

새로운 적응 유전 알고리즘을 이용한 배전계통계획의 최적경로탐색

김민수, 김병섭, 이태형, 신종린
 건국대학교 전기공학과

Optimal Routing for Distribution System Planning using New Adaptive GA

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

Abstract - This paper presents an application of a new Adaptive Genetic Algorithms(AGA) to solve the Optimal Routing problem(ORP) for distribution system planning. In general, since the ORP is modeled as a mixed integer problem with some various mathematical constraints, it is hard to solve the problem. In this paper, we proposed a new adaptive strategy in GA to overcome the premature convergence and improve the convergence efficiency. And for these purposes, we proposed a fitness function suited for the ORP. In the proposed AGA, we used specially designed adaptive probabilities for genetic operators to consider the characteristics of distribution systems that are operated under radial configuration. The proposed algorithm has been tested in sample networks and the results are presented.

1. 서 론

최적 배전 계통 계획(Optimal Distribution System Planning)은 배전 계통의 경제성 확보의 중요한 관건이며, 이를 위해서는 전압 강하 및 전력 손실 등을 고려한 배전계통의 최적경로계획 문제의 해결이 우선되어야 한다.

기존의 ORP문제를 해결하기 위한 최적화 방법으로는 수치적인 방법인 분기한정 알고리즘이나 동적 계획법 등이 이용되었다. 그러나 이들 대부분은 복잡한 비선형 함수이며 부분적으로 이산성이 유지되어야 하며, 함수의 연속성이나 미분가능 등과 같은 조건을 전제로 하기 때문에 경우에 따라서는 비효율적일 수 있으며 대규모 시스템의 경우 응용에 어려움이 많다. 따라서 이러한 문제를 개선하기 위한 방법으로서 인공지능 기법을 응용하는 방안이 제시되고 있다[1,2,3].

본 논문에서는 ORP문제의 최적해 탐색을 위해서 인공지능 기법중 하나인 GA의 적용을 시도하였으며 수렴성능과 지역최적점에 대한 고착문제를 해결하기 위하여 적응 유전 연산자 확률 및 연산자 확률 계수를 적용하였다. 본 ORP의 목적함수는 투자비용과 계통운용비용 즉 손실비용의 합으로 하였으며, 목적함수의 최적화는 투자비용 및 운용비용의 기준값을 정하여 그 기준값에 대한 상대적 가중평균을 최소화하도록 알고리즘을 수행하였다.

제안한 알고리즘은 비교적 대규모 모의 계통인 32모선과 69모선 예제모델에 적용하여 효용성을 입증하였다.

2. 조류계산과 손실방정식

본 논문에서는 효율적인 알고리즘 수행을 위하여 계산시간이 적으며, 비교적 우수한 계산결과를 얻을 수 있는 Distflow 조류계산[4,5] 알고리즘을 이용하였다. 또한 유전연산자의 탐색과정에서 발생하는 빈번한 계통 변경과정에서, 전체 계산시간을 단축하며, 간략화된 계통의 조류 흐름을 파악하기 위한 근사 조류계산(Simplified DistFlow) 알고리즘을 사용하였다. 그림 1은 방사상으로 구성된 단일선로의 배전계통을 나타내며 선로 및 부하는 각각 정입피덴스와 정전력 부하로 나타내었다. 아래에서 z_i 는 i 노드와 $i+1$ 노드 사이의 선로 임피던스이며, $S_{L,i}$ 는 i 노드의 피상 전력 부하를 나타낸다.

그림 1의 단일선로 계통에서 순방향으로 유효·무효전력 조류를 순환식으로 표현하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

