

유전자 알고리즘을 이용한 배전계통 운영시스템 개발

김준오*, 박창호*, 임성일*

*한전 전력연구원.

The Development of Distribution Power Operating System using the Genetic Algorithm

Joon Oh Kim, Chang Ho Park, Sung Il Lim
KEPCO

Abstract - The KEPCO is developing the practical power distribution operating system. The system adopt Genetic Algorithm and will be used loss reduction, load balancing, service planning for large capacity load and various kinds of simulations in the distribution power system.

This paper presents the some obstacles and solutions on practical simulation system development, and some problems that need more study.

1. 서 론

부하의 증가에 대비하여 효율적으로 배전계통을 건설하고 운영하는 일은 전력회사의 입장에서 대단히 중요한 일이다. 증장기 부하예측을 통하여 배전용 변전소와 회선을 신·증설해 가는 과정을 전자의 업무라 한다면, 후자는 현재와 단기의 예측된 부하를 대상으로 연계된 개폐기의 조작을 통하여 손실이나 전압강하가 최소가 되도록 배전계통을 운전하거나, 과부하 해소, 대용량 신규수용의 공급여력을 확보하기 위한 Tie 개폐기 위치를 재조정하는 업무라 할 수 있다.

한전 전력연구원에서는 토지용도를 이용한 부하예측을 통하여 상정된 부하를 대상으로 증장기 배전계획을 수립하기 위한 시스템을 개발하여 시사용 중에 있으며, 최근에는 손실을 절감하고 과부하 선로의 해소방안 모의, 대규모 신규수용의 공급여력을 확보하기 위한 배전계통 운영 시스템을 개발하고 있다.

배전계통 운영상 특정한 목적을 달성하기 위하여 배전계통의 개폐기 조작을 통한 배전계통을 재구성하는 문제는 이미 수많은 알고리즘이 제시되어 왔다. 그 대표적인 알고리즘은 Branch and Bound Method, Branch Exchange Method, Simulated Annealing Method, Tabu Search Method, Genetic Algorithm 등이다. 이러한 알고리즘들은 각기 전역적인 해의 탐색 및 수렴속도, 계산시간의 제약조건 등에서 장단점을 가지고 있으나 실용적으로 사용하기 위한 상용화 시스템을 개발하는데 있어서는 알고리즘적인 요소 이외에도 고려해야할 사항이 많이 발생한다.

본 논문에서는 현재 전력연구원에서 개발중인 배전계통 재구성의 실용화 시스템의 개발상 제문제점과 이의 해결방안을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 배전계통운영 시스템의 필요성

전력사업의 구조개편이 완료되면 각 배전회사는 원가 절감을 위하여 배전선로의 손실을 최소화하고, 배전선로를 신설하지 않고 증가하는 부하에 대하여 전력을 공급하기 위한 대책에의 요구가 증가될 것으로 예상되고 있다. 이러한 면에서 개발되고 있는 배전계통 운영시스템

은 기본적으로 다음과 같은 업무에 활용 될 수 있다.

- ① 장기배전계획에 따른 배전선로 신증설 계획모의
- ② 배전선로의 손실 최소화 운전
- ③ 고장시 절체여력 확보를 위한 부하평준화 운전
- ④ 단기 부하예측에 의거한 과부하 선로의 해소대책 수립
- ⑤ 대용량 고객(2,000kW 이상) 신규수용에 대한 공급방안 수립
- ⑥ 선로고장시 부하절체방안 및 과부하선로 탐색 모의
- ⑦ 상기의 목적을 최적화하기 위한 개폐기 부설 위치의 설정 등이다.

전력연구원에서는 상기의 업무에 활용될 수 있는 배전계통 운영시스템을 개발하고 있으며, 시뮬레이션 알고리즘으로 유전자 알고리즘을 채택하고 있다. 유전자 알고리즘은 전역적인 해의 탐색이 가능한 반면 계산속도면에서 상당한 시간을 요하는 단점을 가지고 있으나, 컴퓨터가 빠른 속도로 발전하고 있어 이러한 단점을 상당부분

2.2 유전자 알고리즘을 이용한 배전계통의 재구성

이미 많은 논문에서 언급한 바와 같이 유전자 알고리즘을 이용한 배전계통의 재구성 문제는 다음과 같은 과정을 통하여 이루어진다.

