

배전손실 최소화 문제에 있어서 유전알고리즘의 수속특성에 관한 연구

최대섭\* 이상일\*\* 오금곤\*\* 김창석\*\* 최창주\*\*

An Application of Generic Algorithms to the Distribution System Loss Minimization Re-configuration Problem

(Dai-seub Choi, Sang-il Lee, Geum-kon Oh, Chang-suk Kim Chang-joo Choi)

\* SEOIL COLLEGE DEPT. OF ELECTRICAL ENGINEERING, \*\* CHOSUN UNIVERSITY DEPT. OF ELECTRICAL ENGINEERING

**Abstract** - This paper presents a new method which applies a genetic algorithm(GA) for determining which sectionalizing switch to operate in order to solve the distribution system loss minimization re-configuration problem. The distribution system loss minimization re-configuration problem is in essence a 0-1 planning problem which means that for typical system scales the number of combinations requiring searches becomes extremely large. In order to deal with this problem, a new approach which applies a GA was presented. Briefly, GA are a type of random number search method, however, they incorporate a multi-point search feature. Further, every point is not is not separately and respectively renewed, therefore, if parallel processing is applied, we can expect a fast solution algorithm to result.

1. 서 론

배전손실 최소화를 위한 구간개폐기 개방위치 결정문제는 0-1 계획문제이며, 계통규모에 의해서는 탐색을 필요로 하는 조합의 수가 팽대하게 된다.

이 문제점을 해결하기 위해서는 유전 알고리즘(이하, GA라고 한다.)을 사용하는 방법이 제안되어 있다. GA는 랜수탐색법의 하나인데, 단점탐색이 아닌 다점탐색을 행한다고 하는 특징이 있다. 또, 각 점이 각각 따로따로 변신해 가는 것이 아니라, 생물의 진화과정을 모의하는 점에도 특징이 있고, 병렬연산의 적용이 가능하다면 고속화를 기대할 수 있다.

본 연구에 있어서는, 배전손실 최소화 문제에 GA를 적용하는데 있어서, 계통의 구성상태를 전류가 흐르는 경로(path라고 한다.)로서 포착할 수 있고, 페루프계통 상태와 과부하, 전압강하 등의 체크를 효율적으로 할 수 있는 방법에 대해서 제안한다.

또, GA에 있어서의 모든 패러미터의 설정이 해답의 수속) 특징에 미치는 영향에 대해서, 모델계통을 이용한 시뮬레이션에서 검토한다.

2. 문제의 정식화

배전손실 최소화 문제는 전류용량과 전압강하를 허용범위 내에서 받아들인다는 조건 하에, 배전계통에서의 손실이 최소화되도록 방사장계통을 구성하는 구간개폐기의 개방위치를 결정하는 문제이다. 이 문제는, (1) 각 구간에서의 부하는 이미 알고 있고, 정전류 또한 평등분포다. (2) 부하의 역률은 i, (3) 서로의 인피던스에 의한 전류위상각의 변화는 없다고 하는 가정을 바탕으로 다음과 같이 정식화된다.

(1) 목적함수  
최소화목적함수L은, 배전계통에 있어서 전력손실의 총화이다. 다음 식으로 표시하면

$$\min. Loss = \sum_i \sum_j \sum_k (I_{jt}^2 + I_{jt}I_{kt} + I_{kt}^2/3) r_{jk} x_{ij}$$

(2) 배전선용량제약  
각배전선로에 있어서 최대허용전류를 I<sub>max</sub> 라 한다면, 구간전류J<sub>n</sub>은 이수치 이하가 되지 않은 면 안 된다.

$$I_n = \sum_{j \in I_n} X_{jt} X_{ij} \leq I_{max}$$

(3) 전력공급제약  
각구간의 부하에 대하여 공급지장을 주면 되지 않는다.

$$\sum_{i \in I_n} X_{ij} = 1$$

(4) 전압강하제약  
피-터의 전압강하허용한도를 V<sub>max</sub>라고한다면, 각 구간의 전압강하 V<sub>n</sub>은 이 수치보다 초과하여서는 안된다.

