

지역별 예비력 제약과 융통전력을 고려한 발전기 예방정비 계획 해법

論 文

56-11-4

Generating Unit Maintenance Scheduling Considering Regional Reserve Constraints and Transfer Capability Using Hybrid PSO Algorithm

朴永秀* · 金眞鎬* · 朴俊灝**

(Young-Soo Park · Jin-Ho Kim · June-Ho Park)

Abstract - This paper presents a new generating unit maintenance scheduling algorithm considering regional reserve margin and transfer capability. Existing researches focused on reliability of the overall power systems have some problems that adequate reliability criteria cannot be guaranteed in supply shortage regions. Therefore specific constraints which can treat regional reserve ratio have to be added to conventional approaches. The objective function considered in this paper is the variance (second-order momentum) of operating reserve margin to levelize reliability during a planning horizon. This paper focuses on significances of considering regional reliability criteria and an advanced hybrid optimization method based on PSO algorithm. The proposed method has been applied to IEEE reliability test system(1996) with 32-generators and a real-world large scale power system with 291 generators. The results are compared with those of the classical central maintenance scheduling approaches and conventional PSO algorithm to verify the effectiveness of the algorithm proposed in this paper.

Key Words : Generating unit maintenance scheduling, Regional reserve margin, Transfer Capability, Hybrid PSO algorithm

1. 서 론

경제성장에 따른 급격한 전력 수요의 증가는 발전기를 포함한 전력계통의 효율적이고 안정적인 운영을 강조한다. 전력은 특성상 생산과 소비가 동시에 이루어지고, 수요가 급변하는 특성이 있으므로 전력계통 운영에 있어서 적정예비력의 보유는 필수적이다. 근래에는 전력수요가 지속적으로 증가하여 왔고 발전 설비용량 또한 증가하여 전력계통이 대규모 지능화 되어가고 있다. 하지만 수도권과 비수도권의 수급 불균형 문제가 발생하여, 지역별 신뢰도를 유지할 수 있는 발전 및 송전 설비를 동시에 최적화하는 과정의 필요성이 언급되고 있다. 공급자 중심에서 소비자 중심으로, 전국 단위에서 지역단위로 계획 개념이 변경되고, 지역별 전력수급이 안정적으로 수행될 수 있도록 하는 전력수급 계획은 차후 전력시장에서의 지역적 가격 신호를 제공하는 역할을 하여 시장 발전의 밑바탕이 될 수 있다[1]. 3차 수급계획에서 지역별로 설비계획을 수립한 이유는 지역별 수급균형을 유지함으로써 송전손실이라든가 혼잡비용을 줄이고, 더 나아가 공급신뢰도의 실현을 제고하기 위함이다[1].

발전기 예방정비 계획이란 통상 특정 연도에 있어서 각 발전기의 예방정비시기 및 기간을 결정하는 것을 의미한다. 이러한 연간 예방정비계획의 목적은 계획 연간의 모든 기간

에서 신뢰도를 유지하면서 적절한 예방정비를 통하여 각 발전기의 성능 향상과 더불어 발전기의 수명을 연장하고, 따라서 전력계통의 신뢰도 향상과 총 발전비용의 감소에 있다[2, 3]. 전력계통의 계획과 설계, 그리고 운영관리의 관점에서 발전기 예방정비 계획에 대한 이론적이고 방법론적인 접근 연구가 지속적으로 되어 왔다. 연구 측면이나 실제 계통 운영 측면에서 볼 때 전력계통의 예방정비 계획은 많은 물리적인 제약조건을 가진 복합적인 최적화 문제이다. 즉, 모든 제약조건을 만족하는 대안 가운데 목적함수 값을 최소로 하는 대안이 최적 예방정비 계획안이 된다.

수학적으로 볼 때 발전기 예방정비 계획 문제는 많은 변수를 포함하는 복잡한 조합의 최적화 문제로 볼 수 있다. 발전기 예방정비 계획 문제의 해를 찾기 위해 여러 가지 기법들이 적용되었는데, 수치적인 방법 [4~6]에는 순차최적화 기법, 정수계획법, 동적계획법, 분지한정법, 혼합정수법, benders decomposition 등이 있다. 이와 같은 수치적 방법들은 실제 운용상에 발생하는 다양한 제약조건을 고려하기 어렵고 전역 최적해를 구하기가 어려운 문제점이 있어, 최근에는 확률적인 최적화 방법인 유전알고리즘[7]과 Simulated Annealing을 이용한 방법[8] 등이 연구되고 있다.

본 논문의 주요 기여사항(Contribution)은 다음과 같이 요약할 수 있다. 먼저 기존의 예방정비 계획 연구가, 전국을 단일계통으로 모델링하는 방법에 기초함으로써, 지역별 예비력 제약과 융통전력을 고려하지 못함으로, 우리나라의 경우, 수도권의 예비력이 전국권 예비력이 제공하는 수치보다 훨씬 부족한 문제점을 드러내는 점에 착안하여, 이를 극복하기 위해, 지역별 예비력 조건과 융통전력을 반영한 새로운 발전기 예방정비 계획 문제 해법을 제안하였다. 즉, 전국적 공급

† 교신저자, 正會員 : 暎園大學校 電氣工學科 助敎授

E-mail : kimjh@kyungwon.ac.kr

* 學生會員 : 釜山大學校 電子電氣工學科 碩士課程

** 正會員 : 釜山大學校 電子電氣通信工學部 敎授 · 工博

接受日字 : 2007年 6月 27日

最終完了 : 2007年 8月 6日

신뢰도를 저하시킬 가능성이 있는 지역별 독립적인 예방정비 계획을 수립한 것이 아니라, 지역 간 용통전력을 고려하고 이에 기초하여 지역별 예비력 제약조건을 반영한 지역별 수급 개념의 새로운 전국권 예방정비 계획수립 방법론을 제시하였다.

또한 예방정비 계획 최적화를 위해서, 현재 유용성이 널리 인정되기 시작하고 있는 PSO알고리즘을 이용하였는데, 이는 병렬탐색 능력과 수렴 특성이 우수하고 발전기 예방정비 계획에 대한 이전의 정보들을 고려할 수 있어 전력시스템 스케줄링 문제에도 적합하다는 점에 기인한다[9]. 이와 함께, 본 논문에서는 기존의 PSO 알고리즘에 유전자 알고리즘의 돌연변이 연산 특성을 추가하여 그 성능을 개선한 Hybrid PSO 알고리즘을 개발하였으며, 이를 본 논문에 적용하여 보다 개선된 예방정비 계획을 수립하였다. IEEE Reliability Test System(1996) 및 우리나라 실 계통 데이터를 대상으로 본 논문에서 제안된 방법을 적용하였으며, 그 결과 제안된 알고리즘의 유용성을 입증하였다.

2. 용통전력을 고려한 예방정비 계획

2.1 용통전력을 고려하지 않은 단일 계통의 예방정비 계획 정식화

본 논문은 발전기 예방정비 계획의 목적함수로 결정적 신뢰도 지수인 연간 공급예비율 평활화 알고리즘 즉, 예비율 분산값을 최소화하는 대안을 선택한다. 용통전력을 감안하지 않은 계통 단일의 예방정비 계획 정식화의 목적함수와 제약조건, 기타 변수에 대한 구체적인 설명은 아래와 같다.

$$\text{Min} \sum_{t=1}^T \left\{ \left(\frac{AC_t - L_t}{L_t} \right) - \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left[\frac{AC_t - L_t}{L_t} \right] \right\}^2 \quad (1)$$

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

s. t.

