

# 유전 알고리즘을 이용한 최적부하절체에 의한 배전계통의 신뢰도 평가

\* 한 성호, \*최 준호, \*\*최 도혁, \*\*\*이 욱, \*\*\*\*최 대섭, \*김 지철  
 \*충실대학교 전기공학과, \*\*한국건설기술연구원, \*\*\*대전대학교 전기공학과, \*\*\*\*서울전통대 전기공학과

## Reliability evaluation of distribution systems vs. the optimal load transferring using genetic algorithms

\* Seong-ho Han, \*Joon-ho Choi, \*\*Do-hyuk Choi, \*\*\*Wook Rhee, \*\*\*\*Dai-seub Choi, \*Jae-chul Kim  
 \*Dept. of Electrical Engineering in SoongSil Univ., \*\*KICT, \*\*\*Seoil Junior College, \*\*\*\*DaeJin Univ.

**Abstract** - This paper presents a new approach to evaluate reliability indices of electric distribution systems using genetic algorithm(GA). The use of reliability evaluation is an important aspect of distribution system planning and operation to adjust the reliability level of each area. In this paper, the reliability model is based on the optimal load transferring problem to minimize over load generated load point outage in each sub-section. This kind of the approach is one of the most difficult procedure which becomes a combination problems. A new approach using GA was developed for this problem. We proposed a tree search algorithm which satisfied the tree constraint. GA is general purpose optimization techniques based on principles inspired from the biological evolution such as natural selection, genetic recombination and survival of the fittest. Test results for the model system with 24 nodes and 29 branches are reported in the paper.

### 1. 서 론

배전시스템의 설비계획 및 운전계획의 합리적인 설계를 위하여는 수용가의 입장에서 경험하게되는 신뢰도를 정량적으로 평가하여 반영하는 것이 중요하다. 일반적으로 공급신뢰도의 정량적 평가수단은 수용가호수 중심의 신뢰도 지수와 에너지중심의 부하지수로 나누어지며 운영자의 목적에 따라 적절한 신뢰도 지수를 선정하여 사용한다[1,2]. 특히 현재 운용중인 계통의 설비고장에 대하여 발생하는 정전용량을 예측하고 보다 합리적인 설비형상을 도모하기 위하여는 에너지 중심의 신뢰도 지수를 선정함이 타당하다. 기존의 신뢰도 지수산출법은 단순히 사고직후의 정전량을 신뢰도 지수로 사용함으로써 실제 복구조작후 정전량이 해소되는 현상을 올바르게 모의하지 않았다. 따라서 보다 타당한 신뢰도 지수를 산출하기 위하여는 복구조작 즉 부하절체에 의해 가능한 공급부족용량을 최소화하는 최적부하절체논리의 도입이 필요하다[3].

일반적으로 이 문제는 계통의 부하상태에 따라 개폐기 조작을 통한 회로 재구성을 하는 손실최소화 및 부하평준화 문제 등과 같이 많은 국소해를 갖는 조합문제(combination problem)이므로 최적해를 구하는데 어려움이 많다[4].

지금까지 이와 관련된 대표적인 논문은 살펴보면 1989년 Mesut E. Baran[4]가 브랜치교환(branch exchange:BE)법을 이용하여 손실최소화 및 부하평준화 문제를 해결하고자 하였다. 그러나 일반적으로 BE법은 국소해에 빠지는 단점을 갖고 있으므로 1992년 K.Kurihara[3]는 브랜치 교환법과 최대플로우법(maximum flow method)을 국소, 절중, 전역의 3단계로 수행하여 공급지장전력의 최소화를 수행하고 이를 신뢰도 평가개념에 도입하였다. 그러나 이 논문은 전역해의 80[%]만을 보장하고 있으며 3단계를 거쳐 수행해야하는 복잡성을 갖고 있다. 또한 신뢰도 평가에 있어서도 복구시간을 제외한 사고유만을 고려하고 있다.

이러한 국소해 문제를 해결하기 위한 최적화 기법으로서 전역

탐색과 강인성을 보장하는 유전 알고리즘(GA)이 1992년 Koichi Nara[5]에 의해 손실최소화 문제에 적용되었다. 최근에는 많은 분야에 활발하게 적용되고 있으며 특히 1996년 Tsutomu Oyama[6]가 전력계통의 복구계획문제를 GA연산과정에 BE를 결합한 방법을 사용하여 수렴속도의 향상측면에서 연구하였다. 또한 GA 연산시 발생하는 트리구조제약조건에 부적합한 스트링 생성문제를 upward 표현법으로 해결하고자 하였으나 플로우의 방향성문제 때문에 완전한 해결을 보이지 못하였다.