단계 1. 후보개폐기군의 탐색

- ① 조합 가능한 모집단의 개폐기 후보군을 형성하기 위하여 현재 개방되어 있는 개폐기로부터 이동 가능한 개폐기 후보군을 배열한다. 이때, 열의 수는 개방되어 있는 Tie 개폐기의 수와 일치한다.
- ② 추출된 개폐기군은 다음 단계에서 이루지는 유전자 조작의 모집단으로 활용된다.
- ③ 후보개폐기군을 탐색하지 않고 시작할 경우 임의의 개폐기 조합이 생성되었을 때, 그 개폐기 조합이 방사상 계통을 만족시키는지 항상 검사를 하여야 하므로 많은 시간이 소요된다.

단계 2. 초기유전자집단(Initial Population)의 구성

- ① 초기유전자 집단은 모집단으로부터 각 행마다 하나의 개폐기를 임의로 추출하여 방사상 계통의 유지를 만족시키는 개폐기의 수만큼의 배열을 형성한다.
- ② 이때, 한 개의 개폐기를 선택할 때마다 이미 선택된 개폐기와의 중복여부를 검사하여 중복이 되면 선택을 취소하고 동일한 열의 다른 개폐기를 임의 선택하여 중복여부를 재검사한다.
- ③ 초기 유전자 집단의 수는 해석 대상의 계통에 따라 다르게 설정되어야 한다.

단계 3. 적합도 평가 (Fitness Evaluation)

- ① 적합도 평가는 임의 추출된 개폐기 조합이 목적함수에 어느 정도의 적합도를 가지고 있는지 평가하고, 이를 바탕으로 재생산의 비율을 결정한다.
- ② 적합도는 손실을 최소화하거나 각 회선간의 부하를 평준화하기 위한 목적함수를 사용한다. 이러한 목적함수는 최소화하는 문제이므로 유전자 알고리즘에 이를 적용하기 위해서는 최대화 문제로 풀어야 하므로 이의 역수를

적합도 평가 지표로 삼는다.

③ 손실최소화는 배전선로 각 구간의 손실의 합계를 최소화하는 개폐기의 조합으로서 완성된다. 각 구간이라 함은 일반적으로 사용되는 개폐기와 개폐기 사이의 구간 뿐만 아니라 분기점에서 분기되는 선로까지 하나의 구간으로 취급하여 손실을 계산한다. 이러한 이유는 분기선이 장공장이 될 경우 간선에 포함하여 계산하면 손실 계산의 오차가 크게 발생할 우려가 있기 때문이다. 다만 분기선이 많아지면 구간이 크게 증가하여 계산시간이 크게 증가하는 단점이 있다.

④ 부하를 평준화하기 위해서는 각 배전선로에서 공급하는 부하의 편차가 최소가 되도록 하는 목적함수를 사용하며, 이는 최소자승법을 이용하여 구할 수 있다.

단계 4. Mating Pool의 생성

① 적합도가 큰 개폐기 배열부터 적합도에 비례하는 수만큼의 개폐기 배열을 임시 저장장소에 복제하여 저장한다.

② 이렇게 생성된 개폐기 조합은 다음세대를 임의로 구성할 때 적합도가 큰 배열이 선택될 확률이 높아지므로 우성의 유전자가 다음 세대로 전이된다.

단계 5. 복제, 교차, 돌연변이 생성

① Mating Pool로부터 일정비율을 복제, 교차, 돌연변이 조작을 통하여 제 2세대 개폐기 조합을 구성한다.

② 단계 4와, 단계 5의 조작을 지정된 세대수만큼 반복하여 최대적합도를 갖는 개폐기 배열을 최종의 결과로 선택한다.

2.3 실용화 시스템의 알고리즘 적용

배전선로 재구성에 있어서 유전자 알고리즘은 기본적으로 수많은 개폐기의 조합 중에서 목적함수를 가장 만족시키는 개폐기 조합을 검색하는데 사용된다. 그러나 실용적인 문제에 있어서는 계산시간이 많이 소요되고 이러한 제약으로 인하여 전역적인 해를 탐색하는데 실패할 수 있다는 약점을 지니고 있다. 또한 실제의 배전계통은 그 형태에 있어서 매우 다양한 형태를 지니고 있을 뿐만 아니라 계산의 목적에 따라 계통이 다른 특성을 지니게 되므로 초기유전자 집단의 수와 복제, 교차, 돌연변이의 수 등에서 어느 계통에서건 범용적으로 해를 도출할 수 있는 변수를 지정하기가 쉽지 않다.

이러한 요소들은 경험적인 규칙에 따라 FUZZY 이론 등을 적용하여 적용 가능한 변수를 도출하여 수행할 수 있다.

2.4 실용화 시스템 개발의 제문제와 해결방안

유전자 알고리즘을 이용하여 특정한 목적에 따른 배전계통의 재구성 문제를 모의하는 실용화 시스템은 다음과 같은 문제를 가지고 있다.

