

시뮬레이션 기반 최적화 기법을 적용한 발전력 재분배 알고리즘

Generation Dispatch Algorithm Applying a Simulation Based Optimization Method

강상균* · 송화창**†

Sang-Gyun Kang*, and Hwachang Song†

*경일대학교 철도·전기공학부, **서울과학기술대학교 전기정보공학과

*School of Railway & Electrical Engineering, Kyungil University

† Dept. of Electrical and Information Eng., Seoul Nat'l University of Science & Technology

요 약

본 논문은 풍력에너지가 전력계통에 투입되었을 때 전압안정도 마진을 보장할 수 있도록 최적화 기법을 적용한 발전력 재분배 알고리즘에 대하여 제안하고자 한다. 풍력발전기는 대부분 유도기로 구성되기 때문에 일반적으로 풍력발전기가 기존 전력계통에 투입되는 경우 우리는 전압안정도와 같은 문제를 고려해야 한다. 풍력발전기가 계통에 투입되는 비중이 증가하는 경우 전압안정도와 같은 계통의 전반적인 안정도 문제에 영향을 미치게 된다. 본 논문에서는 'Area 1'과 'Area 2'로 구성되어 있는 2-area 계통을 고려하고자 한다. 'Area 1'내의 발전기의 발전비용이 'Area 2'지역보다 상대적으로 비싸고 'Area 1'내의 부하량이 'Area 2'내의 부하량보다 더 많다고 가정하면, 계통운영자는 경제성 관점에서 보면 값비싼 'Area 1' 내의 발전기의 출력은 감소시키고, 'Area 2' 지역내의 발전기 출력을 증가시키려고 할 것이다. 반면에 안정도 관점에서 보면 오히려 'Area 1' 지역내의 발전기 출력을 증가시켜야 하기 때문에 trade-off 점이 존재한다. 전력계통 해석은 비선형성이 매우 강하기 때문에 안정도 문제를 포함한 최적화 문제를 수치적으로 해결하기에 어려움이 많다. 따라서 본 논문에서는 시뮬레이션 기반의 최적화 알고리즘인 유전알고리즘을 적용하여 본 문제를 해결하고자 한다. 시뮬레이션을 위해서 New England 계통을 이용하였고, 알고리즘은 Python 2.5로 구현하였다.

키워드 : 풍력 에너지, 발전력 분배, 전압안정도, 유전 알고리즘, 전력계통안정도

Abstract

This paper suggests the optimal generation dispatch algorithm for ensuring voltage stability margin considering high wind energy injection. Generally, with wind generation being installed into the power system, we would have to consider several factors such as the voltage stability margin because wind turbine generators are mostly induction machines. If the proportion of wind generation increases in the power system increases this would affect the overall stability of the system including the voltage stability. This paper considers a specific system that is composed of two areas: area 1 and area 2. It is assumed that generation cost in area 1 is relatively higher than that in area 2. From an economic point of view generation in area 1 should be decreased, however, in the stability point of view the generation in area 2 should be decreased. Since the power system is a nonlinear system, it is very difficult to find the optimal solution and the genetic algorithm is adopted to solve the objective function that is composed of a cost function and a function concerned with voltage stability constraints. For the simulations, the New England system was selected. The algorithm is implemented and Python 2.5.

Key Words : Wind Energy, Generation Dispatch, Voltage Stability, Genetic Algorithm, Power System Stability

1. 서 론

접수일자: 2013년 9월 1일

심사(수정)일자: 2013년 9월 7일

게재확정일자: 2013년 11월 25일

† Corresponding author

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

최근 저탄소에너지에 대한 사회적인 요구 등으로 인해 신재생 에너지원이 전력계통에 투입되는 비중이 점점 늘어나고 있는 추세이다. 풍력에너지는 신재생 에너지 중 이산화탄소 배출 및 가격적인 측면에서 가장 경쟁력 있는 에너지원 중의 하나이기 때문에 국·내외에서 가장 많이 투입되고 있는 에너지원 중의 하나이다. 풍력 에너지는 기술적이거나 환경적 제약 등으로 발전 단가가 값비싼 편이기 때문에

발전기기를 동기기가 아닌 유도기를 사용하는 경향이 있다. 풍력 발전기는 크게 4가지 형태로 구분이 되며 type 1은 정속도 유도기, type 2는 가변속도 유도기, type 3는 DFIG(Doubly-Fed Induction Generator)로 기존 유도기의 성능을 보다 향상시킨 형태이고, type 4는 영구자석을 이용한 동기기의 형태를 갖는다. 이처럼 풍력 발전기에 들어가는 대부분은 유도기의 성능을 갖게 되는데 유도기는 전기적인 특성상 동기기보다 전압/무효전력을 공급할 수 있는 능력이 크게 부족하다. 따라서 대규모 풍력단지가 투입되어 있는 경우 그 계통에서는 전압/무효전력 관점에서 취약성이 나타날 수 있고 결국 전압안정도에 문제가 발생할 확률이 높아질 것이다.