본 논문에서는 기존의 이론을 분석을 통해 문헌[3]의 신뢰도 평가개념을 토대로 최적부하절체 문제에 GA를 도입하고 트리제약조건을 해결할 수 있는 알고리즘을 제안하여 GA적용에 따른 문제를 GA만으로 해결하고자 하였다. 특히 사례연구를 위해 요구되는 계통의 정보를 디지털이치를 이용하여 구축함으로써 계통정보데이터를 손쉽게 처리할 수 있도록하였다. GA의 성능향상 문제로는 이전 세대의 가장우수한 유전인자를 다음세대에 반영하는 엘리트스트 모델을 사용하였으며, 다양한 해의 탐색을 위해 돌연변이확률을 재조정하는 방법을 적용하였다[1].

### 2. 최적 부하절체 문제

배전시스템의 최적부하절체 문제는 방사상계통 구성제약과 배전선로 용량제약을 만족하는 범위에서 배전선로의 부하량 또는 공급부족용량이 최소가 되도록 개폐기의 조작방법을 결정하는 것을 말한다. 그림 1은 이러한 개념을 설명하는 것으로 각 노드에 부하지점이 연결되어 있으며 노드를 연결해 주는 브랜치를 개폐기로 취급하였다.

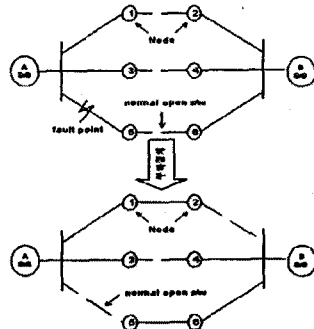


그림 1. 부하절체 개념도

그림에서 A뱅크와 노드5사이의 사고로 인한 선로의 과부하를 해소하기 위하여 노드5의 부하를 B뱅크로 절체하므로 B뱅크가 과부하가 된다. 따라서 노드2의 부하를 다시 A뱅크에서 공급하도록 절체하여 B뱅크의 부하를 가법게 하는 것이 최종적으로 전 계통의 과부하를 해소하는 것이 된다. 이러한 부하절체 문제는 1회 조작에 따라 공급부족용량의 크기가 불연속적으로 변화하는 조합문제가 된다. 그림 3은 이를 개념적으로 표시한 것으로 개폐기 조작상황에 따라 많은 국소해를 갖는 다봉성의 문제가 뒤을 보여준다.

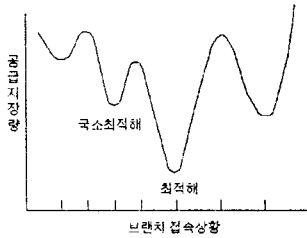


그림 2. 국소해를 갖는 최적부하질제문제

### 3. 유전알고리즘의 적용

#### 3-1 평가함수의 정의

본 논문에서 사용한 평가함수는 부하중심의 신뢰도 평가법의 산출식을 근거로 식(1)과 같이 정의하였다. 이는 상정사고로 인해 발생하는 각 부하지점의 공급부족용량을 사고율과 복구시간 개념과 함께 고려함으로써 부하전체에 따른 공급부족에너지(ENS)의 최소화 문제로 정의된다. 제약조건으로는 선로용량한계 및 트리구조 유지문제를 고려하였다.

$$Min \text{ ENS} = \sum_{i=1}^N (\lambda(i) \times r(i) \times L(i) \times E(i)) \quad [ \text{kWh/year} ]$$

여기서,  $\lambda(i)$ : 부하지점의 년사고발생건수[건/km·year]

$r(i)$ : 부하지점의 사고빈복구시간[hour/건]

$L(i)$ : 부하지점 구간의 선로공장[km]

$E(i)$ : 부하지점의 공급부족용량[kW]

#### 3-2 스트링의 정의

부하전체에 따른 공급부족용량의 최소화를 결정하는 파라미터는 구분개폐기의 위치와 상태이다. 구분개폐기 위치와 스위치의 상태는 바뀌더라도 배전계통의 구조는 항상 방사상을 유지해야 한다.

