유전 알고리즘을 이용한 SS형 편향코일의 형상 최적화

주 관 정* 윤 인 중* 강 병 훈* 조 명 철* 한 송 엽** 이 홍 배**
* 삼성전기 (주) 종합연구소 ** 서울대학교 전기 공학과

The Optimization Of SS-Type Deflection Yoke By Using Genetic Algorithm

K.J.Joo* I.G.Yoon* B.H.Kang* M.C. Joe* S.Y.Hahn** H. B.Lee**
*R&D Center,Samsung Electro-Mechanics Co. **Dept.Electrical Eng.Seoul Univ.

Abstract

Deflection Yoke(the following, DY) is the important electric device of CRT which deflects R, G, B beams influencing magnetic field produced by yoke coils. Recently, DY is designed to the saddle/saddle type of coils,being proposed for high-definite and high-efficient CRT. This paper presents the optimization of pin - sectioned saddle coil's shape for minimizing gap between desired and practical deflections of electron beams by using Genetic Algorithm. Evolution Startegy is utilized in this paper, since evolution strategy is a kind of genetic algorithms finding the optimized values by choicing the better generation with comparing the parents and their children. Here, the children are generated by only mutations from the normal random variables. Evolution strategy has shown better powerful converge rate than the other genetic algorithms becuase of using only the mutation-operator.

1. 서 론

편향코일(Deflection Yoke:이하, DY)은 수평 및 수직 코일에 전류가 흐를때 발생하는 자장을 이용하여 전자총을 통과한 전자빔을 수평 및 수직으로 편향시켜 화면의 목표하는 위치에 도달하게 하는 장치로써, 브라운관을 이용한 화면장치의 핵심 부품이다. 또한, 브라운관의 고정세화에 대응하며, DY의 고효율화 및 저 불요복사를 목적으로 DY를 Saddle/Saddle 형으로 설계하는 것이 최근의 경향이다.(그림.1)

본 논문에서는 최적화면을 위한 S/S형 DY의 최적형상 도출을 위하여 핀 섹션(Pin-Section) 권선형 Saddle 코일 형상 자동 생성 프로그램을 개발하여, 핀의 위치 및 권선수의 결정만으로 핀 섹션 권선형 Saddle 코일 형상의 재현이 가능하도록 하므로써, 최적화 수행중 발생하는 임의의 핀의 위치및 권선수만으로 DY를 구성하는 Saddle코일의 형상을 산출하고, 이 형상에 대한 화면오차를 계산해서, 최종적으로는 화면오차가 최소화되는 Saddle 코일의 핀의 위치 및 권선수를 계산한다. DY에 있어서 코일단면의 권선분포 고조파계수가 화면특성을 결정하는데, 각 핀의 위치 및 권선수는 DY 단면의 권선분포 고조파계수 결정의 중요한 요인이 되며, 형상의 복잡성으로 인하여 이들의 상관관계를 파악하는 것은 곤란하다. 또한, 화면 특성을 정의하는 오차들과 핀의 위치 및 권선수의 관계의 복잡성, 즉 최적화를 하고자 하는 목적함수의 복잡성으로 인하여 유전 알고리즘(Genetic Algorithm)의 일종인 Evolution Strategy를 도입하여, 주어진 DY 설계사양을 만족하는 최적의 핀의 위치 및 권선수를 도출하고자 한다.[1][4]

2. 화면오차의 해석

칼라 TV 및 모니터의 화질을 결정하는 화면오차는 CRT의 전기적 및 기구적 형상이 결정된다면, 편향코일에 의해 발생하는 자계와 이 자계에 의한 적,녹,청 전자빔의 편향 궤적경로에 의해 결정된다. 이 화면오차를 수치적으로 계산하기 위한 전체 흐름도는 (그림.2)와 같다.