$$V_n = \sum_{i \in I_n} ( \sum_{q \in I_n} u_{qt} x_{iq} ) z_l \leq V_{max}$$

(5) 변압기용량제약  
피-터당 공급가능한 최대용량의 전류환산치를 I<sub>fmax</sub>라고 한다면, 각 구간의 전류의 합계 I<sub>n</sub>은 이 수치를 초과하면 안된다

$$I_n = \sum_{i \in I_r} \sum_{j \in J} I_{it} x_{ij} < I_{fmax}$$

- 단,
- r<sub>j</sub> : 구간 j 의 저항
  - x<sub>ij</sub> : 0, 1변수
  - I<sub>jt</sub> : 구간 j 의 시간대 t에 있어서 부하의 크기
  - I<sub>jt</sub>I<sub>kt</sub> : 구간 j 의 시간대 t에 있어서 통과전류의 크기
  - b<sub>ik</sub> : feeder i의 k번째 감시점의 선로전류용량
  - b : 변압기 r 의 용량
  - z<sub>l</sub> : 구간l의 인피던스
  - u<sub>qt</sub> : u<sub>qt</sub>=I<sub>ut</sub>( q≠l, u<sub>qt</sub>=I<sub>qt</sub>/2(q=1)
  - V<sub>il</sub> : feeder i, 구간l의 전압 강하 허용량
  - J<sub>ik</sub> : feeder i의 k점부터, feeder 맨 끝까지 존재하는

1) 결말이 남, 결말을 지움, 수습함. 수렴함, 모아서 묶음

구간의 첩자집합  
(구간k를 포함한다.)

$I_r$  : 변압기 r에 접속된 feeder의 첩자집합.

$T_{il}$  : feeder i의 처음부터, feeder i에 속하는 구간l까지 도달하는 경로상 구간의 첩자집합

### 3. 유전알고리즘 기초한 배전손실의 최소화

#### 3.1 배전손실 최소화 문제에 적용

앞에서 기술한 것과 같이, 배전손실이 최소화 되도록 방사장계통을 구성하는 개방구간 개폐기 위치를 결정하는 문제를 조합 최적화문제라고 생각하고, GA를 적용한다. GA의 유전자에는, 열린상태의 구간개폐기 번호의 조합이 된다. 스트링의 코딩은 10진수로 한다. 또, 배전손실 최소화의 평가에는, 적용도를 사용한다. 최종적으로는, 가장 적용도가 높은 개체(조합)가, 집단 안에 있어서 다수를 차지하는 것이 기대된다.

#### 3.2 path 탐색

배전계통의 구성은, 구간개폐기 및 개폐기가 없는 구간 접속점 노드(node)로 한다면, 일반적으로 노드

의 연결 그래프에서 표현할 수 있고, 방사장계통을 구성하는데 필요한 개방구간 개폐기 의 수@는,  $b - n + 1$ 이다. 이때, 전류가 흐르는 경로(path)의 수는  $2@$ 가 된다. 이 path는, 각 전원에서 열린 상태의 구간개폐기까지 트리상태로 구성된다. 탐색은, 전원에 가까운 쪽의 노드와 구간에서 우선적으로 진행하고, 전원을 중심으로 방사장 쪽으로 확장되어간다.

우선, 전원노드에 접속하는 모든 구간을 탐색하고, 그 구간 다른 쪽의 노드를 기억해 놓는다. 다음에, 기억되어 있는 이 노드 각각에 대해서 접속하고 있는 모든 구간을 탐색하고, 그 구간 다른 쪽의 노드를 기억하는 것과 같이, 모든 구간이 탐색 될 때까지 이 스텝을 반복한다. 단, 각 path가 열린 루프를 만들어내는지 아닌지를 체크한다.

위와 같이 해서, 각 전원에서 열린 상태의 구간개폐기까지의 path를, 적용도 평가를 하기 전에 미리 구해 놓는다. path를 미리 탐색해 두는 것으로 각 구간에 흐르는 전류와, 전압강하, 소실 등의 계산이 용이하게 된다.