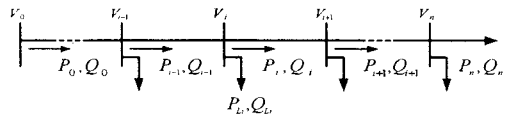


그림 1 단일 선로 계통도
 Fig. 1 One line diagram of a main feeder

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

여기서,

P_i, Q_i : i 노드에서 유출되는 유효, 무효 전력조류
 V_i : i 노드의 전압

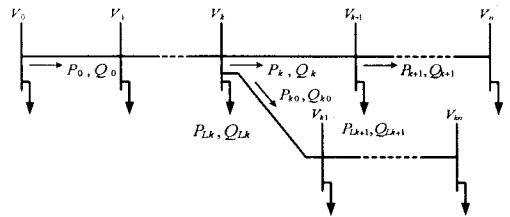


그림 2 분기선로가 있는 계통도
 Fig. 2 One line diagram of a main feeder with laterals

일반적인 배전계통은 단일선로보다는 지선(lateral)을 포함하고 있으며 그림 2와 같은 형태로 지선이 있는 배전계통을 표현할 수 있다. 식 (1)을 확장하여 $X_{i-1} = f_{i-1}(X_i)$ 의 형태로 표현한다면, 지선이 있는 경우의 조류계산 수식은 다음처럼 표현할 수 있다. 여기서 $X_i = [P_i, Q_i, V_i]^T$ 이다.

$$\begin{aligned}
 P_k &= \widehat{P}_k(X_{k-1}) - P_{k0} \\
 Q_k &= \widehat{Q}_k(X_{k-1}) - Q_{k0} \\
 |V_k| &= \widehat{V}_k(X_{k-1})
 \end{aligned} \tag{2}$$

본 논문의 계통손실은 다음과 같은 형태로 저항에 의해 발생하는 유효전력손실을 고려하였다.

$$P_{loss} = \sum_{i=0}^{n-1} r_i \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} \tag{3}$$

2.1 최적화 탐색방향의 추정을 위한 근사 조류계산

앞서 언급된 조류계산방정식 식 (1)에서 2차 함수로 표현되는 전력손실 항은 P_i 와 Q_i 에 비해서 상대적으로 근소한 값이므로 이들 손실 항을 기준식에서 소거함으로서 다음과 같은 새로운 근사 전력방정식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{i+1} &= P_i - P_{L,i+1} \\ Q_{i+1} &= Q_i - Q_{L,i+1} \\ V_{i+1} &= V_i^2 - 2(r_i P_i + x_i Q_i) \end{aligned} \quad (4)$$

또한, $V_i^2 \approx 1$ [pu]를 이용하면 근사 전력손실은 다음과 같이 계산 할 수 있다.

$$\widetilde{P}_{loss} = \sum_{i=1}^{TN} r_i (P_i^2 + Q_i^2) \quad (5)$$

3. ORP 문제의 정식화

본 논문에서는 배전계획을 위한 최적경로선정 문제를 고려함에 있어서 단일단계 모델(single-period model)의 시스템 급전선 모델(system feeders model)로 한정하여 알고리즘을 제안하였다. 시스템 급전선 모델의 목적함수는 부하의 수요예측지점과 공급 변전소의 계통이 구성된 상태에서 최소의 비용으로 부하수요량을 충족시키기 위하여 변전소와 부하예측지점을 연계하는 최적의 전력 전송경로를 결정하는 것이다.

본 논문에서는 배전계통 최적경로 선정을 목적으로 하고 있으므로 계통운영비용(System Operation Cost: SOC)과 투자비용(Investment Cost: IVC)이 고려된 전체비용 최소화 형태로 다음처럼 표현할 수 있다.

3.1 ORP 문제의 목적함수

$$\min f_{cost}(Y, U) = \alpha \cdot SOC(Y) + \beta \cdot IVC(U) \quad (6)$$

여기서,

- $Y = [P, Q, V]^T$: 계통운영비용에 관한 변수벡터
- P, Q : 계통의 유효전력 및 무효전력 벡터
- V : 계통의 모션전압 벡터
- U : 급전선 신설 투자비용에 관한 변수벡터
- $SOC(\cdot)$: 계통운영비용에 따른 유효전력 손실비용
- $IVC(\cdot)$: 급전선 신설에 따른 투자비용
- α, β : $SOC(\cdot)$, $IVC(\cdot)$ 에 대한 활성화 계수

3.2 ORP 문제의 등호 제약조건

- 전력 수급 및 K.C.L 제약조건을 위한 전력평형방정식

$$\begin{aligned} P_k &= \widehat{P}_k(X_{k-1}) - P_{k0} \\ Q_k &= \widehat{Q}_k(X_{k-1}) - Q_{k0} \\ |V_k| &= \widehat{V}_k(X_{k-1}) \end{aligned} \quad (7)$$

