

경쟁적 전력시장에서 계통운영자의 발전기 예방정비계획에 관한 연구

論 文
53A-8-9

Generator Maintenance Scheduling of System Operator in Competitive Electricity Markets

韓錫萬* · 申英均** · 鄭求亨*** · 金康元[§] · 金發鎬^{§§}

(Seok-Man Han · Young-Gyun Shin · Koo-Hyung Chung · Kang-Won Kim · Balho H. Kim)

Abstract - In competitive electricity markets, maintenance schedule is submitted by generation companies (GENCOs) and transmission companies (TRANSCOs), and coordinated by Independent System Operator (ISO) with the adequacy criterion. This paper presents an alternative coordination procedure by ISO on the maintenance schedule. In this paper, it is focused on modeling a coordination algorithm by ISO for the maintenance schedule based on the Simulated Annealing algorithm. The proposed model employs the minimum information such as generator capacity, forced outage rate and generator maintenance schedules. The objective function of this model represents minimization of adjustment on schedules submitted by GENCOs.

Key Words : Generator Maintenance Scheduling, Simulated Annealing, Optimization Model, System Operator

1. 서 론

전력산업 구조개편으로 인하여 전력계통을 구성하고 있는 물리적 설비들은 과거의 수직통합체제 때와 동일하지만 그 운용과 소유 부분에 있어서는 많은 변화를 거치고 있다. 우선 전력이라는 상품을 사고파는 거래소가 생겼으며, 소유한 설비의 기능에 따라 발전사업자, 송전망사업자, 배전사업자가 나타나게 되었다. 또한 일반 상품과는 다른 전력 상품의 기본적인 특징들로 인하여 계통(시장)을 운영하는 계통운영자가 등장하게 되었다[1].

과거 수직통합체제에서의 단일전력회사는 모든 설비를 소유하고 운영하였기 때문에 계통의 모든 정보(발전기 비용함수, 계통운영상황 등)를 이용할 수 있었다. 단일전력회사는 안정적인 전력수급의 책임을 가지고 있었고 공기업 형태로 운영되었기 때문에 계통 정보를 바탕으로 비용최소화, 신뢰도 최대화, 신뢰도 평활화 등의 목적함수를 사용할 수 있었다[1-4].

경쟁적 전력시장에서 시장참여자는 수직통합체제의 단일 전력회사와는 달리 안정적인 전력수급의 책임을 더 이상 갖지 않는다. 다만 시장참여자는 자신들의 이익극대화에 관심이 있으며 그에 따라 입찰전략, 예방정비계획, 전원개발계획 등을 수립한다[5,6]. 전력계통의 신뢰도에 관한 책임은 계통

을 운영하는 계통운영자의 몫이다. 하지만 계통운영자는 계통신뢰도를 유지하기 위해 시장원리를 저해하지 않는 범위 내에서 어느 정도의 강제력을 가져야 할 것으로 판단된다.

본 논문에서는 경쟁적 전력시장에 부합하는 계통운영자의 예방정비계획 수립 절차를 제시하고, 제한한 절차 중 발전사업자의 계획을 최대한 반영하면서 신뢰도를 만족시키는 계통운영자의 계획안 조정 알고리즘에 대해 논하고자 한다. 입찰정보를 포함한 경제적인 요소는 발전사업자가 입찰전략 등을 수립하는데 중요한 정보이기 때문에 이를 공개하지 않거나 진정한 정보를 고의적으로 틀리게 제공할 가능성도 있다. 따라서 계통운영자는 경제적인 요소를 배제하고 물리적인 요소만을 사용한다. 본 논문에서는 계획안 조정을 위해 필요한 최소한의 물리적인 정보인 발전기의 용량, 사고정지 확률, 제출된 계획안만을 이용하였다.

2. 발전기 예방정비계획 매커니즘

경쟁시장에서 발전기 예방정비를 실질적으로 계획하고 실행하는 주체는 발전사업자들이다. 각 발전사업자들은 자신들의 이익극대화를 목표로 예방정비계획을 수립한다. 예를 들면, 전력가격이 비싼 시간대보다는 저렴한 시간대에 예방정비를 시행하려 할 것이다. 이렇게 수립된 개별 예방정비 계획안들은 공급신뢰도를 만족하는지 여부를 승인 받기 위해 계통운영자에게 제출된다.

계획안을 제출 받은 계통운영자는 개별 계획안들이 계통 신뢰도를 만족하는지 여부를 판단하고 만약 신뢰도를 만족시키지 못하는 계획안들이 있다면 이를 수정할 수 있도록 발전사업자들에게 반려했다. 발전사업자는 반려했던 계획안을 수정하여 계통운영자에게 제출한다.

