

구역전기사업자 구성을 위한 Phasor Discrete Particle Swarm Optimization 알고리즘

(Phasor Discrete Particle Swarm Optimization Algorithm to Configure
Community Energy Systems)

배인수* · 김진오

(In-Su Bae · Jin-O Kim)

요 약

본 논문에서는 구역전기사업자를 구성하는데 적용하기 위해, 기존의 최적화 기법인 Discrete Particle Swarm Optimization (DPSO) 알고리즘을 개량한 Phasor DPSO (PDPSO) 알고리즘을 새롭게 제시한다. 구역전기사업자는 전력구입 뿐만 아니라 전력판매도 가능하고, 미리 계약한 수용가의 전력부하에게 전력을 공급할 의무가 있다. 하나의 배전계통에 다수의 구역전기사업자가 존재할 경우, 해당 배전계통 내의 모든 수용가에게 최소의 운영비용으로 전력을 공급하기 위해서는 다수 구역전기사업자 간에 구성형태를 조정할 필요가 있다. 이에 적용할 최적화 기법으로 본 논문은 PDPSO 알고리즘을 제안하며, 제안된 알고리즘의 각 개체는 기존의 다변수 벡터 대신 크기와 위상각으로 이루어진 다변수 페이저 값을 갖는다.

Abstract

This paper presents a modified Phasor Discrete Particle Swarm Optimization (PDPSO) algorithm to configure Community Energy Systems(CESs) in the distribution system. The CES obtains electric power from its own Distributed Generations(DGs) and purchases insufficient power from the competitive power market, to supply power for customers contracted with the CES. When there are two or more CESs in a network, the CESs will continue the competitive expansion to reduce the total operation cost. The particles of the proposed PDPSO algorithm have magnitude and phase angle values, and move within a circle area. In the case study, the results by PDPSO algorithm was compared with that by the conventional DPSO algorithm.

Key Words : Discrete Particle Swarm Optimization(DPSO), Community Energy System(CES), Distributed Generation, Distribution system

* 주저자 : 강원대학교 전기제어공학부 전임강사

Tel : 033-570-6347, Fax : 033-574-7270

E-mail : isbae@kangwon.ac.kr

접수일자 : 2009년 4월 29일

1차심사 : 2009년 4월 31일

심사완료 : 2009년 7월 2일

1. 서 론

구역전기사업자는 전력구입 뿐만 아니라 전력판매도 가능하고, 미리 계약한 수용가의 전력부하 중

일정 부분은 전력시장을 통해서가 아니라 자체적으로 운영하고 있는 발전설비를 통해 공급해야 하는 시장참여자를 말한다[1]. 구역전기사업자는 수용가 근방의 신재생에너지 활용과 열생산 비용을 통해 에너지 효율을 향상시킬 수 있는 새로운 패러다임이며, 수용가와 지리적으로 근접하므로 송배전 손실을 저감하는 효과도 얻을 수 있다.

구역전기사업자는 분산전원으로 구성된 에너지 공급그룹과 수용가로 구성된 에너지 수요그룹으로 구분할 수 있으며, 수요그룹에 공급할 에너지 중 전력력이 부족할 경우는 외부의 전력시장을 통해 부족분을 충당하고 여분의 전력은 역조류를 통해 전력시장에 판매도 가능하다. 반면, 열에너지는 전적으로 구역전기사업자 내부의 공급그룹 용량에 의존한다.

각 구역전기사업자는 수요그룹에 최소의 비용으로 에너지를 공급하기 위해 공급그룹의 분산전원을 대상으로 경제급전을 실시하는데, 여기에는 고전적인 수치해석 기법이 적용될 수 있다[2-3]. 반면, 다수의 구역전기사업자 구성을 결정하는 최적화 문제의 해를 얻는 과정은 탐색적 기법을 필요로 한다[4-5]. 최적의 구역전기사업자 구성을 결정하기 위한 목적함수로는 지리적 거리 최소화, 전력손실 최소화 등 여러 고려사항들이 존재하지만, 본 논문에서는 모든 수용가에게 최소 평균비용으로 에너지 공급이 가능한 구성을 구역전기사업자의 최적 형태로 가정하였다.

