

3D-EMCN법을 이용한 광 픽업 액츄에이터의 해석 및 최적설계

論 文

51B-5-3

Analysis and Optimal Design of Optical Pickup Actuator by 3D-EMCN Method

金 珍 阿* · 鄭 泰 庚**

(Gina Kim · Tea-Kyung Chung)

Abstract - An optical pickup actuator is an objective-lens-moving mechanism that provides a means to follow the disk displacement accurately[1]. In this paper, a slim type optical pickup actuator for Notebook PCs is analyzed and designed to improve the driving sensitivity. A three dimensional equivalent magnetic circuit network method (3D-EMCN method) is proposed for an analysis method which provides better characteristics in both precision and computation time of analysis comparing with a commercial three-dimensional finite element (3D-FEM) codes. To verify the validity of proposed method, we made a comparison between the analysis results and the experimental ones. We also compared this analysis results with 3D-FEM results. Among the several optimal algorithm, we adopt a niching genetic algorithm, which renders a set of the multiple optimal solutions. RCS (Restricted Competition Selection) niching genetic algorithm is used for optimal design of the actuator's performance. Recently, the pickup actuator needs additional driving structure for radial and tangential tilting motion to obtain better pick-up performance. So we applied the proposed method to the model containing tilting coils.

Key Words : RCS niching genetic algorithm, optical pickup actuator, three-dimensional equivalent magnetic network method

1. 서 론

CD-ROM, CD-RW, DVD-ROM 등과 같은 디지털 오디오/비디오 매체는 공통적으로 광 픽업 액츄에이터 (optical pickup actuator)가 핵심 부품으로 사용된다. 이것은 각종 광 디스크에 기록되어 있는 디지털 데이터를 검출하기 위한 것으로 VTR의 마그네틱 헤드 같은 역할을 하는 고도의 메카트로닉스 기술이 집약되어 있는 고부가가치의 부품이다. 따라서 그 설계·제조 기술의 발전은 향후 디지털 오디오/비디오 매체의 개발 및 성능 향상에 있어서 매우 중요한 역할을 할 것으로 기대된다[2],[3].

광 픽업 액츄에이터는 그 구조적 특성 때문에 3차원 해석이 불가피하지만 기존에 사용되어오던 3D-FEM (three-dimensional finite element method)을 적용할 경우 3차원 모델링을 위해 요구되는 선 처리작업과 상대운동에 따른 요소 재분할 등으로 인하여 계산시간이 매우 길어지게 된다[4]. 이러한 이유로 동특성 해석 및 최적설계 알고리즘의 연결을 위해서 계산시간 및 해의 정밀도면에서 유용한 새로운 3차원 해석방법이 요구되었다. 이에 덧붙여 기기 자체의 크기가 상당히 소형이며 이러한 추세는 앞으로도 계속될 것으로 보여

지고 있기 때문에 사용되는 요크가 자기적 포화상태로 동작이 된다는 점을 고려해야만 한다. 즉, 철의 비 선형 해석이 가능해야 한다는 의미이다.

이와 같은 맥락에서 도입된 3차원 등가자기회로망법 (3D-EMCN method : three-dimensional equivalent magnetic circuit network method) 은 직육면체 요소분할을 사용하며 정밀하고 빠른 3차원 해석 결과를 제공한다는 면에서 특히 픽업 액츄에이터와 같은 형상의 기기 해석에 적합할 것이라 판단되었다.

본 논문에서는 재질의 비 선형성을 고려할 수 있으며 자기회로법의 빠른 해석 특성 및 유한요소법의 해석의 정확도라는 장점을 결합한 3차원 등가자기회로망법을 사용하여 광 픽업 액츄에이터의 해석을 수행하는 프로그램을 개발하였다. 프로그램 해석 결과 얻어지는 각 방향에서의 자속 밀도를 이용하여 힘을 받는 부분의 코일에 대한 로렌츠 힘을 계산하여, 이를 바탕으로 여러 가지 Post 데이터들을 도출해내는 과정까지를 프로그램에 포함시켰다. 또한 해석 결과를 실험치 및 3D-FEM 해석 결과와 비교하여 해의 정밀성과 유용성을 검증하였다.

더 나아가 여기에 최적설계 알고리즘으로 RCS 니칭 유전 알고리즘을 적용하여 독립된 픽업 설계 프로그램을 제작하였다. 실제 제작에 적용하는 문제인 전기 기기의 형상이나 구조설계의 최적화의 경우 전역 최대점 외에 목적함수의 크기가 전역 최대점과 거의 같은 여러 개의 국소 최대점이 존재하는 multi-modal 문제이므로[5], 본 논문에서는 최적설계 알고리즘으로 최적해 외에 최적 근사 해를 구할 수 있는 니칭

* 正 會 員 : 中央大學校 電子電氣工學部 碩士
現 LG電子 DM研究所 研究員

** 正 會 員 : 中央大學校 電子電氣工學部 教授, 工博
接受日字 : 2001年 12月 31日
最終完了 : 2002年 3月 28日

유전 알고리즘 중에서 비교적 그 성능이 우수하다고 검증된 RCS 기법을 채택하였다. 해석 모델로는 tracking coil 및 focusing coil을 지닌 노트북용 슬림형 픽업을 선정하여 요크의 너비, tracking coil의 중심으로부터의 거리, 두 자석 사이에서의 코일의 위치를 최적설계 변수로 하고, tracking coil에 발생하는 로렌츠 힘이 최대가 되는 것을 목적함수로 하여 최적설계를 수행하였다.

한편, 최근 픽업 액츄에이터는 고 밀도 디스크의 픽업에 대응하기 위하여 구동 시 focusing, tracking 이외에 tilt를 보상해주는 서보를 요구하게 되었고, 이를 위해 radial 및 tangential 방향으로의 자유도를 갖는 구동 구조가 필요하게 되었다. 따라서 본 논문에서는 기존의 모델에서 해석 범위를 넓혀 이러한 구동을 해주는 tilting coil을 해석 모델에 부착하여 해석해 보았다.