전력계통은 고유 특성상 전력 생산량과 소비량이 항상 같은 상태로 유지되어야 하기 때문에, 사고 발생 등으로 인하여 부하탈락으로 전력 소비량이 변하거나 바람 변화 등으로 인한 풍력발전기의 출력 변화로 계통내 발전량이 변하는 경우 그 순간 전력 생산량과 소비량이 같은 상태로 유지되도록 기존 발전기에서 생산하는 전력량을 조절해야 한다. 플라이휠, SMES(Super Conducting Magnetic Storage) 등과 같은 에너지 저장장치를 이용하여 잉여전력을 저장하거나 전력부족시 공급을 하는 방법도 있을 수 있겠지만, 경제성 및 기술적인 한계로 실계통에 대규모 용량의 저장장치를 이용하는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서, 풍력에너지의 증가나 감소로 인해 전력량이 변하는 경우, 계통의 나머지 발전기에서 출력을 조절하여 그 순간 생산되는 전력량과 소비량이 같도록 운영해야 한다.

일반적으로 계통운영자는 발전기 출력을 조절해야 하는 경우 경제성을 고려하여 발전비용(cost)이 싼 발전기의 출력을 우선적으로 증가시키고 발전비용이 비싼 발전기의 경우 출력을 감소시키므로써 전 계통 관점에서 발전비용이 최소화될 수 있도록 운영한다. 발전기는 사회 및 환경적인 이유로 사람들이 많이 살지 않는 해안가 지역에 건설되는 경우가 많은 반면 전기를 소비하는 곳은 도심지에 몰려있다. 또한 도심지 인근지역에는 청정 발전원 중의 하나인 천연가스를 원료로 하는 값비싼 가스터빈(Gas Turbine) 발전기가 주로 설치되고, 사람들이 많이 살지않는 해안가 지역에는 값싼 석탄화력이나 원자력 발전소가 설치되어 있다. 따라서 사고 등으로 인하여 발전기 출력을 조절하는 경우 경제급진의 원칙에 따라 값싼 석탄화력이나 원자력 발전소의 출력을 증가시키고 도심지 인근지역에 위치한 가스터빈 발전소의 출력을 감소시키게 된다. 이와 같은 현상은 발전소에서 부하로 이동하는 전력량(유효전력)을 증가시키며 이는 전력계통내 특히 전력을 소비하는 도심지 지역 내에서 무효전력 손실을 증가시킨다. 무효전력 손실의 증가는 결국 전력계통내 무효전력과 밀접한 관계를 갖고 있는 전압안정도에 악영향을 미친다.

그림 1은 대규모 전력계통을 크게 2개의 지역으로 구분한 2 Area 시스템을 나타낸다. 위에서 말한 바와 같이 일반적으로 전력계통은 도심지에 부하가 밀집되어 있고, 비도심지에 발전기가 집중되어 있기 때문에, 대규모 전력계통을 크게 부하 밀집지역(area 1)과 발전기 밀집 지역(Area 2)로 간략히 나누어 생각할 수 있고, 전압안정도를 해석함에 있어서 2 area 시스템이 종종 이용된다. Area 1은 부하가 집중되어 있고 상대적으로 발전기가 적으며 이 지역내에는 주로 가스터빈과 같은 값 비싼 발전기가 설치되어 있으며, Area 2는 작은 규모의 부하가 산재되어 있으며 주로 석탄

