

# 유전알고리즘을 이용한 정전력부하를 갖는 배전계통 선로의 재구성에 관한 연구

\*문경준, 김형수, 황기현, 이화석, 박준호  
부산대학교 공과대학 전기공학과

A study on distribution system reconfiguration  
with constant power load using Genetic algorithms

\*K. J. Mun, H. S. Kim, G. H. Hwang, H. S. Lee, J. H. Park  
Dept. of Electrical Engineering, Pusan National University

Abstract : This paper presents an optimization technique using genetic algorithms(GA) for loss minimization in the distribution network reconfiguration. Determining switch position to be opened for loss minimization in the radial distribution system is a discrete optimization problem.

GA is appropriate to solve the multivariable optimization problem and it uses population, not a solution. For this reason, GA is attractive to solve this problem.

In this paper, we aimed at finding appropriate open sectionalizing switch position using GA, which can lead to minimum transmission losses.

## 1. 서론

배전 계통은 사고, 부하전환, 혹은 보수 등의 여러 가지 이유로 계속적으로 스위치 개폐에 의해 구조가 변화하는 동적인 계통이다. 과거에는 계통의 운전상태를 허용범위 내에서 유지하는 데에 초점을 맞추어 왔으나 근래에 들어 경제성이 강조됨에 따라 배전계통의 손실을 최소화하려는 인식이 증대되어 활발한 연구가 진행되고 있다[1~4]. 방사상 배전 계통(radial distribution system)에서 손실이 최소가 되도록 어느 자동구간 개폐기(sectionalizing switch)를 개방해야 할지를 결정하는 문제는 이산 최적화 문제로서 생각할 수 있다. 이때 손실 최소화 및 급전선(feeder)의 과부하 해소 등의 목적을 달성하기 위해 계통의 재구성성이 필요하다.

배전계통에서 선로의 손실이 최소가 되도록 개방되어야 할 개폐기를 결정하는 방법에 대해 많은 방법[1-4]들이 제안되었으나 계산량이 너무 많고 국부최소값에 빠지기 쉬운 단점을 가지고 있다.

최근에 자연의 유전학과 진화이론을 모의한 화률포진인 최적탐색방법인 진화 연산(evolutionary computation : EC)[5]이 고전적 방법으로는 최적화하기 어려운 목적함수의 최적화, 신경회로망의 학습, 퍼지 멤버십함수의 튜닝, 기계학습, 시스템 식별 및 제어[6-10]등에 응용되고 있다. 또한 진화이론의 수학적 기초, 종래의 방법과의 결합, 다양한 진화모델의 컴퓨터 시뮬레이션 도입 등에 관한 광범위한 연구가 진행되고 있다. 진화 알고리즘의 장점은 복잡한 과정없이 간단하게 주어진 문제를 알고리즘으로 구현할 수 있으며 제약조건이 추가되는 경우에도 소프트웨어의 큰 변화없이 적용가능하며 한 점에서 해공간을 탐색하지 않고 여러 점에서 동시에 해공간을 탐색하므로 최적해를 찾을 가능성이 높다. 또한 목적함수의 미분가능, 연속성에 관계없이 최적해를 구할 수 있다.

본 연구에서는 손실이 최소화 되도록 배전계통의 개방 개폐기의 위치를 결정하기 위해 진화 연산의 한 분야인 유전 알고리즘

(genetic algorithms : GA)을 이용하는 방법을 제안하였고 간단한 예제 계통에서 유전 알고리즘을 이용한 배전계통 재구성가능함을 시뮬레이션을 통하여 입증하였다.

## 2. 유전 알고리즘

자연의 유전학 및 자연도태의 원리에 근거한 유전알고리즘은 화률포진 방법과 개체간의 체계적인 정보교환을 통해 탐색공간을 조사해나감으로써 주위환경에 알맞은 가장 적절한 해를 얻고자 하는 최적화 알고리즘이며 다변수와 제약조건이 많은 복잡한 비선형 최적화문제에 특히 유용하다.

GA의 가장 단순한 형태인 SGA(simple genetic algorithms)를 이용하여 최적해를 구하는 과정은 다음과 같다.