① 배전계통의 모델링

컴퓨터를 이용하여 배전계통을 해석하기 위해서는 계통의 부하와 선로를 모델링하여 입력하여야 한다. 그러나, 배전계통은 전지역에 산재하여 있고 그 형태가 다양하므로 이를 입력하는데 상당한 시간과 인력을 필요로 한다. 또한, 과도하게 간략화하여 모델링을 한다면 정확한 결과를 도출할 수 없다. 따라서 실용화 시스템은 사용의 용이성과 결과의 신뢰성 사이에서 절충점을 고려하여 구성하여야 한다. 현재의 최대부하를 산정하기 위하여 저압부하관리 마스터와 요금정보 마스터에서 각 변대와 고압수용기의 최대부하, 위치정보, 변전소번호, 회선번호 등을 추출한다. 이러한 데이터를 배전선로 인출 최대전력과의 부동률을 적용하여 각 부하의 최대부하를 재산정하고 관리구 정보를 이용하여 GIS 도면정보 위에 부하점을 생성한다. 또한, 도면상에 변전소를 생성하고 선로 및 개폐기를 입력하여 배전계통의 모델링을 최대한 간편하게 할 수 있도록 시스템을 구성하고 있다.

② 입력된 배전계통의 어려움

현재 운영되고 있는 배전계통은 기본적으로 방사상 형태의 구조를 가지고 있으며, Tie 개폐기의 위치가 변화하여도 방사상의 구조를 유지하고 있어야 한다. 배전계통을 모델링하는 과정에서 부하점에 선로를 연결하지 않는 경우, 계통의 일부만이 연결되지 않거나 양쪽의 개폐기가 개방되어 공급되지 않는 부분이 있는 경우, 양쪽의 개폐기가 Close되어 Loop 계통을 형성하고 있는 부분 등의 입력에러가 발생할 수 있다. 이러한 부분이 존재할 경우 올바른 알고리즘을 적용할 수 없으며, 따라서 알고리즘을 수행하기 전에 에러의 검출 및 수정이 선행되어야 한다. 이때 사용하는 검색 조건은 다음과 같다.

첫 번째, 부하점에 선로가 연결되지 않는 경우는 모든 부하점에 대하여 연결된 선로의 수를 검색하여 단 하나의 선로도 연결된 것이 없는 부하점을 검출한다.

두 번째, 일정한 구간이 공급되지 않는 경우에는 변전소로부터 차례로 검출된 부하의 총량과 상정된 부하의 총량을 비교함으로써 검색할 수 있으나, 이러한 방법보다는 변전소로부터 연결된 각 선로에 별도의 flag를 부여하고 검색이 끝난 후 flag가 부여되지 않은 선로를 추출하면, 전원이 연결되지 않은 선로의 위치정보까지 확인할 수 있다.

세 번째, Loop 계통이 이루어진 구간은 변전소의 인출계소로부터 검색을 시작하여 다른 변전소를 만나게 되면 Loop 계통의 판정할 수 있다. 또한, Open 개폐기에서 검색을 시작하여 연결된 선로가 다시 시작하는 개폐기와 만나게 되면 Loop 계통이 있다고 판정할 수 있다. 이러한 검색방법은 모든 계통에 대해서만이 아니라 몇 개의 관심있는 회선만을 대상으로 할 때도 적용된다

③ 계통구성 요소의 제약조건

실제의 배전계통은 전압강하 용량제약, 선로용량 제약, 주변압기 용량의 제약조건 이외에도 항상 개폐기가 Open되어 있어야 하는 개소가 있는 반면 항상 Close 되어 있어야 하는 조건을 요구하는 제약조건 있다.

항상 Open 되어야 하는 개폐기나 항상 Close 되어야 하는 개폐기는 유전자 알고리즘 첫 단계인 후보개폐기군의 집합에서 이를 조합함으로써 해결할 수 있다. 항상 Open 되어야 하는 개폐기는 후보개폐기군의 행에서 이 개폐기 단 한 개만이 지정된다. 항상 Close 되어야 하는 개폐기는 후보개폐기군을 검색할 때 이를 포함시키지 않는 방법으로 문제를 해결할 수 있다.

④ 초기세대 구성과 세대수의 적정성

알려진 바와 같이 유전자 알고리즘이 효율적으로 수행되기 위해서는 각 세대 집합의 수, 세대의 수 등이 절대적인 영향을 미친다. 그러나, 실용화를 위한 배전계통 운영시스템은 그 도의 대상이 2개의 회선으로부터 100여개의 회선에 이르기까지 적용범위가 광범위하며, 개폐기의 수가 매우 적은 경우로부터 수천개에 이르기까지 범용적으로 해를 만족할 수 있는 시스템의 개발이 필요하다.

