

유전 알고리즘(Genetic Algorithm)을 이용한 발전기의 효율적 추가 계획

배정현, 김진오
한양대학교 전기공학과

The efficient further plans of the power generators using the genetic algorithm

Jung-Hyun BAE, Jin-O KIM
Dept. of Electrical Engineering, Hanyang University

Abstract - 급속한 산업의 발전과 생활수준의 향상에 의하여 전력수요가 증가하고 있다. 본 논문에서는 전력계통에서 발전기의 효율적 추가 계획을 제시 하기 위하여 정확하고 효율적인 유전알고리즘을 이용하여 발전소 추가 건설시 모선 계통의 선정을 사례연구를 통해 그 타당성을 검증 하였다.

1. 서 론

최근 산업이 고도화함에 따라 전력수요가 증가하여 전력계통의 규모가 대형화 되고 그 구조가 복잡해짐에 따라서 전력 계통에서의 발전소 증가에 의한 사고와 송전선로에서의 손실 문제가 야기되어 효율적인 발전소 건설에 많은 어려움이 있다. 부하의 증가에 대비하여 효율적으로 전력계통을 건설하고 운영하는 일은 전력회사의 입장에서 대단히 중요한 일이다. 본 논문에서는 발전소 추가 건설 여부를 고려 할 때 계획해야 할 기준을 경제적인 측면에서 고려하였다. 본 논문에서는 유전 알고리즘을 제안한다. 유전 알고리즘은 해집단들이 자연선택을 통해 진화하는 생물학적 진화원리에 기초를 둔 최적화 방법으로 연산자들의 작용을 통해 최적해로 진화한다. 본 논문에서는 11모선 계통에서 발전소 건설시 추가 여부에 대한 이익으로 적합도를 평가하고 유전 알고리즘을 이용하여 최적의 발전비용과 손실, 그리고 추가 건설시 적절한 모선 계통의 선정을 결정하였다.

2. 본 론

2.1 경제급전 (Economic Dispatch)

경제 급전의 목표는 전력 회사에서 전기를 수용가에 공급할 때 가장 적은 발전 비용을 사용하면서 수용가의 부하를 만족 시킬 수 있도록 발전하는 것이다. 일반적인 발전에 소요되는 총비용은 식 (1)와 같이 2차 함수형태의 각 발전기의 발전비용함수의 합으로 나타나며, 총 발전비용을 최소화 하는 것을 목표로 한다[1].

$$C_T = \sum_{i=1}^{N_G} C_i(P_i) = \sum_{i=1}^{N_G} (a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i) \quad (1)$$

여기서, C_T 는 총 발전비용, N_G 는 계통내의 발전기의 총 개수, a_i, b_i, c_i 는 각 발전기 특성에 따른 계수를 나타내며 전력공급은 다음 수식과 같은 제약조건을 갖는다.

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_L + P_D \quad (2)$$

$$P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^{\max} \quad (3)$$

여기서, P_i 는 발전기 i 의 출력, P_L 은 계통의 전체 송전손실, P_D 는 현 계통의 전체 부하로 발전기 i 의 출력은 계통의 전체 송전손실과 계통 전체의 부하의 합과 같다. P_i^{\min}, P_i^{\max} 는 발전기 i 의 최소출력 및 최대출력을 나타낸다[2].

본 논문에서는 발전기의 추가에 따른 발전 비용을 계산하여 최적의 발전계획을 구성하는 것을 목적으로 하므로 식 (4)와 같은 제약조건을 추가적으로 고려한다.

$$C_T^{BASE} - C_T^P \geq N^P \times C_{EX} \quad (4)$$

여기서, C_T^{BASE} 는 계통에 발전기 추가를 하지 않은 상태에서의 총 발전비용, C_T^P 는 P 번째 발전계획의 총발전 비용, N^P 는 P 번째 발전계획의 총 발전기 추가개수, C_{EX} 는 발전기 1대당의 추가에 대한 비용을 연이율을 고려하여 현시점화한 값이며 식 (5)에 의해 결정 된다.

$$F(1+r)^n = C_{EX} \left[\frac{(1+r)^n - 1}{r} \right] \quad (5)$$

여기서, F 는 발전기 가격, r 는 연이율, n 은 발전기 수명을 나타낸다[3]. 본 논문에서는 발전기의 가격을 \$10,000, 연이율을 5%, 발전기 수명을 30년으로 가정하여 사용하였다.

