

Hereford Ranch Algorithm을 이용한 분산형 전원 개발계획

박 상 기* , 김 진 오
 한양대학교 전기공학과

Dispersed Generation Planning using Hereford Ranch Algorithm

Sang-Ki Park · Jin-O Kim

Department of Electrical Engineering, Hanyang University

Abstract - This paper presents a new approach to dispersed generation installation planning based on a Hereford Ranch Algorithm in a subtransmission system. A method to optimally locate dispersed generations in a meshed network for maximizing the potential benefits is outlined using Hereford Ranch Algorithm and its improvement in this paper. The benefit expressed as a performance index can be minimization of losses. The proposed method was tested for several sample power systems.

1. 서 론

분산형 전원이란 중앙 집중식 전력원과 달리 중·소규모로 소비지 근방에 분산배치가 가능한 전원으로서 연료전지, 풍력발전, 태양광발전, 소형열병합발전 및 전지전력저장 시스템 등이 해당되며, 환경 측면 및 에너지 절약, 입지적 제약의 해소 등 우수한 장점을 가지고 있다. 이러한 분산형 전원을 최적 배분하여 설치하면 계통상의 유효전력손실을 최소화할 수 있으며, 이로 인한 설비물의 부하경감 및 설비물의 교체시기를 연장시킬 수 있고 전력수급의 불균형도 완화시킬 수 있다[1,2]. 본 논문은 분산형 전원의 최적배분을 통한 계통상의 유효전력손실을 최소화하는 해를 구하는 것으로 이러한 최적 조류계산에는 뉴턴법을 이용한 2차 미분법(second order method)등이 이용되어 왔으나[1,4], 많은 물리적 제약으로 인한 심한 비선형성을 갖는 분산형 전원 최적배분 문제에서는 국부 최적 값에 빠져버리는 단점이 있었다. 한편, 고전적 유전 알고리즘의 경우 전역 탐색이 가능하나 수렴시간의 증대와 다양성 손실율(diversity loss rate)의 증대로 인한 조기 수렴(premature convergence)의 문제가 있었다[4,5].

본 논문은 이러한 문제점들을 해결하고자 HR(Hereford Ranch Algorithm)을 도입한 유전 알고리즘을 사용하였다. 이 알고리즘은 염색체에 성별 구분관념(Sexual differentiation) 및 성별 차등 선택방법

(Sexual Selection)을 도입하여 다양성 손실율을 감소시키고 유전 알고리즘의 강건성을 강화시킨다. 또한 본 논문에서는 HR의 진화연산자를 개선시켜 수렴속도 및 안정성 등을 더욱 개선하였으며 개선된 HR을 시험계통에 적용한 결과 2차 미분법, 고전적 유전 알고리즘 그리고 일반적 HR보다 더 나은 값을 찾았다.

2. 본 론

분산형 전원의 설치위치는 일반적으로 배전용 변전소 주변압기(154/22.9KV)의 2차측이 유망한 것으로 보며 본 논문에서는 부하모선으로 한정한다. 분산형 전원의 최적배분에 의한 각 알고리즘에서의 정식화는 다음과 같다.

2.1 2차 미분법으로부터의 정식화

2차 미분법에서 총 설치용량 제약 및 각 부하모선에 설치되는 분산형 전원의 용량이 음의 값을 갖지 않아야 된다는 부등 제약조건을 페널티 함수로 첨가하여 목적함수를 나타내면 식 (1)과 같이 된다.

$$\min F = \sum_{i=1}^n P_i + \alpha (P_j + \dots + P_k - C)^2 + \beta (e^{-P_j} + \dots + e^{-P_k}) \quad (1)$$

C = 설치될 분산형 전원의 총 유효전력 발전량

α = 등가 제약조건인 페널티 계수

β = 부등 제약조건인 페널티 계수

j, \dots, k = 부하모선

식 (1)으로부터 각 모선의 전력 보정량 방정식(Power Mismatch Equation)에 라그랑지 미정승수를 곱한 항을 첨가시키면 식 (2)와 같은 라그랑지 함수로 표현된다[3].