- a)부호화(coding) 및 초기화 : 주어진 문제의 제약조건을 고려하여 랜덤하게 N개의 해, 즉 스트링을 생성하는 과정이며 보통 2진 코드를 이용하여 초기 해집단을 생성한다.
- b)평가(evaluation) : 각 스트링을 디코딩하여 주어진 목적함수에 따라 적합도를 계산한다.
- c)복제(reproduction) : 자연생태계의 적자생존의 원리를 이용한 것으로 높은 적합도를 가진 염색체일수록 다음 세대에 복제될 확률이 높으며, 여러가지 방법이 있지만 보통 roulette wheel selection 방법을 사용한다.
- d)교차(crossover) 및 돌연변이(mutation) : 복제한 후 일정한 확률을 가지고 스트링을 변화시켜 새로운 해집단을 생성하는 과정이며 보통 교차발생확률은 0.6~0.95 범위에서, 돌연변이 발생확률은 0.001~0.01범위에서 설정한다.

SGA를 이용한 최적화 문제에서 해집단 크기, 염색체 길이, 적합도, 교차 및 돌연변이 발생확률설정 등이 중요한 과정이 된다. 또한, SGA는 전역적 탐색수행등 많은 장점을 가지고 있지만 실행시간이 길고, 최적점 근처에서 잘 수렴하지 않는 경우도 있다. 이에 따라 SGA를 개선하기 위한 많은 방법들이 연구되고 있다 [5-10].

## 3. 손실최소화를 위한 배전계통 재구성 문제 및 유전 알고리즘의 적용법

### 3.1 배전계통 재구성 문제

손실 최소화를 위한 배전계통 재구성 문제는 전류용량 및 전압강하 제약조건을 만족하면서 손실이 최소가 되도록 개방되어야 할 자동구간 개폐기의 위치를 결정하는 문제이다. 이때 목적함수는 선로 손실의 합으로 표현할 수 있으며 다음 식과 같다.

$$\min \sum i^2 R = \min \sum R * (P^2 + Q^2) / V^2 \quad (1)$$

여기서, i : 아크에 흐르는 전류

- R : 아크의 저항
- P : 해당 아크에 공급되는 유효전력
- Q : 해당 아크에 공급되는 무효전력

개방된 스위치에 의해 구성되는 선로에서 목적함수의 항목인 손실을 계산하기 위해서는 선로에 대한 조류계산을 수행해야 한다. 이때 계통부하는 일반적으로 일정 전력, 일정 임피던스, 일정 전류 및 이들의 선형결합으로 모델링할 수 있다. 먼저 아래의 그림 1과 같은 한 개의 간선만을 갖는 배전계통에서 전류부하에 대해 조류계산을 수행하기 위한 마디조류 방정식은 다음과 같다.

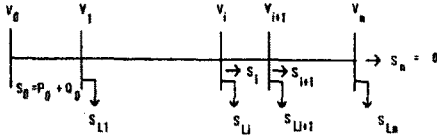


그림 1 한 개의 간선으로 된 배전계통

① 순방향(forward)으로 연산하는 경우

$$\begin{aligned}
 P_{i+1} &= P_i - r_i(P_i^2 + Q_i^2)/V_i^2 - P_{Li+1} \\
 Q_{i+1} &= Q_i - x_i(P_i^2 + Q_i^2)/V_i^2 - Q_{Li+1} \\
 V_{i+1}^2 &= V_i^2 - 2(r_i P_i + x_i Q_i) \\
 &\quad + (r_i^2 + x_i^2)(P_i^2 + Q_i^2)/V_i^2
 \end{aligned} \tag{2}$$

② 역방향(backward)으로 연산하는 경우

$$\begin{aligned}
 P_{i-1} &= P_i + r_i(P_i^2 + Q_i^2)/V_i^2 + P_{Li} \\
 Q_{i-1} &= Q_i + x_i(P_i^2 + Q_i^2)/V_i^2 + Q_{Li} \\
 V_{i-1}^2 &= V_i^2 + 2(r_i P_i' + x_i Q_i') \\
 &\quad + (r_i^2 + x_i^2)(P_i^2 + Q_i^2)/V_i^2
 \end{aligned} \tag{3}$$

단  $P_i' = P_i + P_{Li}$ ,  $Q_i' = Q_i + Q_{Li}$

한편 손실최소화 문제에 있어서 고려한 제약조건으로는 도체 용량 제약조건, 변압기 용량 제약조건, 전압강하 제약조건을 고려하였다.

이때, 전 부하는 정전없이 공급되어야 하며 각 부하는 하나의 급전선에만 연결되도록 하였다.

