

배전계통 사고복구 문제에 개선된 유전 알고리즘 적용

이 정 관^{*} · 문 경 준^{**} · 황 기 현^{**} · 서 정 일^{**} · 이 화 석^{***} · 박 준 호^{****}

* 한국 전력 공사 ** 부산대학교 전기공학과 박사과정 *** 거제대학 전기과 전임강사**** 부산대학교 전기공학과 교수

An Application of Enhanced Genetic Algorithm to solve the Distribution System Restoration Problem

Jung Kwan Lee^{*} · Kyeong Jun Mun^{**} · Gi-Hyun Hwang^{**} · Jeong-il Seo^{**} · H. S. Lee^{***} · J. H. Park^{****}

Department of Electrical Engineering, Pusan National Univ. Pusan, 609-735, Korea

Abstract - This paper proposes an optimization technique using Genetic Algorithm (GA) for service restoration in the distribution system. Restoration planning problem can be treated as a combinatorial optimization problem. So GA is appropriate to solve the service restoration problem in the distribution network. But searching capabilities of the GA can be enhanced by developing relevant repairing operation and modifying GA operations.

In this paper, we aimed at finding appropriate open sectionalizing switch position for the restoration of distribution networks after disturbances using enhanced GA with repairing operation and modified mutation. Simulation results show that proposed method found the open sectionalizing switches with less out of service area and minimize transmission line losses and voltage drop.

본 논문에서는 탐색성능을 개선한 유전알고리즘을 이용한 배전 계통 사고복구 알고리즘을 제안하였다. 즉, 개선된 유전 알고리즘을 이용하여 배전계통에서 사고가 발생한 경우, 여러 제약조건을 만족하면서 고장구간을 건전 계통과 분리하고 배전 계통의 재구성을 통하여 부하측 정전구간을 최소화하였다. 제안한 방법의 유용성을 검토하기 위하여 가지교환방법[2]을 이용한 예계통에 제안한 방법을 적용해 본 결과, 정전구간 및 선로손실을 최소화하면서 여러 제약조건을 만족하는 해를 구할 수 있었다

2. 배전 계통 사고복구 문제

배전 계통에서의 사고복구 문제는 배전 계통에서 사고 발생 구간을 확인한 후 사고발생구간 양단의 개폐기를 조작하여 사고구간을 건전구간과 분리하고, 배전 계통의 방사상 구성에 따라 발생하는 사고구간 이후의 건전 구간 정전구역에 대한 복구문제이다. 이러한 배전계통 사고복구 문제에서의 목적함수는 식 (1)과 같이 선로의 손실 및 정전구간을 최소화하도록 설정하였으며, 제약조건으로는 정전구간 발생여부, 선로 전류 제약조건 및 전압강하 제약조건을 고려하여 식 (2)~(4)에 나타내었다

1. 서 론

배전계통은 수용가와 직결되어 전력을 공급하는 시스템으로서 그 구조가 매우 복잡하며 고장발생 빈도가 높고, 부하전환 및 유지보수 업무 등 여러 가지 이유로 스위치의 개폐상태를 수시로 변경시켜야 하는 동적인 계통이다. 따라서, 배전계통의 시설 및 운용면에서는 배전계통 각 계층간의 자동화 및 상호연계에 의해 정전횟수 및 정전시간 감소, 선로손실 및 전압강하를 최소화 하도록 배전계통을 효율적으로 운용할 필요가 있다. 일반적으로 배전계통에서는 계통 사고나 정전 작업시 광범위한 정전구역이 발생하면 정전구간을 제외한 건전구간을 연계된 타 급전선(feeder)으로 부하를 절체하여 정전구간을 최소화하도록 운용하고 있으며, 이러한 문제는 계통의 구성상태와 연계 선로의 예비력, 손실의 최소화, 개폐기 조작회수의 최소화, 보호기기의 협조조건, 전압강하 제약조건 등 여러 가지 제약조건이 수반된다.

