

3D-EMCN법을 이용한 광 픽업 액츄에이터의 해석 및 최적설계

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

Analysis and Optimal Design 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.

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. RCS Niching Genetic Algorithm are used for optimal design.

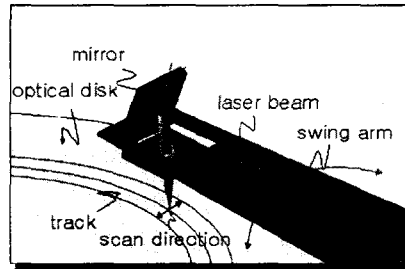


Fig.1. Pickup Data

를 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.

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 3D 해석이 불가피하므로, 동특성 해석 및 최적설계 알고리즘의 연결을 위해서는 계산시간 및 해의 정밀도면에서 유용한 새로운 3차원 해석방법이 요구된다. 이에 덧붙여 기기 자체의 사이즈가 상당히 소형이며 이러한 추세는 앞으로도 계속될 것으로 보여지고 있기 때문에 거의 항상 포화상태로 동작이 된다는 점 또한 고려되어야만 한다. 즉, 비선형 해석이 가능해야 한다는 의미이다.

이와 같은 맥락에서 도입된 3D-EMCN(Equivalent Magnetic Circuit Network, 등가자기회로망)법은 직육면체 요소분할을 사용하며, 기존의 3D 해석 틀에 비해 정밀하고 빠른 3D 해석결과를 제공한다는 면에서 특히 광 픽업 액츄에이터와 같은 형상의 기기 해석에 매우 적합할 것이라 판단되었다. 본 논문에서는 비교적 단순한 형태의 Slim형 모델을 선정하여 자석 두께 및 요크 두께를 최적설계 변수로 한 최적설계 프로그램을 제작하였다. 사용된 최적설계 알고리즘은 RCS Niching GA 이다.

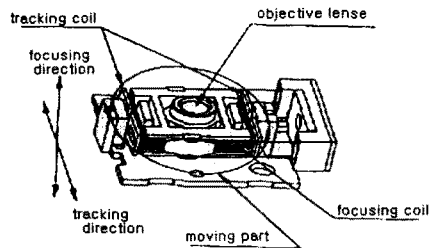


Fig.2. Optical Pickup Actuator

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 Force 로서 제어하게 된다.

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

2. 본 론

2.1 광 픽업 액츄에이터의 구조 및 기본 동작

광 픽업 액츄에이터는 광 디스크의 트랙에 기록된 데이터에 레이저를 쏘아 반사되는 유·무를 검출하여 데이터

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 움직임 얼마나 효율적으로 제어하는가에 달려있다. 이러한 배경으로부터 픽업 액츄에이터의 해석 및 설계 변수의 최적화 문제가 대두되는 것이다.

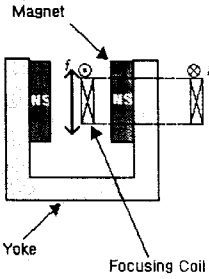


Fig. 3. Focusing Motion

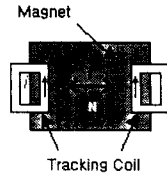


Fig. 4. Tracking Motion

2.2 3D-EMCN법

2.2.1 개요

3D-EMCN 법은 기존의 자기등가회로에서 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.

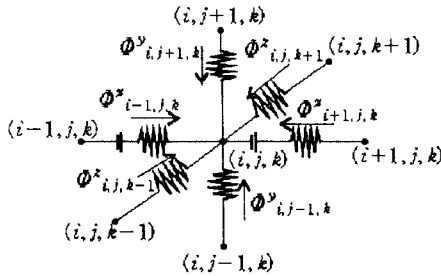


Fig. 5. Flux flow at node

3D-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. 이러한 성질은 F.E.M.과 비교했을 때 EMCN법 사용시에 쉽고 빠르게 해로 수렴해 가는 중요한 의미를 지닌다.