Discrete Particle Swarm Optimization(DPSO) 알고리즘은 계통을 재구성하는 문제에 적용할 수 있는 대표적인 탐색적 기법 중 하나이다. 이는 연속적인 영역에서 해를 구하는 Particle Swarm Optimization(PSO)를 이산화 영역에 적용한 알고리즘이며, PSO 알고리즘의 넓은 탐색영역과 빠르고 정확한 수렴성을 승계하고 있다[6]. 그렇지만, 하나의 계통에 많은 구역전기사업자가 존재할수록 전역적인(global) 최적해가 아닌 국부적인(local) 해에 수렴하는 단점을 보이고 있기에, 본 논문에서는 다변수 벡터 형태의 개체 대신 다변수 페이지 형태의 개체로서 표현되는 새로운 Phasor DPSO(PDPSO) 알고리즘을 도입하여 구역전기사업자 구성 문제에 적용하였다.

본 논문에서 제안한 PDPSO 알고리즘은 사례연

구를 통해 기존 DPSO 알고리즘과 그 정확성을 비교하였으며, 구역전기사업자 구성 문제에 있어서 PDPSO 알고리즘의 정확성을 확인할 수 있었다.

2. 본 론

2.1 구역전기사업자 구성

배전계통에 존재하는 모든 분산전원과 수용가를 다수의 구역전기사업자로 구성하는 문제는, 구역전기사업자 사이에서 공급그룹이나 수요그룹 일부를 서로 교환하며 조정하는 과정이다. 임의의 구역전기사업자가 상대적으로 과다한 공급그룹을 소유할 경우 다른 구역전기사업자의 수요그룹은 분산전원을 활용하지 못하고 전적으로 전력시장에 전력공급을 의존해야만 한다. 또한 일부 수용가에게는 열에너지 공급이 불가능한 상황까지 도출된다. 이는 공급그룹의 용량이 부족한 구역전기사업자에서 에너지 공급비용이 증가하는 결과로 나타나며, 몇몇 구역전기사업자의 공급비용 감소에도 불구하고 배전계통 전체의 평균 공급비용은 오히려 상승한다. 따라서 구역전기사업자 구성형태의 적합성은 총 에너지 공급비용의 합을 기준으로 판단하며, PDPSO 알고리즘을 통해 총 비용이 최소가 되는 구성형태를 도출한다. 각 수용가는 빠짐없이 모두 구역전기사업자 수요그룹 중 하나에 포함된다고 가정하므로, 각 수용가에게 공급한 에너지의 공급비용 합은 각 구역전기사업자의 운영비용 합과 동일하다. 결국, PDPSO 알고리즘을 적용할 최적화 문제는 식 (1)의 목적함수를 갖는다.

$$\min \left\{ \sum_{v_m} \sum_{v_t} C_m(t) \right\} \quad (1)$$

여기서, $C_m(t)$ 는 임의의 시간 t 에서 m 번째 구역전기사업자의 에너지 공급비용이다.

구역전기사업자의 에너지 공급비용은 분산전원 운전비용, 전력시장과의 거래(구입 혹은 판매)비용, 열에너지 공급시장에 대한 패널티 등을 포함하며, 각 비용을 계산하기 위해서 우선 구역전기사업자마다 매 시간 경제급전을 통해 분산전원의 출력을 결

정해야 한다[2-3]. 본 논문에서는 지면 관계상 분산 전원의 경제급전이나 구체적인 목적함수에 대한 자세한 논의는 생략하도록 한다.

2.2 Particle Swarm Optimization

연속형 변수를 위해 개발된 PSO 알고리즘은, 그룹(group or swarm) 전체가 정보를 공유한다는 가설과 그룹 내부의 개체(particle)가 지금까지의 자신의 경험과 그룹 전체에 공유되어 있는 정보를 기초로 하여 행동한다는 개념을 최적화 과정에 도입한 기법이다. 모든 개체는 그룹 중 최적해에 가장 근접한 개체의 위치 정보와 자신이 최적해에 가장 근접한 위치 정보를 통해 매 탐색단계마다 속도를 보정하고 이동을 한다[6]. i 번째 개체가 k 번째 탐색단계에서 이동을 마친 후 $k+1$ 번째에서 이동을 시작하기 위한 속도는 식 (2)와 같다.

