

유전 알고리즘을 이용한 배전 계통 계획의 최적 경로 탐색

김민수, 김병섭, 신종린, 임한석  
건국대학교 전기공학과

Optimal Routing Based on Genetic Algorithms for Distribution System Planning

Min-Soo Kim, Byung-Seop Kim, Joong-Rin Shin, Han-Suck Yim  
Dept. of Electrical Eng. Konkuk Univ.  
Email: jrshin@kkucc.konkuk.ac.kr

**Abstract** - This paper presents an application of the Genetic Algorithms(GA) to solve the optimal routing problem(ORP) in power distribution system planning. Since the ORP is, in general, modeled as a mixed integer problem with some various mathematical constraints, it is hard to solve. In this paper, a new approach was made using the GA method for the ORP to overcome the disadvantages which many conventional methods generally have. For this approach, proposed was in this study a appropriately designed fitness function suited for the ORP. The proposed algorithm has been tested in sample network and the results are presented.

1. 서 론

발전과 송전, 배전을 포함하는 전력 시스템에서 운영과 유지 비용의 주요한 부분 중 배전 시스템의 경제적 중요성이 매우 높아지고 있다. 최적 배전 시스템 계획 (Optimal Distribution System Planning)은 배전시스템의 경제성 확보의 중요한 관건이며, 이를 위하여는 전압 강하 및 전력 손실 등을 고려한 최적 배전 경로 계획 문제(ORP)의 해결이 우선 되어야 한다.(1).

ORP는 전체 투자비용 최소화를 위한 목적함수와 제약조건으로 정식화할 수 있다. 목적함수는 변전소의 최적 위치 및 크기(변압기 용량)와 급전선의 최적 위치 및 크기(배전 용량)를 포함하고 이를 위한 제약 조건은 키르히호프의 전류 법칙, 키르히호프의 전압 법칙, 배전 시스템의 방사상 구성, 급전선의 전력 용량 한계와 변전소의 전력 공급 한계등이 있다(1-2).

이러한 ORP는 혼합 정수 모델로서 고정 비용과 관련된 0-1 변수와 가변 비용과 관련된 연속 변수로 구성된다. 이를 해결하기 위한 기존의 최적화 방법으로는 분기한정 알고리즘 등이 이용되었으나, 이들 대부분은 복잡한 비선형이나 부분적 이산문제 해결에 있어서 함수의 연속성이나 미분가능 등과 같은 조건을 전제로 하기 때문에 비효율적이며 배전 계통과 같은 대규모 시스템의 경우 응용에 어려움이 많다. 따라서 이러한 문제의 해결을 위한 방법으로서 인공지능 기법을 응용하는 방안이 제시되고 있다(1-2).

본 논문에서는 ORP의 최적해 탐색을 위해서 인공지능 기법 중 하나인 GA의 적용을 시도하였으며 전통적인 ORP문제의 고정비용과 가변비용을 함께 고려하기 위하여 3-case 방법을 사용하였다. 먼저, case 1에서 고정비용만을 고려한 건설비용 최소화 알고리즘에 의한 최적해를 도출하고, case 2에서 가변비용 최소화 알고리즘에 의해서 전력손실 최적해를 도출한다. case 3의 경우는 단순한 계수행렬(coefficient matrix)을 이용하여 고정비용과 가변비용이 함께 고려된 최적해를 도출한다. 본 논문의 case 1과 case 2는 각각 고정비용과 가변비용에 대한 개별 최적화의 가능성을 제시하였으며, case 3의 경우 정밀한 경제성 평가에 의한 계수행렬이 결정된다면 ORP 전체 최적해를 탐색할 수 있음을 나타내었다. 32모선 예제 모델 계통에 대한 사례연구를 통하여 본 논문에서 제안된 알고리즘의 유용성은 제시하였다.