#### 3.3 기본적인 path 탐색 알고리즘

본 연구에서 대상으로 하고 있는 배전계통의 구성은 방사장에 제한되어있고, 페루프를 절대로 포함해서는 안 된다. 그러나 GA의 경우 초기의 개체집합에 있어서 페루프가 없는 것 같은 개체만을 선택한다고 해도, 교차와 돌연변이조작을 고려하면, 페루프를 포함한 단체가 무시할 수 없는 확률로 발생할 것이다.

한 단체에 대한 path 탐색에서는, 계통의 일부가 페루프 상태가 되어있지 않은가 어떤가를 미리 체크하고, 또, 각 path에 포함되는 구간 수를 조사할 필요가 있다. 구체적인 탐색 수순은 다음과 같다. 착안하고 있는 노드에 한 개의 구간을 통해서 접속하고 있는 노드를 접속노드라고 부르기로 한다. 우선, 한 전원에서 시작해서, 탐색

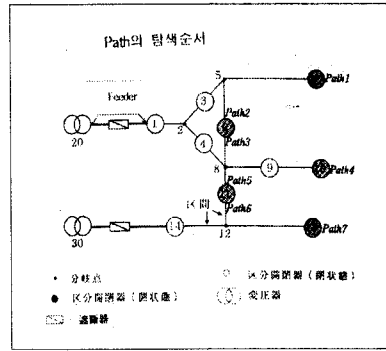


그림1. 배전계통 기본구성

할 수밖에 없는 노드(탐색노드라고 한다.)를 순서대로 탐색해 간다. 이때, 접속노드가 열린 상태의 구간개폐기인지 아닌지 조사하고, 열린 상태로 도달하면, 그 path의 탐색을 종료한다. 접속노드의 수 N에 따라서, 다음의 셋과 같은 상태를 생각할 수 있다.

$N = 0$  : 다른 전원에 도달한 경우에 해당한다. 이 경우는, 페루프 가구성되기 때문에, 그 개체에 대한 탐색을 종료하고, 다른 개체로 옮긴다.

$N = 1$  : 이 경우는, path에 관한 정보에, 착안하고 있는 노드와 접속노드와의 사이 구간의 번호를 추가해서 기억하고, 포함되는 구간 수를 카운트하는 변수를 1만 증가한다. 또 탐색노드목록에 접속노드 번호를 추가해서, 다음 탐색으로 넘어간다.

$N = 2$  : 전원에서 접속노드까지의 path도 N개로 나눌 수 있지만, 분기노드까지는 같은 정보가 들어가기 때문에, 하나의 path에 관한 정보가 구해진 단계에서, 다른 N-1의 path에도 같은 정보를 복사함과 동시에, 해당하는 구간번호를 추가한다. 또, 탐색노드 목록에 N개의 접속노드 번호를 추가한다. 그리고, 이 N개의 path에 대해서, 구간 수 카운트를 1증가해서 다음의 탐색으로 옮긴다.

또, 한번 탐색이 종료한 구간은 탐색필인 것을 기억해 두고, 페루프 체크에 이용한다. 즉, 탐색이 끝난 구간이 다시 나타났을 때에는, 페루프가 발생하고 있는 것이 되기 때문에, 탐색을 종료하고, 다른 개체의 검토에 넘어간다. 앞 절에서 기술한 것과 같이 path의 수가  $2@$ 가 된 시점에서, 그 조합에 관한 path의 탐색을 종료한다.

#### 3.4 계산 알고리즘

GA에서는 보통, 번식, 교차, 돌연변이라 고하는 3개 종류의 유전적인 조작을 사용하고, 다음과 같은 수순으로 진행된다.

(1) 초기집단의 생성 : 보통의 유전자정보를 가진 단체 M개를 생성하고, 초기세대 집단으로 한다.

(2) path의 작성 : 앞 절의 수순에 따라서 path를 작성한다.