- 방사상(radiality) 계통구성에 관한 제약조건

$$h_{RAD} = NOD - 1/2 \sum_{i=1}^{TN} CN_i \quad (8)$$

- 단일 고립노드(Single Isolated Node) 제약조건

$$h_{SIN} = \sum_{i=1}^{TN} \{1 - (CN_i)^k\} \quad (9)$$

- 환상망 구성(Loop Constructed Node)의 제약조건

$$h_{LCN} = \sum_{i=1}^{TN} \sum_{j=i}^{TN} V_{ij} V_{ip} \quad (10)$$

여기서,

- $CN_i = \sum_{j=1}^{TN} V_{ij}$: 노드 i 에 연결된 선로의 개수
- V_{ij} : 급전선 (i, j) 의 결정변수(건설: 1, 비건설: 0)
- TN : (변전소 노드 + 부하노드)의 전체 개수
- NOD : 부하노드의 전체 개수
- $(CN_i)^k$: $k=0$ 이고, 2진값(0 또는 1)을 표현

그리고, $path(i, j)$ 는 노드 i 와 노드 j 가 직접 연결되어 있는 경우, i 노드와 j 노드에 모두 연결상태를 갖는 임의의 노드를 나타내는 함수이다.

3.3 ORP 문제의 부등호 제약조건

$$\begin{aligned} 0 &\leq X_{ij} \leq U_F^{max} \\ 0 &\leq SUB_i \leq U_S^{max} \end{aligned} \quad (11)$$

여기서,

- X_{ij} : 노드 (i, j) 에 흐르는 전력 조류
- SUB_i : i 노드에 공급되는 변전소의 전력 조류
- U_F^{max} : 급전선의 전력 용량 한계
- U_S^{max} : 변전소의 공급 용량 한계

4. 적응 유전 알고리즘(Adaptive GA: AGA)

본 논문에서는 GA의 전역탐색 능력을 유지하면서 수렴성능을 향상시키기 위해서 적용하는 교배, 돌연변이 및 역치 확률을 사용하였다. 교배율과 돌연변이율의 최적 제어는 GA의 수렴 특성을 향상시키기 위한 중요한 문제이며 많은 연구에 의해서 검토되었다[6]. 또한 본 논문에서는 ORP문제의 특성상 허용가능한 급전선의 신설 개수를 만족시키는 연산자로서 역치 연산자를 사용하였다. 이 연산자를 통해서 탐색공간 내에서 보다 효과적인 탐색을 가능하도록 하였다.

AGA를 위해 제안된 연산자들의 핵심적인 생각은 각 해들의 우수한 정도를 나타내는 적합도를 기반으로 교배와 돌연변이, 역치의 확률을 적용시키고자 하는 것이다. 이것은 기존의 CGA에서 모든 스트링에 동일한 돌연변이 확률과 교배확률을 적용하는 방법에 비하여 GA의 수렴상태에 따라 적응성을 부여함을 의미한다.

4.1 변수의 코딩 전략

본 논문에서는 배전계통의 신설 급전선의 정보를 용이하게 표현하기 위하여 염색체의 구성에 이진 표현 방법을 사용하였다. 즉, $V=(1100101001)$ 과 같은 염색체는, 급전선의 신설 가능한 경로(right of way) 10개중에서 1번, 2번, 5번, 7번, 10번 경로에 급전선이 건설되는 배전계통을 표현하도록 하였다.

