

3-D EMCN법을 이용한 광 픽업 액츄에이터의 해석

김진아* · 정태경* · 최인호** · 홍삼열**
 * : 중앙대학교 · ** : LG전자 DM 연구소

Analysis of Optical Pickup Actuator by 3-D EMCN method

Gina Kim · Tea-Kyung Chung · In-Ho Choi · Sam-Yul Hong
 * : Chung-Ang Univ. · ** : LG Electronics DM Lab.

2. 본 론

2.1 광 픽업 액츄에이터의 구조 및 기본 동작

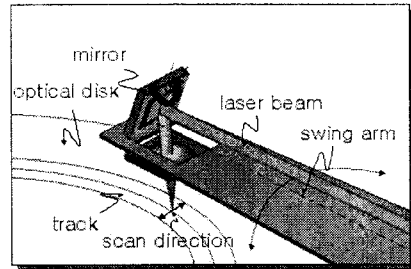


Fig.1. Pickup Data

광 픽업 액츄에이터는 광 디스크의 트랙에 기록된 데이터에 레이저를 쏘아 반사되는 유·무를 검출하여 데이터를 인식하는 방식을 사용하고 있다. 즉, Fig.1과 같이 트랙에 데이터가 Mask 되어있는 경우 입사된 레이저가 반사되고, 이것이 렌즈를 통해 굴절되어 나온 것들 중 일부 투과되는 성분이나 source로 반사되는 성분을 검출하는 것이다.

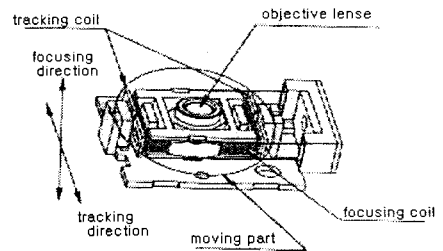


Fig.2. Optical Pickup Actuator

Fig.2는 Tracking Coil, Focusing Coil을 지닌 단순한 형태의 광 픽업 액츄에이터 평면도이다. Wire Spring으로 드라이브에 부착된 픽업 액츄에이터의 동작은 Magnet과 Coil 사이에 발생하는 Lorentz's Force로서 제어하게 된다.

기본적인 상하·좌우 동작에 해당되는 Focusing과 Tracking motion에 대한 설명은 Fig.3과 Fig.4에 나타나 있다.

Abstract - In this paper, three dimensional Equivalent Magnetic Circuit Method(3-D EMCN method), a numerical analysis method which supplements to magnetic equivalent circuit adding numerical technique, is proposed for analysis Optical Pickup Actuator.[3] This method provides better characteristics both in precision of the analysis and in computation time than other analysis method such as three-dimensional Finite Element Method. We choose the simple 2-magnet moving coil type pickup actuator model, and verify upper yoke effect using this method.

1. 서 론

CDP, CD-ROM, DVD 와 같은 Digital Audio/Video 매체에 공통적으로 사용되는 핵심부품인 광 픽업 액츄에이터(Optical Pickup Actuator)는 각종 광 Disc 에 기록되어 있는 Digital Data를 검출하기 위한 것으로서 VTR의 Magnetic Head와 같은 역할을 하는 고도의 Mechatronics 기술이 집약되어 있는 고부가가치의 부품이다. 따라서 그 설계·제조 기술의 발전은 향후 Digital Audio/Video 매체의 개발 및 성능 향상에 있어서 매우 중요한 역할을 할 것으로 기대된다. [2]

이러한 광 픽업 액츄에이터는 그 구조적 특성 때문에 3-D 해석이 불가피하지만, 그동안 주로 사용되어져 왔던 해석 툴인 3-F.E.M 의 경우 3차원 모델링을 위해 요구되는 선 처리작업과 상대운동에 따른 요소재분할 등으로 인하여 계산시간이 매우 길어지게 된다. [1] 따라서 진동·감도 등의 동특성 해석 및 최적설계 알고리즘의 연결을 위해서는 계산시간 및 해의 정밀도면에서 유용한 새로운 3차원 해석방법이 요구되었다. 이에 덧붙여 기기 자체의 사이즈가 상당히 소형이며 이러한 추세는 앞으로 계속될 것으로 보여지고 있기 때문에 거의 항상 포화 상태로 동작이 된다는 점 또한 고려되어야만 한다. 즉, 비선형 해석이 가능해야 한다는 의미이다.