2. 문제의 정식화

배전 계통의 손실비용은 조류계산식으로부터 산출할 수 있으나, 최적 배전계통계획 문제의 해를 얻기 위하여는 빈번한 계통구성의 변경에도 효과적으로 적용할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 이를 위하여, 계산시간이 적으며, 비교적 우수한 계산결과로 나타낼 수 있는 근사 조류계산(3) 알고리즘을 이용하였다.

2.1 조류계산과 손실방정식

배전 계통은 방사상의 형태이기 때문에 변전소로부터 공급되는 조류는 방향성을 가지며, 변전소는 연계된 모든 노드의 요구 부하량과 선로의 손실 전력까지 공급해야한다. 계통의 전체 손실은 모든 선로에서 발생하기 때문에 배전 계통이 완전하게 구성된 상태에서 반복적인 순환식에 의하여 구할 수 있다. 다음 그림 1은 지선이 없는 간단한 배전 계통의 개략도이다.

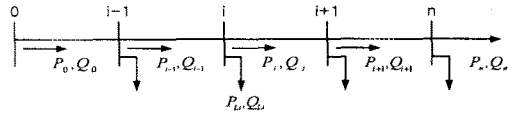


그림 1 단일 선로의 방사상 계통도  
Fig. 1 One line diagram of a radial network

그림에서 선로 및 부하는 각각 정임피던스와 정전력 부하로 표현하였으며, 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$z_i = r_i + jx_i; \quad S_{L,i} = P_{L,i} + jQ_{L,i} \quad (1)$$

여기서,

- $z_i$  : i노드와 i+1노드 사이의 선로 임피던스
- $r_i$  : i노드와 i+1노드 사이의 선로 저항
- $x_i$  : i노드와 i+1노드 사이의 선로 인덕턴스
- $S_{L,i}$  : i노드의 피상전력 요구량
- $P_{L,i}$  : i노드의 유효전력 요구량
- $Q_{L,i}$  : i노드의 무효전력 요구량

그림 1에서와 같이 방사상을 이루고 있는 계통에서 순방향으로 유효전력 조류와 무효전력 조류를 구하면 아래와 같다. 여기서 조류의 방향은 i노드에서 (i+1)노드로 향하고 있는 것으로 정의한다.

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

여기서,

- $P_i$  :  $i$ 노드로부터 흐르는 유효전력조류
- $Q_i$  :  $i$ 노드로부터 흐르는 무효전력조류
- $V_i$  :  $i$ 노드의 전압

본 논문에서는 저항에 의해서 발생하는 계통의 유효전력 손실만을 고려하였으며, 다음과 같은 수식으로 나타낼 수 있다.

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^{TF} r_i \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} Y_{i,i+1} \quad (3)$$

여기서,

- $P_{loss}$  : 시스템의 총 손실
  - $TF$  : 건설 가능한 모든 급전선의 수
  - $Y_{i,i+1}$  :  $i$ 와  $(i+1)$ 노드가 연결되면 1, 그렇지 않으면 0
- 이때, 결정변수  $Y_{i,i+1}$ 는 방향성을 갖는 변수로서 전력 조류가  $i$ 노드에서  $(i+1)$ 노드로 흐른다는 것을 의미한다. 그러므로 이에 따르는 결정변수는 전력 조류가  $i$ 노드에서  $(i+1)$ 노드로 흐를 때에 1의 값을 갖게 되고 역으로 흐를 경우(전력 조류가 '-' 값을 가질 경우)에는 0의 값을 갖는다. 또 모든 신규 수용을 만족시키는 것으로 가정하면, 신설 급전선의 수는 새로운 수요 노드의 수와 같아야 한다.