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

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

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

$$\sum_{j=1}^N u_{jt} C_j \leq CR_t \quad (5)$$

$$RES_t \geq \epsilon \quad (6)$$

여기서,

u_{jt} : t 번째 예방정비 계획 주의 발전기 j 의 운전 상태

(1 : 예방정비, 0 : 운전)

T : 총 예방정비 기간 (1년 : 52주), N : 총 발전기 대수

IC : 총 설비용량 (IC, Installed Capacity)

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

L_t : t 주의 최대 수요, C_j : 발전기 j 의 용량

M_j : 발전기 j 의 예방정비 기간

S_j : 발전기 j 의 예방정비 시작 주 (결정변수)

S_j^{\min} : 발전기 j 의 예방정비 가능 시작 주,

S_j^{\max} : 발전기 j 의 예방정비 가능 마지막 주

RES_t : t 주의 전체 계통의 예비율,

ϵ : 전체 계통 예비율 기준(10%)

식(1)은 목적함수로서, 연간 공급예비율의 분산값 최소화를 의미한다. 총 설비용량에서 각 주의 예방정비 물량과 최대 수요를 제외한 부분은 예비력에 해당하고 이를 최대수요로 나누면 예비율이 된다. 각 주의 예비율 분산값을 최소로 한다는 것은 연간 공급예비율을 평활화 한다는 의미이다. 공급예비율 평활화를 이용한 예방정비 계획의 이동에 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 예방정비 가능 시작 및 마지막 가능 주의 제약으로 해당 발전기는 계획 가능 기간이 주어진다. 식(4)은 발전기 예방정비 연속기간 및 연속성을 나타낸다. 한 번 예방정비 계획을 시작한 발전기에 대해서는 중도에 예방정비를 중단하지 않고 연속적으로 시행한다. 식(5)는 기술자 제약을 고려한 t 주의 예방정비 가능 용량이다. 주별 예방정비 물량은 발전계통을 예방정비 인력에 의해 한정된다. 예방정비 계획 기간이 결정된 후에는 자체 공급, 인력 공급, 장비 공급 등의 물리적인 제약 조건을 반영하여 각 발전소의 예방정비 가능 기간이 결정된다. 식(6)은 각 주별 계통의 예비력이 전체 부하의 특정 수치이상 되어야 한다는 제약을 의미한다. 이상의 제약들을 만족하며, 해당 목적함수를 최소화 하는 최적의 개체를 탐색하는 것이다.

2.2 용통전력을 고려한 예방정비 계획 정식화

2.2.1 지역별 전력수급계획의 본격적인 추진

제3차 전력수급기본계획은 지역별 전력수급계획의 본격적인 추진 및 기준 정립의 필요성을 제시한다[1]. 기존의 ‘공급자 중심 계획’에서 ‘소비자 중심 계획’으로의 개념을 변경하여 과거의 발전최적화, 송전최적화의 순차적인 과정보다는 발전과 송전을 동시에 고려하는 (발전+송전최적화) 과정을 수행하여 사회적 비용이 최소화되게 한다. 국가 전체적으로 적정 예비력을 확보함과 동시에 각 지역별 예비력을 보유하여 에너지 수급의 ‘지방화’ 및 ‘분산화’의 개념을 기반으로 에너지 자급을 충족시킴과 동시에 송전망 손실과 송전망 혼잡을 동시에 고려하여 최적의 전력에너지 수급이 가능하도록 한다. 특히 수도권과 제주도 등의 부하 중심 지역의 전력수급 안정화에 대한 해결책을 제시할 수 있다.

이 시점에서 발전기 예방정비 계획 문제 또한 지역별 전력수급계획의 추진과 함께 수정될 필요가 있다. 기존의 예방정비 계획 문제는 단일 계통의 수요와 공급을 고려하여 적정 예비력을 유지하는 형식으로, 이는 수도권과 제주도 등

의 부하 중심 지역의 수급 불균형으로 인한 추가의 사회적 비용을 발생시킨다. 송전 가능한 용통전력을 고려하여 발전을 동시에 최적화하는 과정이 필요하며 발전기 예방정비 계획 문제는 이러한 맥락에서 해석되어야한다. 아래 그림 1은 전국을 6개(제주지역 생략)지역으로 구분하여 각 지역별 용통전력의 방향과 용량을 표시한 것이다. 각 지역의 수요와 공급을 고려하여 해당 지역별 신뢰도(예비율) 기준을 만족하는 발전기 예방정비 계획을 수립해야한다.

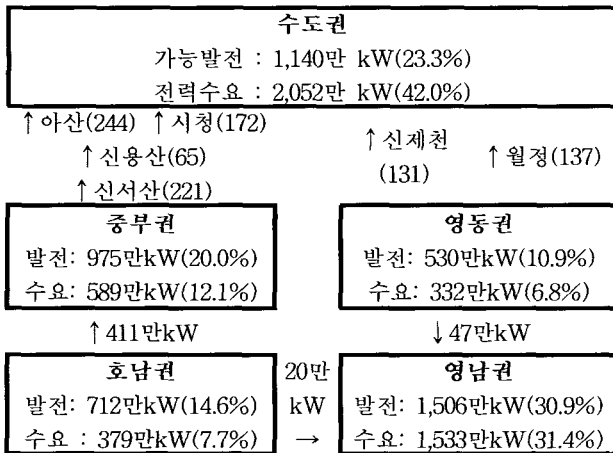


그림 1 전국 송전망의 구분 기준 모선 및 선로(2006년 10월)
Fig. 1 Power systems section(Korea)

2.2.2 예방정비 계획 정식화

공급예비율 분산값 최소화를 목적함수로 하는 기존의 연구와 마찬가지로 본 연구에서도 2.1에서 살펴본 목적함수와 제약조건(식2~6)들을 고려한다. 하지만 단일 계통 전체의 예비력 확보에 초점이 맞춰진 기존의 예방정비 계획 문제에서는 최대 송전 용량 제한에 따른 지역별 수급 불균형, 사회적 비용의 초과 발생 등의 문제를 보일 수 있다. 그러므로 기존의 연구에 지역별 용통전력(Total Transfer Capability)을 감안한 제약조건이 아래와 같이 추가되어야한다.

$$RES_t^r \geq \epsilon_r \tag{7}$$

$$P_{ab} \leq P_L \tag{8}$$

ϵ_r : r지역의 예비율 기준(10%)

RES_t^r : r지역의 t주 예비율

P_{ab} : a지역에서 b지역으로 보내지는 송전 용량 [MW]

P_L : 최대 송전 용량 [MW]

(용통전력(TTC, Total Transfer Capability))

기존의 연구들은 단일 계통 전체의 수요와 공급을 고려하였다. 실제 단일 계통은 지역별로 발전 및 부하 중심 지역으로 구분되어 자체 수급이 가능한 지역과 그렇지 못한 지역으로 나뉠 수 있다. 자체 수급이 가능한 발전 중심 지역은 부하 중심 지역으로 송전용량 범위에서 송전해야한다. 그러므로 송전가능용량을 무시한 단일 계통의 발전기 예방

정비 계획 수립은 지역별 수급 안정과 관련된 신뢰성 및 사회적 비용 등의 경제적인 문제를 사실상 해결하지 못한다. 그러므로 용통전력 범위에서 용통 가능 용량을 타 지역으로 송전하고(식8), 각 지역별 예비율 기준을 만족하는(식7) 예방정비 계획이 필요하다.

3. Hybrid PSO 알고리즘

3.1 PSO 알고리즘

PSO(Particle Swarm Optimization)알고리즘은 자연선택의 진화 메커니즘이 아닌 새·물고기 떼와 같은 생체군집의 사회적 행동양식을 바탕으로 하고 있다. PSO알고리즘 역시 군집(Swarm)기반의 확률 최적화 방법으로 병렬처리 특성을 가지며, 지역극소점에 빠질 위험이 적고 해 공간 전체를 탐색하는 능력을 가진다. Kennedy and Eberhart[10]에 의해 소개되었으며, 계속해서 전력시스템과의 적용이 시도되고 있다. 본 논문에서는 제약조건의 조합 최적화 문제인 발전기 예방정비 계획을 수립하기 위해 일반적인 PSO알고리즘을 개선한 Hybrid PSO (HPSO)알고리즘을 이용한다.

