

# Evolution Strategy를 이용한 Bobbin형 편향코일의 권선분포 최적화

조명철\* 강병훈 고창섭 주관정  
삼성전기(주) 종합연구소 CAD/CAM실 CAE팀

## Optimization of Bobbin winding type Deflection Yoke Wire Distribution By Using Evolution Strategy

Joc, M. C. Kang, B. H. Koh, C. S. Joo, K. J.  
CAE Team, Lab. of CAD/CAM, R&D Center, Samsung Electro-Mechanics Co., LTD

### Abstract

Recently, a Deflection Yoke(DY) is designed in the bobbin-separator-coil-winding type for high-definite CRT and high-efficient DY of wide vision TV or High Definite TV. This paper presents an optimization of bobbin-separator-coil-winding type yoke's coil distribution for minimizing gap between desired and practical deflections of electron beams using by Evolution Strategy.

### 1. 서론

브라운관을 이용한 화면장치의 핵심부품인 편향요크(Deflection Yoke:이하 DY)를 설계함에 있어, 본 논문에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 DY의 성능에 가장 중요한 영향을 미치는 코일의 권선분포를 최적화하였다. 특히, 브라운관의 고정세화, 고효율화를 요하는 대형 TV 및 가로세로의 화면 비율이 16:9인 Wide Vision TV나, High Definition TV에 사용되는 DY의 수평코일을 Bobbin형 코일-세퍼레이터(Coil Separator)에 코일을 권선하는 것이 최근의 경향이다(그림 1). 본 논문에서는 최적화만을 위한 Bobbin형 수평코일의 권선분포를 최적화하였다. DY의 경우 화면특성을 정의하는 화면오차들과 권선분포와의 복잡성으로 편향요크의 형상과 그것에 의해 결정되는 화면오차간 함수의 미분불가능으로 인하여, 일반적인 기울기법(Gradient Method)들이 최적화 과정에서 필요로 하는 미분항을 고려하지 않아도 최적화가 가능한 Evolution Strategy를 도입하여, 주어진 설계사양하에서 최적의 화면을 위한 Bobbin권선형 수평코일의 권선분포를 최적화하였다.

### 2. 본론

#### 2-1. 화면오차의 해석

칼라 TV 및 모니터의 화질을 결정하는 화면오차는 CRT의 전기적 및 기구적 형상이 결정된다면, 편향코일에 의해 발생하는 자계와 이 자계에 의한 적녹청(Red, Green, Blue) 전자빔의 편향 궤적경도에 의해 결정된다.

#### 2.1.1 M-Method를 이용한 자계해석

편향요크의 자계의 세기를 계산하기 위해 자화량  $\vec{M}$ 을 미지수로 하는 체적 적분방정식법을 이용하였다[1].

일반적으로 편향요크 시스템은 코일과 자성체로 구성되어있다. 이 경우의 DY 시스템의 자계의 세기  $\vec{H}$ 는 코일에 의하여 발생하는  $\vec{H}_c$ 와 자성체에 의하여 유지되는 자량인  $\vec{H}_m$ 의 합으로 계산된다.

$$\vec{H} = \vec{H}_c + \vec{H}_m \quad (1)$$

자성체 내부의 임의의 점에서의 자화량  $\vec{M}$ 과 자계의 세기  $\vec{H}$ 의 관계는 다음식으로 정의되며,

$$\vec{M}(\vec{r}) = \chi(\vec{r})\vec{H}_c(\vec{r}) + \vec{H}_{m,loc}(\vec{r}) \quad (2)$$

여기에서  $\chi$ 는 자성체의 자화율이고,  $\vec{H}_{m,loc}(\vec{r})$ 는 점  $\vec{r}$ 에서의 국부자계의 세기(Local Field Density)이다[1].

#### 2.1.2 전자빔 궤적

CRT내에서의 전자빔 궤적은 로렌츠 힘에 의하여,

$$\frac{d}{dt}(m\vec{v}) = -e(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \quad (3)$$

로 표현되며, 이때 전자총 출구에서 나오는 전자의 속도는 매우 빠르므로, 질량  $m$ 을 상대론적 질량  $m^*$ 로 환산

하고, CRT내에서는 전계가 없다고 근사화하면 전자가 정자장에서 얻는 에너지는 없으므로, 아래와 같이

$$m^* \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} = -e(\vec{v} \times \vec{B}) \quad (4)$$

로 표현할 수 있다. 따라서, 관계식 4를 Runge-Kutta 4차항으로 계산하여, 스크린상의 탄착점에서 화면오차를 얻을 수 있다.