개방 루프 방사상 배전계통에 있어서 여러개의 구분개폐기는 마디 양쪽 사이의 브랜치에 위치하기 때문에 스위치가 위치하는 브랜치 번호와 개폐기의 상태를 기억해야 한다. 따라서 스트링 구조는 그림 3과 같이 나타낼 수 있다. 그림에서 Branch No(i)는 i 번째 개방 개폐기 위치가 존재하는 브랜치 번호를 의미한다. Sw No(i)는 브랜치(i)에 있는 스위치의 상태를 의미한다. Branch No(i)와 Sw No(i)는 그림에서와 같이 2진 코드에 의해 표현되었다.

Branch No. (1)	Sw No. (1)	Branch No. (2)	Sw No. (2)	.....	Branch No. (n)	Sw No. (n)	Branch No. (n)	Sw No. (n)
----------------	------------	----------------	------------	-------	----------------	------------	----------------	------------

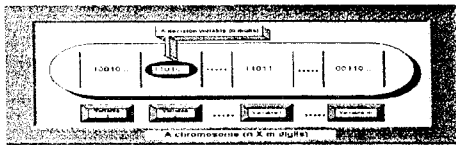


그림 3. 스트링의 구조

#### 3-3 트리제약 탐색 알고리즘

각 세대에서 생성된 유전인자들이 구조적으로 루프계통을 형성하지 않도록 하며 계통으로 부터 분리되는 고립노드가 발생하지 않도록 하기위하여 트리제약조건을 고려한 스트링 탐색 알고리즘을 제안하였다. 탐색수행절차를 단계별로 다음과 같이 기술하였다. 여기서, 기본노드(base node)는 전원측으로부터 항상 전력공급을 받을 수 있는 전원측에 가까운 노드를 의미한다. 확장기본노드(expand base node)는 기본노드로부터 출발한 경로의 최종말단지점인 단말노드(terminal node)를 의미한다. 또한 연결노드(connectable node)는 고립노드를 탐색하기 위한 것으로서 개폐기의 개방으로 인해 확장기본노드와 분리된 인접노드를 말한다.

1 단계: 각 노드로 부터 기본노드를 탐색한다.

- 2 단계: 모든 기본노드에 대하여 3단계에서 7단계를 행한다.
- 3 단계: 연결노드에 기본노드에 대한 정보가 있으면 이를 제거한다.
- 4 단계: 하나의 기본노드로 부터 연결된 모든 경로를 추적하여 단말노드를 탐색하고 이를 확장기본노드로 설정한다. 만일 분기노드를 만나게 되면 분기시점으로 부터 연결된 모든 경로의 단말노드를 탐색한다.
- 5 단계: 만일 단말노드 탐색중 확장기본노드 또는 기본노드가 탐색경로 내에 연결되어 있다면 이는 루프계통을 형성하는 것이므로 알고리즘을 종료한다.
- 6 단계: 설정된 확장기본노드에 연결되지 않은 인접 노드들은 다른 기본노드와 연결 해야할 연결노드로 설정한다. 만일 이러한 연결노드가 이미 확장노드로 설정되어 있다면 이를 연결노드로 설정하지 않는다.
- 7 단계: 확장기본노드가 기존의 연결노드에 있으면 이 노드들은 연결노드에서 제거한다.
- 8 단계: 연결노드에 대한 정보가 아직 남아 있으면 고립노드(isolated node)가 발생한 경우이므로 알고리즘을 종료한다.
- 9 단계: 이 계통의 구성은 적절할 것이므로 알고리즘을 종료한다.

#### 3-4 제안된 신뢰도 평가 알고리즘의 순서도

제안된 유전알고리즘을 이용한 신뢰도 지수 평가 알고리즘의 전체 순서도는 그림 4와 같다. 신뢰도 평가에 요구되는 계통정보데이터의 활용과 신뢰도 모델 구성을 쉽게 처리하도록 디지털이자를 이용하여 시스템을 구축한다. 상정사고의 유무에 따라 최적부하질제를 GA를 이용하여 수행하고 신뢰도를 평가한다.

