

유전 알고리즘을 이용한 전력조류계산

\* 이태형\*, 채명석\*, 임한석\*, 신중린\*  
 건국대학교 전기공학과\*

Power Flow calculation Using Genetic Algorithms

Tae-Hyung Lee, Myung-Suk Chae, Han-Suk Im, Joong-Rin Shin.  
 Dept. of Electrical Engineering, Kon-Kuk University\*

Abstract

The power flow calculations(PFc) are the most important and powerful tools in power systems engineering. The conventional power flow problem is solved generally with numerical methods such as Newton-Raphson. The conventional numerical method generally have some convergency problem, which is sensitive to initial value, and numerical stability problem concerned with matrix inversion.

This paper presents a new power flow calculation algorithm based on the genetic algorithm(GA) which can overcome the disadvantages mentioned above. Some case studies with IEEE 6 bus system also presented to show the performance of proposed algorithm.

1. 서론

기존의 전력 조류계산 방법은 대부분 뉴턴-랩슨법 또는 가우스-자이델법을 바탕으로한 수치해석적 기법에 의한 것이었다. 이러한 수치해석적기법은 수치해석적기법 자체의 특성으로 인한 몇가지 문제점을 갖게된다. 그 대표적인 것으로서 알고리즘의 수렴특성이 초기치 선정에 매우 민감하다는 점과 역행렬을 구하는 과정에서 야기될수 있는 수치해석 과정의 안정성(numerical stability) 등을 들수 있다. 조류계산 문제에서 초기치 선정이나 역행렬의 계산 없이 해를 구할 수 있다면 이러한 문제점은 크게 개선될 것이다.[7]

본 연구에서는 전역적인 최적화 기법으로 알려져 있는 유전알고리즘을 이용하여 수치적인 난제를 해결하고, 좀 더 효율적인 계산기법을 개발하는데 착안하였다. 또한 제시한 알고리즘의 타당성을 보이기 위하여 6 모선 모델 계통에 적용하여 그 결과출보인다.

2. 기존의 전력조류계산법

기존의 조류계산법중 대표적인 것은 Newton-Raphson법이다. Newton-Raphson법 전력조류계산을 위한 모선의 유효 및 무효전력 방정식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} f_P(\hat{V}) &= b_P = e_i \sum_{j=1}^n (G_{ij}e_j - B_{ij}f_j) + f_i \sum_{j=1}^n (G_{ij}f_j + B_{ij}e_j) \\ f_Q(\hat{V}) &= b_Q = f_i \sum_{j=1}^n (G_{ij}e_j - B_{ij}f_j) - e_i \sum_{j=1}^n (G_{ij}f_j + B_{ij}e_j) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서,

- $b_P$  : 유효전력 지정치
- $b_Q$  : 무효전력 지정치
- $G_{ij}$  : 이드미턴스 실수부
- $B_{ij}$  : 이드미턴스 허수부
- $e_i$  : 전압 실수부
- $f_i$  : 전압 허수부

식 (1)의 전력 방정식은  $\hat{V}_i = e_i + jf_i$  로 두면 다음의 형태로 다시 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} g_P(\hat{V}) &= f_P(\hat{V}) - b_P = 0 \\ g_Q(\hat{V}) &= f_Q(\hat{V}) - b_Q = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)에서 전압 벡터에 관해 \* 첨자로 해의 추정치를 나타내고, \* 첨자로 초기 추정치를 나타내면

$$\begin{aligned} g_P(\hat{V}^*) &= g_P(\hat{V}^{(0)} + \Delta \hat{V}) = 0 \\ g_Q(\hat{V}^*) &= g_Q(\hat{V}^{(0)} + \Delta \hat{V}) = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

과 같이 된다.

식 (3)을 테일러 전개를 통하여 2차 편미분항 이상을 소거하여 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} g_P(\hat{V}^{(0)} + \Delta \hat{V}) &= g_P(\hat{V}^{(0)}) + \Delta \hat{V} \left. \frac{\partial g_P(\hat{V})}{\partial \hat{V}} \right|^{(0)} = 0 \\ g_Q(\hat{V}^{(0)} + \Delta \hat{V}) &= g_Q(\hat{V}^{(0)}) + \Delta \hat{V} \left. \frac{\partial g_Q(\hat{V})}{\partial \hat{V}} \right|^{(0)} = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

식 (4)는 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta \hat{V} \left. \frac{\partial g_P(\hat{V})}{\partial \hat{V}} \right|^{(0)} &= b_P - f_P(\hat{V}^{(0)}) \\ \Delta \hat{V} \left. \frac{\partial g_Q(\hat{V})}{\partial \hat{V}} \right|^{(0)} &= b_Q - f_Q(\hat{V}^{(0)}) \end{aligned} \quad (5)$$

윗식을 간단히 행렬 형태로 표현하면 다음과 같다.

$$[J][\Delta \hat{V}] = [\Delta f] \quad (6)$$

여기서  $\Delta f$ 는 각 모선에서

$$\begin{aligned} \Delta f_P &= |b_P - f_P(\hat{V})| \\ \Delta f_Q &= |b_Q - f_Q(\hat{V})| \end{aligned} \quad (7)$$

으로 주어지는 전력불정량벡터(power mismatch vector)이다. 기존의 조류계산은  $\|\Delta f\|$ 를 최소화하도록 근사해를 반복적으로 수정하는 방식이다.