$$V_i^{k+1} = W^{k+1} V_i^k + C_1 \text{rand}_1 (Pbest_i^k - X_i^k) + C_2 \text{rand}_2 (Gbest^k - X_i^k) \quad (2)$$

여기서 X_i^k 는 k 번째 탐색단계에서 i 번째 개체의 위치, C_1 , C_2 는 자신의 정보와 그룹정보의 중요도를 나타내는 가속계수, rand_1 , rand_2 는 0부터 1 사이에서 균일하게 발생하는 난수, $Pbest_i^k$ 는 현 탐색단계까지 i 번째 개체가 발견했던 최적의 위치, $Gbest^k$ 는 그룹의 모든 개체 중 발견했던 가장 최적의 위치를 말한다.

앞 탐색단계의 속도가 미치는 영향(속도의 관성)을 표현하는 W^{k+1} 는 식 (3)과 같다.

$$W^k = W^{\max} - (W^{\max} - W^{\min}) \left(\frac{k}{j^{\max}} \right) \quad (3)$$

여기서 윗 첨자 \max 는 해당 변수의 최대값을 말한다.

PSO 알고리즘에서는 탐색 초반에 넓은 탐색영역을 보장하기 위해 속도의 관성이 크며, 탐색 후반에는 수렴성을 높이기 위해 점차 속도의 관성이 줄어든다. 결국, $k+1$ 번째 탐색단계에서 개체는 식 (2)의 속도에 의해 식 (4)와 같이 이동한다.

$$X_i^{k+1} = X_i^k + V_i^{k+1} \quad (4)$$

일반적으로 PSO 알고리즘은 개체 속도와 위치의 초기값을 모두 난수를 통해 임의의 값으로 설정하며, 탐색 후반의 빠른 수렴성으로 인해 별도의 수렴조건을 설정하지 않고 미리 정한 탐색횟수에 도달할 때까지 반복한다.

2.3 Discrete PSO

연속형 변수를 위한 PSO 알고리즘은 일반적인 이산형 변수를 포함하는 문제에도 적용이 가능하며 연속형 변수와 이산형 변수가 혼합되어 있는 경우에도 모순이 없다[5]. 이산형 변수를 위한 DPSO 알고리즘은 개체의 위치가 갱신되는 식 (4)에 반올림을 적용하여 식 (5)로 변형해서 사용한다.

$$X_i^{k+1} = \text{Round}(X_i^k + V_i^{k+1}) \quad (5)$$

총 5대의 분산전원만 존재하는 배전계통에서 3개의 구역전기사업자를 구성하는 간단한 예제를 통해 DPSO 알고리즘을 적용하는 방법에 대해 살펴볼도록 한다. 총 5대의 분산전원이 존재하므로 각 개체의 위치는 5차원 벡터로 표현되며, 이를 수식으로 표현하면 식 (6)과 같다.

$$X_i^k = [x_{i,1}^k, x_{i,2}^k, x_{i,3}^k, x_{i,4}^k, x_{i,5}^k] \quad (6)$$

식 (6)의 모든 값은 반올림한 값이므로 정수형이고, 구역전기사업자가 3개 존재하므로 1, 2, 3 중 하나의 값을 갖는다. 개체의 위치는 5차원 벡터지만 식 (6)의 벡터성분은 각각 독립적으로 직선공간에서 이동한다. 따라서, 벡터성분 중 1보다 작거나 3보다 큰 값이 존재할 경우 식 (7)의 경계조건을 통해 강제로 경계값으로 고정한다.

$$\begin{aligned} x_{i,n}^k &= x^{\max} & \text{if } x_{i,n}^k > x^{\max} \\ x_{i,n}^k &= x^{\min} & \text{if } x_{i,n}^k < x^{\min} \end{aligned} \quad (7)$$

여기서, n 은 분산전원이나 수용가에게 부여한 번

호를 의미하며, 현 예제에서 n 은 1부터 5의 값을 갖는다.