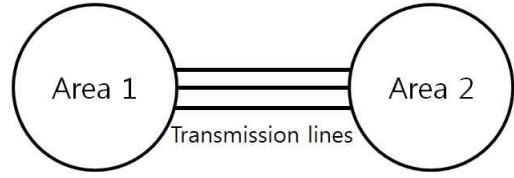


그림 1. 2-Area로 구성된 전력계통
Fig. 1. General 2-Area system

화력이나 원자력 발전소 같이 발전비용이 싼 발전소가 해안가에 밀집되어 있다고 가정할 수 있다. 위와 같이 가정하는 경우 Area 1은 전력이 부족한 지역, Area 2는 전력이 잉여하는 지역이라 할 수 있기 때문에, Area 1에서는 두 지역을 연결하는 선로(Transmission lines)를 통해 Area 2로부터 부족한 전력을 공급받게 된다. 이때 두 지역을 연결하는 선로를 용통선로(Interface lines)이라고 하고, 용통선로를 통해 흐르는 조류를 용통조류(Interface flow)라고 한다.

그림 1과 같은 2 Area 시스템에서 계통 운영자는 경제적인 계통운영을 위해 값싼 Area 2 발전기 출력을 증가시키려고 하고, Area 1의 발전기 출력을 감소시키려고 할 것이다. 이처럼 용통조류량이 증가할수록 경제적인 계통운영이 되지만 안정도 관점에서는 오히려 전압안정도를 악화시킨다.

본 논문에서는 풍력에너지의 변화에 따른 기존 발전기 출력 조정시 전압안정도를 일정 마진 이상 확보하는 동시에 발전비용을 최소화할 수 있도록 발전력을 재분배하기 위해 시뮬레이션 기반 알고리즘 중의 하나인 GA(Genetic Algorithm)를 적용하고자 한다.

2. 제안한 최적 발전력 재분배 알고리즘

본 논문에서 최적 발전력 재분배 알고리즘의 목적함수는 전압안정도 마진을 확보한 상태에서 계통 내 총 발전비용을 최소화하는 것이 될 것이다. 이 목적함수에 대한 수학적 모델링은 아래 식 (1)과 같다.

$$\min f_1(C_G) + f_2(S_M) \tag{1}$$

$$f_1(C_G) = \sum_{k=1}^N (a_k + b_k P_{G,k})$$

$$f_2(S_M) = \begin{cases} 0, & S_M \geq S_R \\ P_0 + P_1 |S_M - S_R|, & S_M < S_R \end{cases}$$

- 여기서, a_k, b_k : k번째 발전기에 대한 발전기 비용함수를 나타내기 위한 계수
- N : 계통내 모든 발전기 대수
- $P_{G,k}$: k번째 발전기의 P출력값
- C_G : 총 발전비용
- S_M : 전압안정도 수준(index)
- S_R : 전압안정도 만족 기준
- P_0, P_1 : 전압안정도 만족여부에 따른 페널티 계수

식 (1)에서 보는 바와 같이 제안하는 최적 발전력 재분배 알고리즘의 목적함수는 두 개의 함수로 구성되어 있다. 하나는 발전기의 발전비용과 관련된 항목(f)이고, 다른 하나는 전압안정도와 관련된 항목(f)이다. 발전기 비용함수는 종종 1차함수(발전기 출력이 증가할수록 발전비용이 선형적

으로 증가함)로 표현하기 때문에 f 에서 발전기 비용 함수를 1차함수 형태로 모델링하였다. 현재 전압안정도의 기준을 만족시키는 경우에는 f 가 0이되고, 만족시키지 않는 경우에 f 에서 P_0, P_1 값을 매우 큰 값을 갖게 함으로써 f 값이 매우 큰 값을 갖음으로써, 결국 두 개 함수의 합으로 구성되는 최종 목적함수에 전압안정도 마진 여부가 반영될 수 있다. 즉 f 로 인해 전압안정도 마진을 만족하는 범위($f=0$ 인 경우) 안에서 f 의 값을 최소로 하는 결과를 찾아낼 수 있을 것이다.

위 목적함수에 대한 제약식은 식 (2)와 같다. 식 (2)는 모든 k 번째 발전기에 대하여 발전기의 출력은 해당 발전기의 최소출력보다는 커야하고 최대출력보다는 작아야 함을 의미한다.