2.1 요크의 자계 해석

S/S형 편향요크의 자계의 세기를 계산하기 위해 적분방정식법을 사용하였으며, 모델의 단순화를 위하여 패라이트 코아는 투자율을 무한대로, 수평 및 수직코일은 면전류 밀도를 갖는 축대칭으로 근사화 하였다. 이때, 편향요크에 의해 CRT 공간내에서 발생하는 자계 스칼라 포텐셜은

$$\phi(\vec{r}) = \int \frac{\sigma(\vec{r}')}{4\pi|\vec{r}-\vec{r}'|}\,ds_c' + \int \tau(\vec{r}')\left[\vec{n}'\cdot\nabla'\left(\frac{1}{4\pi|\vec{r}-\vec{r}'|}\right)\right]ds_{w1} + \int \tau(\vec{r}')\left[\vec{n}'\cdot\nabla'\left(\frac{1}{4\pi|\vec{r}-\vec{r}'|}\right)\right]ds_{w2} \qquad (2\text{-}1)$$

로 표현 할 수 있으며,여기서 C는 코아의 경계면, W_1, W_2는 각각 수평 및 수직 코일의 경계면이며, $\sigma(r)$는 코아 표면의 등가 자하밀도, $\tau(r)$ 는 코일의 자기쌍극자 분포이다. 이때, 미지의 $\sigma(r)$는 기지의 $\tau(r)$와 코아의 경계조건을 만족하는 등가의 $\sigma(r)$을 계산하여, 구할 수 있으므로, 코일의 경계면을 제외한 임의의 관측점에 대한 자계의 세기는

$$H = -\nabla\phi(\vec{r}) \qquad (2\text{-}2)$$

로 나타낼 수 있다.[2][3]

2.2 전자빔 궤적 해석

CRT내에서의 전자빔 궤적은 만일 전자가 스크린중심을 향해 진행한다면 로렌쯔방정식으로부터,

$$\frac{d}{dt}(m\vec{v}) = -e(\vec{E} + \vec{v}\times\vec{B}) \qquad (2\text{-}3)$$

로 표현되며, 이때 전자총출구에서 나오는 전자의속도는 매우 빠르므로, 질량 m을 상대론적 질량 m*로 환산하고, CRT내에서는 전계가 없다고 근사화하면 전자가 정자장내에서 얻는 에너지는 없음으로,아래와 같이

$$m^*\cdot\frac{d\vec{v}}{dt} = -e(\vec{v}\times\vec{B}) \qquad (2\text{-}4)$$

로 표현할 수 있다. 따라서, 관계식(2-4)를 수치적으로 계산함으로서 화면에서의 적,녹,청 빔의 좌표를 계산하고 이들 좌표값으로 부터 화면오차를 얻을 수 있다.[2][3]

3. S/S 형 DY의 핀의 위치 및 권선수 최적화

3-1. Saddle 코일 형상 자동 생성 프로그램

본 프로그램은 최적화 과정 수행 중 변량으로 주어진 임의의 핀의 위치 및 권선수만으로 해당 코일 권선기의 금형에 대한 Saddle코일의 형상을 재현하는 과정을 수행한다.

핀의 위치 및 권선수만으로 Saddle 코일의 형상을 생성하는 과정은,(그림.4)과 같으며, 이것은 회전체 표면에서 표면상의 두 점간의 최단거리의 직선으로 정의할 수 있는 측지선(Geodetical Line)에 관한 오일러-라그랑지안 방정식과 코일 권선수에 따른 동일 면적의 위치를 따라서 코일 형상

을 결정하는 궤적을 생성한다. (그림.5)에는 측지선에 관한 정의를 나타내었다.

3-2. 핀의 위치 및 권선수 최적화

유전 알고리즘은 자연 유전학(Natural Genetics)과 자연 선택(Natural Selection)을 기초로 하는 탐색과정으로, 넓은 범위의 탐색 범위에서 무작위적(Random)으로 코드화된 인자(Parameter)들을 형성하여 자연으로 부터 추론된 유전자 연산자(Operator)와 인위적 생존 경쟁의 적합도(Fitness)에 의한 번식 연산자를 이용하여 새로운 자손 인자를 병렬적으로 형성하면서 부모 인자를 대치하는 진화적 구조를 갖는다. 이러한 구조는 많은 국부(Local) 최소(최대)가 존재하는 문제에서도 전역(Global) 최소(최대)로 수렴하는 강건한(Robust) 탐색구조를 갖는다. 이런 유전 알고리즘 중에서 본 논문에서 다루는 Evolution Strategy는 돌연변이(Mutation)를 발생시키는 돌연변이 연산자(Mutation Operator)만을 이용하여, 새로운 자손인자를 생성하므로 다른 알고리즘에 비해 상대적으로 빠른 수렴 속도를 가지고 있다.[1][4]

최적화 프로그램의 개략적인 흐름도(Flow Chart)는 (그림.6)와 같다.