만약 개체의 위치가 식 (8)과 같다고 가정한다면, 이는 그림 1과 같은 구역전기사업자 구성을 표현한다.

$$X_i^k = [1, 3, 2, 3, 1] \quad (8)$$

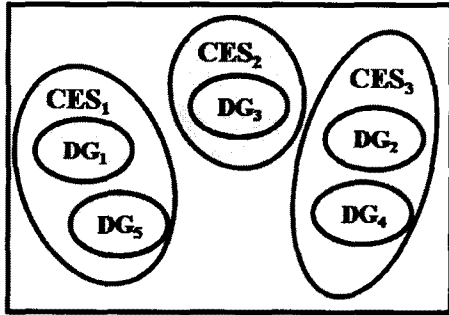


그림 1. 구역전기사업자 구성의 간단한 예제
Fig. 1. Example of CESs reconfiguration

1개 개체의 위치벡터는 배전계통 전체의 구역전기사업자 구성 상태를 표현하고 있으며, 탐색단계마다 총 i^{max} 개의 구성 상태에 대해 적합성을 판별하기 위해서는 식 (1)의 총 에너지 공급비용을 총 i^{max} 번 계산해야 한다. 그렇지만, 반복적으로 발생하는 동일한 구성 상태는 앞서 계산한 값을 활용하면 계산시간을 단축시킬 수도 있다.

PDPSO 알고리즘을 구역전기사업자 구성 문제에 바로 적용하면 나타나는 단점을 앞의 간단한 예제에 적용하여 설명하면 다음과 같다.

첫 번째로, 속도의 관성이 큰 탐색 초기에는 식 (7)의 경계조건으로 인해 가장 번호가 낮거나 가장 번호가 높은 구역전기사업자에 분산전원이 집중되는 현상이 발생한다. PDPSO 알고리즘의 속도는 관성이 있으므로, 한번 경계조건을 벗어난 경우 경계값으로 위치가 보정된 후에도 한동안 경계조건을 벗어나는 방향의 속도값을 갖는다.

두 번째로, 속도의 관성이 작은 탐색 후기에는 경계값에 존재하는 분산전원이 국부적인 해를 넘어 전역 해에 도달하기 힘든 단점이 있다. 개체가 이동할 수 있는 방향은 경계값에 의해 단방향만 가능하므로, 특정 개체의 경우 탐색 후반에는 탐색단계마다 거의 이

동하지 못하는 현상이 발생한다. 특히, 구역전기사업자의 수가 많아서 양단의 경계값 사이가 멀어질수록 이런 현상이 자주 발생하는 것을 관찰할 수 있었다.

사례연구에서 다시 언급하겠지만 동일한 배전계통 내에서 구역전기사업자의 수가 증가할수록 에너지 공급비용은 증가하는 경향을 보인다. 따라서 구역전기사업자가 하나의 분산전원이나 수용가를 고정적으로 포함하고 있다는 가정을 도입하지 않을 경우, 하나의 구역전기사업자가 모든 공급그룹과 수요그룹을 포함하고 나머지는 어떤 대상도 포함하지 않는 결과가 도출된다.

경계값 조건으로 인한 정확성 저해는 구역전기사업자에게 부여한 번호와 결과값 사이에 영향을 미치며, 특정 분산전원을 고정적으로 포함하는 구역전기사업자에게 번호 1번을 부여하는 경우와 2번을 부여하는 경우 그 결과가 다르게 도출되는 오류도 발생한다.

2.4 Phasor DPSO

PDPSO 알고리즘의 경계값 조건을 제거할 수 있는 방법 중 하나는, 직선 공간 대신 양단 경계값 사이를 연결하는 원의 둘레 공간에서 개체 위치의 벡터성분이 이동하는 것이다. 그러나, 직선 공간이나 원 둘레 공간은 각 구역전기사업자에 해당하는 영역이 일정하다. 즉, 그림 1의 예제에서 3개의 구역전기사업자는 직선 공간에서 각각 0.5~1.5, 1.5~2.5, 2.5~3.5의 영역을 갖고, 원 둘레 공간에서 0~120°, 120~240°, 240~360°의 영역을 갖는다. 본 논문에서 제안하는 PDPSO 알고리즘은 개체 위치의 각 벡터 성분이 페이저 공간에서 2차원으로 이동하는 페이저 형태로서, 구역전기사업자의 번호 차이가 커도 개체가 도달하기 쉽도록 공간이 구성된다.