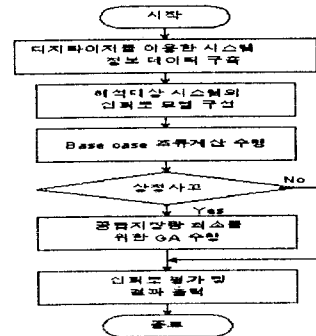


그림 4. 제안된 유전 알고리즘의 순서도

## 4. 사례연구

#### 4-1 모델계통의 선정

본 논문의 사례연구를 위하여 24노드 29선로 모델계통을 적용하였다[3]. 그림 5는 디지털이자를 이용한 계통도를 입력한 모습을 프로그램상에서 보여주고 있으며 4개의 배크를 제외한 20개의 노드에 부하지점이 연결되어 있으며 대도시 중심부하로서 균등부하로 가정하였다. 전체 선로의 공장은 22.217[km]이며 4개의 배크의 용량은 각 10[MVA]이다.

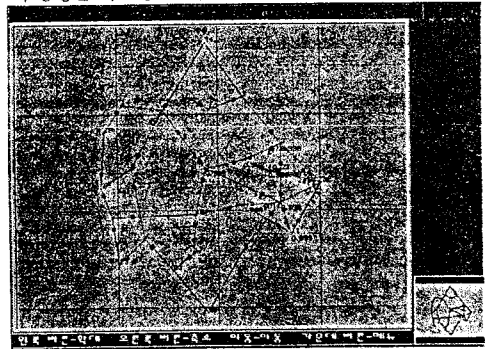


그림 5. 디지털이자로 입력된 사례계통

#### 4-2 신뢰도 평가 결과 분석

배전시스템의 계획을 위한 신뢰도 평가는 수용가 즉 각 부하 지점에 대한 신뢰도 지수의 산출이 중요하므로 각 부하지점의 신뢰도 지수를 비교하였다. 이는 취약부분(weak point)을 탐색하여 설비증강계획의 수립에 중요한 자료로서 활용할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 사례연구1로서 GA를 이용한 최적 부하절제에 따른 신뢰도 평가결과를 부하지점별로 분석하였다. 아울러 기존의 브랜치 교환법(BE)을 이용하여 손실최소화를 수행한 계통과 부하평준화를 수행하여 재구성된 계통을 대상으로 신뢰도 측면에서 사례연구2와 사례연구3으로 나누어 비교함으로써 본 연구의 타당성을 입증하였다. 표 1은 신뢰도 평가에 요구되는 20개 부하지점에 대한 신뢰도 데이터를 나타낸 것이다. 부하지점1의 사고율이 가장 크게 나타났으며, 부하지점 7의 복구시간이 가장 큰 것을 알 수 있다.

표 1. 부하지점별 신뢰도 데이터

부하 지점	최대부하 [kw/yr]	사고율 [f/yr]	복구시간 [hours/f]	년정전시간 [hours/yr]
1	1819	0.4634	2.9648	0.1374
2	5569	0.3219	2.0106	0.0647
3	1243	0.0467	5.4668	0.2554
4	1325	0.0250	2.9320	0.0735
5	2307	0.0394	4.5905	0.1801
6	747	0.0534	3.2842	0.1754
7	284	0.1131	9.1948	1.0397
8	366	0.0968	4.6731	0.4522
9	2919	0.0940	3.4767	0.3268
10	2527	0.0986	3.6650	0.3615
11	1108	0.0708	3.1368	0.2221
12	1905	0.1163	5.9869	0.6961
13	1391	0.1115	4.3694	0.4872
14	1623	0.0974	4.9999	0.4872
15	1051	0.0952	3.9926	0.3799
16	2460	0.0809	2.6628	0.2153
17	1261	0.1363	6.8264	0.9306
18	5138	0.1074	2.2113	0.2375
19	1727	0.1215	4.7543	0.5739
20	3116	0.0999	2.6904	0.2687
합계	39886	1.7403	85.7521	7.6744

표 1의 신뢰도 데이터를 토대로 최적화를 수행하고 부하지점별로 공급부족용량을 그림 6에 사례별로 비교하였다. 사례연구 1의 경우 부하지점 19의 신뢰도 지수가 가장 취약하게 나타났다. 이는 선로 용량의 한계때문으로 선로용량의 증가가 요구됨을 알 수 있다. 반면 사례연구2는 부하지점 7, 8, 10이 취약하게 나타났다. 사례연구3의 경우는 부하지점 7, 13, 14, 19의 신뢰도 지수가 가장 낮게 나타났다. 따라서 사례별 목적에 따라 설비증강이 요구되는 부하지점을 쉽게 파악할 수 있으며 투자의 우선순위를 결정할 수 있게 계획할 수 있다.