(3) 적응도의 평가 : path가 페루프로 되지 않는 단체 i의 적응도  $f_i$ 를, 배전손실  $L_i$ 에 의거하여, 다음 식으로 계산한다. 단, 페루프를 포함하는 단체의 적응도는 0이다.

$$\text{단, } f_i = 1 / (L_i + G_{i1} + G_{i2} + G_{i3})$$

$G_{i1}$  : 선로용량제약이탈에대한페널티항

$G_{i2}$  : 변압기용량제약이탈에대한페널티

$G_{i3}$  : 전압강하제약이탈에대한페널티

(4) 번식 : 적응도  $f_i$ 의 개체는, 다음 식에서 주어진 p 개를 차세대의 개체로서 남긴다.

즉, 적응도에 비례한 확률이며, 오랜 개체와 새로운 개체의 교체를 교체한다.

(5) 종료조건이 충족되면 종료. 그렇지 않으면, 수순(6)으로 진행한다.

(6) 교차 : 교차율에 따라서 선택된 개체 중에서 2개체를 그룹으로 뽑고, 각 개체의 유전자를 도중에서 교환하는 유전적 작용을 적용해서, 새로운 유전자를 생성한다.

(7) 돌연변이 : 어떤 확률로 선택된 스트링 임의의 부위를 무작위로 치환함으로써 실행된다. 단, 조작후의 계통이 페루프를 생성하지 않게 하기 위해서, 치환할 후보를 미리 한정한다.

(8) 수순 (2)로 돌아간다.

종료조건으로는, 보다 적용된 개체가 다수를 차지하는지, 미리 설정된 세대에 도달한 경우를 가지고 종료하기로 한다. 최종적으로는 집단 안에서 가장 개체수가 많은 유전자를 해답으로 채용한다.

역시 path를 탐색, 구성할 때, 동시에 전류를 계산하는 것으로, 보다 효율적인 처리가 가능하게 되어있다.

#### 4. 시뮬레이션 결과

모델계통으로서, 그림 1에서 보여주는 선로 수 12, 변압수 4, 구간개폐기 수 37로 구성된 배전계통을 상정하고, GA를 적용한다.

개체수 100, 최종세대수 1000으로, 시뮬레이션을 한다. GA의 패러미터로서는 교차율 0.1~0.7, 돌연변이율 0.01~

0.06의 범위에서 변화시키고, 각각의 영향을 조사했다. 시험적으로 계산한 결과를 표1 ~ 표4에서 보여준다. 표1은, 어떤 교차율과 돌연변이율의 조합에 있어서, 동일개체가 전체의 20%를 처음으로 넘었을 때의 세대수를 나타내고 있고, 「개체수」란은 개체수가 가장 많은 개체로 본 결과이며, 「적응도」란은 적응도가 가장 높은 단체에서 본 결과이다. 따라서, 양자가 일치하는 것이 기대되는 조건이지만, 반드시 수속상태가 되지 않으면 일치하지 않는다고는 할 수 없다. 표에서, \*표시가 붙어있는 값은, 최종치에는 도달하지 못한 것을 나타내고 있고, 특히, 교차율이 작은 경우에는 그 경향이 현저하다는 것을 알 수 있다. 표2는 다름없이, 30%일 때의 결과이다. 그 경우에도, 최종치에 도달하지 않은 조합이 존재하고 있다. 표3, 표4는 똑같이, 40% 및 50%일 때의 결과로, 모두 최종치에 도달해 있다. 40%에서 보면 교차율 0.4, 돌연변이율 0.03의 결과가, 21세대에서 수속되어 가장 좋은 것 같지만, 103세대가 되어, 급격하게 악화된다. 게다가 50%에서 보면, 이 조합은 수속까지는 69세대를 요하고, 반드시 좋은 결과라고는 말할 수 없다. 50%에서 판단한다면, 교차율 0.1, 돌연변이율 0.05의 조합이 가장 좋은 결과로 되어있는데, 교차율 0.7, 돌연변이율 0.06근처가 비교적 좋은 결과를 주고 있다. 이와 같이, 교차율이 작은 경우는, 최적치에 도달하지 않은 단계로 수속과 판단되는 경우가 많다.