하지만, 예방정비계획을 수립하는 것 자체가 발전사업자

* 正會員 : 弘益大學 電氣情報制御工學科 博士課程

** 正會員 : 韓國電力公社 新南原電力所

*** 正會員 : 弘益大學 電氣情報制御工學科 博士課程

§ 學生會員 : 弘益大學 電氣情報制御工學科 碩士課程

§§ 正會員 : 弘益大學 電氣情報制御工學科 副教授 · 工博

接受日字 : 2004年 4月 20日

最終完了 : 2004年 6月 11日

들의 전략이므로 기존의 계획안을 그대로 고수하려는 발전사업자들이 있을 수 있다. 이 때, 계통운영자는 전략을 안정적으로 공급할 책임이 있으므로, 이러한 발전사업자들에 대해서는 강제력을 행사하지 않을 수 없다. 따라서, 본 논문에서는 계통운영자가 강제력을 행사하기 위한 조건으로 제출횟수의 제한을 제안한다.

이와 같은 발전기 예방정비계획 메커니즘을 그림 1에 나타내었다. 본 논문에서는 제안한 메커니즘 중에서 계통운영자가 신뢰도를 유지시키기 위해 실시하는 계획안 조정 알고리즘에 대해서만 다루기로 한다.

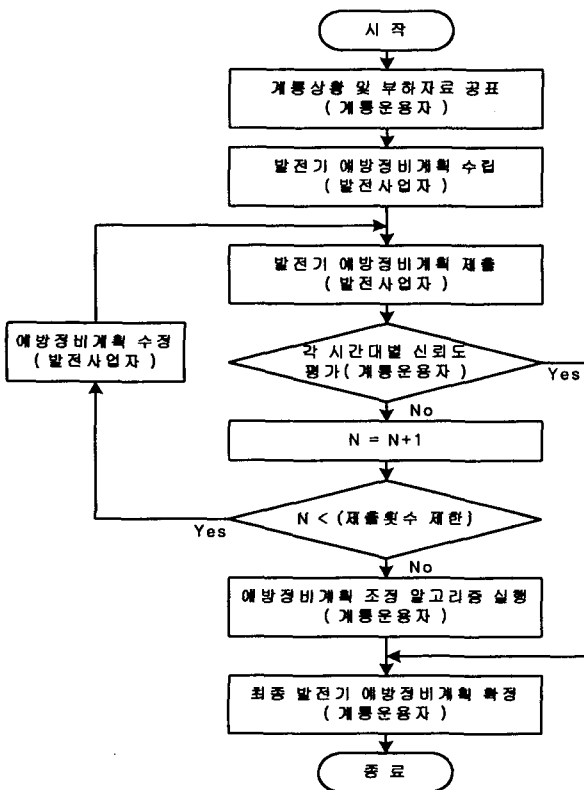


그림 1 발전기 예방정비계획 메커니즘
Fig. 1 Mechanism of generator maintenance scheduling

3. 계획안 조정 최소화 알고리즘

3.1 알고리즘의 목적 및 특징

발전사업자의 계획안을 최대한 반영하기 위해 제출된 계획안의 최소조정을 목적함수로 하였다. 신뢰도 확보는 공급신뢰도 지수 중 하나인 공급지장확률(Loss of Load Probability, LOLP)을 이용하였다[7]. 또한, 계통운영자는 오직 물리적인 정보인 발전기 용량, 발전기 사고정지확률, 사업자가 제출한 계획안만을 이용한다. 이는 계획 조정에 있어서의 투명성을 확보하기 위함이다. 또한 사업자별 가중치를 두어 대규모 발전설비의 예방정비계획 조정을 최소화하였다.

3.2 조정도의 정의

본 논문에서는 발전사업자들이 제출한 예방정비계획안과 계통운영자가 계통신뢰도를 고려하여 수립한 예방정비계획과의 차이를 조정도($Adj_{i,j}$)라고 정의하고, 다음과 같이 표현한다.

$$Adj_{i,j} = |P_{i,j}^{SO} - P_{i,j}^{GENCO}| \quad (1)$$

여기서,

$P_{i,j}^{SO}$: 계통운영자가 수립한 발전사업자-j의 i번째 발전기 예방정비 시작 주

$$\left(P_{i,j}^{SO} = \frac{\sum_{t=1}^{N_p} t \cdot x_{i,j,t}}{M_{i,j}} - \frac{1}{2}(M_{i,j}-1) \right)$$