초기세대를 어떻게 구성하는가에 대한 문제는 유전자 알고리즘에서 얼마만큼 빠르고 정확하게 전역해를 탐색하는가와 직접적으로 관련이 있다. 그러나 이에 대한 학술적인 고찰은 별로 이루어지지 않고 있다. 또한, 특징하게 결정된 초기세대의 배열과 세대수는 특정한 Sample에서는 잘 적용될 수 있으나, 다른 계통조건에서는 전역해의 탐색에 실패할 수 있다는 문제를 가지고 있다. 따라서 이 문제 역시 실용화 단계에서는 전역적인 해공간의 탐색과 시간적인 제약조건, 그리고 범용적인 초기세대 생성수 사이에서 절충안을 모색할 수밖에 없다. 초기세대의 수는 일반적으로 수백개의 개폐기 조합으로 결정한다. 그러나 이러한 수를 고정하여 운영할 경우 3개회선 이하의 배전계통을 모의하고자 할 경우가 가능한 모든 조합을 구성한다 하여도 이 숫자를 만족시키지 못하는 경우가 발생하여 무한루프에 빠질 수 있으며,

대규모의 계통을 모의할 경우에는 상대적으로 적은 수의 조합이 생성되어 전역해의 검출이 불가능해 질 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 FUZZY 이론을 접목하여 조합이 가능한 총 수로부터 가변적인 초기세대의 배열수를 결정하는 방법을 적용하였다

⑤ 목적함수의 적정성

배전계통을 최적화하여 운영한다는 것이 어떤 것인지 는 아직 실무적으로나 학술적으로 명확히 규명된바 없다. 다만, 손실과 전압강하를 최소화하고, 고장시 부하 절체 여력을 확보하기 위하여 회선간의 부하를 균등화하는 것이 효율적이라고 말할 수 있다. 그러나 일반적으로 실제의 배전계통을 이러한 세가지 목적을 모두 만족시키기 어려운 구조로 되어있다. 다만, 각 구간별로 선로의 임피던스와 부하가 균등하다면 이러한 조건을 모두 충족시킬 수 있다.

따라서, 일반적인 배전선로의 운영에서는 세가지 목적에 가중치를 부여하여 복합적인 목적함수를 설정하는 것이 필요하다. 이것은 경제성과 실효성을 고려하여 가중치를 결정하는 추가적인 연구가 필요한 부분이다.

2.5 배전계통 운영시스템의 개발

유전자 알고리즘을 이용한 배전계통 운영시스템은 다음과 같은 절차에 의하여 작성되고 운영된다.

2.5.1 현재 계통의 모델링

부하는 크게 저압부하와 특고압부하로 구분될 수 있으며, 한전의 경우 저압부하는 저압부하관리시스템에서 변대별로, 특고압부하는 요금관리 시스템에서 고압고객별로 관리되고 있다. 각각의 부하는 모두 관리구 체계에 의하여 오차가 최대 50m인 위치정보를 가지고 있으며, 부하를 공급하고 있는 변전소 및 배전선로의 정보도 가지고 있다. 따라서 회선별로 합산한 개별부하의 최대부하 합과 회선의 최대 인출전력과의 종합 부동률을 산출하여 각각의 부하에 적용함으로써 회선별 부하의 총합과 회선의 인출 최대전력을 일치시킴으로서 기준년도의 최대부하의 크기 및 부하의 위치정보를 완성할 수 있다.

종합부동률 = $\{ (D/L \text{별 저압변대 최대전력의 합}(kVA) + D/L \text{별 특고압 최대부하의 합}(kVA)) \times D/L \text{의 역률} \times D/L \text{간의 부동률} \} / D/L \text{의 최대인출전력}(kW)$

이렇게 산정된 부하에 변전소, 선로, 개폐기정보를 마우스로 전자도면상에 입력함으로써 현재계통을 완성할 수 있다.

2.5.2 토지용도를 이용한 단기 부하예측

예측된 토지용도별 부하증가를 적용하기 위하여 기준년도의 부하가 할당된 도면위에 토지의 용도를 설정한다. 전력연구원에서 개발중인 배전계통 운영 시스템은 토지용도를 선택하고 해당지역을 마우스로 클릭하거나 드래그함으로써 간단하게 토지용도를 입력하고 용도별 부하증가율을 입력할 수 있다. 또한 연도별로 신규공급되는 대규모 신규부하의 위치와 크기를 입력함으로써 부하예측을 수행한다.