이러한 종래의 배전계통 사고복구 방법에는 수계산과 운전원의 경험적 판단으로 수행하는 경험적 방법, 가지교환 방법(branch exchange method), 전문가 시스템(expert system), 신경회로망(neural network), 퍼지 시스템(fuzzy system)을 이용한 방법[1-5]등이 여러 연구자들에 의해 제안되었으나, 이러한 방법들은 계산과정은 다소 간단하지만 계산 결과가 근사적이거나 국부 최소값일 가능성이 크다는 단점을 가진다. 그리고 최근에는 자연의 진화과정을 모의한 확률적인 최적화 탐색 방법인 유전 알고리즘[6-8]을 전력계통의 배전계통 재구성 문제, 기동정지계획, 경제급전문제 등에 적용하여 만족할만한 결과를 보여 주었다.

• 목적함수

$$J = \alpha \sum_{i=0}^n r_i \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} + \beta \sum (1 - x_{ij}) \quad (1)$$

여기서, P_i, Q_i : 구간 i에서의 유효 및 무효 전력

r_i : 구간 i에서의 선로저항

V_i : i번째 부하단의 전압

x_{ij} : 급전선 i와 부하 j와의 연결여부

α, β : 가중치

• 제약조건

- 정전구간 발생여부 : 식 (2)에서 구간 j가 급전선 i와 연결된 경우에는 $x_{ij} = 1$, 그렇지 않으면 x_{ij} 는 $x_{ij} = 0$ 으로 정전구간 발생여부를 판단하였다.

$$\sum x_{ij} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

여기서, x_{ij} : 구간 j에 급전선 i의 연결여부

- 선로 전류 제약조건

$$i_k \leq I_{lim}, \quad k = 0, 1, \dots, n \quad (3)$$

여기서, i_k : k번째 지선의 유입전류

I_{lim} : 도체의 허용 전류용량

- 전압강하 제약조건

$$V_k \geq V_{lim}, k = 0, 1, \dots, n \quad (4)$$

여기서, V_k : k번째 부하단의 전압

V_{lim} : 부하단의 허용전압 하한치

3. 개선된 유전알고리즘을 이용한 배전계통 운용

본 논문에서는 배전계통 사고복구 문제에 유전알고리즘을 이용하였으며, 배전계통 사고복구 문제에 적합한 해집단 구성 방법과 유전 알고리즘의 탐색성능을 개선하기 위한 수정 연산자(repair operator) 및 변경된 돌연변이 방법을 제안하였다.

3.1 해집단 구성

배전계통에서 사고가 발생한 경우에는 사고발생 구간을 확인한 후 사고 발생구간 양단의 자동화 개폐기를 조작하여 사고 구간을 분리하고 사고구간 이후의 건전 정전구간 부하를 최적으로 재구성해야 한다. 이러한 조건을 만족하기 위해 개방할 구간분리 스위치의 수는 선택된 구간 분리 스위치를 개방한 후 계통상태가 정전 구간이 없거나 최소화되면서 페루프를 형성하지 않고 방사상이 되도록 설정하여야 한다.

본 논문에서는 고장발생 후 형성되는 페루프의 개수를 파악한 후 그 경로상에서 개방될 구간분리 스위치의 위치를 유전알고리즘으로 결정하였다.

string 1	SW ₁₁	SW ₁₂	...	SW _{1n}
string 2	SW ₂₁	SW ₂₂	...	SW _{2n}
...
string p	SW _{p1}	SW _{p2}	...	SW _{pn}

여기서 SW_{ij} : i번째 스트링의 j번째 페루프에서 개방될 구간 분리 스위치의 위치
n : 배전계통에서의 페루프의 수
p : 해집단의 크기

그림 1 해집단의 구조

3.2 수정 연산자(repair operator)

배전계통 사고복구 문제에 유전 알고리즘의 교배 및 돌연변이가 연산을 적용하면 제약조건을 만족하지 않는 해가 발생할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 제약조건을 만족하지 않는 해를 제약조건을 만족하는 해로 변경시키는 기능을 가지는 수정 연산자를 제안하였다. 교배 연산자를 적용한 이후에 발생한 스트링이 루프를 형성하거나 정전 구간이 발생할 경우에는 위의 해집단 구조에서 각 루프에 대해 개방될 구간분리 스위치의 위치를 현재 가지

(branch)에서 이웃한 가지로 변경시킴으로써 제약조건을 만족하도록 스트링을 수정하는 수정 연산자를 제안하였다.