PSO의 기본요소와 연산자는 다음과 같다[9~11]. Particle- x^t 는 군집(swarm)안에 속해 있는 각각의 개체(particle)들의 집합을 나타내며, t-iteration에서의 개체들의 집합을 의미한다. 군집의 모든 particle들은 하나의 해를 나타내며 m-차원(dimension) 실수 벡터로 표현된다. t-iteration에서의 j 번째 particle인 x_j^t 는 $[x_{j1}^t, x_{j2}^t, \dots, x_{jm}^t]$ 로 표현되며, x_{jk}^t 는 j번째 particle의 k번째 차원의 위치를 나타낸다. Particle의 위치정보는 아래 식(9)과 같다.

$$x_{jk}^t = v_{jk}^t + x_{jk}^{t-1} \tag{9}$$

Swarm- S^t 는 n개 particles의 집합으로, $S^t = [X_1^t, X_2^t, \dots, X_n^t]^T$. 다음으로 Particle best- $pbest_j^t$ 란 탐색공간을 움직이는 개체들이 현재의 위치정보에 대한 적합도를 가지고 자신의 이전 데이터를 기초로 최적의 위치정보를 찾은 개체를 의미하며, Global best- $gbest^t$ 는 군집 내에서 n개의 모든 pbest 중 가장 최적의 위치정보를 내는 개체를 의미한다. 따라서 주어진 문제의 최적해가 된다. Particle velocity- V_j^t 는 v_j^t 로 이루어진 속도 벡터로, 유일한 연산자인 v_{jk}^t 는 particle들의 이동 속도를 나타내는 m-차원 실수벡터이다. 따라서 $V_j^t = [v_{j1}^t, v_{j2}^t, \dots, v_{jm}^t]$ 는 t-iteration의 j번째 개체의 이동 속도를 의미한다. 일반적인 개체 속도(velocity)는 아래 식(10)과 같다.

$$v_{jk}^t = w^t v_{jk}^t + c_1 r_1 (pbest_{jk}^t - x_{jk}^t) + c_2 r_2 (gbest_k^t - x_{jk}^t) \tag{10}$$

여기서 c는 각 particle이 pbest와 gbest로 향하는 확률적 가속의 가중치를 표현하는 가속상수(acceleration constant)이며, 해당 값이 상대적으로 작거나 높으면 목적지가 아닌 곳을 떠돌게 하거나, 목적지를 지나치게 하는 등의 갑작스런 방향전환을 유도한다. 일반적으로 해당 값은 2.0으로 설정하며, r_1, r_2 는 [0, 1]내의 랜덤상수이다[9,10]. Swarm 발산 위험을 촉진하는 속도 크기의 제어현상을 방지하고, 해 공간의

지역적 탐색을 강화하기 위해 개체 속도의 최대값(v_{max})을 설정하여 개체의 이동 속도를 제한한다. 만약 v_{max} 가 매우 큰 값을 가진다면, 개체들은 최적해를 지나쳐버릴 수 있다. 반대로 매우 작은 값을 가진다면, 해 공간을 충분히 탐색하지 못하게 된다. 일반적으로 v_{max} 는 각 변수 공간의 10~20%로 설정되었다[10,11]. 알고리즘의 효과적인 성능 개선을 위해서는 관성하중(inertia weight), w 을 추가하여 인지성(cognition)을 고려한다. 가속상수 c 가 지식의 사회적(social) 심리적응을 바탕으로 속도를 조절하는 반면, 인지성은 그 자신의 생각과 메모리를 바탕으로 속도를 조절한다. 즉, 현재의 속도에 대한 기존 속도의 영향을 조절하기 위한 제어 파라미터이다. 따라서 이 값은 개체의 전역·지역 탐색 능력 사이의 관계를 조절한다. 탐색과정 초기에는 전역탐색의 강화를 위해 관성하중 값을 크게 설정하고, 탐색 후반부에는 반대로 좀 더 나은 지역 탐색을 위해 관성하중을 감소시킨다. w 값은 0.9에서 0.4까지 선형적으로 감소시키는 방법이 자주 이용된다[10].

$$w^t = w_{max} - \frac{w_{max} - w_{min}}{G_{max}} \times t \quad (11)$$

G_{max} : 총 세대(generation) 수.

w_{max} : 초기 관성하중 값, w_{min} : 마지막 관성하중 값

3.2 Hybrid PSO 알고리즘 (HPSO)

PSO알고리즘은 전역 탐색능력이 우수하지만, 부분 최적해에 접근하게 되면 몇 가지 문제가 발생할 수 있다. 식(9~11)을 살펴보면, 개체의 현재 위치가 gbest에 근접하고, 이전의 속도가 0에 가깝다면, 해당 개체는 최근까지의 gbest에서 이동하지 않고 정체한다. 다른 모든 개체들은 최적해가 아닐 수도 있는 해당 개체로 이동할 것이며 이는 알고리즘의 조기 수렴 문제와도 관련이 있게 된다. 이러한 현상을 정체(stagnation)라고 한다[12]. PSO알고리즘에 유전알고리즘의 돌연변이 특성을 접목하는 HPSO를 이용하면 개체들이 지역해에 수렴하거나 정체되는 문제를 어느 정도 극복할 수 있다. 본 논문에서는 그림 2와 같이 모든 개체의 위치업데이트 과정 이후, 유전자 알고리즘의 돌연변이 함수를 사용하여 전역적인 탐색 영역으로 가능하게 하였다.

```

Begin
Create and initialize
While (Stop condition is false)
Begin
Evaluation
Update velocity and position
Mutation
End
End
    
```

그림 2 HPSO의 기본적인 알고리즘
Fig. 2 Basic Pseudocode for HPSO algorithm

그림 2와 같이 기본적인 HPSO의 방법은 전 세대동안 모든 개체의 위치 업데이트이후, 돌연변이 연산을 접목하여 탐색능력을 향상시킨다. 본 논문에서는 발전기 예방정비 계획

문제의 특성에 맞게 돌연변이 연산의 방법과 시기에 따라 몇 가지 HPSO를 살펴본다. 발전기 용량별, 시물레이션 세대별로 돌연변이 확률을 차등 부여한다. 첫째, 발전기는 용량이 각각 다르며, 용량이 큰 발전기는 예방정비 계획 문제의 목적함수를 변화시킬 수 있는 민감도가 크다[13]. 표 5와 같이 해당 발전기의 예방정비 시작 주(결정변수)에 대한 변화가 많지 않도록 돌연변이 확률을 상대적으로 작게 부여할 수 있다. 둘째, 시물레이션 세대에 따라 초기에는 탐색 범위의 다양성을 위해 돌연변이 확률을 높게 하고, 식(12)과 같이 점차 감소시킨다.

$$m^t = m_{max} - \frac{m_{max} - m_{min}}{G_{max}} \times t \quad (12)$$

G_{max} : 총 세대(generation) 수.

m_{max} : 초기 돌연변이 확률, m_{min} : 최종 돌연변이 확률

5장의 사례연구에서 기본적인 HPSO, 발전기 용량별, 세대별, 두 가지를 접목시킨 HPSO알고리즘을 발전기 예방정비 계획 문제에 적용한 결과를 살펴볼 것이다.

4. Hybrid PSO 알고리즘을 이용한 발전기 예방정비 계획 수행

단계1_데이터입력 : 발전기 예방정비 계획을 실시할 대상 계통의 발전 및 부하자료를 입력받는다. 계통의 발전기 총 설비용량, 최대수요 관련 데이터가 필요하며, 각 발전기의 예방정비기간, 계획 가능기간, 돌연변이 확률 등에 대한 자료가 요구된다.

단계2_초기화 : 탐색 공간상에 초기해 집단의 개체를 랜덤으로 발생시킨다. PSO알고리즘을 수행하기 위해 기본적인 파라미터(가속상수, 관성하중, V_{max})를 설정한다.

단계3_속도 업데이트 : 식(10)를 이용하여 속도를 업데이트하는 단계이다. $[-V_{max}, V_{max}]$ 를 넘지 않도록 v_{jk}^t 의 값을 조정한다.

단계4_위치 업데이트 : 식(9)에 의해 발전기별 예방정비 시작 주를 나타내는 개체들의 위치 정보가 업데이트 된다.