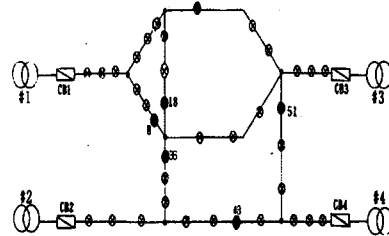


그림 2. 배전계통모델

표1 동일개체가 20%를 넘었을 때의 세대 수

	0.03		0.04		0.05		0.06	
	개체수	적응도	개체수	적응도	개체수	적응도	개체수	적응도
0.1	16	16	18*	18*	11*	11*	24*	24*
0.2	17	17	16	16	12	12	14*	18
0.3	13*	19	23	23	13	13	11	11
0.4	10*	15	19	19	13*	13*	14*	17
0.5	32	32	15*	19	22	22	18	18
0.6	17	17	14	14	30	30	21	21
0.7	17	17.	31	31	14	14	21	21

주) \* 표시는 최종 해답과는 다른 해답이 얻어진 것

표2 동일개체가 30%를 넘었을 때의 세대수

돌연변이율 교차율	0.03		0.04		0.05		0.06	
	개체 수	적용 도	개체 수	적용 도	개체 수	적용 도	개체 수	적용 도
0.1	24	24	41	41	20	20	35	35
0.2	21	21	22	22	16	16	23	23
0.3	15*	23	28	28	20*	24	25	25
0.4	18	18	29	29	17*	29	23	23
0.5	63*	64	23*	24	26	26	30	30
0.6	43	43	29	29	36	36	29	29
0.7	43	43	37	37	23	23	29	29

주) \* 표시는 최종 해답과는 다른 해답이 얻어진 것

표3 동일개체가 40%를 넘었을 때의 세대수

돌연변이율 교차율	0.03		0.04		0.05		0.06	
	개체 수	적용 도	개체 수	적용 도	개체 수	적용 도	개체 수	적용 도
0.1	33	33	52	52	29	29	36	36
0.2	34	34	52	52	33	33	35	35
0.3	49	49	42	42	27	27	38	38
0.4	21	21	41	41	39	39	35	35
0.5	103	103	43	43	36	36	52	52
0.6	83	83	58	58	50	50	35	35
0.7	83	83	66	66	33	33	40	40

표4 동일개체가 50%를 넘었을 때의 세대수

돌연변이율 교차율	0.03		0.04		0.05		0.06	
	개체 수	적용 도	개체 수	적용 도	개체 수	적용 도	개체 수	적용 도
0.1	60	60	55	55	35	35	45	45
0.2	73	73	101	101	60	60	47	47
0.3	59	59	103	103	44	44	45	45
0.4	69	69	62	62	70	70	106	106
0.5	153	153	61	61	65	65	59	59
0.6	94	94	101	101	70	70	40	40
0.7	94	94	90	90	43	43	42	42

이상의 결과에서 알 수 있는 것과 같이 개체수, 돌연변이율, 교차율 등 여러가지 조절 패러미터를 잘 선택하지 않으면 수속이 늦어진다. 말할 것도 없이 검토가 필요할 것이다.

상기의 모델에 있어서, 500세대까지 계산에 필요한 시간은 62MIPS, 13MFLOPS의 워크스테이션에서 약 5분이다.

## 5. 결 론

배전손실 최소화 문제에 있어서 유전 알고리즘의 적용에 관하여, path를 미리 탐색하는 것 보다, 페루프 계통 상태와 과부하, 전압강하 등의 체크를 효율적으로 행하는 방법에 대해서 제안한다. 또 유전 알고리즘에 있어서 임의의 패러미터인 교차율, 돌연변이율로 해답의 수속특징의 관계에 관한 검토를 행하고, 적절한 선택의 중요성을 보여주었다.

이 시간 이후 여러가지 계통모델에 있어서, 보다 상세한 검토를 하고, 최적의 패러미터 설정 방법을 확립해 가려고 한다. 또, GA에 있어서의 유전자조작방법의 개선을 시험해 볼 예정이다.

## (참 고 문 헌)

[1] K. Nara, et al. : "Implementation of Genetic Algorithm for Distribution Systems Loss Minimum Re-configuration". IEEE 1991 PES Summer Meeting 91 SM 467-1 PWRS (1991)