등가자기회로방법 해석 결과 radial 및 tangential tilt 방향의 로렌츠 힘을 계산해 낼 수 있었으며, 이로써 본 논문 프로그램의 좀 더 다양한 픽업 타입 해석에의 확장 가능성을 보여주었다.

2. 광 픽업 액츄에이터의 구조 및 기본동작

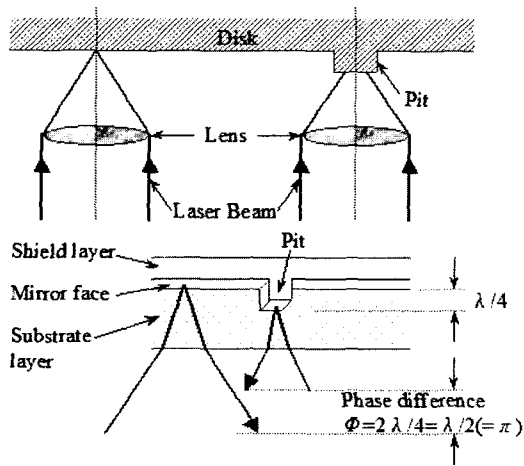


그림 1 데이터의 픽업
Fig. 1 Data's pickup

광 픽업 액츄에이터는 광 디스크의 트랙에 기록된 데이터에 레이저를 쏘아 반사되는 광량을 검출하여 데이터를 인식하는 방식을 사용하고 있다. 즉, 그림 1 과 같이 데이터 기록을 위해 형성되어 있는 pit면과 반사면은 광축 방향으로 약 $\lambda/4$ 정도 shift 되어있고, 레이저 빔 입사시 반사면에서 반사되는 광은 $\lambda/2$ 정도 광로 차가 생겨 회절에 의해 pit 면에서 반사한 광과 만나 감소해 버린다. 따라서 laser beam(직경 $2\mu\text{m}$)이 pit에 닿으면 반사해서 되돌아오는 광량은 적게 되고 바로 이 광량 차를 이용해 데이터를 검출하게 된다.

그림 2 는 tracking coil 및 focusing coil을 지닌 슬림형 광 픽업 액츄에이터 이다. 와이어 스프링으로 드라이브에 부착된 픽업 액츄에이터의 동작은 자석과 코일 사이에 발생하는 로렌츠 힘으로 제어하게 된다. 기본적인 상하·좌우 동작에 해당하는 focusing과 tracking 동작에 대한 설명은 그림 3 과 4 에 나타나 있다[2],[3].

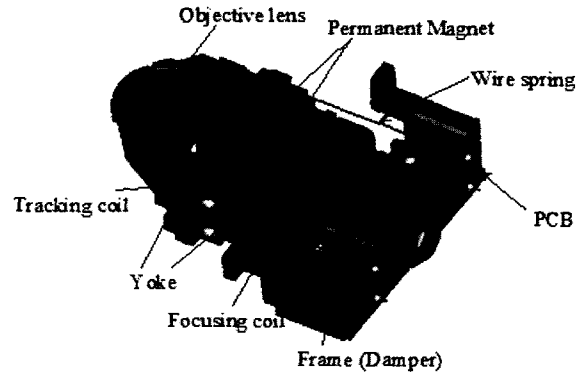


그림 2 슬림형 픽업 액츄에이터
Fig. 2 Slim-type pickup actuator

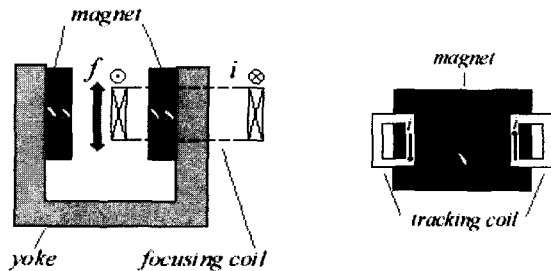


그림 3 Focusing 동작
Fig. 3 Focusing motion

그림 4 Tracking 동작
Fig. 4 Tracking motion

최근 픽업 액츄에이터는 고밀도 디스크의 픽업에 대응하여 보다 빠르고 정밀한 데이터 액세스를 요구하게 되었다. 따라서 픽업 액츄에이터는 focusing 및 tracking 방향의 움직임 외에 radial 및 tangential tilting 방향으로의 자유도를 갖는 구동 구조가 필요하게 되었다.

단순히 광 디스크를 돌려주는 스피들 모터의 속도는 최근에 와서는 포화상태에 왔다. 이제 광 디스크 데이터의 빠른 액세스는 이러한 픽업 액츄에이터의 focusing, tracking은 물론이고 더 나아가 tangential tilting, radial tilting과 같은 움직임을 얼마나 효율적으로 제어하는가에 달려있다[2],[3].

3. 3차원 등가자기회로방법

3.1 개요

3D-EMCN 법은 기존의 자기등가회로에서 자속의 방향을 한 방향으로만 정의하여 오차를 수반하고 누설을 고려할 수 없었던 점을 수정, FEM과 마찬가지로 각 요소에서의 자속의 경로를 미리 가정하지 않아 모든 절점에서 각 방향에 대한 자속 밀도를 구할 수 있다. 또한 B-H curve 데이터를 이용한 비선형 해석도 가능하다.