4.2 적응 교배 연산자 확률

GA가 극부해에 수렴할 때 각 연산자들의 교배 및 돌연변이 확률을 증가시켜 새로운 탐색공간으로의 탐색을 진행시켜야 한다. 이를 위해서 적합도 차이에 역 비례하여 스트링의 적용확률을 변화시키도록 하였다. 교배를 위하여 선택된 개체 쌍에 부여하는 임시 적합도(f_c)는 다음과 같이 정의된다.

$$f_c = \begin{cases} f^i & \text{if } f^i \geq f^j \\ f^j & \text{if } f^i < f^j \end{cases} \quad (12)$$

여기서, f^i 과 f^j 는 각각 염색체 i 와 j 의 적합도를 나타낸다. 또한, 평균 이하의 적합도를 갖는 해들을 분열시키며, 우수한 해를 보존하기 위하여 각 개체에 부여하는 적응 교배율(β_c^i)은 다음처럼 계산된다. 다음식에서, f_{max} 와 f_{ave} 는 각각 현재 세대

의 최대 적합도와 평균 적합도를 나타내며, 교배상수 k_1, k_2 는 비율계수를 나타낸다.

$$p_c^i = \begin{cases} k_1(f_{\max} - f_s^i) / f_{dist}, & \text{if } f_s^i \geq f_{ave} \\ k_2, & \text{if } f_s^i < f_{ave} \end{cases} \quad (13)$$

여기서, f_{dist} 는 $f_{\max} - f_{ave}$ 를 나타낸다.

4.2.2 적응 돌연변이 연산자 확률

GA가 수렴함에 따라서 개체집단에서 염색체를 사이의 적합도 거리는 점점 더 작아질 것이다. 임의의 i 번째 염색체와 다른 염색체 사이의 정규화된 표준 적합도 거리(Fitness Distance:FD)는 다음과 같이 표현된다.

$$\overline{FD}(f^i) = \frac{\sum_{j=1}^n |f^i - f^j|}{(n-1) \max |f^i - f^j|} \quad (\text{단, } i \neq j) \quad (14)$$

여기서,
 $\max |f^i - f^j|$: i 번째 염색체와의 최대 적합도 거리

표준 적합도 거리가 적용된 적응 돌연변이 확률(p_m^i)는 다음과 같이 계산된다. 다음 식에서, 돌연변이 상수 k_3^{old}, k_4^{old} 는 돌연변이 확률을 [0,1]의 범위로 제약하기 위하여 사용된 비율계수를 나타내며, k_3^{new} 는 반복수렴의 해가 일정한 값으로 고착되는 세대의 회수를 기반으로, 선택된 돌연변이 대상의 유전인자의 돌연변이 확률을 증가시켜, 조기수렴을 방지한다.

$$p_m^i = \begin{cases} k_3^{new}(f_{\max} - f^i) \overline{FD}(f^i) / f_{dist}, & \text{if } (f^i \neq f_{\max}) \geq f_{ave} \\ k_3^{new} N_{\max} / pop_size, & \text{if } f^i = f_{\max} \\ k_4^{new}, & \text{if } f^i < f_{ave} \end{cases} \quad (15)$$

여기서,
 $k_3^{new} = k_3^{old} [1 + (N_{gen} / CON)]$, (단, $i = 3, 4$)
 N_{gen} : 최적값이 고착되는 세대의 회수
 CON : 알고리즘 종료를 위해 설정된 수렴제한 회수
 N_{\max} : f_{\max} 값을 갖는 염색체의 개수
 pop_size : 개체집단의 크기

본 논문에서는 돌연변이를 적용함에 있어서, GA과정에서 불용해(unfeasible solution)의 생성을 최소화하는 방법으로 배타적 2점 돌연변이 방법을 사용하였다. 제안된 돌연변이 방법은 개체집단의 불용해 생성을 배제하며, 돌연변이 자체의 특성을 유지하면서 수렴속도를 증진할 수 있다.



그림 3 배타적 2점 돌연변이 수행
 Fig. 3 Performance of exclusive double point mutation

4.2.3 적응 역치 연산자 확률

역치 연산자(inversion operator)는 단항(unary)연산자이며, 교배 및 돌연변이 연산자와 병행하여 개체집단의 다양성에 기여할 수 있다. 본 논문에서는 역치 연산자에 적응성을 부여하기 위하여 역치 비율(역치되는 유전인자의 개수)을 해당 개체의 적합도 비율에 의해 선정하도록 하였다.

$$p_{inv}^i = \begin{cases} k_5(f_{\max} - f^i) / f_{\max}, & \text{if } f^i \neq f_{\max} \\ k_5 N_{\max} / pop_size, & \text{if } f^i = f_{\max} \end{cases} \quad (16)$$