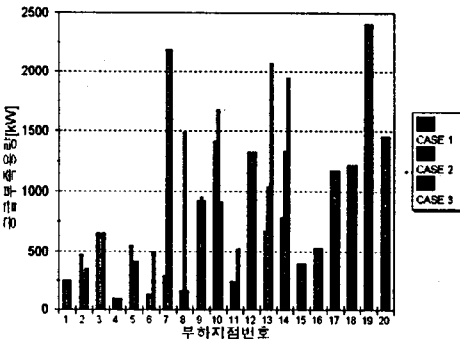


그림 6. 사례별 부하지점의 공급부족용량 비교

전체 시스템의 공급부족에너지 측면에서 살펴본 사례별 신뢰도 평가결과는 그림 7과 같다. 개폐기 조작에 의한 모델의 재구성은 사례2와 사례3에 대한 계통구성이 신뢰도 측면에서는 훨씬 부적합하게 나타남을 알 수 있다.

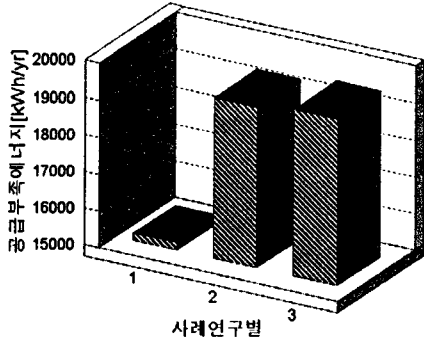


그림 7. 사례연구별 신뢰도 평가결과

#### 5. 결 론

본 논문에서는 배전시스템의 최적 계획 및 운영을 위한 신뢰도 평가방안을 제안하였다. 과부하제조를 위한 최적 부하절제계획을 도입하여 각 부하지점의 신뢰도 데이터와 공급부족용량을 이용하여 신뢰도 지수를 산출하였다. 특히 최적화 기법으로 기존의 브랜치교환법과 최대플로워법이 갖고있는 국소해 수렴문제를 GA를 이용하여 극복하였다. 또한 유전자 조작시 발생하는 트리 제약조건을 해결하기 위해 트리탐색 알고리즘을 제안하였다. 제안된 방법을 모델계통에 적용하여 강인성을 입증할 수 있었으며 이를 실제통에 적용할 경우 단순화 전체 시스템의 상대적인 우위평가가 보다 상세한 수용가별 신뢰도 향상대책을 설계할 수 있다. 향후 손실최소화 및 부하평준화 알고리즘을 포함한 종합적인 최적 배전계획 신뢰도 프로그램의 개발에 관하여 계속적인 연구가 필요하다.

#### 6. 참고문헌

- [1] 한 성호, "유전 알고리즘을 적용한 배전계통의 신뢰도 평가 시스템 개발," 중실대하인 전기공학과 박사학위논문, pp. 100-103, 1996. 2.
- [2] R. Billinton, R.Goel, "An analytical approach to evaluate probability distribution associated with the reliability indices of electric distribution systems," *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. PWRD-1, No.3, pp245-251, July 1986.
- [3] K.Kurihara, K.Takahasi, K.Arao, "2次系統の供給信頼度評價システムの開發," *電力中央研究所*, 1992. 5.
- [4] Mesut E. Baran, Felix F. Wu, "Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing," *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 4, No. 2, pp. 1401-1407, April 1989.
- [5] Koichi, Nara, Atsushi, Shiose, Minoru, Kitagawa, Toshihisa Ishihara, "Implementation of genetic algorithm for distribution systems loss minimum re-configuration," *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 7, No. 3, pp.1044-1051, August 1992.
- [6] Tsutomu Oyama, "Restorative planning of power system using genetic algorithm with branch exchange method," *Proceedings of ISAP 96*, pp175-179, 1996. 2.
- [7] D. E. Goldberg, *Genetic algorithms in search, optimization and machine learning*, Addison-Wesley, 1989.
- [8] Michalewicz, *Genetic algorithms+Data structures = Evolution programs*, second edition, Springer-Verlag, 1994.
- [9] D. B. Fogel, "Introduction to simulated evolutionary optimization," *IEEE Trans. on Neural Networks*, Vol. 5, No. 1, pp. 3-14, 1994.
- [10] Branko Souček, *Dynamic, Genetic, and Chaotic programming*, The Sixth-Generation, John Wiley & Sons, Inc. 1992.