3D-EMCN법은 재질에 따라 직육면체 요소로 분할하여 요소 중심점을 연결하는 자기회로망을 구성하는 것으로부터 시작된다. 그림 5 는 각 절점에서의 자속 흐름을 나타낸 것으로서, 한 절점은 인접한 6개의 절점과 연결되어 있음을 알 수 있다. 따라서 전체 시스템 매트릭스의 계수행렬인 퍼미언스

(permeance) 행렬은 주 대각 성분의 밴드폭이 좁고 그 값이 비 주대각 성분에 비해 충분히 큰 값을 갖게 된다. 이러한 성질은 FEM과 비교했을 때 EMCN법 사용시에 쉽고 빠르게 해로 수렴해 가는 중요한 의미를 지닌다[4].

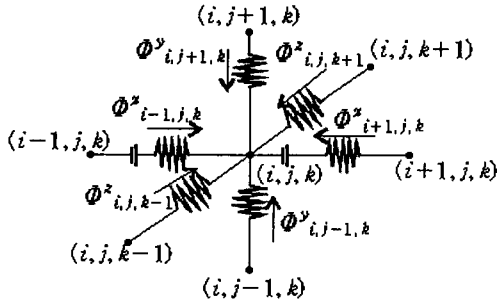


그림 5 절점에서의 자속의 흐름
Fig. 5 Flux flow at node

3.2 3D-EMCN법의 수식화

기본적으로 EMCN법은 수식이 간단하여 그 구현이 용이하다. branch 하나에 대한 자기회로 방정식은 식(3.1)과 같으며, 주어진 사양들로부터 구해질 수 있는 자기회로 정수들은 퍼미언스와 기자력 성분들이고 그 식은 각각 식(3.2), (3.3)이다.

$$\Phi^x_{i,j,k} = P^x_{i,j,k} (U_{i,j,k} - U_{i+1,j,k} + E_{i+1,j,k}) \quad (3.1)$$

$$P^x_{i,j,k} = P_x^{el} // P_x^{el} = \frac{\mu_0 \mu_1 \mu_2 A^x_{i,j,k}}{\mu_0 \mu_1 l^x_{i,j,k} + \mu_0 \mu_2 l^x_{i+1,j,k}} \quad (3.2)$$

단, A^x : 요소의 단면적 l^x : 요소의 x방향 길이
y, z에 대해서도 마찬가지로.

$$E_{i,j,k} = \frac{B_r}{\mu_0 \mu_r} l_{i,j,k} \quad (3.3)$$

위 식에서 퍼미언스는 인접한 두 요소간의 병렬합성이며, (그림 5 참조) 기자력은 이 경우 영구자석에 의한 성분이 되겠다.

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

$$\Phi^x_{i-1,j,k} + \Phi^x_{i+1,j,k} + \Phi^y_{i,j-1,k} + \Phi^y_{i,j+1,k} + \Phi^z_{i,j,k-1} + \Phi^z_{i,j,k+1} = 0 \quad (3.4)$$

와 같이 된다.

식 (3.1)을 (3.4)에 대입하여 정리한 후, 기자력과 퍼미언스의 곱으로 나타나는 항을 우변 이항하여 구동벡터로 하면 다음과 같은 행렬형태로 표현될 수 있다.

$$[P]_{n \times n} \{U\}_{n \times 1} = \{F\}_{n \times 1} \quad (3.5)$$

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

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

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

이렇게 해서 얻어진 시스템 매트릭스에 경계조건을 적용, 이를 풀어 그 결과로 얻어진 U (magnetic scalar potential)를 다시 (3.1)에 대입하여 자속(Φ)을 구한 다음, 요소 단면적(A)으로 나누면 최종적으로 우리가 원하는 자속 밀도(B)값을 구할 수 있다[4].

$$B^x_{i,j,k} = \frac{\Phi^x_{i,j,k}}{A^x_{i,j,k}} \quad (3.6)$$

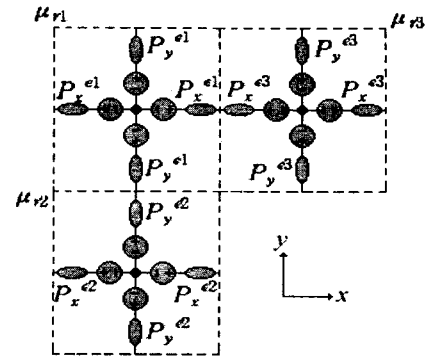


그림 6 EMCN법을 위한 퍼미언스의 계산
Fig. 6. Calculation of permeance for EMCN

4. 슬림형 광 픽업 액츄에이터의 해석 결과

4.1 해석 모델 및 사양

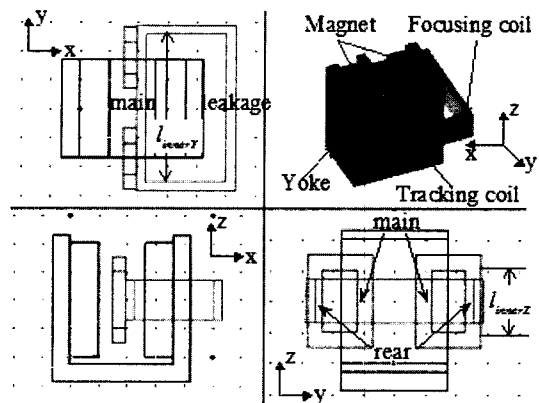


그림 7 해석 모델
Fig. 7 Analysis model

해석에 사용된 슬림형 픽업 모델의 기본 구조는 그림 7 과 같다. 3방향에서 본 평면도와 3D 도면을 나타냈는데, 1개의 focusing coil과 2개의 tracking coil을 지니고 있음을 알 수 있다. 표 1 에 해석 모델의 주요 사양을 나타내었다.