단계5_돌연변이 연산(HPSO알고리즘) : 단계4에서의 모든 개체들의 위치를 돌연변이 연산을 이용하여 재차 업데이트 시킨다. 3.2장의 내용과 같이 발전기 용량별, 시물레이션 세대별 돌연변이 확률을 부여하여 각 사례에서의 목적함수 변화를 통해 HPSO의 기능을 확인한다.

단계6_Pbest · Gbest 업데이트 : 새로운 위치정보를 가진 개체들은 목적함수에 의해 평가되고 각 개체의 적합도는 이전 pbest의 적합도와 비교되어 pbest를 재설정한다. Pbest 개체 중 최적해를 가지는 개체의 적합도와 이전 gbest의 적합도를 비교하여 최적 위치정보를 가진 개체를 gbest로 재설정한다. 모든 개체가 식(2)~(8)의 제약조건을 만족하는지 확인하고, 그렇지 못한 개체는 벌점(penalty)을 부여 pbest, gbest로 선택되지 않도록 한다.

단계7_종료조건 확인 : 최종 설정한 총 세대를 만족하면 현재의 예방정비 계획 알고리즘은 종료하고 그렇지 않을 경우는 단계3을 반복한다.

단계8. 해 결정 : 최종 결정된 Gbest는 최적의 위치정보를 가지는 발전기 예방정비 계획의 해가 된다.

알고리즘 수행결과, 연간 공급예비율 분산값 최소화를 만족하는 결정변수의 조합, 즉 특정개체를 찾을 수 있다. 개체 내에 포함된 각 발전기의 예방정비 시작시기에 대한 정보를 알 수 있으며 전체 계통 및 지역별 예비율을 확인할 수 있어 최종적인 발전기 예방정비 계획이 가능하다.

5. 사례연구

이상의 이론을 IEEE RTS(1996)과 실 계통(2006. 10)에 적용하여 사례연구를 실시한다. 5.1절에서는 발전계통 및 부하 등의 일반적인 사례계통 정보를 확인하고, 시뮬레이션 알고리즘의 매개변수를 확인한다. 본문에서 다루었던 지역별 용통전력을 확인하고 발전 및 부하 중심의 2개 지역으로 계통을 구분한다. 5.2절에서는 발전기 32대의 경우에 대해서, 지역별 예비력 제약을 고려한 계통의 사례연구를 수행하고, PSO알고리즘을 개선한 hybrid PSO알고리즘을 적용한 결과와 비교 분석한다. 우리나라 실 계통에 적용한 결과를 5.3절에서 살펴보고, 5.4절에서는 발전기 예방정비 계획 수립 및 해(solution)의 적용가능성을 확인한다.

5.1 사례계통 자료 및 시뮬레이션 알고리즘 매개변수 확인

아래 그림 3은 본 연구의 사례연구에서 사용할 IEEE-RTS(1996)이다[14]. 24개의 모선과 발전기 32대로 구성되었으며, 총 설비용량(IC, Installed Capacity)은 3,405[MW], 주별 최대 부하는 2,850[MW]이다. 부하 중심 지역(지역1)과 발전 중심 지역(지역2)으로 구분하고, 2개의 지역은 5개의 송전선로로 연결된다. 송전선로의 용통전력 합은 900[MW]이며, 각 지역의 최대 수요와 총 설비용량은 표 1과 같다.

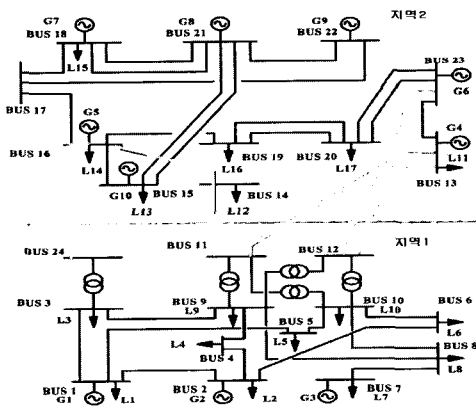


그림 3 예방정비 계획 대상 발전계통
Fig. 3 IEEE-RTS (1996) for Maintenance Schedules

지역1은 수요가 설비용량보다 많은 자체 수급이 불가능한 지역이며, 5개 송전선로의 용통전력을 고려한 지역2의 공급을 필요로 한다. 반대로 지역2는 자체 수급이 가능하며, 지역 신뢰도(10%)를 만족하고 남은 용량은 지역1로 공급하여 지역1의 신뢰도 기준을 만족하도록 한다. 본문에서 지역별 전력수급의 용통전력의 중요성을 살펴보았으며, 해당 제약을 만족하는 발전기 예방정비 계획을 수립하는 것이 최종목표이다.

표 1 지역별 수요 및 설비량 분포

Table 1 Regional demand and Supply

	수요(최대)	설비(공급)	비고
지역1	1,332MW (46.74%)	684MW (20.09%)	부하중심지역
지역2	1,518MW (53.26%)	2,721MW (79.91%)	발전중심지역
전체	2,850MW	3,405MW	

표 2는 32대 발전기의 세부자료이다. 발전기명, 용량(MW), 발전타입, 예방정비 기간 및 예방정비 가능기간에 대한 자료를 확인할 수 있다. 해당 발전기는 예방정비 가능기간에서 해당 예방정비기간동안 발전기 예방정비 계획을 연속적으로 1회 시행할 수 있다. 예방정비 가능 기간이외의 해를 탐색할 경우는 벌점(penalty)을 주어 가능해(feasible solution)로 선택될 수 없도록 한다.

표 2 발전기 자료

Table 2 Data of Generators

발전기명	용량(MW)	발전타입	예방정비기간(주)	예방정비가능기간	발전기명	용량(MW)	발전타입	예방정비기간(주)	예방정비가능기간
U12-1	12	Oil/Steam	2	1~52	U76-2	76	Coal/Steam	3	18~29
U12-2	12		2	1~52	U76-3	76		3	18~29
U12-3	12		2	1~52	U76-4	76		3	18~29
U12-4	12		2	1~52	U100-1	100	Oil/Steam	3	18~29
U12-5	12		2	1~52	U100-2	100		3	18~29
U20-1	20	Oil/CT	2	18~29	U100-3	100		3	18~29
U20-2	20		2	18~29	U155-1	155	Coal/Steam	4	1~52
U20-3	20		2	18~29	U155-2	155		4	1~52
U20-4	20		2	18~29	U155-3	155		4	1~52
U50-1	50	Hydro	2	41~52	U155-4	155		4	1~52
U50-2	50		2	41~52	U197-1	197	Oil/Steam	4	1~52
U50-3	50		2	41~52	U197-2	197		4	1~52
U50-4	50		2	1~27	U197-3	197		4	1~52
U50-5	50		2	1~27	U350	350	Coal/Steam	5	1~52
U50-6	50		2	1~27	U400-1	400	Nuclear	6	1~52
U76-1	76	Coal/Steam	3	18~29	U400-2	400		6	1~52

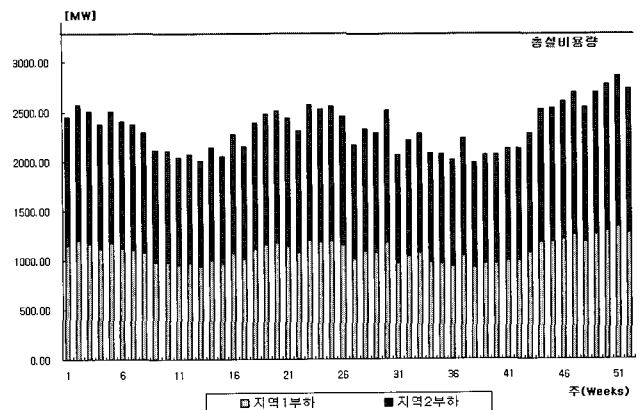


그림 4 지역별 주간 최대 수요
Fig. 4 Regional Weekly Peak Load

연간 부하는 18~26주, 44~52주에서 부하가 상대적으로 높은 시기를 가짐을 그림 4에서 확인할 수 있으며, 해당 기간에서의 예방정비 계획 대상 발전기의 설비용량이 적을 것이며, 반대로 부하가 적은 시기에는 예방정비용량이 많을 것임을 예상할 수 있다. 기대수요(expected demand)는 발전기 예방정비용량과 해당 주의 최대 부하의 합을 의미하며, 계통의 예비율과 밀접한 관계가 있다.