$P_{i,j}^{GENCO}$: 발전사업자-j가 제출한 i번째 발전기 예방정비 시작 주

$$\left(P_{i,j}^{GENCO} = \frac{\sum_{t=1}^{N_p} t \cdot Sch_{i,j,t}}{M_{i,j}} - \frac{1}{2}(M_{i,j}-1) \right)$$

$M_{i,j}$: 발전사업자-j의 i번째 발전기 보수 기간

$$\left(M_{i,j} = \sum_{t=1}^{N_p} Sch_{i,j,t} \right)$$

를 나타낸다. 즉, 계획안의 변동을 정량화하기 위함이며 이는 사업자별로 계산된다.

3.3 수학적 정식화

$$MINIMIZE \sum_{j=1}^{N_C} W_j \cdot \left(\sum_{i=1}^{N_j} Cap_{i,j} \cdot Adj_{i,j} \right) \quad (2)$$

subject to

$$LOLP_t \leq LOLP_{ref} \quad , \quad \forall t \quad (3)$$

$$\sum_{t=1}^{N_p} x_{i,j,t} = M_{i,j} \quad , \quad \forall i, j \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^{M_{i,j}+1} (\prod_{t=k}^{M_{i,j}+k-1} x_{i,j,t}) = 1 \quad , \quad \forall i, k \text{는 정수} \quad (5)$$

$$x_{i,j,t} = \text{binary variable (0 or 1)} \quad (6)$$

여기서,

i : 발전기 index ($i=1, 2, \dots, N_j$)

j : 발전사업자 index ($j=1, \dots, N_C$)

t : 보수 시기(주) index ($t=1, 2, \dots, N_p$)

N_j : 발전사업자-j의 발전기 대수

N_p : 총 보수 주(1년=52주)

N_C : 총 발전사업자 수

W_j : 발전사업자-j의 가중치

$x_{i,j,t}$: 계통운영자가 수립한 예방정비계획. t번째 보수 주에 발전사업자-j의 i번째 발전기 운전상태

$$\begin{cases} x_{i,j,t} = 1 : \text{예방정비 실시} \\ x_{i,j,t} = 0 : \text{운전} \end{cases}$$

$Adj_{i,j}$: 발전사업자 - j의 i번째 발전기 예방정비계획 조
정도

$Cap_{i,j}$: 발전사업자 - j의 i번째 발전기 용량

$Sch_{i,j,t}$: 발전사업자가 제출한 예방정비계획. t번째 보수
주에 발전사업자 - j의 i번째 발전기 운전상태

$$\begin{cases} Sch_{i,j,t} = 1 : \text{예방정비 실시} \\ Sch_{i,j,t} = 0 : \text{운전} \end{cases}$$

$LOLP_{ref}$: 신뢰도 기준

$LOLP_t$: t번째 보수 주의 공급지장확률

$M_{i,j}$: 발전사업자 - j의 i번째 발전기 보수 기간

$$\left(M_{i,j} = \sum_{t=1}^{N_c} Sch_{i,j,t} \right)$$

$$\Pi_{k=a}^b x_k = x_a \cdot x_{a+1} \cdot x_{a+2} \cdots x_{b-1} \cdot x_b$$

식 2의 목적함수는 발전사업자들이 제출한 예방정비계획
안과 계통운영자가 계통신뢰도를 고려하여 수립한 예방정비
계획과의 차이를 최소화시키는 부분이다. 목적함수에는 조
정도 뿐만 아니라 발전기의 용량과 사업자별 가중치도 고려
하였다. 발전기의 용량 가중치는 원자력과 같은 대용량 발
전기의 예방정비 시기를 가능한 유지시키는 역할을 한다.
그리고 사업자별 가중치는 신뢰도에 위배되는 계획을 제출
한 사업자에게 가중치를 두어 계획 수정의 유인을 제공하는
역할을 한다.

식 3의 제약조건은 공급신뢰도를 나타낸다. 본 논문에서
는 여러 가지 신뢰도 지수 중 공급지장확률 만을 고려하였
다. 공급지장확률은 발전기의 설비용량, 사고정지확률, 부하
에 대한 함수이다. 공급지장확률은 매 시간 주기마다 계산
하며 모든 주기에 대해 신뢰도 기준보다 작아야 한다.

식 4는 발전기들의 보수 기간을 나타내는 제약조건이다.
 $M_{i,j}$ 는 $Sch_{i,j,t}$ 에서 해당 발전기의 예방정비를 나타내는 1
의 개수이다.