표 1 해석 모델의 사양

Table 1 Spec. of analysis model

Magnet	Br	Hc	Thickness	Width
	1.39 [T]	1058 [kA/m]	1 [mm]	3.4 [mm]
Yoke	Width		Thickness	
	3.4 [mm]		0.6 [mm]	
Focusing coil	DC Resistance		Effective Coil Length	
	4.9530 [Ω]		5.1 [mm]	
Tracking coil	DC Resistance		Effective Coil Length	
	4.3444 [Ω]		2.45 [mm]	
Wire spring	spring stiffness(K_s)			
	37.5257 [kg/s ²]			

4.2 프로그램의 구성

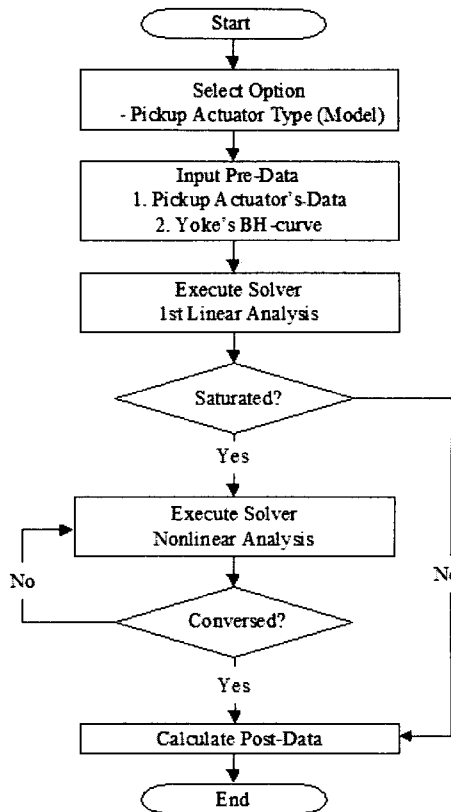


그림 8 픽업 액츄에이터 설계 프로그램의 흐름도
Fig. 8 Flowchart of Pickup Actuator Design Program

제안된 해석 방법인 3D-EMCN법과 픽업의 기본 구조 및 Post 데이터에 관련된 수식을 적용하여 프로그램을 제작하였다. 우선, 주어진 데이터로 solver를 한번 실행 후 그 결과가 포화되었으면 자동으로 비선형 계산 루틴으로 들어간다. 비선형 계산 방법은 전 단계 해석 결과를 통해 BH-curve 탐색을 거쳐 얻어낸 μ_r 값을 적용해 가는 방법으로, 최대 반복 횟수 내에서 수렴 시 종료하도록 프로그램 되었다. 제작된 프로그램의 전체적인 실행 흐름을 그림 8에 나타내었다.

4.3 기존 모델 해석 결과 분석

픽업 액츄에이터에 부착된 와이어스프링에 가해지는 힘은 다음과 같다.

$$f = K_f \cdot x \quad (4.1)$$

여기서 K_f 는 스프링 상수, x 는 변위이다.

또한, 이 힘은 자석과 코일사이에서 발생하는 로렌츠 힘 이므로, 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$f = B_{avg} \cdot l_{effective} \cdot i \cdot n \quad (4.2)$$

focusing coil 및 tracking coil의 경우를 각각 살펴보면 다음과 같다.

$$f_{focus} = (B_{main}^x - B_{leakage}^x) \cdot l_{innerY} \cdot i_{focus} \cdot n_{focus} \quad (4.3a)$$

$$f_{track} = (B_{main}^x - B_{rear}^x) \cdot l_{innerZ} \cdot i_{track} \cdot n_{track} \quad (4.3b)$$

자속 밀도의 경우 힘을 발생시키는 방향인 x축 방향의 성분만이 고려되었으며, 정방향 힘을 발생시키는 main 부분과 역방향 힘을 발생시키는 leakage(rear)부분에 대해 각각 평균을 취해서 반영하도록 했다.(그림 7 참조)

한편 픽업 액츄에이터의 성능을 측정하는 주요 지표로 단위 전압당의 변위로 나타내어지는 driving sensitivity를 사용하는데, 식 (4.4)에 그 유도되는 과정을 나타내었다.

$$\begin{aligned} driving\ sensitivity(DC) &= \frac{x}{V} [mm/V] = \frac{f}{K_f V} \quad (4.4) \\ &= \frac{B_{avg} \cdot l \cdot i \cdot n}{K_f \cdot R \cdot i} = \frac{B_{avg} \cdot l \cdot n}{K_f \cdot R} \end{aligned}$$

표 2에 focusing coil 과 tracking coil에서 발생하는 로렌츠 힘 및 DC sensitivity를 나타내었다. 로렌츠 힘은 3D-FEM. 상용 툴인 맥스웰 해석 결과와, DC sensitivity는 실제 측정 결과와 비교하였다. 3D-FEM결과에 비해 본 논문에서 사용한 3D-EMCN법 해석 결과가 계산 시간에서의 이점 외에 해석 정밀도 면에서도 월등히 우수함을 확인할 수 있다.

표 2 실험치와 3D-EMCN, 3D-FEM과의 비교
Table 2 Comparison of 3D-EMCN, 3D-FEM and experimental results

		3D-EMCN	3D-FEM	Experimental results
Focusing Coil	Computation time [sec]	150	200	-
	Force [N]	0.103	0.11	-
	Sensitivity [mm/V]	1.037	1.106	1.027
Tracking Coil	Error [%]	0.97	7.7	-
	Force [N]	0.0729	0.078	-
	Sensitivity [mm/V]	0.8192	0.877	0.88
	Error [%]	2.4	9.6	-