$$\min L = F + \sum_{i=1}^n \lambda_{pi} \Delta P_i + \sum_{i=2}^n \lambda_{qi} \Delta Q_i \quad (2)$$

$\lambda_{pi}, \lambda_{qi}$ = 라그랑지 미정승수

$\Delta P_i, \Delta Q_i$ = 전력 보정량 방정식

$|E|, \theta$ = 모선 전압의 크기와 위상각

$P_{i,Load}, Q_{i,Load}$ = 모선 i 의 유효 및 무효전력 부하

여기서 분산형 전원의 운전역률은 1.0으로 볼 수 있으며, 따라서 유효전력만을 공급하는 형태가 된다. 2차 미분법에서는 제어변수와 상태변수 및 라그랑지 미정승수로 식 (2)를 2계 미분한 행렬을 사용하게 된다.

2.2 유전 알고리즘에서의 정식화

본 논문에서 유전 알고리즘의 유전인자는 각 부하모선에 설치될 분산형 전원의 유효전력용량과 외부로부터 유입되는 유효전력량으로 삼으며 적합도 함수는 식 (3)과 같다. 식 (3)에서 기준 모선의 투입전력 P_1 는 일반 조류계산으로부터 구한다.

$$\min F = \sum_{i=2}^n P_i + P_1(|E|, \theta) + (a \times t)^2 \cdot (P_j + \dots + P_k - C)^2 \quad (3)$$

a = 페널티 계수 (0.8로 선정)

t = 세대 수

C = 설치될 분산형 전원의 총 유효전력 발전량

한편 돌연변이 확률은 0.0015로 하였으며, 기존 유전 알고리즘의 경우 교차연산 확률은 0.8로 하였다

2.3 Hereford Ranch(HR) 알고리즘

HR은 성별 구분개념과 성별 차등 선택개념을 갖으면서 또한 부모세대 선정시 성비(Male to Female Ratio)의 조정으로 다양성 손실율에 직접 영향을 줄 수 있다. HR의 순서도는 그림 1과 같다.

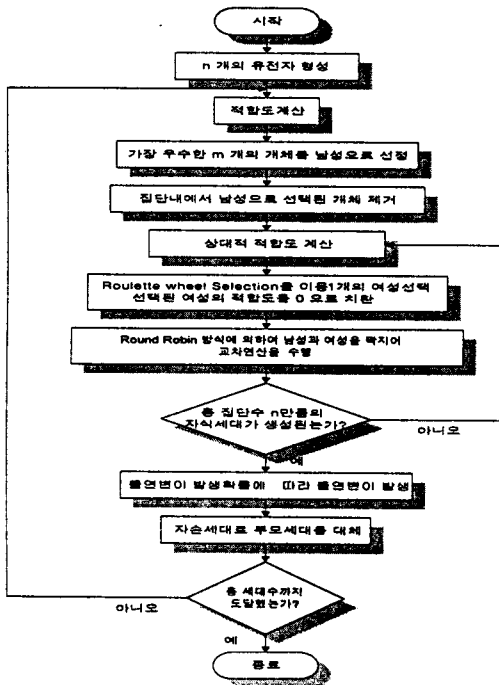


그림 1. Hereford Ranch Algorithm 순서도

기존 HR에서의 교차연산자는 2점 교배(Two-point crossover)를 기본으로 사용하며 본 논문에서 사용되는 모든 HR의 성비는 0.5로 한다.