식 5는 발전기들의 보수는 연속적으로 실시한다는 제약조
건이다. 식 4만으로는 예방정비가 두 주기 이상 실시될 경
우 연속이 아닌 해도 발생할 수 있다. 따라서, 보수 연속 기
간을 고려하기 위해서는 식 5가 필요하다.

4. 시뮬레이드 어닐링 알고리즘에의 적용

본 논문에서 제안한 계통운영자의 계획 조정 최소화 문제
를 시뮬레이드 어닐링 알고리즘에 적용하였다[8,9]. 입력부
분에서는 발전기의 용량, 고장정지확률, 예방정비 시작 주,
예방정비 기간 등의 발전기 입력자료와 부하 입력자료를 데
이터 베이스로 구축하여 필요에 따라 쉽게 접근할 수 있도
록 하였다. 본 알고리즘의 순서도에 따라 적용 방법을 살펴
보도록 한다.

4.1 해의 표현

본 논문에서는 발전기 예방정비 시작 시기를 해로 표현하
였다. 따라서, 해의 길이는 발전기의 수와 일치한다. 가령 3
대의 발전기 예방정비계획이 표 1과 같다면 그 해의 길이는

3이며 표 2와 같다. 표 1에서 "1"은 발전기 예방정비 실시,
"0"은 발전기 가동(운전)을 의미한다.

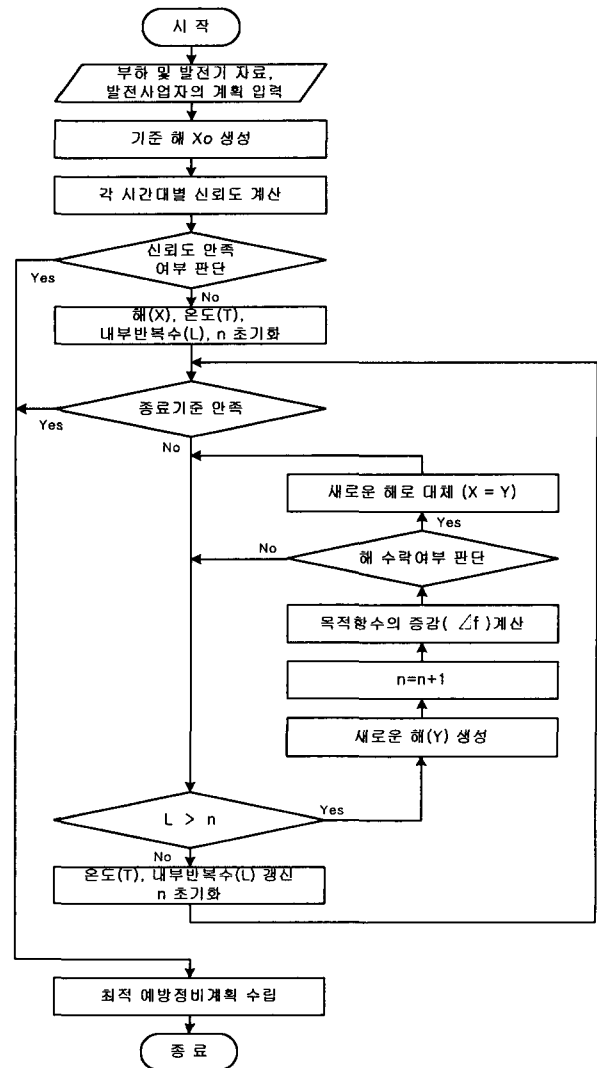


그림 2 계통운영자의 계획안 조정 알고리즘
Fig. 2 Algorithm of scheduling-adjustment by ISO

표 1 3대의 발전기 예방정비계획

Table 1 Generator maintenance scheduling of 3 generators

발전기명	예방정비계획(1~10주)
Unit#1	0 0 0 1 1 1 0 0 0 0
Unit#2	0 0 0 0 0 1 1 1 1 0
Unit#3	0 0 1 1 1 1 1 0 0 0

표 2 발전기 3대의 해

Table 2 Solution of 3 generators

발전기명	Unit#1	Unit#2	Unit#3
해	4	6	3

해를 표 2와 같이 표현함으로써 발전사업자의 예방정비계획과 계통운용자의 예방정비계획과의 차이인 조정도를 쉽게 계산할 수 있다. 발전사업자가 제출한 계획안으로 기준 해 X_0 를 위와 같은 방법으로 생성한다.

4.2 신뢰도(LOLP) 계산

마지막으로 수정된 발전사업자의 예방정비계획으로 신뢰도를 계산한다. 본 논문에서는 LOLP의 계산을 위해서 다음과 같이 가정하였다[3].