k 번째 탐색단계에서 i 번째 개체의 위치는 PDPSO 알고리즘에서 식 (9)와 같다.

$$\begin{aligned} X_i^k &= (W^{max} + W^{min} - W^k) \angle \theta_i^k \quad (9) \\ &= R^k \angle \theta_i^k \\ &= R^k \angle [\theta_{i,1}^k, \theta_{i,2}^k, \theta_{i,3}^k, \theta_{i,4}^k, \theta_{i,5}^k] \end{aligned}$$

식 (9)의 위치 페이저 크기에서 사용되는 W^k 는 PDPSO 알고리즘에서 사용하는 식 (3)과 동일하다. 탐색단계가 진행됨에 따라 개체의 위치는 점점 원점에서 멀어지면서, 탐색 범위를 좁히고 수렴성을 높인다.

속도와 위치를 갱신하는 식은 식 (2), (4) 대신 식 (10-12)와 같이 변경하여 사용하며, 그 관계를 도식하면 그림 2.(a)와 같다.

$$V_i^{k+1} = V_i^k + C_1 rand_1 (Pbest_i^k - X_i^k) + C_2 rand_2 (Gbest^k - X_i^k) \quad (10)$$

$$Z_i^{k+1} = X_i^k + V_i^{k+1} = |Z_i^{k+1}| \angle \theta_i^{k+1} \quad (11)$$

$$X_i^{k+1} = R^{k+1} \angle \theta_i^{k+1} \quad (12)$$

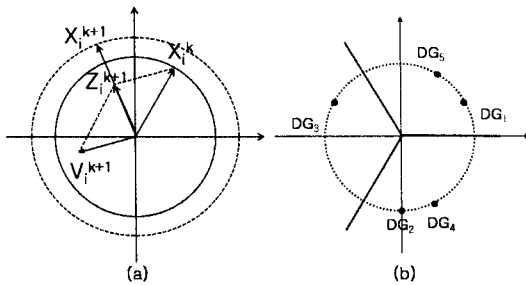


그림 2. PDPSO 알고리즘의 페이저 공간
Fig. 2. Phasor space of PDPSO algorithm

PDPSO 알고리즘에서는 식 (7)과 같은 별도의 경계조건이 존재하지 않는다. 식 (10), (11)에서 페이저 간의 덧셈이나 뺄셈을 수행할 경우 페이저의 위상각은 항상 0° 에서 360° 사이에 존재하므로 경계조건을 필요로 하지 않는다. 또한 식 (5)처럼 반올림을 사용하지 않고, 개체의 위치 페이저 중 위상각을 통해 구역전기사업자와 분산전원(또는 수용가)의 포함 관계를 도출한다. 즉, 총 m^{max} 개의 구역전기사업자가 존재하는 배전계통에서 개체의 위치가 식 (13)의 영역 내에 존재하면 n 번째 분산전원(또는 수용가)은 m 번째 구역전기사업자에 포함된다.

$$\frac{2\pi}{m^{max}}(m-1) \leq \theta_{i,n}^k < \frac{2\pi}{m^{max}}m \quad (13)$$

만약 구역전기사업자가 3개 존재하는 배전계통에서 임의의 개체 위치가 식 (14)와 같다고 가정하면, 이는 그림 1과 동일한 구역전기사업자 구성 상황을 표현하고 있으며 페이저 평면에 도식하면 그림 2 (b)와 같다.

$$\theta_i^k = \left[\frac{1}{6}\pi, \frac{3}{2}\pi, \frac{5}{6}\pi, \frac{5}{3}\pi, \frac{1}{3}\pi \right] \quad (14)$$

PDPSO 알고리즘과 DPSO 알고리즘의 가장 큰 차이는 경계조건을 제거하여 탐색 초기에 개체의 이동이 경계면에 집중되는 현상을 해결하였다는 점이고, 경계조건 제거로 인한 또 하나의 장점은 양방향의 이동이 가능하여 탐색 후기에도 국부적인 해에서 벗어날 가능성이 높아졌다는 점이다. 또한, 개체가 페이저 공간에서 원점 근방을 향하여 이동하면 구역전기사업자의 여러 영역에 도달하기 용이하기 때문에 탐색 범위가 넓어진다는 장점이 있지만, 탐색 후반에는 개체와 원점 간의 거리가 증가하여 기존 DPSO 알고리즘의 강력한 수렴특성을 유지하고 있다.