2.4 개선된 유전 알고리즘

기존의 발견적 학습교배(Heuristic crossover)는 부모로 선택된 두 개체가 탐색영역내에서 서로 멀리 떨어져 있고 또한 이들 사이에 최적점이 있을 경우 자식세대를 만들지 못하거나 최적해를 찾지 못할 가능성이 있어[6] 본 논문에서는 산술교배(arithmetical crossover)와의 결합을 제시하였다. 본 논문에서 제시하는 교차연산 방법은 우선 임의의 수 k 를 정한 뒤 발견적 학습교배를 실행하여 k 번 내에 우수한 자손세대를 만들지 못하거나 탐색영역을 만족하는 자손을 만들지 못할 경우 산술교배를 수행하도록 하는 것으로 기존의 발견적 학습교배의 단점을 보완하게 된다. 기존의 돌연변이 연산자는 돌연변이 발생시 유전인자들 사이에 성립되는 제약조건을 위반할 가능성이 크며 이것은 수렴속도를 저하시키므로 본 논문에서는 2점 돌연변이(Two-point mutation)을 제안하였다. 이 방법은 돌연변이가 일어난 개체의 다른 유전인자를 임의로 선택하여 돌연변이에 의해 일어난 제약조건의 위반을 조정하는 역할을 하도록 하여 제약조건을 위반으로 인하여 발생하는 수렴속도의 저하를 막기 위한 것이다.

2.5 사례연구

그림 2와 같은 IEEE 6모선계통[1]을 이용하여 2차 미분법, 기존의 유전알고리즘 그리고 기존의 HR 및 본 논문에서 제안된 진화연산자를 사용한 방법들을 가지고 모의 실험하여 보았다.

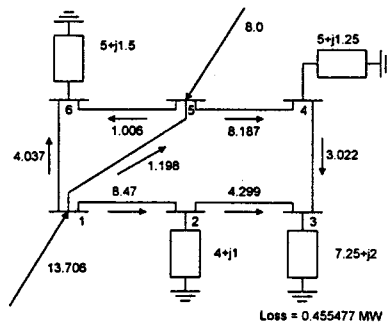


그림 2. 모의 실험 대상 네트워크의 기본모형

그림 2에서 분산형 전원의 설치대상 모선은 2, 3, 4, 6번 모선이 되며 1, 5번 모선은 송전계통에 연결된 것으로 보고 전압 조정모선으로 고려한다. 설치되는 분산형 전원의 총 발전량 제약을 6가지 경우로 나누어 차례로 증가시키면서 모의 실험하였으며 마지막 6번째 경우는 설치되는 분산형 전원 용량의 제약이 없는 경우로 유전 알고리즘에서의 모의 실험에서 제외하였다. 2차 미분법에 의한 결과는 표

1과 같으며 총 설치용량의 경우에 따라 각 부하모선에 설치되는 분산형 전원의 용량과 그때의 계통 유효전력 손실을 나타내고 있다.

표 1. 2차 미분법에서의 모의 실험 결과(단위: MW)

Total injection	injection at node				Losses
	2	3	4	6	
0.0					0.455477
0.5	0.1293	0.1735	0.1349	0.0719	0.416285
1.0	0.2533	0.2925	0.2584	0.2029	0.398538
5.0	1.2592	1.3069	1.2664	1.2020	0.268657
10.0	2.5085	2.5418	2.5147	2.4738	0.147917
15.0	3.7510	3.7945	3.7616	3.7174	0.069283
21.3	4.0116	7.2556	5.0122	5.0028	0.023638

유전 알고리즘을 이용한 모의 실험에서 유전인자의 상 하한은 분산형 전원의 총 설치용량을 설치대상 모선 수로 나눈 것의 50%에서 150%로 설정하였으며 총 세대수는 30, 총 개체수는 50으로 설정하여 각 방법당 20번씩 반복 실험하였다. 분산형 전원의 총 설치용량이 1MW일 경우, 각 방법에서 최적수렴곡선은 그림 3과 같다.