$$P_{G,k}^{\min} \leq P_{G,k} \leq P_{G,k}^{\max} \quad (2)$$

2. 1. 알고리즘에 적용한 전압안정도 지수

위 목적함수 (1)에서 2번째 항목인 전압안정도 지수에 대하여 논의하고자 한다. 본 논문에서는 다양한 전압안정도 지수 중에서 유통조류 마진(f-V 마진)을 적용하였다. 유통조류 마진은 전력계통이 크게 2개 지역(발전기 집중지역, 부하 집중지역)으로 나뉘는 경우 종종 적용되는 전압안정도 지수 중의 하나이다. 참고문헌 [1]~[6]에서 보는 바와 같이 유통조류 마진을 구하는 경우 기존 전압안정도 지수와 달리 부하량은 고정시키고, 발전기 출력을 shift 시키면서 계통 붕괴지점을 찾아가는 방법을 이용한다. 유통조류 전압안정도 지수는 기존 부하량은 그대로이지만, 풍력 등의 변화로 발전력이 변화하는 경우에 대한 시나리오를 적용하는 경우에 보다 적절하다. 유통조류 마진을 구하는 순서는 아래 단계를 거친다[1].

- 단계 1: 발전력을 증가시키는 지역, 발전력을 감소시키는 지역을 각각 정의하고 두 지역간의 유통선로를 선택한다.
- 단계 2: 적용하고자 하는 상정고장을 선택한다.
- 단계 3: 현실적인 발전력 shift 방향을 결정한다.
- 단계 4: MCPF방법을 적용하여 정상상태와 상정고장상태에 대하여 각각 f-V 곡선을 그린다.
- 단계 5: fv 마진이 가장 작은 가장 상정사고를 찾고 knee point에서 발전력 shift 양을 찾는다.
- 단계 6: 정상상태의 fv 곡선에 대한 유통조류 수준을 찾는다.
- 단계 7: 유통조류마진을 고려한 유통조류 수준을 결정한다.

MCPF는 식 (3)에서 보는 바와 같이 전력계통 해석을 위한 기존 Jacobian 행렬에 연속인자를 추가하여 파라미터를 변화시켜가면서 연속적으로 해를 찾아가는 방법이다.

$$J_A \equiv \begin{bmatrix} \frac{\partial f_p}{\partial \delta} & \frac{\partial f_p}{\partial V} & \frac{\partial f_p}{\partial \mu} \\ \frac{\partial f_q}{\partial \delta} & \frac{\partial f_q}{\partial V} & \frac{\partial f_q}{\partial \mu} \\ e_k \end{bmatrix} \quad (3)$$

식 (2)에서 f_p, f_q 는 각각 전력조류계산 식에서 유효전력 방정식과 무효전력방정식을 의미한다. 또한 δ 와 V 는 각각 모션전압 위상각, 모션전압 크기를 말한다. μ 는 시스템 파라미터를 말하며 area 1에서 area 2로 발전력이 shift 됨에 따라 변하는 파라미터(발전기의 출력)를 나타낸다. e_k 는 k 번째 열(column) 성분만 1이고 나머지 성분은 모두 0인 행벡터

(row vector)를 나타낸다.

2. 2. 유전알고리즘(Genetic Algorithm) 적용

2. 1.절에서 소개한 전압안정도 지수는 기본적으로 조류계산 방정식을 바탕으로 수행된다. 조류계산 방정식은 삼각함수 등이 포함되어 있는 비선형방정식으로 그 해를 한 번에 구할 수 없고 뉴턴-랩슨 방법과 같은 반복계산을 수행함으로써 해를 구할 수 있다. 전압안정도 지수는 이런 조류계산을 기본 바탕으로 계산할 수 있기 때문에 전압안정도 지수가 목적함수도 적용된 본 논문에서 제안하는 발전력 재분배 최적화 알고리즘을 연산하는 것은 매우 어려운 일이다. 특히 뉴턴-랩슨 법의 특성상 초기값에 결과값이 영향을 받을 수 있다는 점 역시 제안 알고리즘을 연산하는데 어려움을 준다. 따라서 본 논문에서는 시뮬레이션 기반의 지능알고리즘 중의 하나인 GA(Genetic Algorithm)을 적용하여 문제를 해결하고자 한다. GA는 메타-휴리스틱 최적 알고리즘으로 natural evolution과 population에 기반을 두고 있다.

본 논문에서 적용한 유전알고리즘의 주요 genetic operator는 다음과 같다.

- Selection : basic roulette wheel selection
- Crossover : arithmetic crossover method

개체를 생성함에 있어서 부모개체 단계의 여러 인자들 중에서 우성이라고 판단되는 요소들이 반드시 선택되는 것은 아니고 단지 선택될 확률이 올라간다고 보는 것이 보다 자연스럽기 때문에 본 논문에서 사용한 selection은 기본적인 룰렛(roulette) 방식을 적용하였다.