DY의 성능에 영향을 미치는 요소는 매우 많지만, 본 연구에서는 수평 및 수직코일을 모두 Saddle 코일로 정의하고, 핀의 갯수는 일정하게 고정한 상태에서, 각 핀에 대한 각도 및 각 핀에서의 권선수만을 설계변수로 정의 하였다.

본 연구의 목적이 Convergence 오차 및 Distortion 오차를 최소화 하기 위한 것이므로, 목적함수를 적, 녹, 청 세 빔의 Convergence 오차와 Distortion오차의 합으로 정의 하였다. 따라서, 목적함수는

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_d^2} \qquad (3.1)$$

여기서 , F_c : Convergence 오차

F_d : Distortion 오차

위에서, Convergence 오차와 Distortion 오차는 각각, 적색 전자빔 과 청색 전자빔과의 오차, 녹색 전자빔과 이상적인 도착점 사이의 오차로 정의하였다.

$$F_c = \left[\sum_{k=1}^{n} W_{ck} \left[|x_{rk} - x_{bk}|^2 + |y_{rk} - y_{bk}|^2 \right] \right]^{1/2}$$

$$F_d = \left[\sum_{k=1}^{n} W_{dk} \left[|x_{gk} - x_{ok}|^2 + |y_{gk} - y_{ok}|^2 \right] \right]^{1/2} \qquad (3.2)$$

n : 화면에서 고려하는 도착점의 총수
W_{ck} : Convergence 오차의 각점에 대한 가중치
x_{rk} : k번째 적색 전자빔 도착점의 x 좌표
x_{bk} : k번째 청색 전자빔 도착점의 x 좌표
y_{rk} : k번째 적색 전자빔 도착점의 y 좌표
y_{bk} : k번째 청색 전자빔 도착점의 y 좌표
W_{dk} : Distortion 오차의 각점에 대한 가중치
x_{gk} : k번째 녹색 전자빔 도착점의 x 좌표
x_{ok} : k번째 이상적인 도착점의 x 좌표
y_{gk} : k번째 녹색 전자빔 도착점의 y 좌표
y_{ok} : k번째 이상적인 도착점의 y 좌표

k는 화면에서 도착점의 위치를 말하며, (그림.6-A)에서와 같이 8개의 도착점의 위치를 고려하였다.

또한, 본 최적화에서 최적치 산출의 구속조건은 Evolution Strategy의 경우 난수발생 영역을 의미한다.

권선수의 구속조건은 전체권선수를 핀의 갯수로 나누어, 그 값을 시작점의 값에 더하고 뺀 값을 상·하한가로 정하고, 만약 뺀값이 영보다 작을 경우에는 음의 권선수는 존재하지 않음으로, 그 경우는 0으로 정의하게 하였다. 또한, 전체권선수는 일정하게하였다.

권선각은 항상 Window측의 각도가 Gap측에 가까운 각도보다는 항상 커야만한다. 만약, 이 순서에서 벗어날 경우에는, 형상정의가 불가능하므로, 이러한 경우의 코일은 무시되어져, 화면특성을 계산치 않고, 해당세대는 재정의한다.(그림.3) 또한, 권선각 즉, 핀의 위치중 1번 핀의 위치는 변량으로 잡지않고, 1번 권선수 및 Gap측 각도기준으로 계산되게 하였다.

3-3. 사례 연구

본 프로그램의 검증을 목적으로, 현재 당사에서 양산중인 S/S형 모니터용 DY를 사용하여, 최적화를 시행하였다. 수평코일에 대해서는 핀을 3개로, 수직 코일은 2개로 고정한 후, 임의의 권선수 및 핀의 위치에서 시작하여 어떠한 권선사양으로 수렴하는 지를 관찰하였다. 좀 더 빠른 수렴과 정확한 해를 구하기 위하여, 단계별로 최적화를 수행하였다. 그 첫단계에서는 수평코일에 대한 핀의 위치 및 권선수만을 변량으로 잡고, 목적함수는 수평코일에만 영향을 받는 화면오차를 취하여 최적화를 수행하였으며, 두번째 단계에서는 첫단계에서 산출된 결과치를 그 시작점으로 하여, 수직코일의 핀의 위치 및 권선수만을 변량으로 잡고, 목적함수도 수직코일에만 영향을 받는 화면오차를 취하여 최적화를 수행하였다. 마지막 단계에서는 최종적으로 수평·수직 코일 모두의 핀의 위치 및 권선수를 변량으로 잡고, (그림.6-A)의 모든 도착점에 관한 화면오차를 변량으로 하여 최적화를 수행하였다.