## 2.2 ORP 문제의 정식화

일반적으로 ORP 문제는 다음과 같이 전체 투자비용과 에너지 손실 비용을 최소화 하는 혼합 정수 계획 모델로 정식화할 수 있으며, 따라서 목적함수는 다음과 같이 둘 수 있다.

$$\text{minimize } \sum_{i,j=1}^M \sum_{i,j=1}^M CF_{ij} V_{ij} + \sum_{i,j=1}^M \sum_{i,j=1}^M CV_{ij} X_{ij} \quad (4)$$

여기서,

- $d$  : 부하노드의 수
- $s$  : 변전소의 수
- $M$  :  $s + d$
- $CF_{ij}$  : 급전선  $(i, j)$ 의 건설비용 계수
- $CV_{ij}$  : 급전선  $(i, j)$ 의 가변비용 계수
- $V_{ij}$  : 급전선  $(i, j)$ 가 건설되면 1, 그렇지 않으면 0
- $X_{ij}$  :  $i$ 노드에서  $j$ 노드로 흐르는 전력 조류

식 (4)의 목적함수는 다음과 같은 제약조건을 만족해야 한다.

- 전력 수급에 관한 K.C.L 제약조건

$$SUB_i + \sum_{j=1}^{TF} \sum_{k=1}^{TF} X_{ij} Y_{jk} = \sum_{k=1}^{TF} \sum_{l=1}^{TF} X_{ik} Y_{jl} + S_{L,i} \quad (5)$$

- 방사상 제약조건

$$\frac{1}{2} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M V_{ij} = d \quad (6)$$

- 선로의 전력용량 한계와 변전소의 전력공급 한계 제약조건

$$\begin{aligned} 0 \leq X_{ij} &\leq U_F^{\max} \\ 0 \leq SUB_i &\leq U_S^{\max} \end{aligned} \quad (7)$$

여기서,

- $SUB_i$  :  $i$ 노드에 공급되는 전력 조류
- $U_F^{\max}$  : 급전선의 전력 용량 한계
- $U_S^{\max}$  : 변전소의 공급 용량 한계

## 2.3 GA 적용을 위한 문제의 확장

본 연구에서는 GA를 기반으로 하는 ORP문제 해결을 위하여 다음과 같이 비제약 최소화 문제(unconstrained

minimization problem)로 위 정식화된 문제를 확장하였다.

즉, 고정비용과 가변비용의 개별 최소화(case 1,2)와 전체 비용 최소화(case 3) 각각을 위해서 3가지 형태로 정식화하였다. 고려된 제약 조건은 방사상(Radiality) 조건과 전력 수급 제약조건등을 고려하였으며, 급전선 경로가 확정된 이후에 변전소를 신설한다는 가정으로, 변전소 용량의 상한한계 제약조건을 설정하지 않았다.

$$OBJ = \begin{cases} \text{case1: } B \cdot FEEDER + C \cdot NET + \sum_{i,j=1}^{TF} \sum_{i,j=1}^{TF} CF_{ij} V_{ij} \\ \text{case2: } B \cdot FEEDER + C \cdot NET + LOSS \\ \text{case3: } B \cdot FEEDER + C \cdot NET + \sum_{i,j=1}^{TF} \sum_{i,j=1}^{TF} CF_{ij} Y_{ij} + LOSS \end{cases} \quad (8)$$

여기서,

$$LOSS = \begin{cases} P_{loss} & (\text{if, } FEEDER + NET = 0) \\ A & (\text{if, } FEEDER + NET \neq 0) \end{cases}$$

$$FEEDER = \begin{cases} 0 & (\text{if, } 1/2 \sum_{i=1}^{TF} \sum_{j=1}^{TF} V_{ij} = d) \\ 1 & (\text{if, } 1/2 \sum_{i=1}^{TF} \sum_{j=1}^{TF} V_{ij} \neq d) \end{cases}$$

$$NET = \begin{cases} 0 & (\text{if, 고립노드가 없는 계통 구성}) \\ 1 & (\text{if, 고립노드가 있는 계통 구성}) \end{cases}$$

- $A$  : 전력 조류 손실 벌점 계수
- $B$  : 필요한 급전선 개수 벌점 계수
- $C$  : 고립노드의 존재 여부 벌점 계수
- $P_{loss}$  : 계통의 손실 방정식

## 3. 유전 알고리즘에 의한 최적화 전략

유전 알고리즘은 자연 현상 중 진화론에 입각한 적자 생존 현상을 모델링한 것으로서 순환하는 세대에서 개체집단을 유지하면서 진화해 가는 과정을 확률적으로 모의하는 알고리즘이다. 유전 알고리즘은 적합도를 평가한 후 유전 연산자들을 통해 진화를 거듭하며 최적해를 찾게 된다(4-5).