- 각 발전기는 고장 및 운전의 두 가지 상태만 존재한다.
- 각 발전기의 고장정지는 서로 독립적이다.

i번째 발전기까지의 고장정지를 고려한 등가부하지속곡선은 i-1번째 발전기까지의 고장정지 영향을 고려한 등가부하지속곡선에 i번째 발전기의 운전상태를 상승적분하면 구해진다.

$$F_i(x) = p_i \cdot F_{i-1}(x) + q_i \cdot F_{i-1}(x - Cap_i) \quad (7)$$

여기서,

- p_i : i번째 발전기의 가동확률 ($1 - q_i$)
- q_i : i번째 발전기의 고장정지확률
- Cap_i : i번째 발전기의 용량
- F_i : i번째 발전기까지의 고장정지를 고려한 등가부하지속곡선

모든 발전기의 고장정지를 고려한 등가부하지속곡선의 시설 용량점에 대응하는 값은 등가부하가 시설용량을 초과할 확률, LOLP를 나타낸다.

$$LOLP = F_n \left(\sum_i^n Cap_i \right) \quad (8)$$

여기서, n 은 발전기의 수를 나타낸다. 따라서, 발전기의 고장정지를 고려한 t 주의 LOLP는 다음과 같이 표현된다.

$$LOLP_t = F^t \left(\sum_{i \in I(t)} Cap_i \right) \quad (9)$$

여기서,

- $I(t)$: t 주에 가동되는 발전기의 집합
- $LOLP_t$: t 주의 공급지장확률
- F^t : t 주에 예방정비 계획된 발전기를 제외한 모든 발전기의 고장정지를 고려한 등가부하지속곡선

모든 주기에서 신뢰도 기준을 만족시킨다면 예방정비계획을 확정하고, 만족시키지 못한다면 계획 조정 알고리즘을 수행한다.

4.3 새로운 해의 생성

새로운 해는 기존 해를 바탕으로 생성되며, 해의 이동 범위는 예방정비 시작 가능 주로 제한하였다. 또한 최적해에

수렴하는 동안 수많은 해의 이동이 수행되므로 신속한 목적 함수 값을 계산하기 위해 한 발전기의 예방정비 시작 주만을 변동시켰다. 따라서, 목적함수의 변화는

$$\Delta f = W_j \cdot Cap_{i,j} \cdot \Delta Adj_{i,j} \quad (10)$$

와 같이 선정된 발전기의 조정도 차이로 쉽게 계산할 수 있다. 여기서, $\Delta Adj_{i,j}$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$\Delta Adj_{i,j} = |P_{i,j}^{SO,n} - P_{i,j}^{GENCO}| - |P_{i,j}^{SO,n-1} - P_{i,j}^{GENCO}| \quad (11)$$

여기서,

$P_{i,j}^{SO,n}$: n번째 내부 반복 수에서 선정된 발전사업자-j의 i번째 발전기 예방정비 시작 주

어떤 발전기를 선택할 것인지는 룰렛 휠(roulette wheel)을 사용하였다. 특정 발전기를 선택하기 위해 신뢰도를 가장 많이 위배하는 주에 예방정비를 계획한 발전기들을 분류하고, 분류한 발전기들의 용량과 사업자별 가중치의 곱을 구한다. 이렇게 구한 값에 역수를 취하여 차등적으로 선택될 확률을 결정하였다. 가령 표 3과 같은 예방정비계획의 일부가 있으며 6번째 주에서 신뢰도를 가장 많이 위배한다고 가정하면,

표 3 발전기 선별 예제
Table 3 Example of selecting generators

발전사업자	사업자별 가중치	발전기명	발전기 용량 (MW)	예방정비계획(1~10주)
GenCo#1	0.6	Unit#1	100	0 0 1 1 1 1 1 1 0 0 0
		Unit#2	50	0 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0
GenCo#2	0.8	Unit#3	70	0 0 1 1 1 1 1 0 0 0 0

6번째 주에서는 모든 발전기가 예방정비를 계획하고 있으므로 모든 발전기가 선택 대상 발전기가 된다. 따라서, 각 발전기의 선택 확률은 다음과 같이 계산된다.