Corssover는 부모개체로부터 새로운 개체를 생성하기 위해 조합하는 다양한 유전 operator 중의 하나이다. 일반적으로 부모가 가지고 있는 다양한 염색체 무리를 한점 또는 두 개 점을 기준으로 나뉘서 서로 교차시켜 자식을 생성하는 방법인 one point crossover, two point crossover 방법이 많이 사용된다.

제한한 알고리즘에서 찾고자 하는 값은 발전기의 출력값(P_g)가 되기 때문에 전 계통내 모든 발전기의 출력값의 조합을 하나의 개체로 표현할 수 있을 것이다. 새로운 개체를 생성시 one point crossover나 two point crossover 방법을 적용한다면 새롭게 생성된 개체의 값(모든 발전기 출력값)의 합이 변경될 확률이 매우 높다. 하지만 전력계통의 특성상 발전기 출력값의 합이 변동되면 현재 부하량과 같지 않게 되어 계통에 문제가 생기기 때문에 위와 같은 현상이 발생되면 안된다. 따라서 본 논문에서는 새로운 개체 생성시 arithmetic crossover 방법을 적용하였다. [7]

i 번째 chromosome C_i 는 아래 식 (4)과 같이 표현할 수 있다.

$$C_i = [C_{i,1}, C_{i,2}, \dots, C_{i,m}], \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

$$C'_i = aC_i + (1-a)C_j$$

$$C'_j = (1-a)C_i + aC_j$$

여기서 a 는 $[0, 1]$ 의 구간에서의 랜덤 값을 의미한다. 식 (4)에서 n 은 population size이고, m 은 발전력 재분배를 수행하는 발전기의 총 대수이다. 즉 $G_{i,k}$ 는 i 번째 개체에 대한 k 번째 발전기의 출력값을 의미한다.

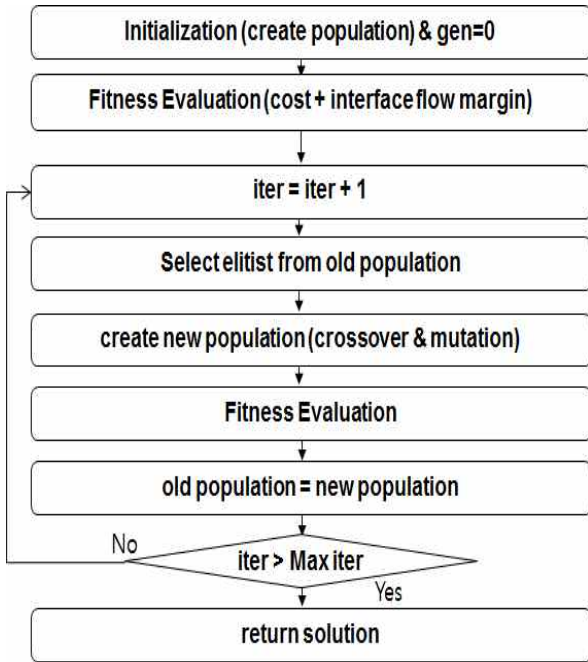


그림 2. 제안한 최적 발전력 재분배 알고리즘 순서도
 Fig. 2. Flow chart of the proposed optimal generation re-dispatch algorithm

식 (4)과 같이 crossover를 위해서 두 개의 chromosome (C_i, C_j)으로부터 자식 개체에 해당하는 (C'_i, C'_j)를 생성할 수 있다. 이처럼 자식 개체를 생성하는 경우 총 발전량의 합은 일정하게 유지할 수 있기 때문에 본 알고리즘을 적용하기에 적합한 방법이라 할 수 있다.

제안한 최적 발전력 재분배 알고리즘에 대한 순서도는 그림. 2와 같다.

단계 1 : 처음에 부모세대의 개체들을 생성하고 초기화를 수행한다.

단계 2 : 각 개체들을 대상으로 앞서 미리 정한 목적함수에 대하여 각 개체들을 평가한다. 본 논문에서는 목적함수가 크게 발전기의 발전비용과 전압안정도 지수 중의 하나인 유통조류마진 (Interface flow margin)을 더하는 과정이 fitness evaluation이라고 할 수 있다.

단계 3 : 계산된 부모 세대 개체 중에서 우수 개체를 선택한다.