### 3. 2 배전계통 재구성의 손실 최소화화를 위한 유전알고리즘의 적용법

전절에서 기술한 바와 같이 손실의 최소화화를 위한 배전계통 재구성 문제는 제약조건도 많고 계산량도 많은 복잡한 최적화 문제이다. 그러나 유전알고리즘은 단지 어떤 해에 대한 적합도만 계산하면 확률적인 방법으로 최적해, 즉 손실이 최소가 되는 재구성 방법을 구할 수 있다. 또한 적합도에 제약조건을 포함시킴으로써 문제해결시 여러 가지 제약조건을 고려하는 것이 용이하다는 장점을 가지고 있다. 여기서 스트링은 문제의 해인 개폐기의 위치 및 그 개폐기가 계통의 어느 부분에 위치하는가를 나타내는 항으로 구성할 수 있다. 그림 2에서 보는 것처럼 두 절점(node) 혹은 한 절점과 개폐기 사이의 영역을 아크라 한다. 그리고 주어진 계통도에서의 가지(branch)의 수를 b, 절점의 수(접지점을 포함)를 n이라 하면 정전구간도 없고 방사상이 되도록 하는 개방되어야 할 개폐기의 수는  $b-n+1$ 과 같다. 즉, 개방되어야 할 개폐기 수가 정해진다. 그러므로 아크와 각 아크에서의 개폐기를 이용하여 배전계통 손실 최소화 문제를 위한 스트링을 구성하면 그림 2와 같다.

arc 1	arc 2	...	arc n-1	arc n	arc 1's sectionalizing switch position	arc 2's sectionalizing switch position	...	arc n's sectionalizing switch position
-------	-------	-----	---------	-------	--	--	-----	--

arc 1	arc 2	...	arc n-1	arc n	arc 1's sectionalizing switch position	arc 2's sectionalizing switch position	...	arc n's sectionalizing switch position
-------	-------	-----	---------	-------	--	--	-----	--

arc 1	arc 2	...	arc n-1	arc n	arc 1's sectionalizing switch position	arc 2's sectionalizing switch position	...	arc n's sectionalizing switch position
-------	-------	-----	---------	-------	--	--	-----	--

그림 2 해집단의 구성

본 연구에서는 전 부하에 정전없이 전력이 공급되어야 하고 또한 각 부하는 하나의 급전선으로부터 전력이 공급되는 것으로 가정하였다. 선로 말단까지의 전압강하 제약조건과 급전선에서 공급해주어야 하는 전류 제약조건을 만족하여야 한다. 따라서, 각 스트링을 평가할때 위의 조건을 만족하도록 적합도를 다음과 같이 선정할 수 있다.

$$\text{fitness} = A/(B \sum \text{loss} + \sum C_i \text{constraint}) \tag{4}$$

여기서 A, B, C<sub>i</sub>는 가중계수이다.

이때 고려한 제약조건으로는 도체용량 제약조건, 변압기 용량 제약조건, 전압강하 제약조건이며 각각 다음과 같다.

①도체용량 제약조건 :  $\max(\sum I_k x_{ij} - b_{ik}, 0)$

②변압기 용량 제약조건 :  $\max(\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} I_{ij} X_{ij} - b_r, 0)$

③전압강하 제약조건 :  $\max(\sum_{m \in M} (\sum_{q \in N} V_{mq} x_{iq}) Z_m - V_{ll}, 0)$

을 고려하였다.

본 논문에서 제시한 배전 계통 손실 최소화 알고리즘을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 초기 해집단을 random하게 생성.
- (2) 각 해집단에 대해 해의 사용가능성 여부를 평가.
- (3) 그후 사용가능한 해에 대해 손실을 평가.
- (4) 사용가능한 해에 대해 말단까지의 전압강하, 급전선의 전류용량을 고려한 적합도를 평가.
- (5) 선택 : 적합도에 따라 다음세대에서 사용될 해집단을 선별한다. 이때 적합도가 가장 큰 해는 다음 세대의 해집단에 반드시 복제되어야 하는 elitism을 사용함.
- (6) 교차, 돌연변이 연산자를 수행함.
- (7) 만족할만한 해를 구할때까지 (2)-(6) 과정을 반복.

### 4. 사례 연구

본 논문에서 제시한 방법의 유용성을 입증하기 위하여 그림 3와 같은 간단한 예제 계통에 대해 제안한 방법을 적용하였다. 단, 여기서 각 부하는 일정전력부하(constant power load)라 가정하였다. 이때 시뮬레이션에 사용된 계수는 표 1과 같다.

표 1 시뮬레이션 계수

string 길이	해집단의 크기	교차 확률	돌연변이 확률
12 bit	100	0.8	0.01

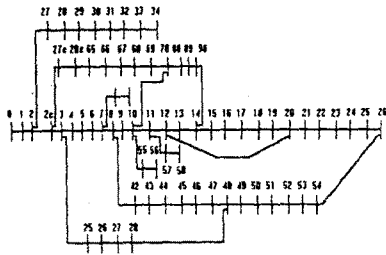


그림 3 예제 계통

그림 4에서는 유전알고리즘의 매세대에서 구한 최소 손실을 나타낸다.