3. 사례연구

본 논문에서 제안한 PDPSO 알고리즘과 기존 DPSO 알고리즘의 특성을 비교하기 위해, 그림 3과 같은 배전계통의 하루 24시간을 가정하여 모의하였다. 모의계통에는 총 9기의 분산전원과 총 7곳의 전력 수용가, 총 5곳의 열에너지 수용가가 존재한다.

PDPSO 알고리즘과 DPSO 알고리즘은 모두 동일한 조건에서 시뮬레이션을 수행하였다. 20개의 개체를 사용하여 총 100번의 탐색단계를 수행하였으며, 계수값은 참고문헌 [5]를 참조하여 $C_1 = C_2 = 2$, $W^{min} = 0.4$, $W^{max} = 0.9$ 라고 가정하였다.

구역전기사업자의 수가 증가함에 따라, 두 알고리즘으로 구한 최적의 구성 형태에서 전체 수용가에게 공급해야 할 에너지의 공급비용은 그림 4와 같다.

그림 4에서 살펴볼 수 있는 결과 중 하나는 배전계통에 많은 구역전기사업자가 존재할수록 총 에너지 공급비용이 증가한다는 사실이다. 본 논문은 구역전기사업자가 각각의 수요그룹에게 독립적으로 전력을

구역전기사업자 구성을 위한 Phasor Discrete Particle Swarm Optimization 알고리즘

공급한다고 가정하였다. 구역전기사업자 사이의 전력 거래나 열에너지 거래는 존재하지 않기 때문에, 각 구역전기사업자는 별개의 계통과 유사하다. 즉, 하나의 계통이 다수의 계통으로 분리될 경우 분산전원의 경제급전에 불리한 측면이 있으며 에너지 부족분을 전력시장을 통해 수급하거나 패널티를 지불해야 한다.

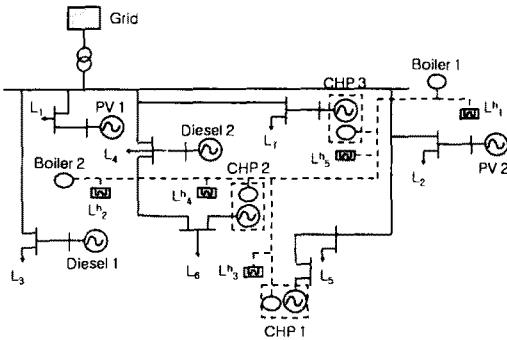


그림 3. 모의계통도
Fig. 3. Test system

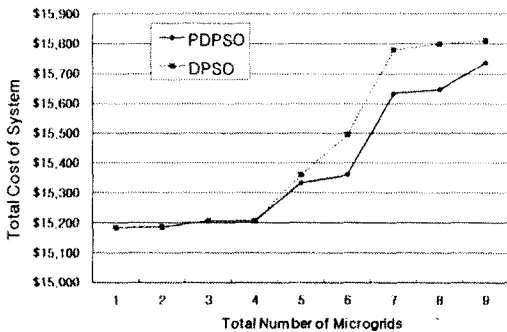


그림 4. 총 에너지 공급비용 곡선
Fig. 4. Total costs based on the number of CESs

그림 4에서 두 알고리즘의 결과를 비교하면, PDPSO 알고리즘이 상대적으로 정확한 구성 상태를 도출한다. 특히, 구역전기사업자의 수가 증가할수록 DPSO 알고리즘의 결과는 PDPSO 알고리즘의 결과와 더 큰 차이를 보이고 있다.

탐색횟수에 따른 수렴특성을 살펴보기 위해 대표적으로 구역전기사업자가 4개, 6개, 8개 존재하는 경우에 대해서만 두 알고리즘의 수렴곡선을 그림 5에 나타내었다.