3.3 변경된 돌연변이 방법

일반적으로 돌연변이는 스트링의 각 비트를 일정한 확률에 따라 변경시키는 방법이다. 그러나 배전계통 사고복구 문제에 이러한 돌연변이 방법을 적용한 경우에는 제약조건을 만족하지 않는 스트링이 발생하며 유전 알고리즘의 최적해 탐색성능을 저하시킨다. 따라서 본 논문에서는 스트링의 개방된 구간분리 스위치의 위치가 현재 개방위치의 이웃한 구간분리 스위치로 이동하도록 변경된 돌연변이 방법을 적용하였다. 따라서 돌연변이 연산 이후에도 방사상 구성 제약조건을 만족하며 정전구간이 발생하지 않는 해를 발생시키므로 기존의 방법에 비해 배전계통 운용문제에 대한 최적해 탐색속도를 향상시켰다.

3.4 적합도 함수

각 스트링을 평가하기 위해서 사용된 적합도 함수는 배전 계통의 제약조건인 정전구간 발생여부, 선로의 허용전류 및 전압제약조건을 만족하면서 선로손실 및 정전구간을 최소화하도록 식 (5)와 같이 선정하였다.

$$fitness = \frac{A}{BP_{loss} + C \sum (1 - x_{ij}) + \sum_{i=1}^n D_i \text{Constraint}_i} \quad (5)$$

여기서, A, B, C, D_i : 가중계수

4. 사례연구

제안한 방법의 유용성을 검토하기 위하여 참고문헌[2]에서 적용한 예제계통에 대해 제안한 방법과 성능을 비교하였다. 급전선의 전압은 23[kV], 기준용량은 100[MVA], 총 13개의 일정전력부하, 6개의 가지와 4개의 절점점을 가지는 예제계통을 그림 2에 나타내었다. 그림 6에서 보는 것처럼 3개의 폐경로를 형성하므로 개방하여야 할 스위치의 수는 3개가 된다. 예제 계통에 적용한 유전 알고리즘의 시뮬레이션 계수는 표 1과 같다. 여기서, 사용한 제약조건으로는 말단부하의 최대 전압강하가 0.1[p.u]이하, 급전선의 전류 공급량이 0.8[p.u]이하가 되도록 설정하였다.

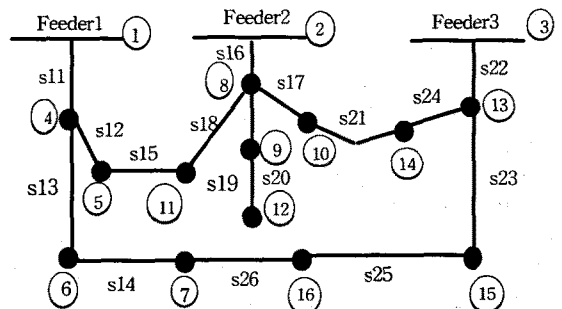


그림 2 예제 계통

표 1 유전알고리즘에 사용한 시물레이션 계수

해집단 갯수	10
스트링 길이	15 bits
교배 확률	0.90
돌연변이 확률	0.05
세대수	50

예제계통에 대해 선로의 s16 구간에서 사고가 발생한 경우, 개선된 유전 알고리즘을 적용한 경우와 일반적인 유전 알고리즘을 적용하여 매 세대마다 구한 최적해의 최대 적합도 및 선로 손실을 그림 3, 그림 4에 각각 비교하여 나타내었다. 결과적으로 제안한 방법에 의해 구한 사고복구 이후의 선로손실은 0.0068[pu]이며 고장구간을 제거하고 고장구간 이후의 건전구간을 복구하며 개선된 유전 알고리즘이 빨리 최적해로 수렴함을 알 수 있다. 유전 알고리즘에 의해 구한 최종 계통도는 그림 5에 나타내었다.