2.2 유전 알고리즘 (Genetic Algorithm)

1970년 John Holland는 집단이 가진 염색체(Chromosome가 세대(Generation)에 따라 그들이 처한 환경에 대하여 생존과 번식의 적합한 활동을 위한 자연선택(Natural Selection) 때문에 진화된다는 다윈의 진화 이론을 토대로 한 자연의 유전 원리를 모방하여 GA를 도입하기 시작했다. GA는 평가함수(Evaluation Function), 유전 연산자(genetic operator), 그리고 문제의 해를 표현하는 염색체로 구성되며, 이 염색체들을 점진적으로 개선시켜 나감으로써 최적의 해를 얻게 된다.

GA는 최적화 문제에서 전역적인 최적해를 찾는 데 매우 유용한 알고리즘으로 최적화 문제의 제약조건으로부터 다음 세대의 생존과 소멸을 결정하는 것이다. 기존의 최적화 알고리즘은 함수의 연속성, 미분 가능성, 선형성 등이 보장 되지 않을 경우 함수를 최적 하는데 많은 어려움을 겪었으나 GA는 점 탐색 알고리즘이어서 함수를 최적화 하는 것이 가능하다.

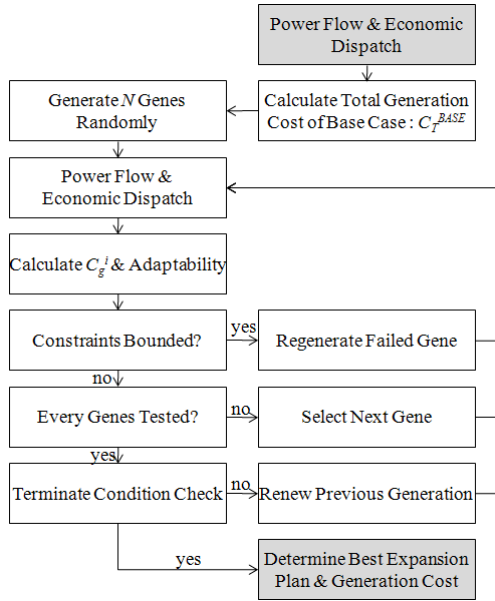
본 논문에서는 각 개체를 발전기 추가를 위한 계획으로 활용하기 위하여 각 모선에서 발전기 추가 여부에 대한 정보를 그림 1과 같이 이진 부호를 사용한 염색체로 표현하였으며 2.1절의 총 발전비용을 이용하여 개체의 적합도를 계산하였다. 또한 최적의 발전 계획을 수행하기 위한 알고리즘은 그림 2와 같이 수립하였다[4]. 그림 1에서 N 개의 개체는 자신의 N 번째 염색체에 N 번째 버스의 추가 여부에 대한 정보를 담고 있다. 그림 2의 알고리즘에서 반복 종료조건은 최대 반복회수와 식 (6)을 이용하여 계산한 세대의 균일도 대한 조건을 적용하였다.

$$S = \frac{N - N_{GENE}^{DIF}}{N} \quad (6)$$

여기서, N 은 개체의 총 수, N_{GENE}^{DIF} 는 열성 개체의 총수, S 는 세대의 균일도를 나타낸다.

Gene ₁	1	BUS1	BUS2	BUS N
Gene ₂	2	BUS1	BUS2	BUS N
:	:	:	:	:	:
Gene _N	N	BUS1	BUS2	BUS N

<그림 1> 발전기 추가 계획을 위한 염색체 배열



〈그림 2〉 최적 추가 계획을 위한 알고리즘

3. 사례 연구

전력계통에서 발전기의 효율적 추가 계획을 제시하기 위해 최적의 해를 찾는 문제를 GA를 이용하여 그림 3의 11모선 계통에 시험하였다. 본 논문에서 사용한 11모선 계통의 모선데이터와 선로데이터를 각각 표 1과 표 2에 나타내었다.