토지용도에 기반한 부하예측 시스템은 토지용도를 ① 일반주거지역 ② 아파트지역 ③ 고밀도상업지역 ④ 중밀도 상업지역 ⑤ 저밀도상업지역 ⑥ 공업지역 ⑦ 공공지역 ⑧ 농업지역 ⑨ 녹지지역 ⑩ 무부하지역 등 10가지로 구분하고 경제지표, 인구변동, 주택보급률, 부문별 생산액, 부문별 전력판매량, 신도시개발 계획 등을 고려하여 소지역별 증가추세를 결정하고, 연도별 최대부하를 예측한다.

2.5.3 계통의 시뮬레이션

입력된 계통에 대하여 유전자 알고리즘을 적용하여 시뮬레이션을 수행한다. 목적함수는 전술한 바와 같이 손

실을 최소화하거나 회선간의 부하부담을 균등화하는 알고리즘을 적용한다. 계상의 결과는 Tie 개폐기의 계구성 결과 이외에 구간별 부하, 손실, 전압강하, 조류 등을 계산하고 출력한다. 이러한 시뮬레이션 결과를 이용하여 실제의 업무에 적용할 수 있는 분야는 다음과 같다.

① 배전계통의 개선대책을 수립하는 자료로 활용할 수 있다. 배전계통은 전술한 바와 같이 개폐기 사이의 구간 부하가 균등할 때 손실과 전압강하의 최소화와 회선간의 부하부담을 동시에 만족할 수 있으며 계산결과를 이용하여 개폐기를 부설하거나 재배치함으로써 배전계통을 개선할 수 있다.

② 정전발생시에 고장구간을 분리시키고 건전구간을 조기에 송전하기 위해서는 과부하 구간이 발생하지 않는 범위내에서 계통을 절체해야 한다. 이때 본 시스템을 이용하여 효율적인 고장구간 복구절차서를 작성할 수 있으며, 선종에 따른 과부하 구간을 검출하여 보강공사를 시행할 수 있다.

③ 한 개의 배전선로로서는 대용량의 신규부하를 공급할 여력을 확보할 수 없을 때, 본 시스템을 이용하여 별도의 회선을 신설하지 않고 기존의 수개 회선간의 부하 절체를 시뮬레이션함으로써 공급여력을 확보할 수 있다.

④ 지역의 특성에 부합한 부하예측을 통하여 과부하 회선을 선별적으로 예측하고 공사계획을 수립함으로써 예산절감을 도모할 수 있다.

3. 결 론

중장기 배전계획을 수립하기 위한 시스템과는 별도로 배전계통 운영시스템을 개발하기에는 알고리즘의 성능부터 계통의 모델링에 이르기까지 다양한 제약조건과 어려움이 따른다. 실제로 여러 가지 알고리즘이 제안되어 왔지만 범용성과 계산시간 그리고 전역해의 탐색 측면에서 각 알고리즘은 그 특성상의 장단점을 지니고 있다. 이러한 문제점을 극복하고 누구나 사용할 수 있는 실용화된 시스템을 개발하는 일은 아직 만족스럽지 못한 수준으로서 제시된 문제점에 대한 꾸준한 연구가 요구되고 있다.

이러한 업무를 해결하기 위한 수종의 외국산 시스템이 소개되고 있으나 우리나라 배전계통과의 구성상 차이가 많을 뿐만 아니라 관리구, 부하 등 자료의 관리방법, 부하증가의 패턴 등이 외국 그것과는 상이하여 실용성과 정확도가 떨어지고 있다. 따라서 순수한 자체 기술로 개발되고 있는 배전계통 운영시스템은 향후 기능이 계속하여 보완되고 우리나라 배전계통이 발전되어 나감에 따라 지속적인 진화를 할 수 있을 것으로 기대된다.

(참 고 문 헌)

- ① "전산시스템을 이용한 배전계획 최적화 연구", 한국전력공사 전력연구원, 1995
- ② "토지용도에 따른 부하예측을 이용한 중장기 배전계획 수립", 김준오, 박창호, 선상진, 이재봉, 권성철, '99 대한전기학회 학술회의논문집, 1999
- ③ "유전자 알고리즘", 대청컴퓨터월드, 1996
- ④ Mesut E. Baran and Felix F. Wu, "Net reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing", IEEE Trans. Delivery, Vol. 4, No. 2, pp1401-1407. Apeil
- ⑤ M. E. Baran and F. F. Wu, "Optimal replacement on radial distribution system", Transactions on Power Delivery, Vol. 4, January 1989.