표 4 각 발전기의 선택 확률
Table 4 Selecting probability of each generator

발전기명	용량과 가중치의 곱	곱의 역수	선택 확률
Unit#1	60	0.016	0.24 (=0.016/0.066)
Unit#2	30	0.033	0.50 (=0.033/0.066)
Unit#3	56	0.017	0.26 (=0.017/0.066)
합계		0.066	

즉, 발전기의 용량과 사업자별 가중치가 작은 발전기는 계획 조정될 확률이 커지게 된다. 조정될 발전기가 확률적으로 선택되었다면 어느 시기에 예방정비를 실시할 것인지를 결정해야 하는데 이는 예방정비 시작 가능 주에서 임의

로 선택하도록 하였다. 가령 표 4의 Unit#2 발전기가 선택되었다면, Unit#2 발전기의 예방정비 시작 가능 주는 1~8주 사이가 될 것이다. 이를 일반화하면 다음과 같다.

$$P_{i,j}^S \in \{1, \dots, N_P - M_{i,j} + 1\} \quad (12)$$

여기서,

N_P : 총 보수 주

$M_{i,j}$: 발전사업자 - j의 i번째 발전기 보수기간

4.4 해의 수락 여부

해의 수락여부는 우선 신뢰도 제약조건을 만족시켜야 하며, 그 다음으로 어닐링 알고리즘의 Metropolis 기준을 사용하여 목적함수가 증가하더라도 확률적으로 해를 수락하여 국부 최소점에 빠지는 것을 방지하였다. 즉, 목적함수의 변화인 Δf 가 0보다 작으면 무조건 수락하고, 목적함수가 증가하더라도 다음의 조건을 만족하면 수락하도록 하였다.

$$\exp\left(-\frac{\Delta f}{T}\right) > \text{random}(0,1) \quad (13)$$

여기서, T 는 시뮬레이티드 어닐링의 제어 파라미터인 온도 변수이다. 목적함수의 증가가 동일하더라도 온도변수가 작아진다면 $\exp(\cdot)$ 값이 커져 수락확률은 낮아지게 된다.

4.5 온도변수와 내부반복수의 갱신

시뮬레이티드 어닐링은 크게 두 개의 루프로 이루어져 있다. 하나는 여러 개의 근방 해를 만들어내는 내부 반복 루프이고, 다른 하나는 온도를 낮추는 외부 루프이다. 온도변수와 내부반복수는 알고리즘을 수행할수록 작아지도록 다음과 같이 적용하였다.

$$T^m = 0.9 \times T^{m-1} \quad (14)$$

$$L^m = 0.9 \times L^{m-1} \quad (15)$$

여기서,

T^m : m번째 외부 반복에서의 냉각온도

L^m : m번째 외부 반복에서의 내부 반복 수

4.6 종료 기준

종료기준은 마지막 온도가 설정 온도보다 작으면 종료하도록 하여 설정 온도까지 냉각되었는지를 판단하도록 하였다.

$$T^m < T^{final} \quad (16)$$

여기서, T^{final} 은 0.01로 설정하였다.

5. 사례 연구

본 연구에서는 문제의 간략화를 위해 다음과 같이 가정하

였다.

- (i) 발전사업자가 제출한 예방정비계획은 신뢰도를 만족시키지 못하여 제한된 제출횟수 만큼 계통운영자가 반려시켰으나 여전히 자신들의 계획안을 고수한다.
- (ii) 예측된 부하자료, 발전기 용량, 발전기 사고정지확률은 발전사업자, 계통운영자 모두 알고 있는 자료이다.
- (iii) 발전사업자별 총 설비용량은 동일하다.
- (iv) 신뢰도 기준은 모든 주기에서 0.1000을 적용한다.
- (v) 총 보수 주기는 20주이며, 예방정비는 주단위로 실시한다.
- (vi) 송전설비에 의한 영향은 무시한다.
- (vii) 사업자별 가중치는 신뢰도를 만족시키지 못하는 계획을 수립한 사업자에 따라 0.7, 0.8, 0.9, 1.0을 적용한다.
- (viii) 각 발전기는 고장 및 운전의 두 가지 상태만 존재한다.
- (ix) 각 발전기의 고장정지는 서로 독립적이다.

다음의 표는 사례연구에서 사용한 시간대별 부하자료, 발전사업자가 제출한 발전기 예방정비계획과 발전기 자료이다.

표 5 각 주기별 부하자료

Table 5 Loads data of each period

주기	부하(MW)	주기	부하(MW)
1	1340	11	1950
2	1420	12	1910
3	1400	13	1840
4	1440	14	1850
5	1660	15	1600
6	1540	16	1730
7	1630	17	1730
8	1620	18	1500
9	1620	19	1440
10	1830	20	1320

표 5는 각 주기별 부하자료이며, 표 6은 발전사업자들이 제출한 예방정비계획이다. 표 7은 발전사업자들이 제출한 예방정비계획 만으로 신뢰도(공급지장확률)를 계산한 값이다. 5, 11, 12, 13, 14주기에서 신뢰도를 만족시키지 못하여 계획 조정이 필요하다.