본 연구에서는 PSO알고리즘과 이를 개선한 hybrid PSO (HPSO) 알고리즘을 사용한다. 표 3는 시뮬레이션 매개변수를 정의한 것이며, 150개의 개체를 300세대 반복하여 최적의 해를 찾을 수 있도록 한다. 각 지역의 신뢰도 기준은 해당 부하의 10%이상의 예비력을 보유하고 있는 경우로 설정하였으며, 각 발전기 예방정비 시작주의 변화를 [-3, 3]주로 제한하여 적정해 탐색 시, 급격한 변화가 발생하지 않도록 한다.

표 3 시뮬레이션 매개변수 정의

Table 3 PSO · HPSO Algorithm Parameter Initialization

	PSO	HPSO
세대(Generation)수	300	
해 집단 수	150	
돌연변이 (Mutation) 확률		0.005(기준)~0.001
C ₁ , C ₂	[2.0, 2.0]	
W	0.9~0.4 (식11참고)	
V _{max}	[-5, 5]	
기술자 제약(CR _t)	800[MW]	
신뢰도 기준	지역1, 지역2, 전체예비력 ≥ 해당 부하의 10%이상	
Computer 사양	CPU : Intel Core2 Duo, Conroe E6300, RAM : 1.0 GHz	

5.2 계통적용 1 : IEEE Reliability Test System(1996) - 발전기 32대

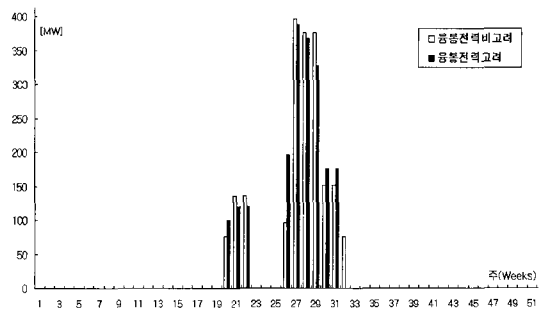
발전기 32대로 구성된 IEEE RTS(1996)를 대상으로 크게 다음 두 가지 기준에서 사례연구를 시행한다. 첫째, PSO알고리즘을 이용하여, 전체 계통을 대상으로 발전기 예방정비 계획을 수립한 경우와 해당 지역의 용통전력을 고려한 지역별 전력수급을 가능하게 하는 발전기 예방정비 계획을 목적함수, 예방정비용량 및 예비력 등의 관점에서 비교 분석한다. 둘째, 지역별 전력수급을 고려한 발전기 예방정비 계획 수립 문제에서 최적해 탐색을 위한 PSO알고리즘 개선 방법에 초점을 맞추어 시뮬레이션을 시행한다. 발전기 용량별, 세대별로 돌연변이 연산자를 차등 적용하여 향상된 해를 찾도록 한다.

5.2.1 지역별 전력수급 고려

최초 시뮬레이션은 용통전력을 감안하여 각 지역의 예비율을 일정 기준이상 확보하도록 하는 지역별 전력수급을 고려하는 경우와 전체 계통을 대상으로 하는 발전기 예방정비 계획의 연간 공급예비율 분산값을 비교하고, 해당 사례연구에서의 계통 전체 및 지역별 예방정비 용량과 예비율을 확인한다. 각각의 시뮬레이션 내용은 다음과 같다.

- Case1 : PSO알고리즘을 이용, 지역별 전력수급을 고려하기 이전의 경우
- Case2 : PSO알고리즘을 이용, 지역별 전력수급을 고려한 경우
- Case3 : 전체세대에 돌연변이를 적용하는 HPSO알고리즘을 이용, 지역별 전력수급을 고려한 경우

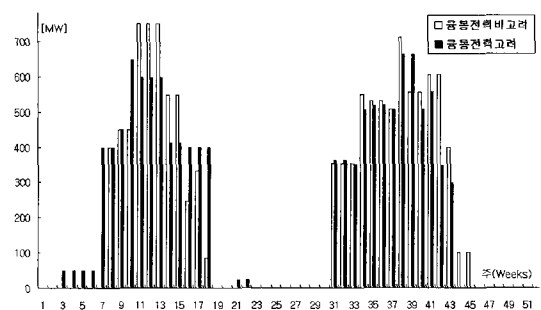
지역별 예비율 제약을 고려한 경우(Case2, 3)의 목적함수 값이 전체 계통을 대상으로 한 경우(Case1)와 비교하여 좋지 못함을 확인할 수 있다(표 4). 즉 Case1의 경우가 연간 공급 예비율을 평활화 정도가 양호함을 알 수 있지만, 지역별 예방정비 용량 및 예비율을 나타내는 그림 5를 살펴보면 기존의 단일 계통을 대상으로 하는 발전기 예방정비 계획의 문제점을 확인할 수 있다. 그림 5-(e),(f)를 통해 계통 전체의 예방정비 용량은 다소 차이가 있고 두 경우 모두 전체 예비율 기준(10%)을 만족한다(연 평균 예비율 : 34.60%). 하지만 용통전력을 고려하지 않은 경우, 지역2는 충분한 예비력을 보유하는 반면(그림 5-(d)), 지역1은 적정 예비력을 확보할 수 없다(그림 5-(b)). 즉, 수립된 발전기 예방정비 계획은 신뢰도 측면에서 위배된다.



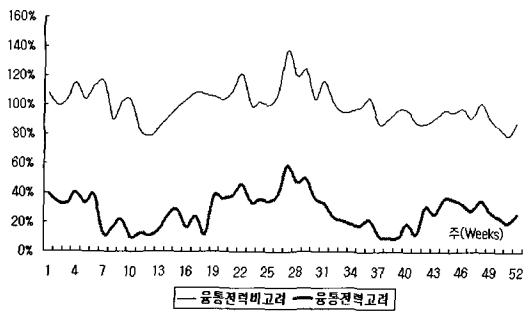
(a) 발전기 예방정비 용량(지역1)



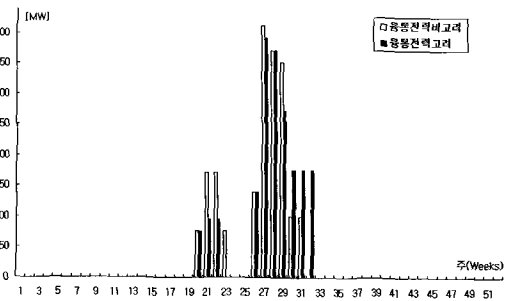
(b) 예비율(지역1)



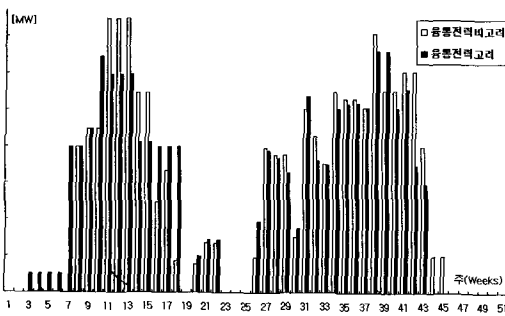
(c) 발전기 예방정비 용량(지역2)



(d) 예비율(지역2)



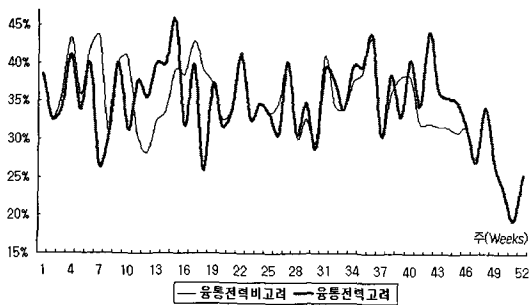
(a) 발전기 예방정비 용량(지역1)