4.4 Tilting Coil을 고려한 광 픽업 액츄에이터의 해석

4.4.1 Tilting 동작의 이해

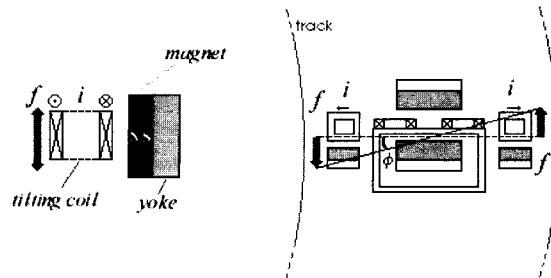


그림 9 Tilting 동작
Fig. 9 Tilting Motion

그림 9의 왼쪽 그림은 tilting coil 및 이를 구동하기 위한 자석과 요크를 측면에서 들여다본 단면이다. focusing coil과 유사한 원리로 상-하 방향의 로렌츠 힘이 발생함을 알 수 있다. 왼쪽 그림은 tilting coil이 포함된 픽업 액츄에이터의 전체적인 모습을 위에서 내려다 본 단면인데, 이 경우는 두 개의 tilting coil에 흐르는 전류의 방향이 반대인 경우로서, 발생하는 힘의 방향이 서로 달라 그림처럼 radial 방향으로 기

울어지는 움직임을 발생시킨다. 이 때에 구해진 왼쪽과 오른쪽의 수직 변위를 통해 radial 방향으로 기울어진 각도인 θ 를 구하여 tilting DC sensitivity(°/V)로서 표현할 수 있다. tangential tilting의 경우는 이와는 달리 전류의 방향이 서로 같아 트랙을 따라 기울어진 형태의 힘이 발생되게 된다. 통상 이러한 tilting 동작은 tracking이나 focusing coil에서 발생하는 힘과 비교했을 때 10%~15% 정도 수준이다.

이와 같은 추가적인 동작 제어가 가능해지면 기존 모델에 비해 보다 빠른 데이터 액세스가 가능해진다.

4.4.2 해석 모델 및 사양

그림 10에 해석 모델을 나타내었다. 기존의 focusing 및 tracking coil만을 포함한 모델 양쪽 옆에 tilting coil 및 구동을 위한 추가적인 자석과 요크가 있음을 알 수 있다. 표 3에 추가적인 부분들의 사양을 나타내었다.

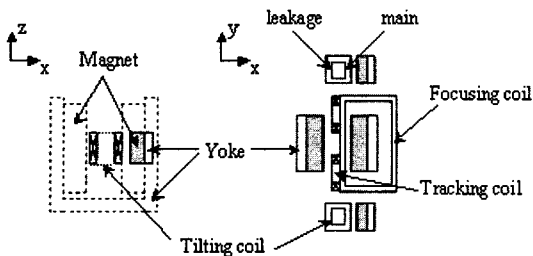


그림 10 Tilting 코일을 포함한 해석 모델
Fig. 10 Analysis model containing tilting coils

표 3 Tilting coil을 포함한 해석 모델의 사양
Table 3 Spec. of analysis model containing tilting coils

Magnet	Br	Hc	Thickness	Width
	1.39 [T]	1058 [kA/m]	0.35 [mm]	1.7 [mm]
Yoke	Width		Thickness	
	1.7 [mm]		0.4 [mm]	
Tilting coil	DC Resistance		Effective Coil Length	
	3 [Ω]		1.35 [mm]	

4.4.3 해석 결과 분석

4.3절의 focusing coil 및 tracking coil의 로렌츠 힘을 구할 때와 마찬가지로 식 (4.5)를 이용하여 tilting coil에 발생하는 힘을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$f_{tilt} = (B_{main}^x - B_{leakage}^x) \cdot l_{innerY} \cdot i_{tilt} \cdot n_{tilt} \quad (4.5)$$

이 값을 이용, 단위 전압당 선형 stroke (mm/V)를 구하여 이를 식 (4.6)에 대입하면 tilting coil의 단위 전압 당 각변위를 구할 수 있다.

$$tilting\ sensitivity(DC) = \theta/V = \tan^{-1}\left(\frac{mm/V}{l_{center}}\right) \quad (4.6)$$

여기에서 l_{center} 는 픽업의 중심으로부터 tilting coil의 중심까지의 거리이다.

표 4에 해석 결과를 나타내었다.

표 4 Tilting coil을 포함한 모델의 해석 결과

Table 4 Analysis result of the model containing tilting coils

Lorentz's force [N]	0.01207
Linear stroke per voltage [mm/V]	0.1072
Degree stroke per voltage [°/V]	1.3893

5. RCS 니칭 유전 알고리즘

5.1 니칭 유전 알고리즘의 필요성

실제 제작에 적용하는 문제인 전기 기기의 형상이나 구조 설계의 최적화의 경우 전역 최대점 외에 목적함수의 크기가 전역 최대점과 거의 같은 여러 개의 국소 최대점이 존재하는, 즉 여러 개의 피크가 존재하는 multi-modal 문제이다. 이러한 최적화 문제에 기존의 표준적인 유전알고리즘을 적용하면 다른 피크에 해당하는 스키마타(schemata) 사이의 경쟁을 제한할 수 없으므로 하나의 전역 최적점에 수렴을 한다. 이러한 현상을 genetic drift라 한다. 기존의 방법으로 찾은 최대점의 경우 물리적으로 구현하기 힘든 경우가 존재한다. 이것을 해결하기 위해 제안된 니칭(niching) 기법은 생태계의 “니체(niche)”개념을 도입하여 탐색공간에서 최대점에 근접한 여러 해를 병렬적으로 제시한다. 자연 생태계에서 비슷한 모습을 가진 개체들의 집합인 종(specie)들은 각각의 자기 영역과 역할을 가지고 있으며 이것을 니체라 한다. 이 개념을 multi-modal 최적화 문제를 해결하기 위해 유전알고리즘에 도입한다. 니체는 multi-modal한 탐색공간 내에서의 각 피크점의 위치, 종(specie)은 전체 개체집단(population)중에서 서로 주어진 거리(niche radius) 내에 있는 개체들에 해당한다고 할 수 있다. 그리고 이러한 니체들을 탐색하는 유전 알고리즘을 니칭 유전 알고리즘이라고 할 수 있다.

