 동특성 실험 장치는 Fig. 9 와 같이 구성되어 있다.

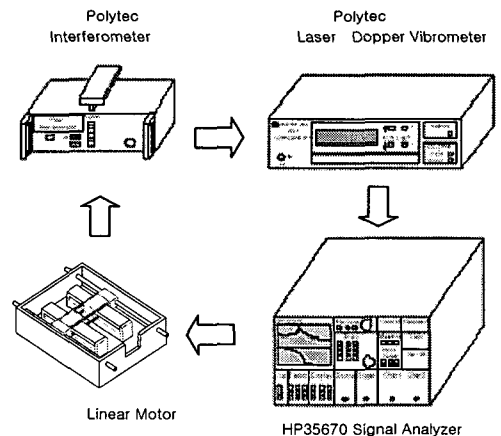


Fig. 9 Experimental setup for linear motor

구동기의 개루프 주파수 응답 함수를 구하기 위하여 HP35670 에서 약 0.3V 의 전압으로 가변 전

류를 발생시켜 20Hz 부터 6kHz 까지의 정현 사인 파를 입력으로 하여 Polytec 사의 LDV(125mm/s/V) 로 속도 모드를 측정하였다. Fig.10 은 측정된 구동기의 속도 모드의 주파수 응답 곡선이다.

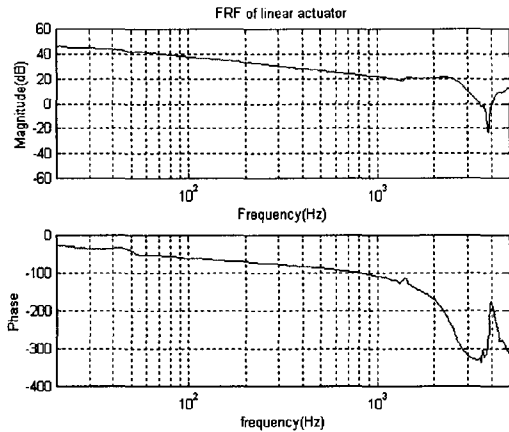


Fig 10 The FRF of linear motor (mobility)

Fig.11 은 이것을 적분기를 거쳐 변위 모드로 표현한 것이다. 실제 실험결과는 2 차 시스템으로 모의 실험한 것과는 약간의 오차를 보이는데, 이것은 저역에서의 마찰의 효과 등의 비선형적 영향에 기인한 것으로 판단된다.

그리고, 약 4kHz 에서 반 공진점이 나타나게 되는데 이것은 5kHz 로 예상되는 유연 모드가 가이드의 비선형적 영향에 의해 것으로 예상된다.

주파수 특성 실험을 통해 제안된 선형 구동기는 검색 동작 영역의 주파수(약 0~300Hz)에서 안정하고 빠른 검색시간을 갖는 것을 검증하였다.

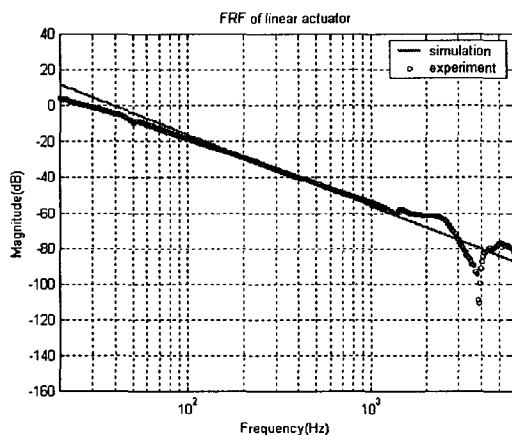


Fig 11 The FRF of linear motor (compliance)

## 6. 결론

소형 광 디스크 드라이브의 구동기에 적용하기

위한 리니어 모터를 제안하였고, 이 구동기의 힘 특성과 동특성을 살펴보기 위하여 자기해석과 구조해석을 행하였다. 전체적인 크기는 줄어들면서 조동 구동기의 사양에 맞추어 적절히 설계가 되었음을 주파수 응답으로 알 수 있었고, 빠른 역세스 시간을 갖도록 큰 가속도를 낼 수 있는 구조임을 알 수 있다.

추후 가이드 메커니즘을 안정적으로 바꾸어 마찰 등의 비선형성에 대한 영향을 줄이고, 공진점의 영향을 줄이는 구조적 보강을 통하여 더욱 큰 제어대역을 확보할 수 있도록 하며, 향후 하나의 구동기로 트랙 추종까지 할 수 있도록 최적 설계 기법을 도입하여 구조 및 성능을 개선하고, 설계 변수들을 최적화하여, 소형 광 디스크 드라이브에 적용 가능성을 살펴볼 것이다.

## 후 기

본 연구는 한국과학재단 지정 연세대학교 정보 저장 기기 연구센터의 지원에 의하여 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- (1) 김석중 등, 1998, "고밀도 기록용 광픽업의 정밀 액추에이터 동특성 연구", 한국소음진동공학회지, 제 8권 제 1호, pp. 87~98.
- (2) 박관우 등., 2002, "3 축 구동이 가능한 Slim 형 Pick-Up Actuator 개발 및 동특성 분석", 춘계학술대회 논문집, 한국소음진동공학회, pp 373~377.
- (3) Jeroen Wals, 2000, "Fast-Access Optical Drive", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 39, pp 862~866
- (4) Junichi Ichihara, 1992, "Development of actuator for Sall-size Magneto Optical Disk Drives", Jpn. J. Appl. Phys., Vol 31, Part 1, No. 28, pp 519~523
- (5) M.A.H. van der Aa, 2002, "Small Form Factor Optical Drive", ODS 2002
- (6) H.Wakiwaka., 1996, "Simplified Thrust limit Equation of Linear DC Motor", IEEE Transaction on magnetics. Vol .32, No. 5
- (7) S.A.Nasar, 1976, Linear Motion Electric Machine, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- (8) 최인록 등, 1997, "광디스크용 트래킹 구동기의 설계 및 제어에 관한 연구", 추계학술대회 논문집, 한국정밀공학회, pp 454~457
- (9) Yoshiaki Ikai, "Robust Controller Design for Single-stage Track-following System in Magneto-optical Disk Drives", ODS 2001
- (10) Sun Mo Kim., and Dae Gab Gweon., 2001, "The Optimum design of a pick-up actuator for a minimum seek time", Mechatronics, pp 649~664