이와 같은 맥락에서 도입된 3-D EMCN법은 직육면체 요소분할을 사용하며 3-D 해석을 빠르게 수행할 수 있다는 면에서 특히 광 픽업 액츄에이터의 해석에 매우 적합한 것이라 판단되었다. 본 논문에서는 단순한 형태의 Slim형 모델을 선정하여 Upper Yoke의 유·무에 따른 자속 밀도 분포를 살펴보았다.

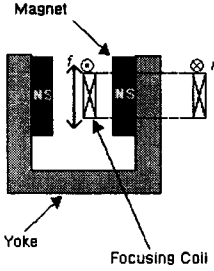


Fig. 3. Focusing Motion

단순히 광 디스크를 돌려주는 spindle motor의 속도는 최근에 와서는 거의 포화상태에 왔다고 볼 수 있다. 이제 광 디스크 데이터의 빠른 액세스는 이러한 픽업 액츄에이터의 Focusing, Tracking은 물론이고 더 나아가 Tangential Tilting, Radial Tilting 과 같은 움직임을 얼마나 효율적으로 제어하는가에 달려있다. 이러한 배경으로부터 픽업 액츄에이터의 해석 및 설계 변수의 최적화 문제가 대두되는 것이다.

2.2 3-D EMCN법

2.2.1 개요

3-D EMCN 법은 기존의 자기동기회로에서 자속의 방향을 한 방향으로만 정의하여 오차를 수반하고 누설을 고려할 수 없었던 점을 수정, F.E.M.과 마찬가지로 각 요소에서의 자속의 경로를 미리 가정하지 않아 모든 절점에서 각 방향에 대한 자속밀도를 구할 수 있다. [1] 또한 B-H curve 데이터를 이용한 비선형 해석도 가능하다.

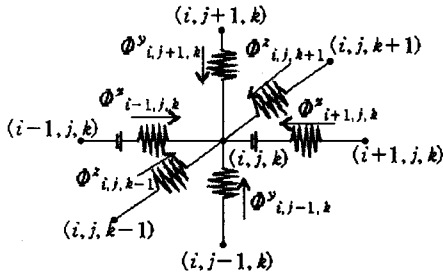


Fig. 6. Flux flow at node

3-D EMCN법은 재질에 따라 직육면체 요소로 분할하여 요소 중심점을 연결하는 자기회로망을 구성하는 것으로부터 시작된다. Fig.5는 각 node에서의 flux flow를 나타낸 것으로서, 한 node는 인접한 6개의 node와 연결되어 있음을 알 수 있다. 따라서 전체 system matrix의 계수행렬인 퍼미언스(Permeance) 행렬은 주 대각 성분의 밴드폭이 좁고 그 값이 비 주대각 성분에 비해 충분히 큰 값을 갖게 된다. Fig.6은 해석 모델의 퍼미언스 행렬의 0이 아닌 요소만을 점으로 찍어본 모습이다. 이러한 성질은 F.E.M.과 비교했을 때 EMCN법 사용시에 쉽고 빠르게 해를 수렴해 가는 중요한 의미를 지닌다.

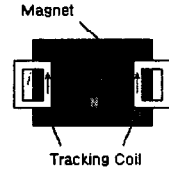


Fig. 4. Tracking Motion

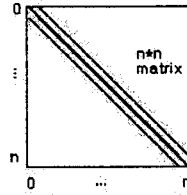


Fig. 5. Sparsity Pattern of P matrix

2.2.2 3-D EMCN법의 수식화

기본적으로 EMCN법은 수식이 간단하여 그 구현이 용이하다. branch 하나에 대한 자기회로 방정식은 식 (2.2.1)과 같으며, 주어진 사양들로부터 구해질 수 있는 자기회로 정수들은 퍼미언스와 기자력(m.m.f)성분들이고 그 식은 각각 식(2.2.2), (2.2.3)이다. y, z 방향에 대해서도 이와 마찬가지로이다.