발전사업자의 예방정비계획 중 5, 11, 12, 13, 14주기에 예방정비를 계획한 횟수(표 6에서 해당 주기의 1의 개수)를 살펴보면 GenCo#1은 2, GenCo#2는 5, GenCo#3는 3, GenCo#4는 2이다. 따라서 발전사업자별 가중치는 GenCo#1은 0.9, GenCo#2는 0.7, GenCo#3는 0.8, GenCo#4는 0.9를 적용하였다.

표 8의 결과는 10번의 실행결과 중 가장 작은 목적함수를 가지는 결과이다. 개별 사업자들의 계획이 조정되어 모든 주기에서 신뢰도 기준을 만족시킴을 알 수 있다.

표 6 발전사업자가 제출한 정비계획과 발전기 자료
Table 6 Generators data submitted by each GenCo

발전사업자	발전기명	용량 (MW)	고장정지 확률	1~10주	11~20주
GenCo #1	Unit#1	300	0.045	0001110000	0000000000
	Unit#2	250	0.072	0000011110	0000000000
	Unit#3	150	0.072	0000000011	1000000000
GenCo #2	Unit#4	400	0.069	0011100000	0000000000
	Unit#5	300	0.045	0000000000	1111000000
GenCo #3	Unit#6	250	0.030	0111000000	0000000000
	Unit#7	200	0.075	0000000001	1100000000
	Unit#8	150	0.062	0000000000	0000001111
	Unit#9	100	0.062	0001110000	0000000000
GenCo #4	Unit#10	350	0.040	0000000000	0011110000
	Unit#11	250	0.072	0000001110	0000000000
	Unit#12	100	0.054	0000011100	0000000000

표 7 초기 계획안으로 계산한 신뢰도
Table 7 Reliability of calculated initial scheduling

주기	신뢰도	주기	신뢰도
1	0.000013	11	0.291975
2	0.004103	12	0.123341
3	0.003205	13	0.141540
4	0.096656	14	0.141540
5	0.105715	15	0.003052
6	0.036940	16	0.009545
7	0.024545	17	0.000795
8	0.024545	18	0.000282
9	0.031257	19	0.000167
10	0.027246	20	0.000051

6. 결 론

경쟁적 전력시장에서 시장참여자는 이익극대화를 목표로 입찰 전략을 수립한다. 예방정비계획 또한 입찰 전략과 마찬가지로 이익극대화의 주요 전략으로 사용할 것이다. 과거와 같은 안정적 전력 공급의 의무를 가지고 있지 않은 시장참여자들의 예방정비계획은 계통의 신뢰도를 위배할 가능성이 매우 크다. 이러한 상황에서 계통의 안정적 운영과 수급의 책임을 가지고 있는 계통운영자의 역할에 관한 기준과 합리적인 조정 알고리즘에 관한 연구는 매우 중요하리라고 생각된다.

본 논문에서는 경쟁적 전력시장에서 발전사업자와 계통운영자 사이의 협조 메커니즘을 제안하였으며, 신뢰도를 만족시키지 못하는 계획안을 고수하는 발전사업자들이 있을 경우, 이를 조정하는 알고리즘에 초점을 두어 설명하였다. 본 알고리즘은 발전사업자의 계획안을 최대한 반영하며, 발전기의 용량에 따라 다른 가중치를 적용한다. 또한 발전사업자의 예방정비계획 수립 및 수정 시에 신뢰도를 만족시키도록

표 8 알고리즘 수행 결과
Table 8 Conclusion of performing the algorithm

발전사업자	발전기명	용량 (MW)	고장정지 확률	1~10주	11~20주	조정도
GenCo #1	Unit#1	300	0.045	0111000000	0000000000	2
	Unit#2	250	0.072	0000011110	0000000000	0
	Unit#3	150	0.072	0000001110	0000000000	2
GenCo #2	Unit#4	400	0.069	0111000000	0000000000	1
	Unit#5	300	0.045	0000000001	1110000000	1
GenCo #3	Unit#6	250	0.030	0111000000	0000000000	0
	Unit#7	200	0.075	0000000000	0011100000	3
	Unit#8	150	0.062	0000000000	0000001110	1
	Unit#9	100	0.062	0000001110	0000000000	3
GenCo #4	Unit#10	350	0.040	0000000000	0000011110	3
	Unit#11	250	0.072	0000001110	0000000000	0
	Unit#12	100	0.054	0001110000	0000000000	2

표 9 표 8의 결과로 계산한 신뢰도
Table 9 Reliability based on Table 8

주기	신뢰도	주기	신뢰도
1	0.000013	11	0.036391
2	0.047324	12	0.036391
3	0.032372	13	0.057312
4	0.097711	14	0.007821
5	0.001164	15	0.000941
6	0.002027	16	0.009545
7	0.047184	17	0.030138
8	0.047184	18	0.004050
9	0.047184	19	0.002713
10	0.015898	20	0.000013

하는 유인을 제공하기 위해 발전사업자별 가중치를 적용하였다.