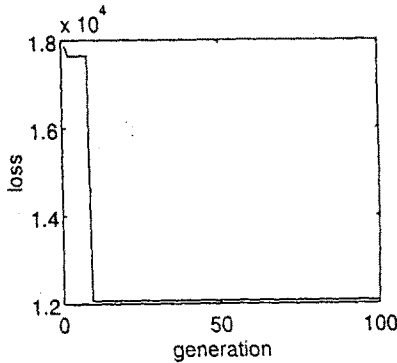


그림 4 매세대에서의 최소 손실

이때 각 세대당 최대 적합도를 그림 5에 나타내었다.

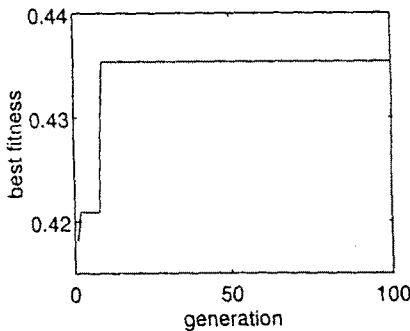


그림 5 최대 적합도

또한 최종세대에서의 선로구성을 그림 6에 나타내었다.

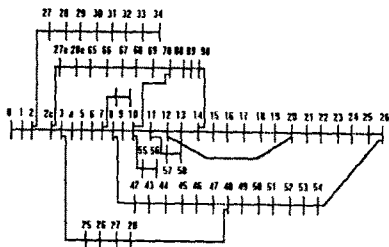


그림 6 선로 구성도

## 5. 결론

본 연구에서는 손실최소화를 위한 배전 계통 재구성 문제에 다변수 최적화 문제에서 전역최소값을 찾아낼 수 있는 유전알고리즘을 적용하였다. 예제 계통에 제안한 방법을 적용해본 결과 선로에서의 손실이 최소가 되도록 개방되어야 할 자동구간 개폐기의 위치를 결정할 수 있었다.

향후로는 조상기가 설치된 선로에 대해서 선로 손실을 최소화 하는 방법과 부하 변동시 또는 선로 고장시에도 정전구간 및 손실이 최소가 되는 방법에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## 6. 참고문헌

- [1] Chen-Ching Lin, S. J. Lee, Khoi Vu, " Loss Minimization of Distribution feeders : Optimality and Algorithms", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 4, No. 2, pp. 1281-1290, April, 1989
- [2] Mesat E. Baran, Felix F. Wu, " Network Reconfiguration in Distribution Systems For Loss Reduction and Load Balancing", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 4, No. 2, pp. 1401-1407, April, 1989
- [3] K. Aoki, T. Satoh, M. Itoh, H. Kuwabara, M. Kanezashi, "Voltage drop Constrained Restoration of Supply by Switch Operation in Distribution Systems", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 3, No. 3, pp. 1267-1274, 1988
- [4] David B. Fogels, " An Introduction to Simulated Evolutionary Optimization ", IEEE Trans. on Neural Network, Vol. 5, No. 1, pp. 3-14, Jan., 1994
- [5] Hsiao-Dong Chiang, Rene Jean - Jamean, " Optimal Network Reconfigurations in Distribution Systems : Part 2 : Solution Algorithms and Numerical Results", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 5, No 3, July, 1990
- [6] David E. Goldberg, "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning", Addison-Wesley, 1989
- [7] J. A. Miller, W. D. Potter, R. V. Gandham, and C. N. Lapena, "An Evaluation of Local Improvement Operators for Genetic Algorithms", IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 23, No. 5, pp. 1340-1351, Sep./Oct. 1993
- [8] V. Nissen, "Solving the Quadratic Assignment Problem with Clues from Nature", IEEE Trans. on Neural Network, Vol. 5, No. 1, pp. 66-72, Jan., 1994
- [9] X. Qi and F. Palmieri, "Theoretical Analysis of Evolutionary Algorithms with an Infinite Population Size in Continuous Space", IEEE Trans. on Neural Network, Vol. 5, No. 1, Jan., pp. 120-129, 1994
- [10] T. Bäck, "Selective Pressure in Evolutionary Algorithms: A Characterization of Selection Mechanisms", Proc. of the First IEEE Conference on Evolutionary Computation, Vol. 1, pp. 57-62, 1994