### 3.1 문제의 코딩 전략

본 논문의 염색체 코딩 전략은 이진 표현(binary implementation)방법을 사용하였다. 즉 하나의 염색체에 건설 가능한 급전선의 경로 수만큼 2진 스트링으로 할당하였다. 예를 들어서 아래와 같은 염색체가 있는 경우,

$$V = (1100101001)$$

가능한 경로는 10개이고 이중에서 현재 1번, 2번, 5번, 7번, 10번 경로에 급전선을 건설하는 것을 뜻한다.

### 3.2 일반 유전 연산자의 적용

재생산 연산자로는 일반적인 룰렛 휠(roulette wheel) 방법을 사용하였으며, 전산술교배(whole arithmetic crossover) 및 균등돌연변이(uniform mutation)등의 유전연산자를 사용하였다. 그림 2에서 개체집단으로부터 교배와 돌연변이를 거친 후에 새로운 개체집단을 생성하는 과정을 간략하게 나타내었다.

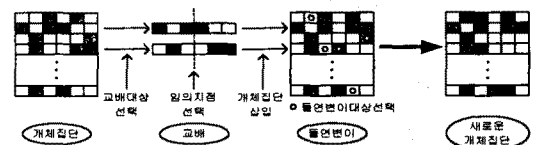


그림 2 GA 연산자의 수행과정

Fig. 2 Process of a GA's operators

### 3.3 특수 유전 연산자의 적용

- 엘리티즘 함수

GA가 국부해에 수렴하는 문제를 개선하며, 재생산 과정에

서 발생할 수 있는 확률적인 오차를 감소시키기 위하여 엘리트 함수를 다음처럼 적용하였다.

$$BEST_{before} = BEST_{present}, \text{ if } BEST_{before} < BEST_{present} \quad (9)$$

$$WORST_{present} = BEST_{before}, \text{ if } BEST_{before} \geq BEST_{present}$$

여기서,

- $BEST_{before}$  : 이전 세대까지의 최상의 해
- $BEST_{present}$  : 현재 세대의 최상의 해
- $WORST_{present}$  : 현재 세대의 최악의 해

#### ■ 적응 돌연변이 확률의 도입

본 논문에서는 국부해로 조기 수렴하는 문제를 극복하기 위하여, 적응성을 갖는 돌연변이 확률을 도입하여, 돌연변이 연산에 다음처럼 작용하도록 하였다. 여기서 AMP(Adaptive Mutation Probability)는 시간의 경과에 따라 점차 감소하는 형태로 구성되었으며, 이는 세대말기의 랜덤탐색을 배제하기 위함이다.

$$AMP = \lambda \left(1 - \frac{t}{T}\right) \quad (10)$$

여기서,

- $\lambda$  : 적응 돌연변이 매개변수
- $t$  : 현재 세대수
- $T$  : 최대 세대수

#### 3.4 적합도 함수

GA의 적합도 함수(fitness function)는 다음처럼 비용 최소화 염색체가 최대 적합도를 갖도록 설정하였다.

$$FIT_i = \frac{E}{1 + OBJ_i} \quad (11)$$

여기서,

- $FIT_i$  :  $i$ 번째 염색체에 대한 적합도 함수
- $OBJ_i$  :  $i$ 번째 염색체에 대한 목적 함수
- $E$  : 적합도 함수 계수