#### 2-2. 수평코일의 권선분포 최적화

##### 2-2-1. 최적화 전략

자계해석 프로그램을 이용하여, Bobbin권선형 수평코일의 권선분포를 최적화하였다. DY의 화면특성을 결정하는 요소는 크게 수평 및 수직 코일과 영구자석 및 보조철편등의 부가물들을 들 수 있으나, 본 논문에서는 수평 및 수직코일과 부가물로써 화면특성에 가장 큰 영향을 미치는 영구자석을 모델링하였으며, 이중 토로이달(Toroidal) 권선방식을 이용한 수직코일의 권선분포와 영구자석의 형상은 일정하게 고정하고, Bobbin형인 수평코일의 분포만을 최적화하였다.

##### 2-2-2. 최적화 알고리즘

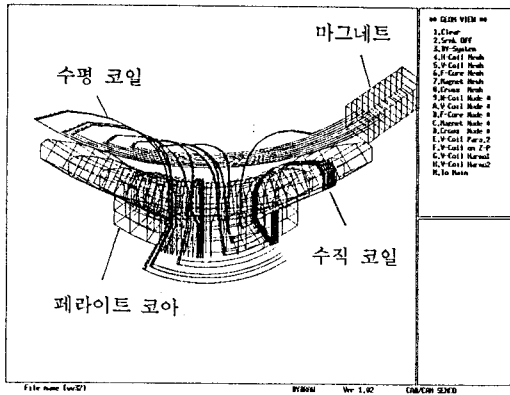
유전 알고리즘은 자연 유전학(Natural Genetics)과 자연 선택(Natural Selection)을 기초로 하는 탐색과정으로 넓은 범위의 탐색범위에서 무작위적(Random)으로 코드화된 인자(Parameter)들을 형성하여 자연으로부터 추론된 유전자 연산자와 인위적 생존 경쟁의 적합도(Fitness)에 의한 번식 연산자를 이용하여 새로운 자손 인자를 병렬적으로 형성하면서 부모 인자를 대체하는 진화적 구조를 갖는다. 이러한 구조는 많은 국부(Local) 최소(최대)가 존재하는 문제에서도 전역(Global) 최소(최대)로 수렴하는 강건한(Robust) 탐색구조를 갖는다. 이와같은 유전 알고리즘 중에서 본 논문에서 다루는 Evolution Strategy는 돌연변이(Mutation)를 발생시키는 돌연변이 연산자(Mutation Operator)만을 이용하여, 새로운 자손인자를 생성 전역(Global) 최소(최대)로 수렴하는 최적화 프로그램을 가지고 있다[2][3][4]. 본 논문에서 사용되는 최적화 프로그램의 개략적인 흐름도(Flow Chart)는 그림 2와 같다.

##### 2-2-3. 설계변수의 정의

최적화를 위한 설계변수의 설정은 두가지로 나누어 진행하였다. 그 첫단계는 코일의 권선궤적을 결정할 상태에서, 각 궤적에서의 권선수만을 최적화하는 것이다. 이 경우의 설계변수는 10개로 정의하였다.(그림 3-a) 두번째 단계에서는 권선궤적과 권선수를 동시에 설정하여 최적화하는 것이다. 그러나, Bobbin형 Coil Separator의 각 Slot간의 경우의 수를 모두 고려할 경우, 결과적으로 매우 많은 경우의 수를 발생하게 되므로, 되도록 그 경우의 수를 줄일 목적으로 일반적 으로 실제 DY설계자들이 고려하는 궤적을 고려하여 28개의 궤적을 결정할 후 28개의 권선 궤적에서의 권선수를 최적화 하였다.(그림 3-b) 이와 같은 방법으로 최적화하여, 만약 어떠한 궤적에서의 권선수가 0에 수렴한다면, 그 궤적은 필요 없게 됨으로, 최종적으로는 필요없는 궤적과 화면에 영향을 주는 궤적을 구별하여 권선궤적의 결정 및 그 권선수를 최적화하게 된다.