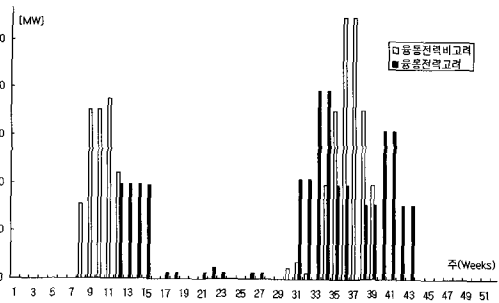
(e) 발전기 예방정비 용량(계통 전체)



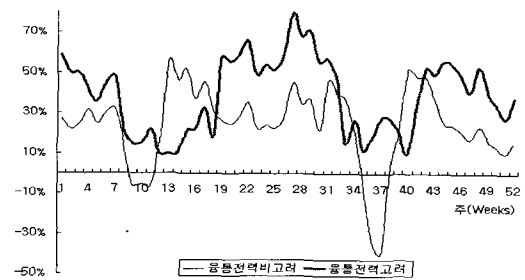
(b) 예비율(지역1)



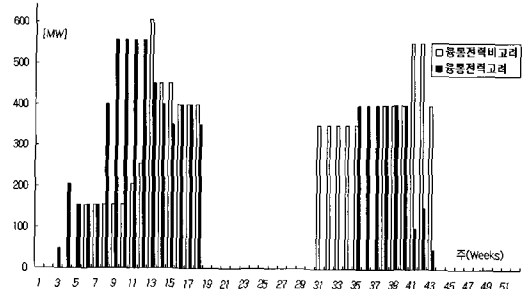
(f) 예비율(계통 전체)



(c) 발전기 예방정비 용량(지역2)



(d) 예비율(지역2)



(e) 발전기 예방정비 용량(지역3)

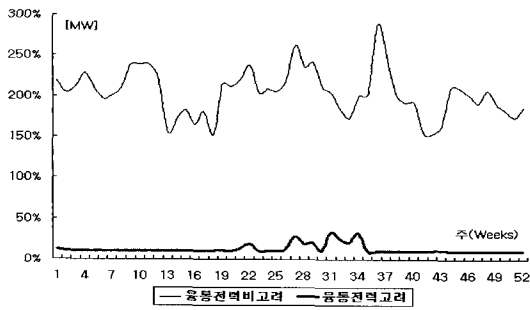
그림 5 용통전력 고려 유무에 따른 발전기 예방정비 용량 및 예비율 (2개 지역 구분)

Fig. 5 Maintenance capacity and reserve margin(2 Areas Section)

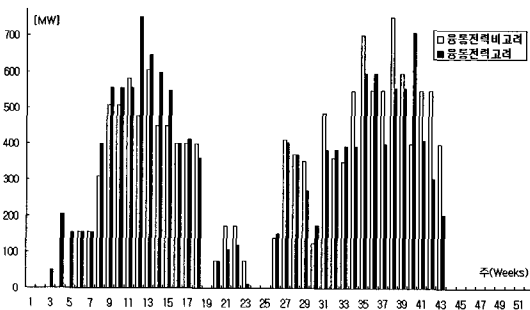
표 4 시뮬레이션(Case1~3) 결과
Table 4 Simulation Result(Case1~3)

시뮬레이션	목적함수 값	비고
Case1	0.14218	10회 평균값
Case2	0.15795	
Case3	0.15226	

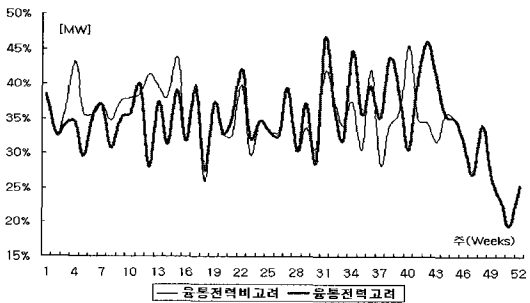
표 4와 같이 기존의 단일 계통을 대상으로 하는 발전기 예방정비 계획 수립은 계통 전체의 목적함수 및 신뢰도는 만족할 수 있지만, 용통전력을 고려해야 하는 실제 계통에서는 지역별 전력수급의 불균형을 초래할 수 있어 예방정비 계획의 해법으로는 적당하지 않다. 동일한 방법으로 (Case 1~Case6) 전체 계통을 3개 지역으로 구분하는 경우에도 동일한 결과를 얻을 수 있다(그림 6).



(f) 예비율(지역3)



(g) 발전기 예방정비 용량(계통 전체)



(h) 예비율(계통 전체)

그림 6 용통전력 고려 유무에 따른 발전기 예방정비 용량 및 예비율 (3개 지역 구분)

Fig. 6 Maintenance capacity and reserve margin(3 Areas Section)

5.2.2 PSO알고리즘 개선 후 결과 비교

이상의 시뮬레이션을 통해 현실적으로 접근 가능한 지역별 전력수급을 고려한 경우에서의 예방정비 계획을 수립할 수 있었다. 이후의 사례연구는 지역별 전력수급을 감안한 계통의 적정해(optimal solution)를 찾는 방법론에 집중한다. Case1, 2의 PSO알고리즘을 개선한 몇 가지 Hybrid PSO(HPSO)알고리즘을 적용한 경우의 결과를 확인한다. HPSO알고리즘의 기본개념은 돌연변이 연산을 수행하는 것이며, 발전기 용량별(연산의 방법), 전체 세대별(연산의 시기) 연산을 수행하면서 목적함수 값의 변화를 확인한다.

- Case4 : 세대별로 돌연변이 확률을 적용하는 경우
- Case5 : 용량별로 돌연변이 확률을 적용하는 경우
- Case6 : 세대별, 용량별 가중치를 각각 50% 부여한 경우

표 5 발전기 용량별 돌연변이 확률

Table 5 Mutation Probability Generators

발전기	돌연변이 확률	발전기	돌연변이 확률	발전기	돌연변이 확률	발전기	돌연변이 확률
U12-1	0.0050	U20-4	0.0045	U76-2	0.0035	U155-3	0.0025
U12-2	0.0050	U50-1	0.0040	U76-3	0.0035	U155-4	0.0025
U12-3	0.0050	U50-2	0.0040	U76-4	0.0035	U197-1	0.0020
U12-4	0.0050	U50-3	0.0040	U100-1	0.0030	U197-2	0.0020
U12-5	0.0050	U50-4	0.0040	U100-2	0.0030	U197-3	0.0020
U20-1	0.0045	U50-5	0.0040	U100-3	0.0030	U350	0.0015
U20-2	0.0045	U50-6	0.0040	U155-1	0.0025	U400-1	0.0010
U20-3	0.0045	U76-1	0.0035	U155-2	0.0025	U400-2	0.0010

개체의 다양한 탐색이 필요한 시뮬레이션 초기와 급격한 변화를 지양하는 후기의 특성을 감안하여 식12와 같이 돌연변이 연산의 수행시기에 초점을 맞춘 경우(Case4), 설비용량이 큰 발전기의 예방정비는 목적함수에 미치는 영향이 크기 때문에 이를 고려하여 표 5와 같이 돌연변이확률이 적게 할당하는 경우(Case5) 그리고 위의 세대별, 용량별 돌연변이 확률을 각각 50% 가중하여 적용한 경우(Case6)의 최종 목적함수 값을 확인할 수 있다(표 6). 세대별(Case4), 발전기 용량별(Case6)로 돌연변이 연산을 적용하여 PSO알고리즘을 개선한 시뮬레이션에서 전체 세대에 돌연변이 연산을 수행한 경우(Case3)에 비해 적정해를 찾을 수 있는 가능성이 높음을 알 수 있다. 이상의 시뮬레이션은 전체계통을 2개의 지역으로 구분하였으며, 계통을 3개 지역(cluster)으로 구분할 경우의 시뮬레이션 결과는 아래 표 7과 같다.

표 6 시뮬레이션 결과(Case4~6)

Table 6 Simulation Result(Case4~6)

시뮬레이션	목적함수 값	비고
Case4	0.14253	10회 평균값
Case5	0.14811	
Case6	0.15029	

3개의 지역으로 구분하여 지역 간의 용통전력을 고려한 경우에도 세대별, 용량별 돌연변이 연산을 추가한 시뮬레이션에서 전체 세대에 동일한 돌연변이 확률을 부여한 경우보다 향상된 성능을 보임을 알 수 있었다.