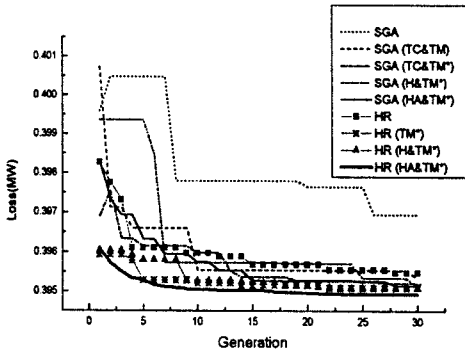


그림 3. 총 설치용량이 1MW일 때의 최적 경우

그림 3에서 SGA는 고전적 유전 알고리즘, TM은 2점 돌연변이, TM*는 비균일 돌연변이를 기초로한 2점 돌연변이, TC는 2점 교배, H는 발견적 학습 교배, HA는 발견적 학습교배와 산술교배의 결합을 나타낸다. 그림 3으로부터 본 논문에서 제시한 2점 돌연변이 방법 TM과 TM*가 기존의 돌연변이 방법보다 빠른 수렴을 보이며 교차연산자의 경우 2점 교배나 발견적 학습교배보다 본 논문에서 제시한 발견적 학습교배와 산술교배를 결합한 형태인 HA가 빠르고 안정적인 수렴을 보임을 알 수 있다.

유전 알고리즘 자체의 비교에서는 모든 경우에서 HR이 SGA보다 빠른 수렴을 보였다. 표 2는 개선된 HR이 찾은 해를 나타낸 것으로 각 부하모선의 분산형 전원 설치용량과 그때의 계통 유효전력손실을 나타내고 있으며 2차 미분법보다 더 낮은 손실

해를 찾아내었음을 알 수 있다.

표 2. 개선된 HR의 최적 경우 (단위: MW)

Total injection	injection at node				Losses
	2	3	4	6	
0.5	0.063	0.187	0.187	0.062	0.415997
1.0	0.125	0.375	0.374	0.125	0.394994
5.0	0.762	1.875	1.738	0.625	0.249506
10.0	2.000	3.750	3.000	1.250	0.121288
15.0	3.233	5.625	4.247	1.895	0.049790

3. 결 론

본 논문에서는 분산형 전원 최적배분문제에 유전 알고리즘을 적용하여 보았으며 기존 유전알고리즘의 조기수렴 및 수렴속도의 개선을 위하여 새로운 진화연산방법을 제시하고 이를 기존의 진화연산자와 비교 그 유용성을 입증하였다. 또한 기존의 SGA, HR에 개선된 진화연산방법을 도입하여 개선시키고 개선된 SGA, HR을 서로 비교한 결과 개선된 HR이 개선된 SGA보다 빠른 수렴 및 안정적 수렴을 보여 유전 알고리즘에 성별구분 및 성별 차등 선택방법의 도입이 요구됨을 알 수 있었고 개선된 HR을 최적조류계산에서 우수한 성능을 보여준 기존의 2차 미분법과 비교한 결과 개선된 HR이 모든 모의 실험에서 2차 미분법보다 우수한 해를 구하여 앞으로 많은 제어변수와 심한 제약조건이 있는 전력계통의 다른 최적화 문제에도 적용 가능함을 볼 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] N. S. Rau, Y. H. Wan, "Optimum Location of Resources in Distributed Planning," IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 9, No. 4, Nov., 1994
- [2] L. Lamarre, "The Vision of Distributed Generation," EPRI Jour. pp. 6-17. April/March, 1993
- [3] D. I. Sun, et al., "Optimal Power Flow by Newton Approach," IEEE Trans. on PAS., Vol. 103, No. 10, Oct., 1984
- [4] Z. Michalewicz, Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs, Springer-Verlag, 1992
- [5] M. H. Jones, The Hereford Ranch Algorithm: An Improvement of Genetic Algorithms using Selective Breeding, Utah State Univ. 1995
- [6] 北野宏明, 遺傳的アルゴリズム, 産業図書株式会社 1993