##### 2-2-4. 목적함수의 정의

본 연구의 목적이 적녹청 세 빔의 Convergence 오차 및 Distortion 오차를 최소화하기위한 것이므로, 목적함수를 Convergence 오차와 Distortion오차의 합으로 정의하였다. 따라서, 목적함수는



(a) 전체 DY 시스템

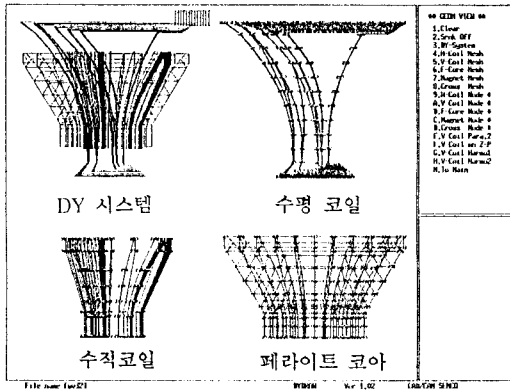


그림. 4 32" WV-TV용 DY

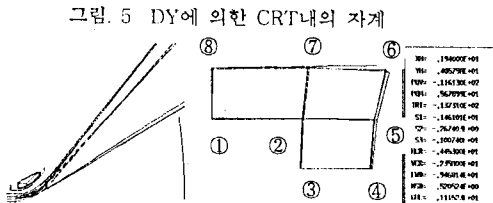
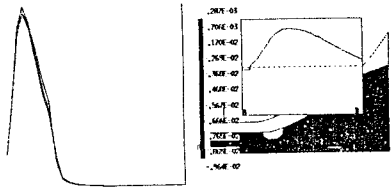


그림. 6 빔 궤적 및 화면특성

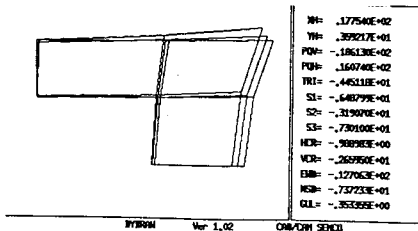


그림. 7 단계 1의 초기 화면특성

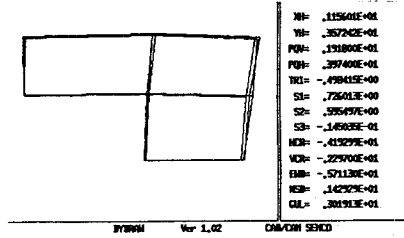


그림. 8 단계 1의 최종 화면특성

표.1 단계 1에서의 권선사양의 변화

항목	단계	시작시 권선사양	회회회 완료시
1번 권선	16.6	38.21664	
2번 권선	16.6	5.20281	
3번 권선	16.6	13.47959	
4번 권선	16.6	5.132945	
5번 권선	16.6	8.49001	
6번 권선	16.6	8.66674	
7번 권선	16.6	24.59524	
8번 권선	16.6	23.78924	
9번 권선	16.6	26.05442	
10번 권선	16.6	12.48204	
권선수의 합	166.0	166.11968	
목적함수치	37.48067	10.35943	

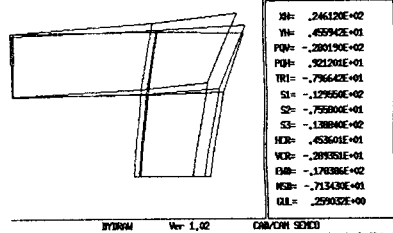


그림. 9 단계 2의 초기 화면특성

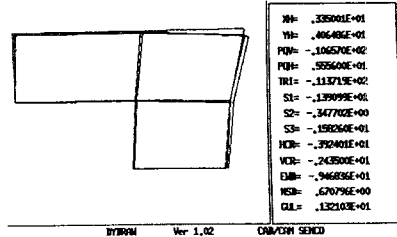
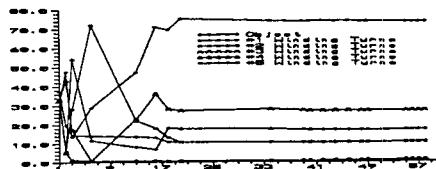