4.3 적응 유전 알고리즘 적용을 위한 목적함수

일반적으로 ORP 문제의 목적함수는 투자비용과 손실비용을 최소로 하는 비선형 조합최적화 문제이며, 식(6)의 목적함수와 제약조건을 비제약 최적화 문제의 형태로 다음과 같이 확장하였다.

$$\begin{aligned} \min f_C(Y, U) &= f_{cost}(Y, U) \\ &+ \sum_{i=1}^n \lambda_i (h_i(Y, U))^2 \\ &+ \sum_{i=1}^n \lambda_i (g_i(Y, U) - g_i^{lim})^2 \end{aligned} \quad (17)$$

$$(\text{단, } g_i^{lim} = \begin{cases} g_i^{\max} & \text{if } g_i(Y, U) > g_i^{\max} \\ g_i^{\min} & \text{if } g_i(Y, U) < g_i^{\min} \end{cases})$$

여기서,
 $f_{cost}(Y, U)$: 식(6)의 전체비용 최소화 목적함수
 $h_i(Y, U)$: ORP문제의 i 번째 등호 제약조건
 $g_i(Y, U)$: ORP문제의 i 번째 부등호 제약조건
 λ_i : i 번째 제약조건에 대한 벌점계수
 g_i^{lim} : 부등호 제약조건 i 의 한계값

본 논문에서 AGA의 적합도 함수(fitness function)는 다음처럼 설정하였고 FP 는 100으로 설정하였다.

$$FIT(Y, U) = \frac{FP}{1 + f_C(Y, U)} \quad (18)$$

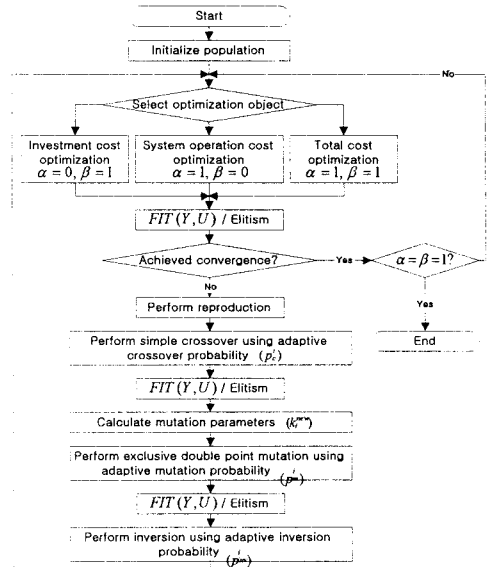


그림 4 제안한 알고리즘의 순서도
 Fig. 4 Flowchart for proposed algorithm

5. 사례연구

제안한 알고리즘의 효용성을 확인하기 위하여 비교적 대규모 모선계통인 32모선과 69모선의 배전계통 예제모델[3,4]을 사용하였다. 선정된 모의계통은 본 알고리즘을 적용하기 위해 모든 선로가 설치 가능 경로(right of way)인 것으로 새롭게 구성하였다. 모의계통의 기준 전압은 12.66[kV]이며, 급전선 신설비용은 임피던스의 크기에 비례하는 것으로 가정하여 임피던스의 크기를 투자비용으로 나타내었다.

표 1 AGA에 사용된 파라미터

Table 1 Parameters used in AGA

계수	pop_size	FP	CON	k_1	k_2	k_3^{old}	k_4^{old}	k_5
계수값	40	100	200	1.0	1.0	0.5	0.5	1.0

32모선과 69모선의 초기 계통구성은 그림 5와 6, 최적결과와 그림 7과 8에 각각 도시하였다. 각각의 개별 계통에 관한 SOC와 IVC의 개별최적화 결과와 전체 비용 최적화 결과는 요약하여 나타내었다. 표에서 전체비용 최적화 결과가 개별최적화 결과에 비하여 각각 다소 상승된 비용을 탐색하였음을 알 수 있으며 이것은 SOC와 IVC를 동일수준의 비용요소로 가정하고 알고리즘을 수행한 결과에 따른 것이며, 제안된 알고리즘의 적용가능성을 시사하는 것이라 할 수 있다.