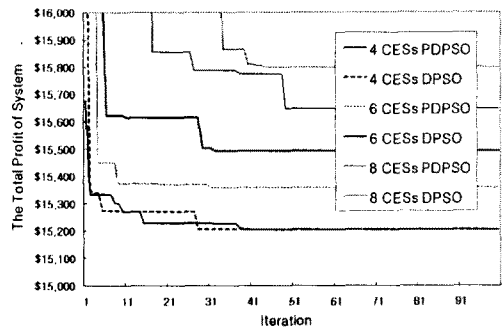


그림 5. 탐색횟수에 따른 수렴곡선
Fig. 5. Convergence curves of two algorithms

수렴속도에 있어서 두 알고리즘이 큰 차이를 보이고 있지는 않지만, PDPSO 알고리즘이 상대적으로 더 많은 횟수의 수렴 후에 최종값에 도달하는 형태를 살펴볼 수 있다. 또한, 모든 경우에 있어서 절반 정도의 탐색횟수 후에는 수렴값의 변동이 없는 것을 볼 수 있다. 구역전기사업자는 공급그룹과 수요그룹으로 구분되어 있어서, 두 그룹 중 한 그룹만 변동할 경우 총 공급비용이 오히려 증가하여 다시 앞 탐색 단계 구성으로 복귀한다. 이런 특성으로 다른 최적화 문제와는 달리 값의 수렴이 여러 단계에 걸쳐서 나타나지는 않으며, 특히 탐색 후기에는 값의 변동이 거의 없다.

4. 결 론

본 논문에서는 다수 구역전기사업자의 구성을 결정하는 최적화 문제에 적용하기 위해, 기존의 DPSO 알고리즘을 개선한 PDPSO 알고리즘을 새롭게 제안하였다. 제안된 PDPSO 알고리즘은 각 벡터성분이 2차원 공간에서 이동하는 페이지 형태로서, DPSO 알고리즘이 갖는 선형적 공간의 단점을 개선하고자 하였다. PDPSO 알고리즘은 탐색 초기 직선 공간의 양단에 개체가 집중되는 현상을 해소하였으며, 탐색 후기에도 전역해에 도달하는데 있어서 더욱 향상된 성능을 보이고 있다. 본 논문에서 제안하는 PDPSO 알고리즘은 반대되는 특성의 공급그룹과 수요그룹으로 구역전기사업자를 구성하는 최적화 문제에 적합한 탐색적 기법으로 사료된다.

References

- [1] 유동환, “구역형집단에너지와 구역전기사업(CES)”, 한국 조명전기설비학회, 조명전기설비, 제22권, 제3호, pp 53-60, 2008.
- [2] C. A. Hernandez-Aramburo, T. C. Green and N. Mugniot, “Fuel consumption minimization of a microgrid”, IEEE Transactions on Industry Applications, pp. 671-681, 2005.
- [3] C. S. Chang and W. Fu, “Stochastic multiobjective generation dispatch of combined heat and power systems”, IEE Proceedings Generation, Transmission and Distribution, Vol. 145, No. 5, pp. 583-591, 1998.
- [4] S. Sivanagaraju, Y. Srekanth and E. Jagadeesh Babu, “An efficient genetic algorithm for loss minimum distribution system reconfiguration”, Electric Power Components and Systems, Vol. 34, No. 3, pp. 249-258, 2006.
- [5] S. Sivanagaraju, J. Viswanatha Rao and P. Sangameswara Raju, “Discrete Particle Swarm Optimization to network reconfiguration for loss reduction and load balancing”, Electric Power Components and Systems, Vol. 36, pp. 513-524, 2008.
- [6] J. Kennedy and R. C. Eberhart, “Particle Swarm Optimization”, Proc. IEEE International Conference on Neural Networks, pp. 1942-1948, 1995.

◇ 저자소개 ◇

배인수 (裵引洙)

1975년 2월 14일생. 1998년 2월 한양대학교 전기공학과 졸업. 2003년 2월 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 8월 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 2008년 ~ 현재 강원대학교 전기제어공학부 전임강사.

김진오 (金鎭吾)

1956년 1월 17일생. 1980년 2월 서울대학교 전기공학과 졸업. 1983년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 12월 Texas A&M 대학교 전기공학과 졸업(박사). 1987년 ~ 현재 한양대학교 전기제어생체공학부 교수.