〈표 1〉 사례연구에 사용된 모선 및 선로 데이터

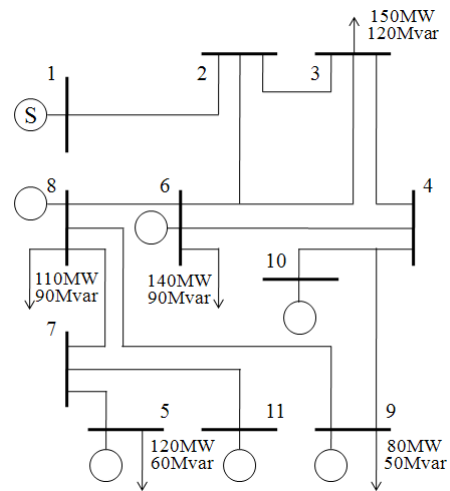
Bus no.	V [p.u]	Ang. Deg.	Line (from-to)	R [p.u]	X [p.u]	1/2B [p.u]
1	1.04	0	1-2	0.00	0.06	0.0000
2	1.0	0	2-3	0.08	0.30	0.0004
3	1.0	0	2-6	0.12	0.45	0.0005
4	1.0	0	3-4	0.10	0.40	0.0005
5	1.0	0	3-6	0.04	0.40	0.0005
6	1.0	0	4-6	0.15	0.60	0.0008
7	1.0	0	4-9	0.18	0.70	0.0009
8	1.0	0	4-10	0.00	0.08	0.0000
9	1.0	0	5-7	0.05	0.43	0.0003
10	1.035	0	5-8	0.06	0.48	0.0000
11	1.035	0	7-8	0.06	0.35	0.0004
			7-11	0.00	0.10	0.0000
			8-9	0.52	0.48	0.0000

〈표 2〉 발전기 데이터

Gen. No	α_i	β_i	γ_i	P^{min}	P^{max}
1	240	7.0	0.0070	100	500
2	200	8.0	0.0080	50	200
3	190	12	0.0075	50	120
Ex.	150	6.7	0.0080	10	50

〈표 3〉 최적 발전기 추가 계획 결과

Bus no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
P^{BEST}	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0
C_T^{BEST}	\$ 4458.8				P_L		4.50082 MW				



〈그림 3〉 사례연구에 사용된 11모선 계통도

본 논문에서 제안한 GA를 사용하여 최적 발전기 추가 계획을 수립한 결과를 표 3에 나타내었다. 가장 효율적인 발전기 추가 모선은 5, 6, 8, 9번 모선으로 결정되었으며, 이때의 총 발전 비용은 \$4458.8, 선로 손실은 4.50082MW와 같이 계산되었다. 이는 11모선 계통에서 발전기 추가 안했을 시의 총 발전비용 C_T^{BASE} 인 \$7,218.1와 비교했을 시, 매 시간당 \$2,759.3의 이익을 발전회사에 가져오는 것을 확인할 수 있다. 이 이익은 발전기의 수명에 해당하는 기간 동안 부하 변동이 없다는 가정 하에 발전기 4대의 초기 설치비용인 \$40,000을 보상할 수 있다.

3. 결론

논문에서는 최적화 기법의 하나인 GA를 이용하여 발전기의 효율적 추가 계획 기법을 제시하였고 그 효율성을 입증하기 위해 11모선 계통에 제안된 알고리즘을 적용하여 사례연구를 수행하였다. 장기적으로 어느 모선에 발전기 추가시 경제적으로 이익이 되는가를 확인하였다. 이로 부터 11모선 계통에 4대의 발전소 추가시 가장 경제적으로 이익이 된다는 것을 사례연구에서 검증하였고, 선로간의 손실도 확인하였다. 그러나 본 논문에서 연이율을 고정된 값으로 가정하였으며, 유가 변동 사항을 고려하지 않았다. 또한 시간에 따른 부하에 변화량과 선로 손실의 변화량을 고려하지 못하였다. 향후 시간에 따른 부하변동과 연이율 변화를 모델링하여 발전기 추가계획에 적용한다면 보다 정확하고 신뢰성 있는 전력공급이 이루어지리라 예상된다.

[참고 문헌]

- [1] He Da-kuo, Wang Fu-li, Zhi-zhong, "Hybrid genetic algorithm for economic dispatch with valve-point effect", Electric Power System Research 78(2008),626-633, 14 May 2007.
- [2] K.P.Wong, Y.W.Wong, "Genetic and genetic/simulated-annealing approaches to economic dispatch", IEE Proc-Gener. Transm.Distrib, Vol.141.No.5, September 1994.
- [3] Chan s. Park, "contemporary Engineering Economics 2th edition", Addison-Wesley Publishing Company Inc, 33-106, March 2005.
- [4] J.Nanda, R.Badri Narayanan, "Application of genetic algorithm to economic load dispatch with Lineflow constraints", Electrical Power and Energy System 24(2002), 723-729, 1 November 2001.