(도표.1)에는 시작점에서의 권선사양을 나타내었고, (그림.6-A)에는 그때의 화면특성을 나타내었으며, (도표.2)에서는 1단계가 완료된 후의 권선사양을, (그림.6-B)에는 1단계완료후의 화면특성을, (도표.3)과 (그림.6-C)에는 2단계 완료 후의 권선 사양과 화면특성을, 마지막으로 최종 최적화 사양인 3단계 완료후의 권선사양 및 화면특성을 (도표.4)와 (그림.6-D)에 나타내었다. 또한, (그림.7), (그림.8), (그림.9)와 (그림.10)에는 최적점으로 수렴하는 과정을 나타내었다.

4. 결 론

최적화 과정 수행후 산출된 권선수 및 핀의 위치가 주어진 금형 사양하에서 실제 제품의 권선분포와 비교시 권선수의 경우 1~2정도의 오차를 가지며, 핀의 위치는 Window측은 1~3°의 오차를 지니고, Gap측은 이보다 큰 5~7°의 오차를 보이며, 또한 권선수가 실수인 것은 전체 권선수를 일정하게 유지하기 위해 전체 권선수에 대한 비율로 처리하였기 때문인데, 이 오차는 실제 DY설계자의 경험으로 처리 가능하다. 실제 제품과의 오차는 Saddle 코일 형상자동 생성 프로그램에 의하여 보간된 코일 형상과 실제 형상간의 차이에 의하여 발생된 것으로 보인다.

Evolution Strategy를 이용 최적화 수행결과 본 알고리즘이 매우 강인한(Robust) 최적화 기법임을 확인하였으며, 본 프로그램을 이용 기존의 설계방식을 벗어나, 설계자에게 설계기간의 단축 및 신 모델개발에 유용하리라고 판단된다. 그러나, 1회의 화면 오차계산이 현재 사용환경인 수퍼컴퓨터(CRAY YMP-2)에서도 1분정도 소요되어, 반복 횟수의 증가시 최적화 수행시간이 매우 길어지게 되므로 반복 횟수를 줄일 수 있는 알고리즘으로의 개선이 필요하고, 또한, 최적화 과정중에 설계변수에 의하여 계산된 Saddle형 코일의 형상과 실측에 의한 실제 코일형상과의 오차를 최소화하는 연구가 계속적으로 진행되어져야 하겠다.

참고문헌

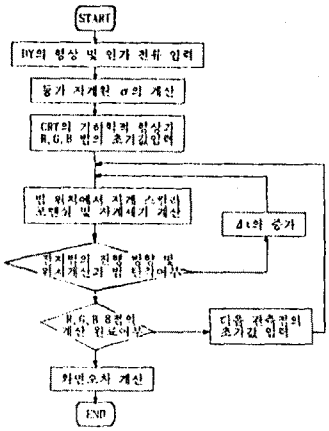
1 이홍배, 고창섭, 한송엽, 정현교, 최태인, 김기철," 자계교란을 이용한 자성체 탐지", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.577-579, 1992.7.

2. Donald M. Fye, " An integral method for the analysis of magnetic deflection yokes", J. Appl .Phys. Vol.50, No.1, pp17 22, Jan.1979

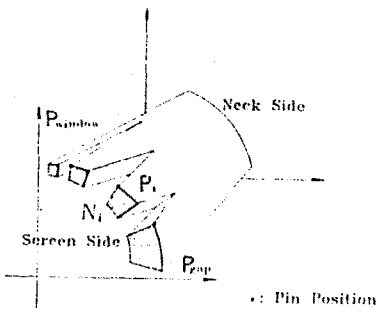
3. M. O. Vessell," The equivalence of electromagnetic coils for electron optics ", J.Appl. Phys. Vol.52. No.10, Oct.1981