이처럼 전기기기 최적화 알고리즘이 갖추어야 할 첫 번째 조건은 여러 피크를 동시에 탐색할 수 있는 multi-modal 최적화 성능이다. 이러한 multi-modal 최적화 성능은 찾은 피크의 개수와 정확성을 기준으로 판단할 수 있다.

한편, 전기기기 최적설계 프로그램은 목적 함수 계산을 위한 특성 해석 부분과 최적화 알고리즘 부분으로 나뉘어진다. 여기서 수렴 시간 중 대부분을 특성해석 부분에서 차지하므로 수렴 시간을 줄이기 위해서는 목적 함수 호출 회수를 줄여야 한다. 따라서, 전기기기 최적화 알고리즘의 두 번째 조건은 목적 함수 호출 회수의 최소화이다[5].

이런 이유로, 제안된 니칭 유전 알고리즘의 여러 기법들 중 목적함수 호출 회수를 최소로 하면서 정확도 면에서 우수한 기법을 선택할 필요가 있다.

5.2 RCS 기법

여러 니칭 유전알고리즘 기법들 중 Sharing 과 DC는 니체의 적합도(Fitness)에 비례하여 개체들을 유지한다. 그러나 전기기기의 형상이나 구조설계 최적화 문제의 경우 어떤 니체 내에서 가장 큰 적합도를 가지는 개체만이 필요하다. 그 이유는 같은 니체 내에 있는 개체들은 형상, 구조, 전동기 특성 등이 아주 비슷하기 때문이다.

그러므로 본 논문에서는 니체 하나 당 적합도가 최대인 하나의 개체만 유지하는 Restricted Competition Selection (RCS) 기법을 사용하는데, 이 기법은 적합도가 최대인 하나의 개체만을 유지한다. 보통의 유전알고리즘은 자식 세대 개체 집단을 구성할 때 Roulette Wheel Selection을 사용한다. 그러나 RCS기법은 자식세대 개체집단을 구성 할 때 개체의 다양성을 유지하기 위해 같은 니체 개체간의 경쟁은 허용하지만 다른 니체 개체들 간의 경쟁을 제한한다. 즉, 탐색영역에서 서로간의 거리가 Niche Radius 이내인 개체들의 적합도를 비교하여 승자의 적합도는 그대로 유지하고 패자의 적합도는 '0'으로 지정한다. 이렇게 함으로써 같은 니체내에서는 하나의 개체만이 자식세대로 전달되고, 다른 니체의 개체는 비록 적합도가 작더라도 선택된다. 위 RCS기법 외에 최적화 과정중에 탐색된 국소 최적점을 유지하기 위해 엘리트 집합을 도입한다. RCS 기법은 다음 루틴으로 구성된다.

§ Step 0 : 초기화

- * 랜덤(Random)하게 초기 개체 집단 (개체수 NP) 구성
- * 적합도 순서로 M 개를 선택 , Elite Set 구성
- * 세대수 g 를 1로 지정

§ Step 1 : 유전조작

- * 개체집단에서 복원 없이 2개의 부모세대 개체를 선택하여 교배와 변이의 유전작용 시행
- * NP / 2 번 반복하여 새로운 개체집단 구성

§ Step 2 : Restricted Competition Selection

- Step 2-1
 - * 새 개체집단에 엘리트 집합을 합쳐 NP + M 의 개체수를 가진 경쟁 집단을 구성.
- Step 2-2
 - * FOR i=1 to NP+M-1, j=i+1 to NP+M
 - d_{ij} (두 개체 x_i 와 x_j 간의 거리) < σ share (Niche Radius) 일 때 적합도 비교.
 - * 패자의 새 적합도를 0으로 지정
- Step 2-3
 - * 경쟁 개체 집단에서 새로운 적합도 순서대로 NP 개를 선택하여 새로운 부모 세대 개체 집단 구성.
 - * 그 중에서 M 개 선택하여 엘리트 개체집단 구성.

§ Step 3 : 종료

- * 세대수 $g > G_n$ (미리 지정한 반복 세대수) 이면 종료, 아니면 세대수를 1 증가시키고 Step 1 로 감.

전술한 RCS 기법을 사용하는 니칭 유전알고리즘의 흐름도는 다음 그림 11과 같다[5].

6. 슬림형 광 픽업 액츄에이터의 최적설계 결과

6.1 최적설계 모델 및 사양

해석 모델에 대해 tracking coil에서 발생하는 로렌츠 힘이 최대가 되는 것을 목적 함수로 하여 최적 설계를 수행하였다. 그림 12 에 최적설계 모델의 단면도 및 최적 설계 변수들을 나타내었다. 여기에서 요크의 너비(그림에서 V1)와

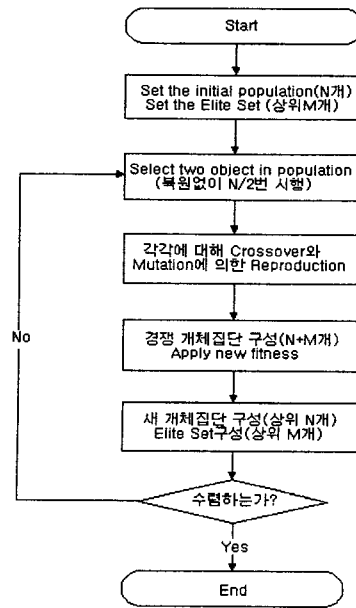


그림 11 RCS 니칭유전알고리즘의 흐름도
Fig. 11 Flowchart of RCS niching genetic algorithm

tracking coil의 중심으로부터의 거리(V2), 그리고 두 자석 사이에서의 tracking coil의 위치(V3)를 최적설계 변수로 선정하였으며, 재질이 포화되므로 비선형 해석이 이루어졌다. 표 5 에 RCS 니칭 유전알고리즘에 사용된 파라미터들을 나타내었다.