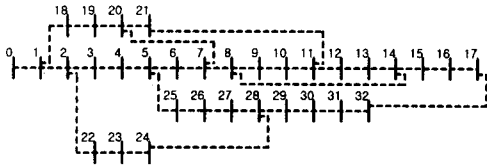


그림 5 32모선 계통의 초기 구성
Fig. 5 Initial configuration of 32-bus system

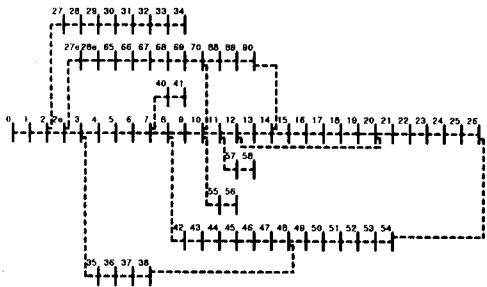


그림 6 69모선 계통의 초기 구성
Fig. 6 Initial configuration of 69-bus system

표 2 32모선 ORP 결과

Table 2 ORP results of 32 bus system

	투자비용 최적화	계통운용비용 최적화	최종목적함수 최적화
개발원선로	16.27,33,34,35	7.9,14,32,37	9.28,32,33,34
투자비용	25.4899	33.3795	28.9036
전력손실[kW]	178.7687	139.5489	144.7628
최소전압[pu]	0.9244607	0.9378198	0.9402003

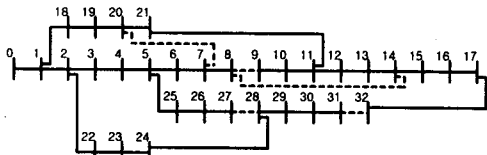


그림 7 32모선 계통의 최적 구성
Fig. 7 Optimal configuration of 32-bus system

표 3 69모선 ORP 결과

Table 3 ORP results of 69 bus system

	투자비용 최적화	계통운용비용 최적화	최종목적함수 최적화
개발원선로	15,41,57,72,73	15,57,62,70,71	13,14,57,64,70
투자비용	25.7296	29.5687	28.5178
전력손실[kW]	464.4801	99.6137	100.9687
최소전압[pu]	0.8256616	0.9427543	0.9414048

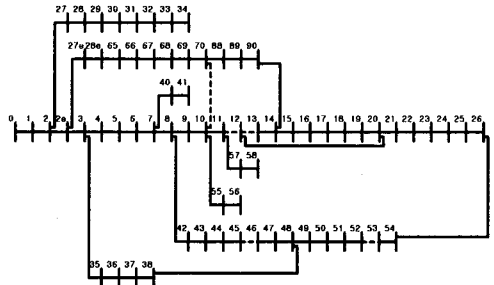


그림 8 69모선 계통의 최적 구성
Fig. 8 Optimal configuration of 69-bus system

다음 그림은 최적화 결과에 따른 부하모선의 전압을 나타낸 것이며, 기존의 손실최소화 계통 재구성 문제와의 비교를 위하여 도시한 것이다.

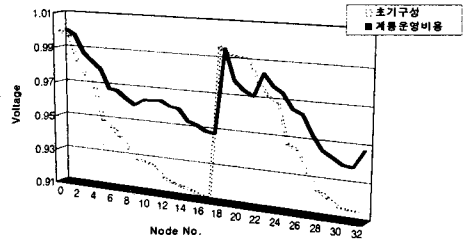


그림 9 32모선 모델에 대한 전압 분포
Fig. 9 Voltage distribution for 32-bus model

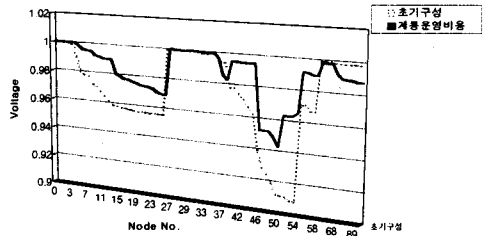


그림 10 69모선 모델에 대한 전압 분포
Fig. 10 Voltage distribution for 69-bus model

다음은 제안한 AGA와 CGA의 수렴특성곡선이며, 다음그림은 제안된 AGA의 평균 목적함수 값의 변화곡선을 나타낸 것이다.