이러한 반복과정을 통하여 반복근사해는

$$V^{(1)} = V^{(0)} + \Delta V \quad (8)$$

를 통해 구해지게 된다.

### 3. 유전알고리즘의 적용을 위한 전력조류계산의 정식화

유전알고리즘을 이용한 전력조류계산을 하기 위하여 식 (1)에서 제시했던 직각좌표형식의 전력방정식을 이용하면, 계통의 송전선 손실은 다음과 같이 표현된다.

$$f_{bus}(V) = - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N+1} G_{ij}(e_i e_j - e_j) + f_i(f_i - f_j) \quad (9)$$

전압편차는 전압크기 지정치와 전압크기 계산값의 편차로 다음과 같다.

$$\Delta V_i = |V_i^p - V_i| \quad (10)$$

여기서,

$$V = \sqrt{e_i^2 + f_i^2} \quad (11)$$

결국, 조류계산은 식(7) - (10)에서 각 항의 편차가 최소가 되도록 하는  $e_i, f_i$ 의 값을 찾는 것이다.

따라서 본 연구에서는 목적함수를 다음과 같이 구성하여 이 목적함수를 최소화하고자 하였다.

$$O = \sum_{i \in N_{PV}} [|b_{PV} - f_{PV}|^2 + |b_{QV} - f_{QV}|^2] + \sum_{i \in N_{PQ}} [|b_{PQ} - f_{PQ}|^2 + |V_i^p - V_i|^2] \quad (12)$$

여기서,

$n_{PQ}, n_{PV}$  : 부하모선과 발전모선

### 4. 유전알고리즘을 이용한 전력조류계산 알고리즘

유전알고리즘(Genetic Algorithm : GA)은 자연의 유전학과 다윈의 적자생존의 원리를 근거한 최적화 탐색기법으로서 자연계에서 연색체가 복제, 교배, 돌연변이를 반복하여 진화하듯이 시스템의 최적해(Optimal solution)를 찾는 방법으로 1989년 D. E. Goldberg에 의해 체계가 정리된 이후 여러분야에 응용되고 있다 [8]. 유전알고리즘은 일종의 최적치 계산기법으로, 전역 최적해 탐색기법 및 여러 해의 동시탐색이 가능하고 다중해를 갖는 비선형성이 강한 시스템에도 적용이 가능하다는 이점을 갖고 있다. GA는 최적화 문제의 목적함수로부터 적합도를 구하여 적합도 값에 따라 다음 세대에 생존과 소멸을 결정하는 것으로서 최적화 문제의 변수들의 집합을 유한길이의 2진 스트링으로 코딩한다. 스트링의 길이를 길게 하면 많은 계산시간을 필요로 하고 수렴성도 저하된다. [9] 본 연구에서는 변수를 유한길이의 코딩하는 절차가 필요없이 변수 그 자체로 최적화하는 방법을 사용하였다.

본 연구에서는 식(8)의 mismatch가 0이 되도록하기 위해 적합도 함수는 다음과 같이 구성하였다.

$$F = \frac{M}{1 + O + \alpha f_{bus}(V)} \quad (14)$$

여기서 M은 적합도를 조절하기 위한 파라미터이며  $\alpha$ 는 목적함수와 손실사이의 가중치이다. 적합도 함수에 손실방정식을 추가한 이유는 손실이 최소가 되는 해의 적합도를 높이기 위함이다.

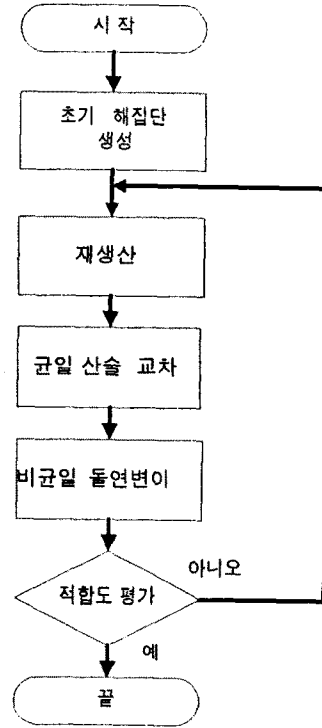


그림 1. 유전알고리즘을 이용한 조류계산 순서도

Fig 1. Flow chart of GA based Load Flow Calculation

### 5. 사례연구

본 알고리즘의 타당성을 입증하기 위해 IEEE 6모선 계통에 적용하였고 기존의 조류계산 알고리즘 결과와 비교하였다. 개체수는 100개로 하였으며 교차확률은 0.9, 돌연변이 확률은 0.01, 적합도 함수에서 M은 100,  $\alpha$ 는 0.01로 하였다. 표 1은 기존조류계산과의 비교인데 거의 비슷한 해를 얻을 수 있었다.