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.

$$\Phi^x_{i,j,k} = P^x_{i,j,k} (U_{i,j,k} - U_{i+1,j,k} + E_{i+1,j,k}) \quad (2.2.1)$$

$$P^x_{i,j,k} = P_x^{el} // P_x^{el} \quad (2.2.2)$$

$$= \frac{\mu_0 \mu_r \mu_{y2} A^x_{i,j,k}}{\mu_0 \mu_r l^x_{i,j,k} + \mu_0 \mu_{y2} l^x_{i+1,j,k}}$$

단, A^x : 요소의 단면적 l^x : 요소의 x방향 길이

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

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

$$\Phi^x_{i-1,j,k} + \Phi^x_{i+1,j,k} + \Phi^y_{i,j-1,k} + \Phi^y_{i,j+1,k} + \Phi^z_{i,j,k-1} + \Phi^z_{i,j,k+1} = 0 \quad (2.2.4)$$

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×1)

P : permeance matrix(n×n)

F : forcing matrix(1×n)

이렇게 해서 얻어진 system matrix에 경계조건을 적용, 이를 풀어 그 결과로 얻어진 MSP를 다시 (2.2.1)에 대입하여 자속을 구한 다음, 요소 단면적으로 나누면 최종적으로 우리가 원하는 자속밀도 B값을 구할 수 있다.

$$B^x_{i,j,k} = \frac{\Phi^x_{i,j,k}}{A^x_{i,j,k}} \quad (2.2.6)$$

2.3 RCS 니칭 유전 알고리즘

전기기기 최적화 알고리즘이 갖추어야 할 첫 번째 조건은 여러 피크를 동시에 탐색할 수 있는 multimodal 최적화 성능이다. 이러한 multimodal 최적화 성능은 찾는 피크의 개수와 정확성을 기준으로 판단할 수 있다.

전기기기 최적설계 프로그램은 목적 함수 계산을 위한 특성 해석 부분과 최적화 알고리즘 부분으로 나뉘어지는데, 특성해석 부분이 차지하는 시간이 해석 시간의 대부분이므로 수렴 시간을 줄이기 위해서는 목적 함수 호출 회수를 줄여야 한다. 따라서, 전기기기 최적화 알고리즘의 두 번째 조건은 목적 함수 호출 회수의 최소화이다.[4] 따라서 Niching 유전 알고리즘의 여러 기법들 중 목적함수 호출 회수를 최소로 하면서 정확도 면에서 우수한 기법을 선택할 필요가 있다.

RCS(Restricted Competition Selection) 방법은 DC(Deterministic Crowding)이나 Sharing 기법에 비해 함수 호출 회수를 현저히 줄였으며 여러 피크 탐색 능력이 우수하고 안정성 및 다변수 확장성이 좋은 장점을 지니고 있다.

RCS 방법은 니체 용량을 1로 하여 니체 하나 당 적합도가 최대인 하나의 개체만 유지한다. 즉, 탐색영역에서 서로간의 거리가 니체 반경 이내인 개체들의 적합도를 비교하여 승자의 적합도는 그대로 유지하고 패자의 적합도는 0으로 지정한다. 이렇게 함으로써 같은 니체 내에서는 적합도가 가장 큰 하나의 개체만이 자식 세대로 전달되고, 다른 니체의 개체는 비록 적합도가 작더라도 선택된다. 최적화 과정 중에 탐색된 국소 최적점을 유지하기 위해 elite set을 도입하였다.[5] Fig. 6에 RCS Niching GA의 흐름도를 나타내었다.

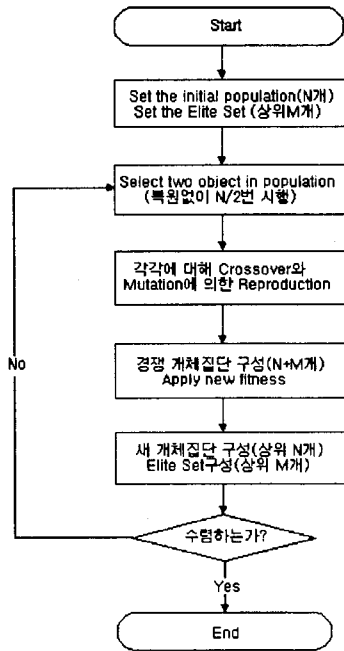


Fig. 6. Flowchart of RCS Niching Genetic Algorithm

Table. 1 은 RCS Niching GA에 사용된 파라미터 값을 정리해 놓은 것이다.