그림. 10 단계 2의 최종 화면특성

표.2 단계 2에서의 권선사양의 변화

시작	회중	시작	회중	시작	회중			
1번	6.16	20.12562	11번	5.92	0.47264	21번	5.92	2.58351
2번	5.92	5.52761	12번	5.92	19.21453	22번	5.92	1.48327
3번	5.92	6.23761	13번	5.92	11.46728	23번	5.92	1.56483
4번	5.92	1.78351	14번	5.92	2.14843	24번	5.92	6.64383
5번	5.92	0.58432	15번	5.92	2.78219	25번	5.92	9.34258
6번	5.92	14.73286	16번	5.92	5.42125	26번	5.92	4.32483
7번	5.92	7.58351	17번	5.92	0.96682	27번	5.92	3.63728
8번	5.92	4.32842	18번	5.92	7.74627	28번	5.92	7.37853
9번	5.92	2.78281	19번	5.92	9.35628	총권선	166.0	166.97319
10번	5.92	5.46628	20번	5.92	1.34726	목적치	48.74195	21.53568



$$F = \sqrt{F_c^2 + F_d^2} \quad (5)$$

여기서,  $F_c$ 는 각 탄착점에서의 Convergence 오차의 합이고,  $F_d$ 는 각 탄착점에서의 Distortion 오차의 합이다. 위에서, Convergence 오차와 Distortion 오차는 각각 Red 빔과 Blue빔과의 오차, Green 빔과 이상적인 도착점 사이의 오차로 정의하였다.

$$F_c = \sqrt{\sum_{k=1}^n w_{ck} |r_{rk} - r_{ck}|^2}, \quad F_d = \sqrt{\sum_{k=1}^n w_{dk} |r_{rk} - r_{dk}|^2} \quad (6)$$

여기에서,  $n$ 은 화면에서 고려하는 도착점의 총수이고,  $w_{ck}$ 는 Convergence 오차의 각점에 대한 가중치이며,  $r_{rk}$ 는  $k$ 번째 Red빔 도착점까지의 원점에서부터의 거리,  $r_{ck}$ 는  $k$ 번째 Blue 빔 도착점까지의 원점에서부터의 거리이고,  $w_{dk}$ 는 Distortion 오차의 각점에 대한 가중치이며,  $r_{dk}$ 는  $k$ 번째 이상적인 도착점까지의 원점에서부터의 거리이다.  $k$ 는 화면에서 도착점의 위치를 말하며, 그림.6 에서와 같이 8개의 위치를 고려하였다.

2-2-5. 구속조건  
권선수의 구속조건은, 음의 수가되지 않아야하며, 세트의 감도조건을 유지해야만 하므로, 권선수의 합은 항상 일정해야한다. 권선수의 구속조건을 수식으로 기술하면 다음과 같다.

$$0 \leq N_T / 3, \quad i=1,2,3,\dots, \quad \sum_{i=1}^m N_i = Constant \quad (7)$$

여기서,  $nup$ 는 형상을 결정하는 권선 궤적의 총수이고,  $N_i$ 는 임의의 권선에서의 권선수이며,  $N_T$ 는 전체권선으로서, 항상 일정하여야한다. 2-3식에서와 같이, 한 궤적에 최대로 권선되어질 수 있는 수는 전체권선수의 1/3이 된다.

### 2-3. 사례 연구

그림.4, 그림.5과 그림.6에는 당팀에서 자체 개발한 DY 자체 해석을 위한 전용 프로그램인 DYMAG를 이용하여 32 인치 WV-TV(Wide Vision TV)용 DY에 적용해석한 결과이다. 그림.4에는 해석에 사용된 DY의 모델링한 결과이고, 그림.5에는 DY에 의하여 CRT내에 발생된 자기장계를 나타내었으며, 그림.6에는 전자빔의 궤적 및 CRT 표면에서의 화면 오차를 기술하였다. 본 논문에서 사용된 최적화 프로그램의 검증용 목적으로, 32인치 Wide Vision TV용 DY의 수명코일에 대해서 최적화를 수행하였다. 첫단계는 권선궤적을 10 개로 정한 상태에서 권선수의 수렴과정을 관찰하였으며, 두 번째 단계에서는 권선궤적을 30개로 정의하여, 권선수를 최적화하였다. 표.1에는 첫번째 단계에서의 초기 및 최적화 수행후의 권선사양을 나타내었으며, 그림.7과 그림.8에는 초기 및 최종단계의 화면오차를 나타내었다. 또한, 표.2에는 두 번째 단계에서의 초기 및 최적화 수행후의 권선사양을 나타내었으며, 그림.9와 그림.10에는 그때의 화면오차를 나타내었다. 그림.12에는 Evolution Strategy에 의한 권선수 수렴과정을 나타내었다.

