

하이브리드 PSO 알고리즘을 이용한 발전기 보수 계획

박영수*, 김진호**, 박준호*
부산대학교*, 경원대학교**

Generating Unit Maintenance Scheduling Considering Regional Reserves using Hybrid PSO Algorithm

Young-Soo Park*, Jin-Ho Kim**, June-Ho Park*
Pusan National University*, Kyungwon University**

Abstract - 본 연구는 지역별 전력수급을 고려한 발전기 보수 계획 수립에 관한 Hybrid Particle Swarm Optimization 알고리즘(HPSO) 접근법을 제시하였다. 전체 계통의 예비력 확보에 초점이 맞춰진 기존의 연구에 지역별 예비력을 고려한 제약조건을 추가하였다. 본 연구의 목적함수는 결정적 신뢰도 지수인 공급 예비율 분산값의 최소화(공급예비율 평활화)를 사용하였으며, IEEE RTS(1996) 계통에서의 사례연구를 수행하여 기존의 PSO 알고리즘의 경우와의 비교분석을 통해 제안된 방법의 우수성을 보였다.

1. 서 론

본 논문에서는 신뢰도 측면의 발전기 보수 계획 방법을 제안하였다. 신뢰도 목적함수는 예비력 등의 결정적 지수와 공급지장확률(LOLP), 공급지장에너지의 기대치 등의 확률적 지수로 나눌 수 있다. 본 논문에서는 연간 공급예비율 평활화를 목적함수로 사용하였다. 수학적으로 볼 때 발전기 보수 계획 문제는 많은 변수를 포함하는 복잡한 조합의 최적화 문제로 볼 수 있다. 수치적인 방법[1]에는 순차최적화기법, 정수계획법, 동적계획법, 분지한정법, 혼합정수법 등이 있다. 또한 확률적인 최적화 방법인 유전알고리즘[3]과 Simulated Annealing을 이용한 방법 등이 연구되고 있다. 본 논문에서는 발전기 보수계획 문제를 해결하기 위한 방안으로 HPSO 알고리즘을 제안하였다. 제안된 방법의 유용성을 입증하기 위해 IEEE Reliability Test System 발전계통의 자료를 이용하여 사례연구를 수행하였다. 사례연구를 통하여 HPSO 알고리즘을 이용한 발전기 보수 계획 수립이 최적해를 구하는데 용이함을 확인할 수 있었다.

2. 하이브리드 PSO 알고리즘 기반 보수계획 문제

2.1 발전기 보수 계획의 정식화

$$Min \sum_{t=1}^T \left\{ \left(\frac{IC - \sum_{j=1}^N u_{jt} C_j}{L_t} - L_t \right) - \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left[\left(\frac{IC - \sum_{j=1}^N u_{jt} C_j}{L_t} - L_t \right) \right]^2 \right\} \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^N (1 - u_{jt}) C_j - L_t > 0 \quad (2)$$

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

$$\sum_{t=1}^T u_{jt} = M_j, \quad \prod_{t=S_j}^{M_j+S_j-1} u_{jt} = 1 \quad (4)$$

$$RES_t \geq \epsilon, \quad RES_t^r \geq \epsilon \quad (5)$$

$$P_{ab} \leq P_L \quad (6)$$

u_{jt} : t번째 보수 계획 주의 발전기 j의 운전 상태
 T : 총 보수 기간 (1년 : 52주), N : 총 발전기 대수
 IC : 총 설비용량 (IC, Installed Capacity)

$AC_t = IC - \sum_{j=1}^N u_{jt} C_j$: t주의 가용 설비 용량

L_t : t주의 최대 수요, C_j : 발전기 j의 용량

M_j : 발전기 j의 보수 기간

S_j : 발전기 j의 보수 시작 주, S_j^{min} : 발전기 j의 보수 가능 시작 주

S_j^{max} : 발전기 j의 보수 가능 마지막 주

ϵ : 예비율 기준(10%), RES_t^r : r지역의 t주 예비율

P_{ab} : a지역에서 b지역으로 보내지는 송전 용량 [MW]

P_L : 최대 송전 용량 [MW]

식(1)은 본 논문의 목적함수로서, 연간 공급예비율의 분산값 최소화

를 의미한다. 총 설비용량에서 각 주의 보수 물량과 최대 수요를 제외한 부분은 예비력에 해당하고 이를 최대로 나누면 예비율이 된다. 각 주의 예비율 분산값을 최소화 한다는 것은 연간 공급예비율을 평활화한다는 의미이다. 공급예비율 평활화를 이용한 보수 계획의 이점에 따라 연간 계통신뢰도는 직접적인 영향을 받으므로 이를 최적으로 배분하여 연간 공급예비율을 평활화하는 것이 목적이 된다.

식(2)는 모든 주에서 공급예비력이 양수임을 나타내며, 식(3)은 보수 가능 시작 및 마지막 가능 주의 제약으로 해당 발전기는 계획 가능 기간이 주어진다. 식(4)은 발전기 보수 연속기간 및 연속성을 나타낸다. 한번 보수 계획을 시작한 발전기에 대해서는 중도에 예방정비를 중단하지 않는다. 식(5)은 각 주별 계통 전체 및 각 지역별 예비력 제약을 나타낸다.

식(6)은 지역 내 수급이 불가능한 지역이 타 지역으로부터 수급 시, 최대 송전 용량의 범위 내에서 가능함을 나타내는 제약조건이다.

2.2 PSO 알고리즘 수행 절차

본 논문에서 사용한 기존의 PSO 알고리즘은 참고문헌[4]을 참조하여 구성하였다[5].

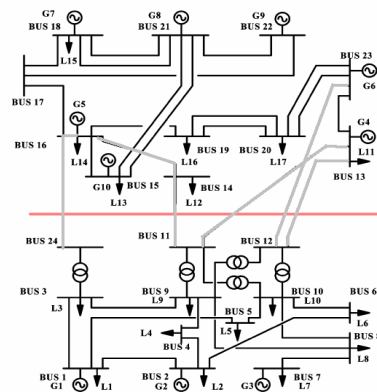
2.3 Hybrid PSO 알고리즘

PSO 알고리즘은 세대 초기에는 탐색 능력이 우수하지만, 부분 최적해에 접근하게 되면 몇 가지 문제가 발생할 수 있다. 식(7~9)을 살펴보면, 개체의 현재 위치가 gbest에 근접하고, 이전의 속도가 0에 가깝다면, 해당 개체는 최근까지의 gbest에서 이동하지 않고 정체한다. 다른 모든 개체는 최적해가 아닐 수도 있는 해당 개체로 이동할 것이며 이는 알고리즘의 조기 수렴 문제와도 관련이 있게 된다. 이러한 현상을 정체(stagnation)이라한다[6]. PSO 알고리즘에 유전알고리즘의 돌연변이 특성을 접목하는 Hybrid PSO 알고리즘을 이용하면 이러한 문제를 어느 정도 보완할 수 있다. 개체들이 지역해에 수렴하거나 정체되는 문제를 해결할 수 있다. 본 논문에서는 위치업데이트 과정 이후, 유전자 알고리즘의 돌연변이 함수를 사용하여 새로운 영역으로의 탐색을 가능하게 하였다.

3. 사례연구

3.1 대상계통 : IEEE RTS 96

모의계통은 발전기가 32대, 최대부하가 2,850MW, 시설용량이 3,405MW이다. 발전기명, 용량, 발전단입, 발전보수연속기간, 보수 가능기간, 주별 수요 등에 대한 자료를 확인할 수 있다[5].



<그림 1> IEEE RTS(1996)