#### 3.5 제한된 알고리즘의 수행 절차

- STEP 1 - 데이터 입력, 초기 개체집단 생성
- STEP 2 - 목적함수 계산 및 적합도 함수 평가
- STEP 3 - 엘리트함수 함수 수행
- STEP 4 - 수렴 확인
- STEP 5 - 재생산 및 선택  
룰렛 휠 방법에 의하여 재생산을 수행하고 새로운 개체집단을 구성한다.
- STEP 6 - 교배  
재생산 개체집단에서 교배율에 따라서 선택확률에 의한 염색체를 임의 선택하여 교배한다.
- STEP 7 - 돌연변이  
고정 돌연변이율에 따라서 균등 돌연변이를 수행하거나, 국부해에 수렴되었다고 판단되는 경우 AMP에 의한 돌연변이를 수행하고 STEP 2로 돌아간다.

### 4. 사례 연구

제한된 알고리즘은 C언어로 프로그램 했으며 32모선의 예제 모델을 사용하였다[3]. 선정된 예제 모델은 ORP 알고리즘을 적용하기 위하여 모든 선로가 설치 가능 경로(right of way)인 것으로 간주하여 새롭게 구성하였다. 예제에서 기준 전압은 12.66[kV]이며 그림 3은 배전 계통의 급전선 설치 가능 경로를 나타내고 있다. 여기서 다음 표 1은 임피던스의 크기와 건설비용이 비례한다고 가정하고 임피던스의 크기를 고정비용으로 나타내었다.

수렴조건은 같은 해에 3000번 수렴될 경우에 프로그램을 종료하도록 하였고, 최대 세대수는 해의 개선 정도를 고려하여 크기를 결정하였다. 표 2에서 알고리즘에서 사용한 각 매개변수들의 값을 나타낸다. 각 매개변수들은 문제를 해결하기 위한 합당한 범위 내에서 프로그램 실행 속도를 고려해서 여러 번

실행을 통해서 얻은 경험적인 값이다.

#### 4.1 case 1의 경우

고정비용만을 고려한 경우로서 그림 4에서 case 1의 최적 경로를 나타낸다. 개방된 급전선 번호는 16, 27, 33, 34, 35이며 이때의 총 건설 고정 비용은 25.49066 이고, 이때의 총 전력 손실은 178.769 [kW]이다.

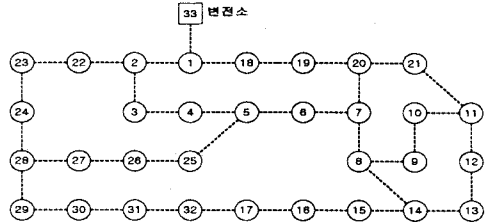


그림 3 배전 계통의 예제 모델 계통

Fig. 3 Example model of distribution system

표 1 예제 계통의 고정 비용

Table 1 Fixed cost of example system

선로번호	연결노드	고정비용	선로번호	연결노드	고정비용
1	33-1	0.10349	20	19-20	0.62973
2	1-2	0.55326	21	20-21	1.17599
3	2-3	0.41073	22	2-22	0.54647
4	3-4	0.42768	23	22-23	1.14421
5	4-5	1.08198	24	23-24	1.1377
6	5-6	0.6465	25	5-25	0.22782
7	6-7	0.74924	26	25-26	0.31892
8	7-8	1.26827	27	26-27	1.41183
9	8-9	1.27966	28	27-28	1.06657
10	9-10	0.20707	29	28-29	0.56945
11	10-11	0.39434	30	29-30	1.36997
12	11-12	1.8679	31	30-31	0.47685
13	12-13	0.8953	32	31-32	0.63039
14	13-14	0.79117	33	7-20	2.82843
15	14-15	0.92412	34	8-14	2.82843
16	15-16	2.1502	35	11-21	2.82843
17	16-17	0.93022	36	17-32	0.70711
18	1-18	0.22669	37	24-28	0.70711
19	18-19	2.02478			