표 7 지역별 자료 및 시뮬레이션 결과(3개 지역구분)

Table 7 Simulation Result(3-Clusters)

	수요	설비	비고
지역1	46.74%	20.09%	부하중심지역
지역2	30.74%	28.22%	
지역3	22.53%	51.69%	발전중심지역
	100.00%	100.00%	

시뮬레이션	목적함수값	비고
Case1	0.14218	지역비고려+PSO
Case2	0.15869	지역고려+PSO
Case3	0.15420	지역고려+HPSO1
Case4	0.14566	지역고려+세대별HPSO
Case5	0.14463	지역고려+용량별 HPSO
Case6	0.14603	지역고려+60(용량)/40(세대)가중HPSO

5.3 계통적용 2 : 실제 계통 - 전국 송전망(2006년 10월)

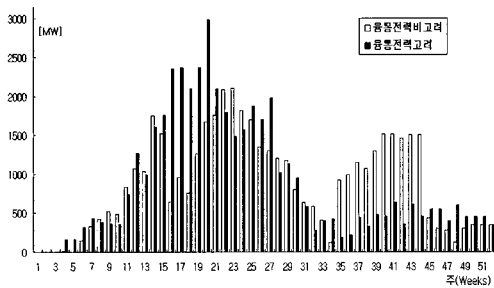
실 계통 사례연구에서는 그림 1의 2006년 10월 전국 수요 및 발전 데이터를 이용하였다. 발전, 수요 데이터, 융통전력에 관한 자료는 표 8과 같다.

표 8 실 계통 자료(2006. 10)

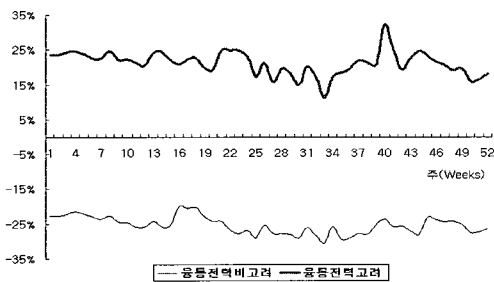
Table 8 Power Systems Data for Maintenance Scheduling

	설비 (MW)	수요 (MW)	예방정비 대상(MW)	연중 운전 (MW)	합 (대)	자체 수급	예비율 기준
수도권	16,253.95 (25.41%)	22,826.83 6(40%)	79대 (10252.95)	43대 (6001.00)	122	불가능	10%
비 수도권	47,717.77 (74.59%)	34,240.25 4(60%)	121대 (34689.48)	48대 (13028.28)	169	가능	
합	63,971.72 (100.0%)	57,067.09 (100%)	200대 (44942.43)	91대 (19029.28)	291		
융통 전력 (9700 MW)	중부권→ 수도권 영동권→ 수도권	아산(244) + 서청(172) + 신용인(65) + 신서산(221) = 702[만kW] 신제천(131) + 울정(137) = 268[만kW]					

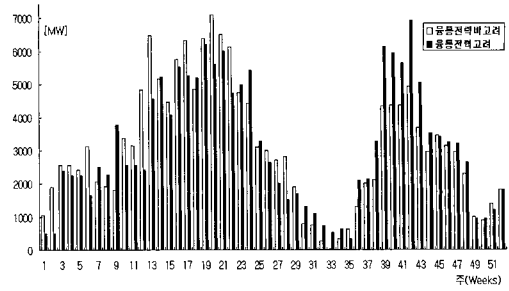
발전기 예방정비 자료는 2006년에 시행된 해당 발전기의 예방정비 · 운전 기간을 고려하였으며, 총 291대 발전기의 예방정비 계획을 수행한다. 총 설비용량은 63,971.72[MW], 최대 부하는 57,067.09[MW]이며 전체 계통의 신뢰도 지수(예비율)는 10% 이상이다. 부하 중심지역인 수도권은 자체 수급이 불가능하며, 자체 수급이 가능한 비수도권 지역으로부터 융통전력(9700[MW])을 감안한 송전이 필요로 한다. 즉, 수도권과 비수도권의 융통전력, 지역별 신뢰도, 발전기 예방정비 제약 등의 조건을 만족할 수 있는 계획이 수립되어야 한다. 이후 사례연구는 5.2절의 IEEE RTS에서의 사례연구 절차와 동일하다(Case1~Case6). 그림 7은 융통전력의 고려 유무에 따른 발전기 예방정비용량 및 예비율을 전체 계통(case1) 및 지역별(case2)로 살펴본 것이며, 표 9(Case1~3)와 표 10(Case4~Case6)은 각 사례연구에 해당하는 최종 목적함수 값이다.



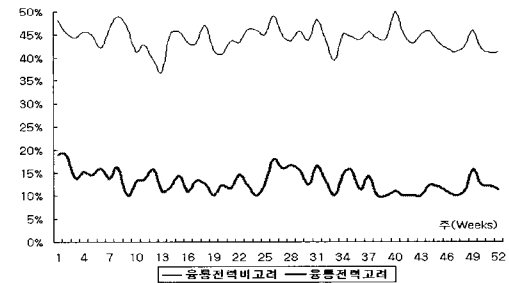
(a) 발전기 예방정비 용량(지역1)



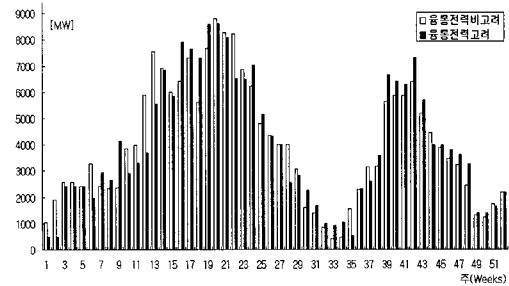
(b) 예비율(수도권)



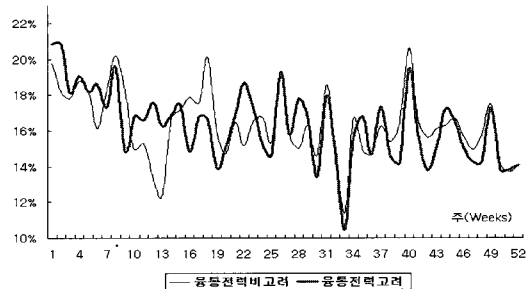
(c) 발전기 예방정비 용량(지역2)



(d) 예비율(비수도권)



(e) 발전기 예방정비 용량(계통 전체)



(f) 예비율(계통 전체)

그림 7 융통전력 고려 유무에 따른 발전기 예방정비 용량 및 예비율 (2개 지역 구분)

Fig. 7 Maintenance capacity and reserve margin

표 9 시뮬레이션 결과(Case1~3)

Table 9 Simulation Result(Case1~3)

시뮬레이션	목적함수 값	비고
Case1	0.01854482	10회 평균값
Case2	0.02002088	
Case3	0.01977484	

용통전력을 고려한 경우(Case2, 3)에서 지역별 예비율 제약이 추가되었으므로, 전체 계통을 대상으로 시뮬레이션 수행한 최종 목적함수 값이 좋지 못하지만 지역별 적정 예비력을 확보하는 현실적인 문제의 접근 방법임을 재차 확인할 수 있었다(그림 7).

표 10 시뮬레이션 결과(Case4~6)
Table 10 Simulation Result(Case4~6)

시뮬레이션	목적함수 값	비고
Case4	0.01879694	10회 평균값
Case5	0.01960512	
Case6	0.0188849	

PSO알고리즘을 향상시킨 개선된 HPSO를 적용하였으며 해당 결과는 표 10과 같다. 5.2절의 IEEE RTS 사례연구 결과와 마찬가지로 시뮬레이션 세대별, 발전기 용량별 돌연변이 확률을 차등 적용한 경우에서 향상된 해를 찾을 수 있었다.