4. M. Kasper , " Shape Optimization by evolution strategy ", IEEE Trans. On Magnetics, Vol.28, No.2, March 1992

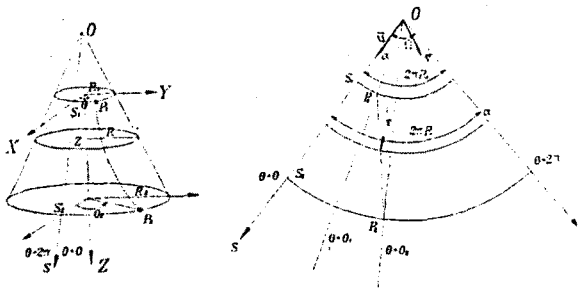
(그림.1) Pin-Section형 Saddle 코일



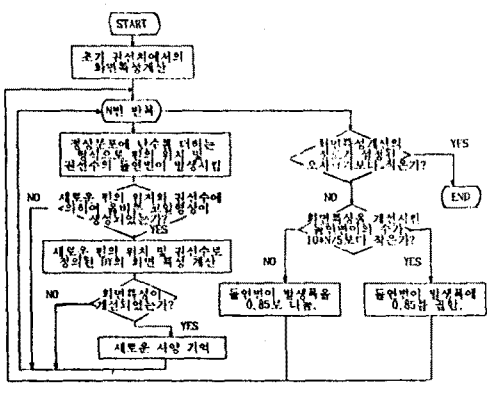
(그림.2) 화면오차 계산의 전체 흐름도



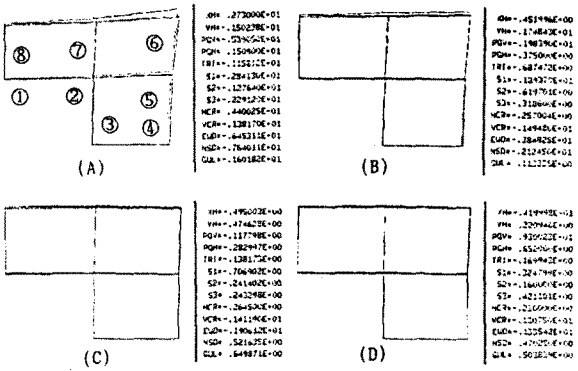
(그림.3) Saddle 코일 형상 생성과정



(그림.4) 측지선(Geodetical Line)



(그림.5) 최적화 프로그램의 흐름도



(그림.6) 화면오차 측정점 및
각 세대별 화면특성 변화

코일	항 목	1	2	3	4
H-코일	권선수	20	20	7	7
	권선각	10	30	45	
V-코일	권선수	49	49	49	
	권선각	25	45		

(도표.1) 시작점에서의 권선사양

코일	항 목	1	2	3	4
H-코일	권선수	32.9	13.4	1.1	6.4
	권선각	6.4	11.7	44.8	
V-코일	권선수	49	49	49	
	권선각	25	45		

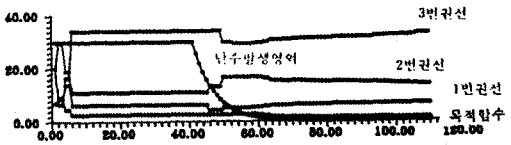
(도표.2) 단계 1 완료 후의 권선사양

코일	항 목	1	2	3	4
H-코일	권선수	32.9	13.4	1.1	6.4
	권선각	6.4	11.7	44.8	
V-코일	권선수	65.2	24.0	57.7	
	권선각	12.4	27.5		

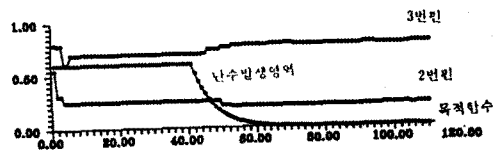
(도표.3) 단계 2 완료 후의 권선사양

코일	항 목	1	2	3	4
H-코일	권선수	29.1	14.0	2.6	8.1
	권선각	7.0	12.0	44.7	
V-코일	권선수	71.3	15.9	59.7	
	권선각	11.3	18.5		

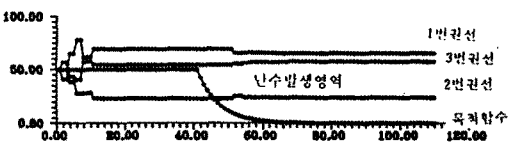
(도표.4) 단계 3 완료 후의 권선사양



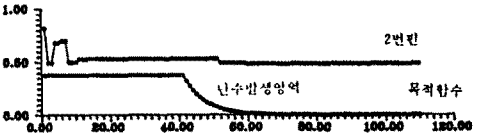
(그림.7) 단계 1에서의 H-코일의 권선수 수렴과정



(그림.8) 단계 1에서의 H-코일의 핀의 위치 수렴과정



(그림.9) 단계 1에서의 H-코일의 권선수 수렴과정



(그림.10) 단계 1에서의 H-코일의 핀의 위치 수렴과정