표 2 GA에 사용된 매개변수

Table 2 Parameters used in GA

매개변수	값	매개변수	값	매개변수	값
A	2	E	100	최대세대수(T)	10000
B	20	$\lambda$	60	교배율(C)	40
C	10	수렴조건	3000	돌연변이율(M)	3

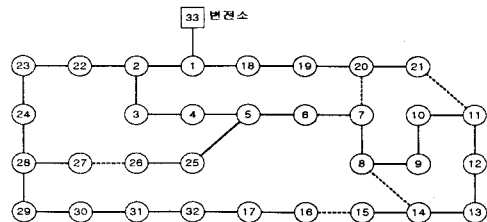


그림 4 case 1의 최적 경로

Fig. 4 Optimal route of case 1

#### 4.2 case 2의 경우

고정비용을 무시하고 전력 손실비용만을 고려한 경우로서 그림 5에서 case 2의 최적 경로를 나타낸다. 개방된 급전선의 번호는 7, 9, 14, 32, 37 이며 이때의 총 전력 손실은 139.548 [kW]이고, 총 건설 고정 비용은 33.38041 이다.

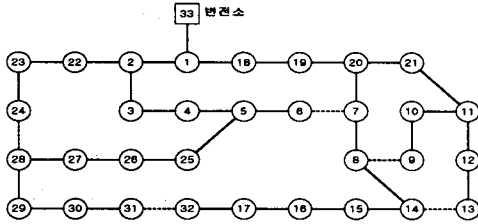


그림 5 case 2 및 case 3의 최적 계획 경로  
Fig. 5 Optimal routes of case 2 and case 3

### 4.3 case 3의 경우

case 3은 ORP 문제 전체의 고정비용 및 가변비용을 모두 고려한 경우로서 다음과 같이 간략히 표현할 수 있다.

$$\text{case3} = \alpha \cdot \text{case1} + \beta \cdot \text{case2} \quad (12)$$

여기서,

- $\alpha$  : 고정비용 계수행렬
- $\beta$  : 손실비용 계수행렬

그림 5에서 case 3의 최적 계획 경로를 나타내고 있다. 각각의 매개변수를 조절하여 즉,  $\alpha$ 의 값을 작게 하여 고정비용보다는 손실비용에 의한 영향을 더 크게 해서 case 2와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

변전소에서 공급하는 총 유효전력은 3854.551 [kW]이고 무효전력은 2402.305 [kVAR]이다. 이때의 최소 유효전력 손실이 139.548 [kW]가 된다.

그림 6은 초기 구성의 전압과 최적 구성의 전압을 비교하였다. 전압 결과에서 전반적으로 초기 구성에 비해 전압이 향상되었음을 알 수 있으며, 최저 전압 역시 0.91309 [pu]에서 0.93782 [pu]로 상당히 향상되었음을 알 수 있다.

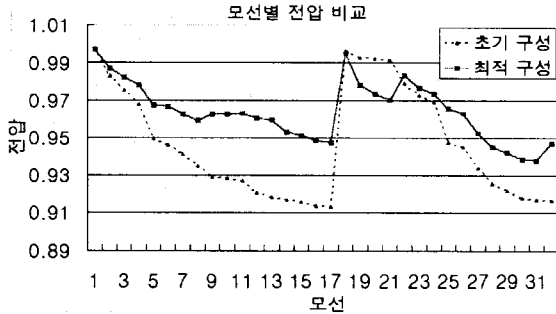


그림 6 초기 구성과 최적 구성의 전압 비교  
Fig. 6 Voltage comparison between initial and optimal network

표 3 다른 연구와의 비교

Table 3 Comparison with another study

	손실 [kW]	최저 전압 [pu]
초기계통구성(3)	202.677	0.91309
선로교환법(3)	146.815	0.92342
분기 한정법(6)	139.548	0.93782
제한한 방법	139.548	0.93782

그림 7은 세대에 따른 GA의 최적값의 변화를 나타낸다. 그림에서 보듯이 초기에 수렴속도가 매우 빠르지만 국부적 최적해에 수렴하게 된다. 세대를 거듭할수록 국부적 최적해로부터 벗어나서 최적값으로 수렴되어 가는 것을 볼 수 있다.