5.4 발전기 예방정비 계획 수립

위의 사례연구 결과, 지역별 예비력 제약을 고려한 경우의 최적 적합도를 가지는 전역해를 가지고 수립된 발전기 예방정비 계획의 해 조합(solution set)을 확인하면서 주별 수요와 총 설비용량에 대한 기대수요 및 예비율의 평활화 정도를 살펴보면 그림 8과 같다. 해의 조합으로 예방정비 시작주를 알 수 있으며, 각 주의 예방정비 물량과 최대 수요의 합성 용량인 기대수요와 총 설비용량과의 차이, 즉 예비력이 평활화 되었음을 알 수 있다. 이는 전체계통 및 지역별 최대수요를 감안하는 본 논문의 결정론적 신뢰도 목적함수인 예비율 측면에서 안정된 예방정비 계획의 수립이 가능함을 의미한다. 결론적으로 지역별 전력수급을 고려한 발전기 예방정비 계획 문제를 해석하는데 개선된 HPSO를 이용하여 적정해를 탐색할 수 있다.

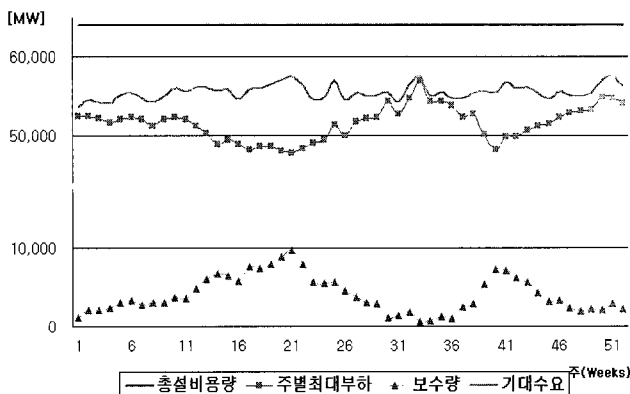


그림 8 공급예비율 평활화 곡선(실계통_Case4)
Fig. 8 Reserve Leveling Curve

6. 결 론

공급자 중심에서 소비자 중심으로, 전국단위에서 지역단위로 전력 수급 계획의 개념이 변경되고, 지역별 전력수급이 안정적으로 수행될 수 있도록 하는 에너지 수급 계획은 차후 전력시장에서의 지역적 가격 신호를 제공하는 역할을 할 것임이 분명하다. 같은 맥락에서 지역별 예비력 제약 및 용통전력을 고려한 발전기 예방정비 계획 수립은 경제적 비용을 우선시하는 발전회사 및 계통의 적정 신뢰도 유지를 목적으로 하는 계통 운영자에게 중요한 문제이다. 본 연구에서는 지역별 예비력 제약과 용통전력을 고려한 발전기 예방정비 계획 문제를 해결하기 위하여 새로운 방법의 예방정비 계획 정식화 및 해법을 제안하였으며, 이의 해법으로 개선된 Hybrid PSO 알고리즘을 제안하였다. 연간 공급예비율 분산값을 목적함수로 용통전력을 고려한 지역별 예비력 제약을 추가하여 예방정비 계획 문제를 형식화 하였으며, 발전기 32대로 구성된 사례계통(IEEE RTS)과 우리나라 실제 계통에 대하여 용통전력을 감안한 지역별 전력수급이 가지는 의미와 기존의 PSO알고리즘을 발전기 예방정비 계획 문제의 특성에 맞추어 개선하는 방법론에 집중하여 사례연구를 수행하였다. 지역별 전력수급 개념이 추가되어 단일 전력계통을 대상으로 했던 기존의 연구에서 간과할 수 있는 송전선로의 용통전력을 고려하고 지역별 신뢰도를 적정 수준으로 유지할 수 있는 보다 현실적인 접근의 의미를 가진다. 모의계통 및 실 계통의 사례연구에서도 HPSO알고리즘의 효용성을 확인하였으며, 대규모 시스템의 발전기 예방정비 계획에 충분히 적용 가능할 것이라 판단된다.

본 논문은 개선된 HPSO알고리즘을 제안하고 용통전력을 고려한 발전기 예방정비 계획을 수립하는데 의미를 두었으며, 차후 전력계통을 세분화하는데 있어 특정한 기준에 의해 3개 이상의 지역으로 클러스터링(clustering)하는 방법론과 뉴럴 네트워크(Neural Network)를 이용한 학습을 통하여 돌연변이 확률을 선정하는 연구의 중요한 밑바탕이 되었다.

감사의 글

본 연구는 2005년도 산업자원부 전력IT 국가전략과제 (과제번호: R-2005-1-396) 지원에 의해 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 한국전력거래소 전력계획처, “지역별 전력수급계획 수립기준 정립에 관한 연구”, 2006. 10
- [2] M. Shahidepour, “Maintenance Scheduling in Restructured Power System”, Kluwer Academic Publishers, 2000
- [3] 전력연구원, “전력수급계획 및 운용해석 종합시스템 개발에 관한 연구”, 1995. 12
- [4] 한국전력공사 기술연구원, “발전계통의 연차 보수 계획 수립에 관한 연구”, 1990. 6
- [5] Allen J. Wood, and B.F. Wollenberg, “Power

Generation, Operation, and Control", New York Wiley, 1994

[6] E. L. da Silva, M. Th. Schilling, M. C. Rafael, "Generation Maintenance Scheduling Considering Transmission Constraints", IEEE Transactions On Power Systems, Vol. 15, No. 2, MAY 2000

[7] 정정원, 김정익, "유전알고리즘을 이용한 발전계통의 보수 계획 수립", 대한전기학회논문지, 48A권 5호 1999년 5월

[8] 한석만, 신영균, 정구형, 김강원, 김발호, "경쟁적 전력 시장에서 계통운영자의 발전기 예방정비계획에 관한 연구", Trans. KIEE. Vol 53A. No. 8, AUG 2004

[9] 박병주, 오성권, 김용수, 안태천, "PSO의 특징과 차원성에 관한 비교연구", 제어·자동화·시스템공학 논문지 제12권 제4호, 2006. 4

[10] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle Swarm Optimization", Proceedings. IEEE International Conference on Neural Networks, VOL. 4, pp.1942~1948 1995.

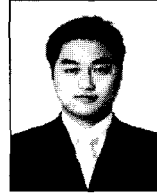
[11] Andries P. Engelbrecht, "Computational Intelligence", John Wiley & Sons. Ltd, 2002

[12] Ahmed A.A.Esmin, Germano Lambert-Torres, Antonio C, Zambroni de Souza, "A Hybrid Particle Swarm Optimization Applied to Loss Power Minimization", IEEE Transactions on Power Systems, Vol.20, No.2, May 2005

[13] 박종배, 정만호, "발전기 이산 민감도를 이용한 효율적인 우선순위법의 대규모 예방정비계획 문제에의 적용 연구", Trans. KIEE. Vol. 48A, No.3, MAR, 1999

[14] Reliability Test System Task Force, "IEEE reliability test system", IEEE Trans. Power App. Syst, vol. Pas-98, no. 6, pp.2047-2054, Dec. 1979

저 자 소 개



박 영 수 (朴 永 秀)

1980년 10월 29일생. 2006년 부산대 전자 전기통신공학부 졸업. 2006년~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정

Tel : 051-510-3188

Fax : 051-513-0212

E-mail : reno@pusan.ac.kr



김 진 호 (金 眞 鎬)

1971년 11월 27일생. 1995년 서울대 전기 공학과 졸업(공학사). 2001년 동대학원 전기공학부 졸업(공학박). 2004년~2006년 부산대 전기공학과 조교수. 2007년~현재 경원대 전기공학과 조교수.

Tel : 031-750-8825

Fax : 031-750-8571

E-mail : kimjh@kyungwon.ac.kr



박 준 호 (朴 俊 灝)

1955년 9월 17일생. 1978년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1980년 동 대학원 전기 공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기 공학과 졸업(박사). 1984년~현재 부산대 공대 전자전기통신공학부 교수

Tel : 051-510-2370,

Fax : 051-513-0212

E-mail : parkjh@pusan.ac.kr