표 1 기존조류계산과의 비교

Table 1. Comparison with Conventional method

bus	기존조류계산		제안한 조류계산	
	직교좌표	극좌표	직교좌표	극좌표
1	1.050 ∠ 0.000	1.050+j0.000	1.050 ∠ 0.000	1.050+j0.000
2	1.10 ∠ -0.030	1.098-j0.0659	1.0948 ∠ -0.0013	1.0948-j0.0648
3	0.997 ∠ -0.224	0.972-j0.2215	0.9652 ∠ -0.0038	0.9652-j0.2232
4	0.926 ∠ -0.172	0.912-j0.158	0.9081 ∠ -0.0025	0.9081-j0.1608
5	0.916 ∠ -0.216	0.894-j0.196	0.8976 ∠ -0.0032	0.8976-j0.1925
6	0.914 ∠ -0.214	0.893-j0.194	0.8989 ∠ -0.0031	0.8989-j0.2000

그림 2와 3은 세대별 평균 전력보정량과 평균 적합도이다.

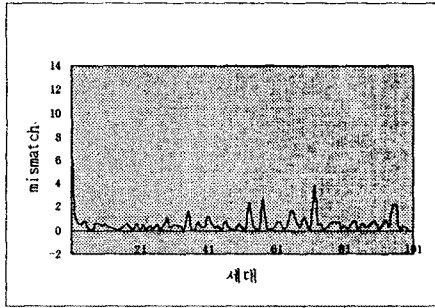


그림 2 평균 mismatch

Fig 2. Average power mismatch

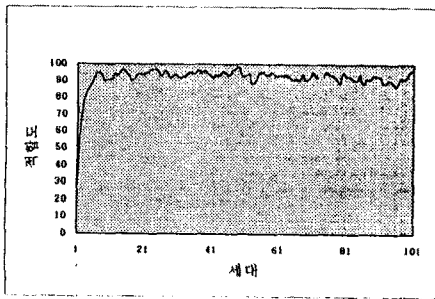


그림 3 평균 적합도

Fig 3. Average Fitness

## 5. 결론

유전알고리즘을 사용하여 초기치에 민감한 기준조류계산의 단점을 보완하였다. 실변수로 코딩하여 계산시간을 단축하였고 적합도 함수에 손실방정식을 사용하여 손실이 최소가 되는 해를 구하도록 하였다. IEEE 6모선에 대하여 기준조류계산과의 결과를 비교함으로써 제안한 알고리즘의 효율성을 입증하였다. 다수 모선을 갖는 대형시스템에의 적용 가능성을 보였으며 이 알고리즘을 이용하여 전압안정도 해석이 좀더 진보되리라 생각한다.

## 6. 참고문헌

- [1] Tinney, W. F and Powell, W. L, "Notes on Newton-Raphson Method for Solution of AC Power Flow Problem", Bonneville Power Administration, 1971, pp 5-16
- [2] W. E. Tinney, C. E. Hart, "Power Flow Solution by Newton Method", IEEE Trans on PAS, Vol. PAS-86, Nov., 1967, pp. 1449-1456
- [3] A. H. El-Abiad, "Load Flow Using A Combination of Point Jacobi and Newton's Methods", IEEE Trans. on PAS July 1970, pp. 941-949
- [4] Y. Wallach, R. K. Even, Y. Yavin, "Improved Methods for Load-Flow Calculations", IEEE Trans. on PAS-90, Feb. 1971
- [5] W. F. Tinney, W. L. Powell, "Notes on Newton-Raphson Method for Solution of AC Power Problem", BPA Oregon, 1971
- [6] K. P. Wong, A. Li, "A Method To Handle Constrains in Genetic-Algorithm Load-Flow in Electric Power Systems", Proc. of the 1st K-A Joint Workshop, Jun. 1994, pp230-245
- [7] Pai, M. A, "Computer Techniques in Power System Analysis", Tata McGraw-Hill, 1979, pp 111-136
- [8] D. E. Goldberg, Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine-Learning, Addison-Wesley, 1989
- [9] Zbigniew Michalewicz, Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs, Springer-Verlag, 1995