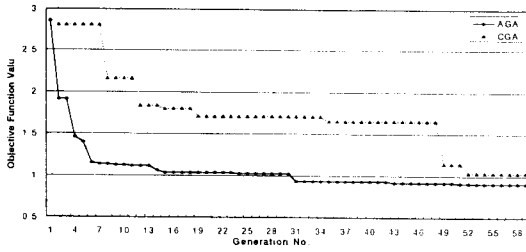


그림 11 AGA와 CGA의 수렴추이곡선
Fig. 11 Convergent transitional curve for AGA and CGA

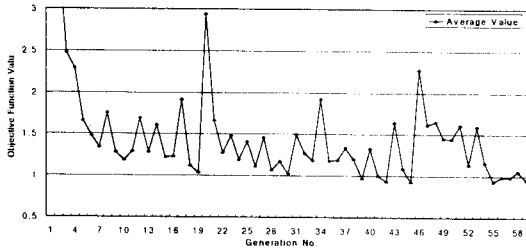


그림 12 AGA의 평균값 변화곡선
Fig. 12 transitional curve for average value of AGA

다음 표는 제안된 알고리즘의 효용성을 입증하기 위하여 계통 운용비용 단일 최적화 결과를 다른 논문과 비교한 것이다.

표 4 다른 연구와의 비교
Table 4 Comparison with another study

	32모선		69모선	
	전력손실 [kW]	개방된 선로번호	전력손실 [kW]	개방된 선로번호
[7]	139.5489	7,9,14,32,37	-	-
[8]	139.5489	7,9,14,32,37	99.6189	15,59,62,70,71
제안한방법	139.5489	7,9,14,32,37	99.6137	15,57,62,70,71

6. 결 론

본 논문에서는 전역탐색 기법인 유전알고리즘을 이용하여 배전계통의 최적경로탐색 문제에 효과적으로 적용하였으며, 새로운 적응 유전알고리즘을 적용하여 ORP 문제의 탐색효율의 증진을 도모하는 전체비용 최소화 알고리즘을 제안하였다. 목적함수 최적화에서 수렴성을 향상시키기 위해서 적합도 값을 기준으로 한 적응 유전 알고리즘을 사용하였으며 수렴속도와 지역 최적점에 고착하는 문제를 해결하기 위하여 적용하는 유전 연산자 개수와 다양한 적용전략을 도입하였다. 제안된 알고리즘은 다양한 사례 연구를 통하여 대규모 계통의 전체비용 최소화 ORP 알고리즘으로의 적용 가능성을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] Ignacio J. Ramirez-Rosado, and Jose L. Bernal-Agustin, "Optimization of Power Distribution Network Design by Application of Genetic Algorithms", International Journal of Power and Energy Systems, Vol. 15, No. 3, pp. 104-110. 1995.
- [2] Vladimiro Miranda, J. V. Ranito, and L. M. Proenca, "Genetic Algorithms in Optimal Multistage Distribution Network Planning", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 9, No. 4, pp. 1927-1933, November 1994.
- [3] M. S. Kim, B. S. Kim, J. R. Shin, and H. S. Yim, "Optimal Routing Based on Genetic Algorithms for Distribution System Planning", 대한전기학회 추계학술대회 논문집, A권. pp. 137-140, 1999. 11.
- [4] Mesut E. Baran, and 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.
- [5] Mesut E. Baran, and Felix F. Wu, "Optimal Sizing of Capacitors Placed on A Radial Distribution System", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 4, No. 1, pp. 735-743, January 1989.
- [6] M. Srinivas, and L. M. Patnaik, "Adaptive Probabilities of Crossover and Mutation in Genetic Algorithms", IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 24, No. 4, pp. 656-667, April 1994.
- [7] Whei-Min Lin, and 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.
- [8] Y. J. Jeon, S. K. Choi, and J. C. Kim, "Implementation of Simulated Annealing for Distribution System Loss Minimum Reconfiguration", Trans. KIEE. Vol 48A, No. 4, April 1999.