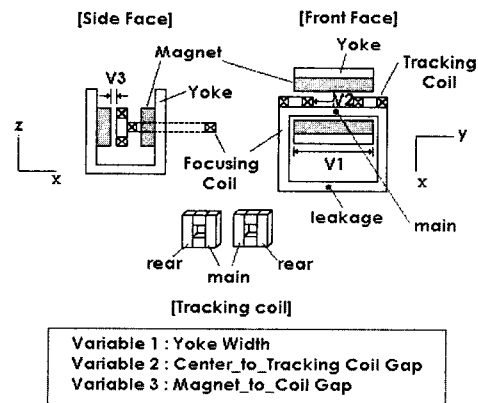


그림 12 최적설계 변수들
Fig. 12 Variables for optimal design

표 5 RCS 니칭유전알고리즘의 파라미터들
Table 5 Parameters of RCS niching GA

Generation Number	10	
Elete Set Number	5	
Probability of Crossover [%]	90	
Probability of Mutation [%]	10	
Niche	Yoke_width	0.01
	Center_to_tracking gap	0.01
Radius	Magnet_to_coil gap	0.01

6.2 최적설계 결과 분석

그림 13 은 피크 탐색 과정에서 선정된 Elite Set들을 나타낸 것이다. (a)의 경우 Fitness(목적함수 값)에 해당되는 로렌츠 힘을 z축에, x, y축에는 각각 변수 1과 2에 해당되는 요크의 너비와 tracking coil의 중심으로부터의 거리를 나타내었고, (b)의 경우 x, z축은 동일하며 y축은 변수 3에 해당되는 자석과 코일 사이의 거리가 되겠다. 동그라미로 표시된 것이 최종적으로 탐색된 피크이며, 이 값들은 표 6 에 나타내었다. RCS 니침 유전알고리즘의 특성상 니침 반경 내에서 하나의 피크만이 탐색되어 최적해 외에 최적 근사해가 제시되었음을 볼 수 있다.

전체적인 경향은 요크 너비(V1)의 경우 자석의 너비와 비슷한 사이즈 일 때 에 목적함수의 값이 커지는 것을 알 수 있다. Coil의 중심으로부터의 거리의 경우 약 0.6~0.7mm 부근에서 목적함수의 값이 커짐을 알 수 있는데, 이로서 변수 1, 2에 관해서는 기존 모델이 비교적 최적설계가 잘 되었다는 것을 알 수 있다. 그러나 자석과 코일간의 x축 방향 거리인 변수 3의 경우 피크가 경계치 인 0.1mm에 가까울수록 비례하여 상승하는 결과를 나타내고 있어 기존 모델과는 많이 다른 결과를 보이고 있다. 그러나 이 경우 목적함수가 tracking coil에만 관련되어 있으므로 focusing coil까지 고려할 경우 이 값을 최적치 라고 보기는 힘들다. 다시 말해 그림 12 에서 보듯 tracking coil이 왼편 자석에 가까워질수록 평균 자속밀도가 상승하여 tracking coil에 발생하는 로렌츠 힘은 증가하겠으나, focusing coil의 경우 오른편의 자석으로부터 멀어지는 데다가 역방향 힘을 발생시키는 leakage coil의 경우 오히려 자석에 가까워지게 되어 결과적으로 focusing coil의 로렌츠 힘은 감소하게 된다(표 7 참조). 따라서 기존 모델의 치수인 0.5mm는 두 코일에 미치는 영향을 모두 고려한 설계치로 판단되며, 최적설계를 통해 얻어진 3개의 해 집단 중 이러한 focusing coil 에의 영향을 고려한 첫 번째 해를 최적해로서 선택할 수 있겠다.

표 6 최적설계 결과

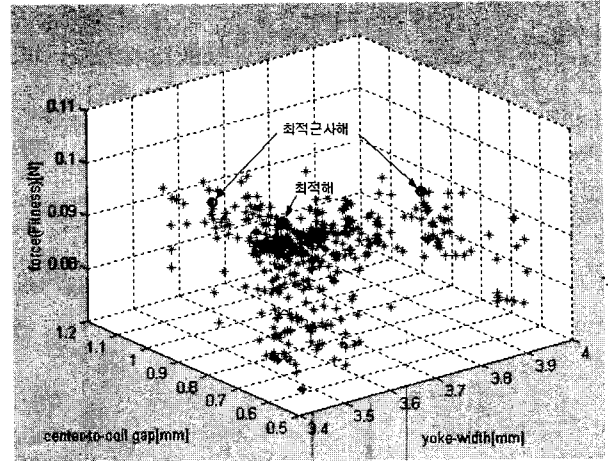
Table 6 Results of optimal design

Yoke Width [mm]	Center_to_track Gap [mm]	Magnet_to_coil Gap [mm]	Tracking coil's Lorentz's Force[N]
3.797647059	0.69215686	0.14843137	0.0982296
3.423529412	0.73470588	0.11529412	0.101844
3.461176471	0.64274510	0.1	0.1018656
Previous model values			
3.4	0.7	0.5	0.0729