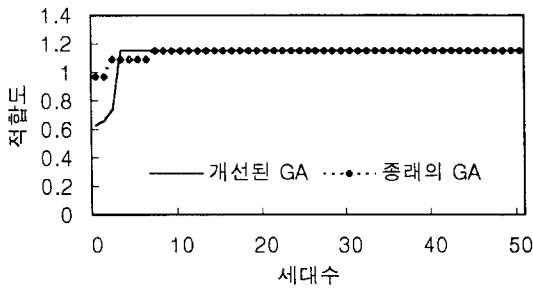


그림 3 매 세대에서의 최대 적합도

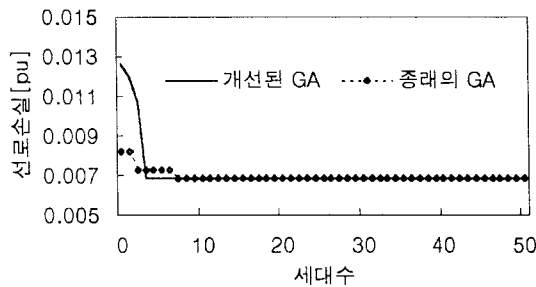


그림 4 매 세대에서의 최적해의 손실

6. 결 론

본 논문에서는 배전 계통에서의 사고복구 문제에 전역해 탐색능력을 가진 유전알고리즘을 적용하였다. 이 경우 유전알고리즘의 수정 연산자 및 변경된 돌연변이 방법을 제한함으로써 기존의 유전 알고리즘에 비해 최적해로 더 빨리 수렴함을 알 수 있었다.

제한한 방법의 유용성을 검토하기 위하여 가지교환방법[2]을 이용한 예제계통에 제안한 방법을 적용해 본 결과, 선로에서 사고가 발생한 경우에는 사고구간 이후의 건전구간에 대한 정전구간을 최소로 하면서 선로손실 및 여러 제약조건을 만족하는 해를 구할 수 있었다.

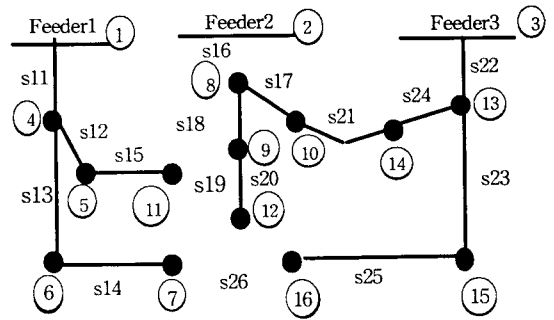


그림 5 유전 알고리즘에 의해 구한 최종 계통 구성

참 고 문 헌

- [1] V. Susheela Devi, D. P. Sen Gupta, G. Anandalinggam, "Optimal Restoration of Power Supply in Large Distribution Systems in Developing Countries", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, No. 1, pp. 430-438, Jan. 1993
- [2] Whei-Min Lin, Hong-Chan Chin, "A New Approach for Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Reduction and Service Restoration," IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 13, No. 3, pp. 870-875, July, 1998.
- [3] K. Hotta, H. Nomura, H. Takemoto, K. Suzuki, S. Nakamura, S. Fukui, "Implementation of a Real-Time Expert System for a Restoration Guide in a Dispatching Center", IEEE Trans. on Power System, Vol. 5, No. 3, pp. 1032-1038, Aug. 1990
- [4] Y. Y. Hsu, H. M. Huang, "Distribution System Service Restoration using the Artificial Neural Network Approach and Pattern Recognition Method", IEE Proceeding Generation Transmission & Distribution, Vol. 142, No 3, 1995
- [5] Seong-II Lim, Ki-Hwa Kim, Pil-Suk Kim, Seung-Jae Lee, Bok-Sin Ahn, "Fuzzy Logic Based Service Restoration in Distribution Automation System", Proceedings of ISAP, 1996
- [6] D. E. Goldberg, Genetic Algorithms in Search optimization, and Machine Learning, Addison-Wesley publishing Company, INC., 1989
- [7] Z. Michalewicz, Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs, Springer-Verlag, 1994
- [8] Mitsuo Gen and R. Cheng, Genetic Algorithms & Engineering Design, A Wiley-Interscience Publication, 1997