$$\Phi_{i,j,k}^x = P_{i,j,k}^x (U_{i,j,k} - U_{i+1,j,k} + E_{i+1,j,k}) \quad (2.2.1)$$

$$P_{i,j,k}^x = P_x^{el} // P_x^{el} = \frac{\mu_0 \mu_{r1} \mu_{r2} A_{i,j,k}^x}{\mu_0 \mu_{r1} l_{i,j,k}^x + \mu_0 \mu_{r2} l_{i+1,j,k}^x} \quad (2.2.2)$$

단, $A_{i,j,k}^x$: 요소의 단면적 $l_{i,j,k}^x$: 요소의 x방향 길이

$$E_{i,j,k} = \frac{Br}{\mu_0 \mu_r} l_{i,j,k} \quad (2.2.3)$$

여기에서 퍼미언스는 인접한 두 요소간의 병렬합성이며, 기자력은 이 경우 영구자석에 의한 성분이 되었다.

다음 단계는 모든 node에 대해 자속의 연속조건을 적용하여 조합을 하게 된다. 즉, node (i,j,k)에 대해

$$\Phi_{i-1,j,k}^x + \Phi_{i+1,j,k}^x + \Phi_{i,j-1,k}^y + \Phi_{i,j+1,k}^y + \Phi_{i,j,k-1}^z + \Phi_{i,j,k+1}^z = 0 \quad (2.2.4)$$

와 같이 되며, 기자력과 퍼미언스의 곱으로 나타나는 항을 우변 이항하여 구동벡터로 하면 다음과 같은 행렬 형태로 표현될 수 있다.

$$[P]_{n \times n} \{U\}_{n \times 1} = \{F\}_{n \times 1} \quad (2.2.5)$$

U : magnetic scalar potential(MSP) matrix($n \times 1$)

P : permeance matrix($n \times n$)

F : forcing matrix($1 \times n$)

이렇게 해서 얻어진 system matrix에 경계조건을 적용, 이를 풀어 그 결과로 얻어진 MSP를 다시 (2.2.1)에 대입하여 flux를 구한 다음, 요소 단면적으로 나누면 최종적으로 우리가 원하는 flux density B 값을 구할 수 있다.

$$B_{i,j,k}^x = \frac{\Phi_{i,j,k}^x}{A_{i,j,k}^x} \quad (2.2.6)$$

2.3 해석 모델에 적용

해석에 사용된 Actuator 모델의 기본 구조는 Fig.7 과 같다. 측면에서 들여다 본 것과 위에서 내려다 본 단면을 보여주고 있는데, 1개의 Focusing Coil과 2개의 Tracking coil을 가지고 있음을 알 수 있다. Table. 1 에 해석 모델의 주요 사양을 나타내었다.

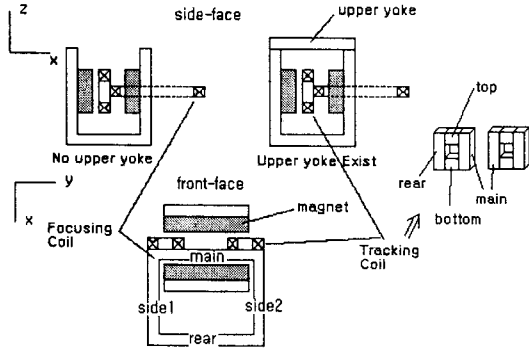


Fig.7. Analysis Model

| Magnet Data | | | |
|----------------------|-------------|-----------|--------------|
| B_r | 1.15 [T] | H_c | 872000[kA/m] |
| magnetization | x-direction | thickness | 1 [mm] |
| Yoke Data | | | |
| μ_r | 1650 | B-H data | S50 |
| upper yoke thickness | 0.4 [mm] | thickness | 0.6 [mm] |