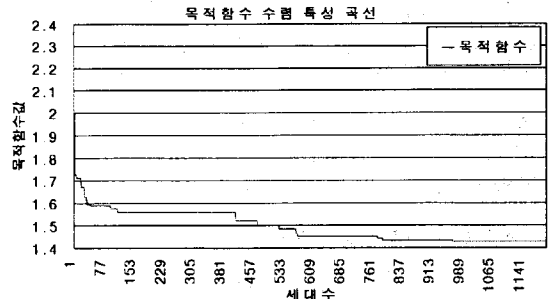


그림 7 GA의 수렴 특성 곡선  
Fig. 7 convergent characteristic line for GA

### 4.4 검토 및 고찰

ORP의 목적은 급전선 가설비용의 고정비용과 선로 손실에 의한 가변비용을 모두 고려한 최적 경로를 구하는 것이다. 본 논문에서는 case 1에서 고정비용에 관련된 최적해를 구하였고 case 2에서 가변비용에 관련된 최적해를 구하였다. 표 3에서 case 2의 손실비용 최적해 결과를 이전 연구와 비교하였다. 표 3에서 제시한 연구결과는 동일 모델을 배전계통 운용문제인 배전계통 재구성 문제에 적용한 결과이며, 동일한 32모선 데이터로 구현했기 때문에 결과 비교가 가능했으며, 제안한 방법은 분기 한정법(6)과 동일한 전역 최적점을 탐색하였음을 알 수 있다. 분기 한정법의 경우 비교적 소규모 계통에 적용이 가능하다는 점과 과다한 계산시간 문제로 대규모 계통 문제의 적용에는 어려움이 수반된다.

### 5. 결론

본 논문에서는 배전 시스템 계획에서 손실 최소화를 위한 배전 시스템 최적 구성을 위해서 유전 알고리즘을 적용하였고, ORP 문제에 적합하도록 유전 알고리즘의 목적 함수를 제안하였다. case 1에서는 급전선의 건설고정비용만을 고려하였고 case 2에서는 기존의 연구문헌과의 비교를 위해서 손실가변비용만을 고려하여 기존 연구결과에 대하여 알고리즘의 실효성을 확인하였다. case 3에서는 배전계획 최적 경로 탐색 알고리즘의 적용가능성을 확인하기 위하여 단순한 비용행렬 ( $\alpha, \beta$ )을 이용하여 제안된 알고리즘에 의한 전역 최적점을 확인하였다. 이후에 좀더 정확한 경제성 평가에 의한 비용행렬을 이용하여 GA기반 최적 배전계통 계획의 가능성을 제시하였다. 향후 좀더 대규모 배전계통에 대한 연구와 GA 연산자들의 개선에 관한 연구가 계속 되어야 할 것으로 생각된다.

### (참고 문헌)

- [1] Suresh K. Khator and Lawrence C. Leung, "Power Distribution Planning: A Review of Models and Issues", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 12, No. 3, pp 1151-1159, August 1997.
- [2] Ignacio J. Ramirez-Rosado and Jose L. Bernal-Agustin, "Genetic Algorithms Applied To The Design of Large Power Distribution Systems", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 13, No. 2, pp. 696-703, May 1998.
- [3] Mesut E. Baran and 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.
- [4] 김병섭, 채명석, 신중린, "전압의존형 부하모델과 유전 알고리즘에 기반을 둔 무효전력 최적 배분", 대한전기학회 추계 학술대회 논문집, pp. 212-214, 11.1997.
- [5] Zbigniew Michalewicz, "Genetic Algorithms+Data Structures = Evolution Programs", Springer-Verlag, 1995.
- [6] W. Lin and H. Chin, "A New Approach for Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Reduction and Service Restoration", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 13, No. 3, pp. 870-875, July 1998.