### 3. 결론

Evolution Strategy를 이용 Bobbin형 수명코일의 권선분포의 최적화에 적용한 결과, 본 알고리즘은 최적화하기에 매우 곤란한 조건하에서도 수렴하는 매우 강인한(Robust) 최적화 기법임을 확인하게 되었다. 또한, DY 설계 기술적인 측면에서 본 프로그램을 이용 기존의 설계방식을 벗어나, 시뮬레이션을 통해 설계기간의 단축 및 신 모델개발에 매우 유용하리라고 판단된다.

최적화에 사용된 당팀 자체 개발 프로그램인 DYMAG는 현재 슈퍼컴퓨터(CRAY Y-MP/4E)에 포팅하여 사용중이며, 한번의 화면오차 계산시간은 0.5-1분 정도가 소요된다. 그러나, 한번의 화면오차 계산에 0.5-1분이 소요되더라도, Evolution Strategy의 경우 탐색 기법이므로 목적함수의 복잡성 및 구속조건에 따라 매우 많은 반복횟수를 요구하게되어, 이와 같은 반복 횟수의 증가시 최적화 수행시간이 매우 길어지게 된다. 따라서, 본 알고리즘을 개선하여 반복 횟수를 줄일 수 있는 방법의 모색이 필요하며, 향후 모델링이 곤란한 토로이달(Toroidal)형의 수직코일과 영구자석등의 보조들의 형상의 최적화도 수행되어져야하겠다.

#### 【 참고문헌 】

1. 홍기란, 김근환, 최미영, 고창섭, 한송엽, 정현교, "민감도 해석을 이용한 자기 편향코일의 설계", 대한전기학회 논문지, pp.118-124, Vol.41, No.2, 1992.2.
2. 이종배, 고창섭, 한송엽, 정현교, 최태인, 김기철, "자체교란을 이용한 자성체 탐지", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.577-579, 1992.7
3. M. Kasper, "Shape optimization by evolution strategy", IEEE Trans. On Magnetics, Vol.28, No.2, March 1992
4. K. Preis, C. Migele, O. Birn, "FEM and evolution strategies in the optimal design of electromagnetic devices", IEEE Trans. on Magnetics, Vol. 26, No.5, pp.2181-2183, Sep.1990

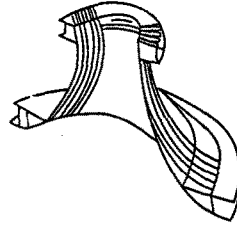


그림. 1 Bobbin Coil Separator의 형상

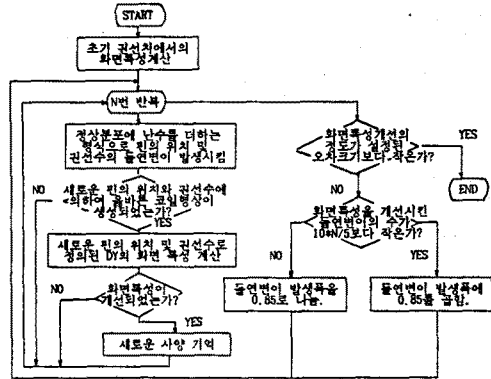
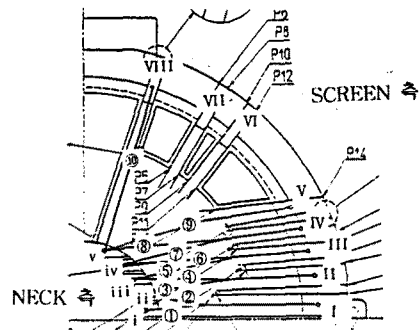


그림. 2 최적화 프로그램의 Flow-chart



(a) 단계 1의 설계변수의 정의

	SCREEN		NECK			SCREEN		NECK	
1번 코일	1	1	15번 코일	5	3				
2번 코일	2	1	16번 코일	6	3				
3번 코일	3	1	17번 코일	7	3				
4번 코일	4	1	18번 코일	3	4				
5번 코일	5	1	19번 코일	4	4				
6번 코일	1	2	20번 코일	5	4				
7번 코일	2	2	21번 코일	6	4				
8번 코일	3	2	22번 코일	7	4				
9번 코일	4	2	23번 코일	8	4				
10번 코일	5	2	24번 코일	4	5				
11번 코일	6	2	25번 코일	5	5				
12번 코일	2	3	26번 코일	6	5				
13번 코일	3	3	27번 코일	7	5				
14번 코일	4	3	28번 코일	8	5				

(b) 단계 2의 설계변수의 정의

그림. 3 설계변수의 정의