Table 1. Spec. of analysis model

이 모델에 제안된 3-D EMCN법을 적용하여 average B-density를 구한 결과는 Fig.8과 Table. 2 에 나타나 있다. system matrix의 dimension은 upper yoke가 없는 모델의 경우 6270×6270 , upper yoke가 있는 모델의 경우는 7106×7106 이다. 두 모델 모두 포화영역에서 동작하므로 비선형 해석이 이루어 졌다. 여기에는 Coil에 대한 영향은 고려되지 않았으며, 계산된 B값을 가지고 Lorentz's force를 구할 때 coil의 NI를 사용하는 방식을 채택하였다. 식 (2.3.1)과 (2.3.2)에 그 식을 나타내었다.

$$f_{focus} = avg B^x_{main} l_{main} NI_{focus} - \{ (avg B^x_{side1} + avg B^x_{side2}) l_{side} NI_{focus} + avg B^x_{rear} l_{rear} NI_{focus} \} \quad (2.3.1)$$

$$f_{track} = (avg B^x_{main} - avg B^x_{rear}) l_{main} NI_{track} - \{ (avg B^x_{top} + avg B^x_{bottom}) l_{top} NI_{track} \} \quad (2.3.2)$$

결과를 분석해 봤을 때, upper yoke가 있을 경우 국지적인 포화가 덜하고 Coil에 미치는 B값이 약간 더 큰 것을 확인할 수 있었다. 즉, upper yoke가 달혀 있음으로서 flux path가 형성되어 B값을 내부에 잡아둘 수 있었고 leakage flux가 줄어들게 되었던 것이다. 이는 같은 입력에서 Pickup Actuator의 force 및 감도 (V/mm)가 증가함을 말해주는 것으로서, 설계에 있어서 긍정적인 방향이라 할 수 있다. Table.2를 보면, Focusing Coil의 경우 upper yoke가 있을 때 main coil부분에서의 B값이 크며, 동시에 leakage flux가 줄어 main coil이 아닌 부분에서의 원치 않는 Lorentz' force의 발생을 줄일 수 있었기 때문에 감도에서의 차이는 더욱 크게 나타났다. 그러나 Tracking Coil의 경우

main과 rear가 모두 증가하여 감도에 있어서의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

| upper yoke | focusing coil B-density(T) | | sensitivity (V/m) |
|------------|----------------------------|-----------|-------------------|
| | main | rear | |
| None | 0.2091324 | 0.0627288 | 0.0582 |
| Exist | 0.2138441 | 0.0606799 | |
| upper yoke | tracking coil B-density(T) | | sensitivity (V/m) |
| | main | rear | |
| None | 0.4403939 | 0.0654265 | 0.2388 |
| Exist | 0.4462441 | 0.0687524 | |

Table.2. Analysis Result

3. 결 론

본 논문에서는 광 픽업 액츄에이터의 해석 툴로서 3-D EMCN법을 제안하여 Upper yoke의 영향을 살펴 보았다. 그 결과 3-D F.E.M. 및 실험 결과와 비교했을 때 만족할 만한 오차수준의 해를 얻어냈으며, 해석 시간에서의 개선 역시 있었다. 이에, 향후 좀 더 다양한 모델에 대한 적용과 최적설계 알고리즘의 부작을 통해 coil turn수 등의 설계 변수를 결정하는 완결된 프로그램으로 발전시킬 가능성을 확인하였다. 또한 여러 차례에 걸친 다양한 요소분할의 결과 해의 정밀도가 요소 분할 형태에 상당히 민감한 것으로 밝혀졌으므로 앞으로 이 부분은 충분히 고려되어야 할 점이라 판단된다.

(참 고 문 헌)

- [1] 허 진, "3차원 정자계 해석을 위한 등가자기회로방법에 관한 연구", 한양대학교 박사학위 논문, 1998
- [2] 이광석, 오재건, 최영석, "광 Pickup Actuator", 제 7회 광기술 워크샵, pp25, 1997
- [3] Jin Hur, Sang-Baeck Yoon, Dong-Yun Hwang and Dong-Seok Hyun, "Analysis of PMLSM Using Three Dimensional Equivalent Magnetic Circuit Network Method", IEEE Transactions on Magnetics, vol. 33, No. 5, 1997
- [4] 임달호, "전기계의 유한요소법", 동명사, 1986