단계 4 : 선택된 부모 세대에서 우수 개체들을 바탕으로 arithmetic crossover와 mutation을 적용하여 새로운 자식 개체를 생성한다.

단계 5 : 생성된 자식 개체들에 대하여 단계 2와 같은 방법으로 fitness evaluation을 실시한다.

단계 6 : 부모 세대의 개체에 대한 정보는 지우고, 자식 세대에 새로 생성된 개체를 부모 세대로 한다.

단계 7 : 최대 반복횟수에 도달할 때까지 단계 3부터 단계 6을 반복 수행하면서 우수 개체 선택 및 새로운 자식 개체 생성 과정을 반복 수행한다.

위의 과정을 통해 최적 발전력 재분배 결과를 도출할 수 있다.

3. 사례 연구

본 논문에서 제안된 최적 발전력 재분배 알고리즘을 검증하기 위하여 New England 테스트 계통을 이용하였다. New England system에는 총 10대의 발전기가 존재하고 총 39개의 모선으로 구성되어 있다. 우선 2-Area 계통으로 만들기 위해서 New England 계통을 발전력 집중지역과 부하 집중지역으로 크게 2개 지역으로 구분하였다.

New England 계통내 발전기에 대한 전반적인 데이터는 아래 표 1과 같다. Area1에는 도심지 지역으로 발전비용이 상대적으로 비싸고, 발전기 총량이 Area 2에 비해서 작다. Area 2는 상대적으로 발전비용이 저렴한 것을 볼 수 있다. 따라서 경제적인 운전을 위하여 Area 2로부터 Area 1으로 주입되는 유효전력의 증대가 필요하다.

알고리즘 검증을 위한 시뮬레이션 환경은 다음과 같다.

- 발전기 비용 함수 : 선형으로 가정 (b_i 만 존재)
- 상정고장 : 1ckt 사고 (버스21과 버스22사이의 선로)
- 풍력 에너지 변화 : Area 2지역에 300MW 증가
- 조류계산 프로그램 : PSSE program으로 계산
- 유전 알고리즘 구현언어 : Python 2.7

발전기 비용함수는 보통 선형으로 계산하는 경우가 많기 때문에 선형으로 가정하여 식 (1)에서 a_i 는 0, b_i 는 값을 갖는 것으로 가정하였다. 전체적으로 유전 알고리즘 구현은 Python으로 구현하였다.

유전알고리즘의 operation은 아래와 같다.

- population size : 10
- chromosome size : 10 (# of generators)
- crossover rate : 95%
- mutation rate : 1%
- iteration : 500

표 1. New England 계통내 발전기 기본 데이터
 Table 1. A overall data of generators in New England system

Area	# of generator	Pgen (MW)	Pmax (MW)	Pmin (MW)	Cost(b_i)
1	1	574	700	200	100
	32	650	700	200	90
	39	1000	1000	200	80
2	30	250	700	200	30
	33	632	700	200	40
	34	508	700	200	25
	35	352	700	200	10
	36	560	700	200	60
	37	540	700	200	70
	38	830	1000	200	20

표 2. 유전알고리즘 적용이후 각 발전기별 출력값
Table 2. The active power generations of all generator after applying genetic algorithm

# of bus	Cost (bi)	before applying GA	after applying GA	P _G variation
1	100	574	240.75	▼ 333.25
30	30	250	520.83	▲ 270.83
32	90	650	329.44	▼ 320.56
33	40	632	414.60	▼ 217.4
34	25	508	414.54	▼ 93.46
35	10	352	647.36	▲ 295.36
36	60	560	574.00	▲14.00
37	70	540	504.64	▼ 35.36
38	20	830	870.89	▲ 40.89
39	80	1000	767.78	▼ 232.22
Fitness evaluation		332900.0	251377.6	

유전알고리즘 operation을 적용하여 유전알고리즘을 수행한 결과는 표 2와 같다. 발전비용 감소를 위해서 Area 1에 해당하는 발전기들(1, 32, 39)의 출력이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 전압안정도 제약이 없다면 1, 32, 39번 bus의 발전기 출력이 계속 감소되어야 정상이지만, 안정도 제약에 의해 중간에 발전력 감소패턴이 saturation됨을 알 수 있다. 1, 32, 39번 발전기의 감소에 해당하는 만큼 나머지 area2의 발전기들의 출력이 대체적으로 증가함을 확인할 수 있다. 500회 iteration에 따른 fitness evaluation 결과는 아래 그림 3과 같다.