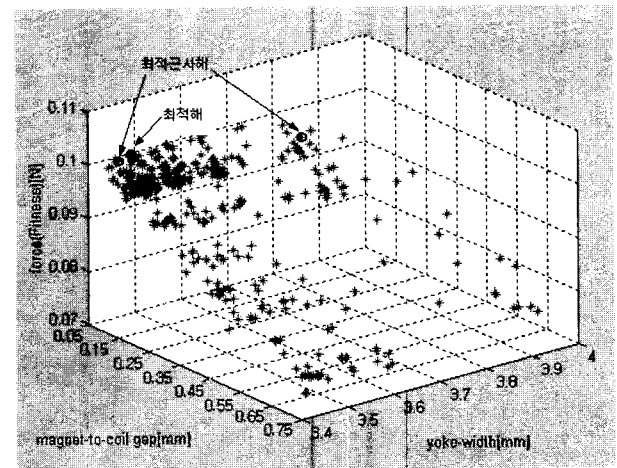
표 7 최적설계 결과에 대한 focusing 코일의 영향

Table 7 Focusing coil's effect about the results of optimal design

Yoke Width [mm]	Center_to_track Gap [mm]	Magnet_to_coil Gap [mm]	Tracking coil's Lorentz's Force[N]
3.797647059	0.69215686	0.14843137	0.0972718
3.423529412	0.73470588	0.11529412	0.0966802
3.461176471	0.64274510	0.1	0.0948416
Previous model values			
3.4	0.7	0.5	0.115



(a) Fitness (Lorentz' force) vs. V1 & V2



(b) Fitness (Lorentz' force) vs. V1 & V3
그림 13 최적설계 결과

Fig. 13 Results of the optimal design

7. 결론

본 논문에서는 3D-FEM의 해의 유용성과 자기등가회로법의 간단한 구현 및 빠른 해석시간이라는 장점을 결합한 새로운 3D 해석 방법인 3D-EMCN법을 제안하여 광 픽업 액츄에이터의 해석을 수행하였다.

그 결과 실험치 및 상용 3D-FEM 툴인 맥스웰 해석 결과와의 비교에서 만족할만한 오차수준의 해를 얻을 수 있었으며, 픽업 타입에 따른 간단한 파라미터 입력만으로 전체 시스템의 자속밀도 해석과 각종 Post 데이터들을 계산해 내는 사용자 인터페이스에 주력한 완결된 프로그램의 구현이라는 성과를 거둘 수 있었다. 다만 FEM이 역시 그렇듯 요소분할 형태에 상당히 민감한 것으로 판단되었으므로 이 부분이 경험적으로 충분히 고려되어야 하는 것이 단점으로 지적되었다.

또한 본 논문 프로그램에 최적설계 알고리즘으로 RCS 니침 유전 알고리즘을 적용, 요크의 너비와 코일의 중심으로부터의 거리, 그리고 두 자석 사이에서의 tracking coil의 위치를 최적설계 변수로 선정하여, tracking coil에서 발생하는 로렌츠 힘이

최대가 되는 것을 목적 함수로 하여 최적 설계를 수행하였다. 그 결과 사용된 최적설계 알고리즘이 다변수 확장성과 해 탐색의 안정성, 해의 정확도 면에서 우수함이 검증되었다.

한편, 최근 픽업 액츄에이터는 고밀도 디스크의 픽업에 대응하기 위하여 구동시 focusing, tracking이외에 tilt를 보상해주는 radial 및 tangential 방향으로의 자유도를 갖는 구동 구조가 필요하게 되었다. 따라서 본 논문에서는 기존의 모델에서 해석 범위를 넓혀 이러한 tilting coil을 해석 모델에 부착, 해석을 수행하였다.

제안된 3D-EMCN법 해석 결과 radial 및 tangential 방향의 로렌츠 힘을 계산해 낼 수 있었으며, 이를 이용해 degree로 표현되는 단위 전압 당 각변위(tilting sensitivity)[$^{\circ}/V$]를 도출, 픽업의 성능을 가늠하는 척도로 사용할 수 있었다. 이로서 본 논문 프로그램의 좀 더 다양한 픽업 타입 해석에의 확장 가능성을 보여주었다.

감사의 글

본 연구는 한국전력공사의 지원에 의하여 기초전력공학 공동 연구소 주관으로 수행되었습니다.(과제번호: 01-049)

참 고 문 헌

[1] In-Ho Choi, Seong-Pyo Hong, Won-Eull Chung, Young-Joong Kim, Man-Hyoung Lee and Jin-Yong Kim, "Concentrated Anisotropic Magnetization for High Sensitivity of Optical Pickup Actuator", IEEE Transactions on Magnetics, vol. 35, No. 3, pp.1861-1864, May 1999.

[2] 김진아, "3D-EMCN법을 이용한 광 픽업 액츄에이터의 해석 및 최적설계", 중앙대학교 석사학위 논문, 2001. 12.

[3] 김진아, 정태경, 최인호, 홍삼열, "3D-EMCN법을 이용한 광 픽업 액츄에이터의 해석 및 최적설계", 대한전기학회 추계학술대회 논문, 2001. 10.

[4] Jin Hur, Sang-Baek 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, pp.4143-4145, 1997.

[5] Cheol-Gyun Lee, Dong-Hyuk Cho, and Hyun-Kyo Jung, "Niching Genetic Algorithm with Restricted Competition Selection for Multimodal Function Optimization", IEEE Transactions on Magnetics, vol. 35, No. 3, pp.1722-1725, May 1999.

저 자 소 개

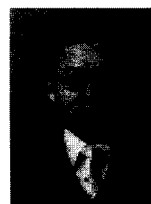


김진아 (金珍阿)

1977년 10월 2일생. 2000년 중앙대 공대 전자전기공학부 졸업. 2002년 동 대학원 전자전기공학부 졸업(석사). 현재 LG전자 디지털 미디어 연구소 연구원.

Tel : 02-526-4777

E-mail : maniajin@lge.com



정태경 (鄭泰庚)

1981년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 서울대학교 대학원 졸업(공학). 1991년 - 1992년 미국 Harvey Mudd College Visiting Scholar. 1988년 - 현재 중앙대학교 전자전기공학부 교수.

E-mail: tkchung@cau.ac.kr