Generation Number	10	Niche Radius	
Elite Set Number	5		
Probability of Crossover [%]	90	magnet_thick	0.3
Probability of Mutation [%]	20	yoke_thick	0.15

Table. 1. Parameters of RCS Niching GA

2.4 해석 모델에 적용

해석에 사용된 픽업 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

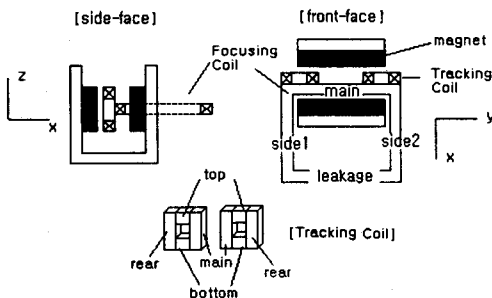


Fig. 7. Analysis Model

여기에서 자석의 두께 및 요크 부분의 두께를 최적설계 변수로 선정하였고, tracking coil에서 실제 힘을 받는 부분인 main 부분의 평균 자속밀도가 최대가 되는 것을 목적 함수로 하여 최적 설계를 수행하였다. 재질이 포화되므로 비선형 해석이 이루어졌다.

해석을 통해 찾아낸 피크들은 Fig. 8에 나타내었으며, 상위 5개의 피크 및 적합도(fitness. 이 경우 B-density)를 Table. 2에 나열하였다.

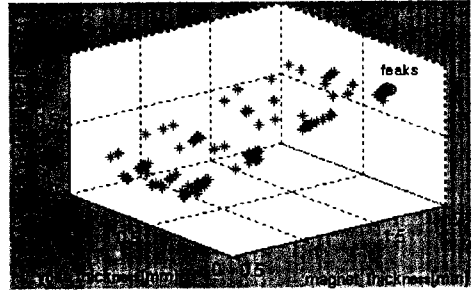


Fig. 8. Analysis Result

Magnet thickness (mm)	Yoke thickness (mm)	B-density(T)
1.976470588	0.332941176	0.702452869
1.917647059	0.3	0.699804442
1.917647059	0.302745098	0.699123384
1.947058824	0.324705882	0.698872041
1.917647059	0.31372549	0.696835125

Table. 2. Result of Optimization

3. 결 론

본 논문에서는 F.E.M 과 자기등가회로법의 장점을 결합한 새로운 3D 해석 방법인 3D-EMCN법을 제안하여 광 픽업 액추에이터의 해석을 수행하였다. 또한 여기에 최적설계 알고리즘으로 RCS 니칭 유전 알고리즘을 적용, magnet의 두께 및 yoke의 두께를 설계 변수로 하고 힘을 받는 tracking coil부의 평균 자속밀도의 최대화를 목적함수로 한 최적설계를 하였다. 그 결과 대체적인 경향은 magnet은 두꺼울수록, yoke 두께는 얇을수록 B값이 크게 나타남을 확인할 수 있었다. 그림에서 보는 것처럼 피크가 경계부에 나타나고 있으나 경계는 제작 가능한 boundary를 설정해주고 있음을 밝혀준다.

RCS Niching 유전 알고리즘은 DC, Sharing 기법들과 같은 기존의 니칭 알고리즘에 비해 우수한 특성을 지니고 있으나, 범용성이 떨어지며 니체 반경 선정에 민감한 단점이 존재했다. 이와같이 파라미터를 잘못 설정할 시에 한계를 보여주던 기존의 알고리즘을 수정하여 니체 반경 및 개체수를 세대에 따라서 자동 조절해주는 Auto-Tuning 니칭 알고리즘이 최근 대두되고 있다. 이에 향후 AT을 적용한 니칭 알고리즘을 사용하여 해석 시간 및 안정성 면에서 개선된 프로그램을 제작해보고자 한다.

(참 고 문 헌)

- [1] 허 진, "3차원 정자계 해석을 위한 등가회로망법에 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] 조동혁, "Auto-Tuning 니칭 유전 알고리즘을 이용한 매입형 영구자석 전동기의 설계", 서울대학교 박사학위 논문, 2001
- [5] 정병호, "니칭 유전 알고리즘을 이용한 회로류 자석 모터의 최적 설계에 관한 연구", 중앙대학교 석사학위 논문, 2000