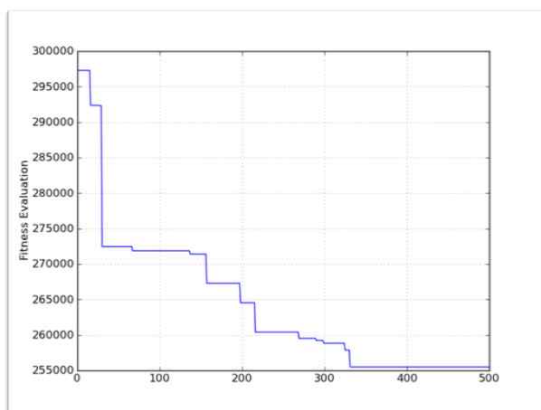


그림 3. 반복회수에 따른 Fitness evaluation 결과
Fig. 3. Fitness evaluation result according to iteration

4. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 풍력에너지 투입에 따라 발전기 출력이 변할 때 전압안정도 관점에서 용통조류마진을 고려하여 기존 발전기들의 출력을 재분배 하기위해 시뮬레이션 기반 유

전알고리즘을 이용하여 최적 알고리즘을 제안하였다. 발전력 재분배에 적합한 arithmetic crossover 방법을 적용하였고, 알고리즘 검증으로 New England 계통을 이용하였다. 시뮬레이션 결과에서 발전기 단가가 비싼 곳은 그 출력을 감소하고 싼 곳은 출력이 증가하게 됨을 확인할 수 있었고, 이에 대한 전압안정도 마진도 확보되었음을 알 수 있었다. New England 계통은 그 규모가 작기 때문에 이처럼 시뮬레이션 기반으로 최적해를 찾음에 있어서 연산량에 대한 제약사항이 적었다. 이를 실계통에 적용하기 위해서는 연산량을 줄이기 위해 fuzzy 등을 접목한 hybrid 형태의 알고리즘 형태로 개선하는 것이 필요하다.

References

- [1] Byongjun Lee, Hwachang Song, Sae-Hyuk Kwon, Gilsoo Jang, Jun-Hwan Kim, Venkataramana Ajarapu, "A Study on Determination of Interface Flow Limit in the KEPCO System Using Modified Continuation Power Flow (MCPF)," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 17, no. 3, pp. 557-564, 2002.
- [2] P. Kundur, *Power System Stability and Control*, McGraw-Hill, 1994.
- [3] C. Taylor, *Power System Voltage Stability*, McGraw-Hill, 1994.
- [4] T. Van Cutsem and C. Vournas, *Voltage Stability of Electric Power Systems*, Kluwer, 1998.
- [5] V. Ajarapu, *Computational Techniques for Voltage Stability Assessment and Control*, Springer, 2006.
- [6] V. Ajarapu, C. Christy, "The continuation power flow: a tool for steady state voltage stability analysis," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 7, no. 1, pp 416-423, 1992.
- [7] George S. Ladkany, Mohamed B. Trabia, "A Genetic Algorithm with Weighted Average Normally-Distributed Arithmetic Crossover and Twinkling," *Applied Mathematics*, vol. 3, no. 10A, pp. 1220-1235, 2012.

저 자 소개



강상균(Sang-Gyun Kang)

2003년 : 고려대학교 전기전자전공공학부 공학사
2005년 : 고려대학교 전기공학과 공학석사
2010년 : 고려대학교 전기공학과 공학박사
2011년~현재 : 경일대학교 철도·전기공학부 조교수

관심분야 : Power system stability, renewable energy, Fuzzy, Artificial Intelligence

Phone : +82-53-600-5521
E-mail : sgkang@kiu.ac.kr

2005년~2007년 : 군산대 전자정보공학부 조교수
2008년~현재 : 서울과기대 전기정보공학과 부교수



송화창(Hwachang Song)

1997년 : 고려대 전기공학과 공학사
1999년 : 고려대 전기공학과
공학석사
2003년 : 고려대 전기공학과
공학박사
2003년~2004년 : 아이오와 주립대 post-
doctoral scholar

관심분야 : 전력시스템 제어, 풍력발전, 스마트그리드 및 최
적화 응용

Phone : +82-2-970-6403
E-mail : hcsong@seoultech.ac.kr