본 연구의 사례연구에서는 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘을 사용하였다. 하지만, 이 알고리즘은 해를 확률적으로 변화시키기 때문에 해가 최적해인지 아닌지 검증할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 또한 제어 파라미터인 내부반복수와 온도변수는 적용하는 문제에 따라 사용자의 경험에 의해 조절해야만 한다. 이와 같은 단점을 가지고 있는 미성숙한 알고리즘이지만, 여러 가지 조합 최적화 문제에서의 적용이 쉽다는 장점을 가지고 있어 본 연구에서는 이 알고리즘을 사용하였다.

본 연구에서는 간단한 계통의 예방정비계획 문제를 다루었으나 실제계에 적용하기 위해서는 계산속도가 빠르고 수렴특성이 좋은 대규모 조합 최적화 알고리즘에 관한 연구가 뒷받침되어야 한다. 또한 전력시장이 원활히 운용될 수 있는 계통운영자의 조정권한에 관한 연구도 필요하리라고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력 공학공동연구소(01-중-05) 주관으로 수행된 과제임.

참 고 문 헌

- [1] M. Shahidepour & M. Marwali, "Maintenance Scheduling in Restructured Power Systems", Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [2] Z. A. Yamayee, "Maintenance Scheduling: Description, Literature Survey, and Interface with Overall Operations Scheduling", Trans. IEEE, Vol 8, 1982.
- [3] Jung-Won Jung & Jung-Ik Kim, "Maintenance Scheduling using a Genetic Algorithm with New Crossover Operators", Trans. KIEE, Vol 48, pp. 545-552, 1999.
- [4] E. L. da Silva, M. Th. Schilling & M. C. Rafael "Generation Maintenance Scheduling Considering Transmission Constraints", Trans. IEEE, Vol 15, pp. 838-843, 2000.
- [5] Jong-Bae Park, Min-Soo Kim, Joong-Rin Shin, Balho H. Kim & Hyeong-Jung Kim, "The Levelized Price Method for the Maintenance Scheduling in a Competitive Electricity Market", ICEE2003, pp. 220-222, 2003.
- [6] Jin-Ho Kim, Jong-Bae Park, Jong-Keun Park & Balho H. Kim, "A New Game-Theoretic Framework for Maintenance Strategy Analysis", Power Engineering Society Summer Meeting, IEEE, Vol. 3, pp. 1510-1515, 2002.
- [7] 韓國電力公社 電力經濟研究室, "發電系統 供給信賴度", 1989. 2.
- [8] Hyunchul Kim, Yasuhiro Hayashi & Koichi Nara, "An Algorithm for Thermal Unit Maintenance Scheduling through Combined Use of GA, SA and TS", Trans. IEEE, Vol 12, pp. 329-335, 1997.
- [9] 김여근, 윤복식, 이상복, "메타 휴리스틱: 유전알고리즘, 시뮬레이티드 어닐링, 타부서치", 영지문화사, 2002.

저 자 소 개



한 석 만 (韓錫萬)

1976년 12월 5일생. 2002년 홍익대 전자 전기공학부 졸업. 2004년 동 대학원 전기정보제어공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정

Tel : 02-338-1621 Fax : 02-320-1110
E-mail : ichtous@passmail.to



신 영 균 (申英均)

1974년 5월 31일생. 1999년 홍익대 전자 전기제어공학과 졸업. 동 대학원 전기정보제어공학과 졸업(석사). 현재 한국전력 공사 신남원전력소 근무

Tel : 063-620-3311
E-mail : alijin@kepco.co.kr



정 구 형 (鄭求亨)

1974년 9월 20일생. 2001년 홍익대 전자 전기제어공학과 졸업. 2003년 동 대학원 전기정보제어공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정

Tel : 02-338-1621 Fax : 02-320-1110
E-mail : gal110412@wow1.hongik.ac.kr



김 강 원 (金康元)

1977년 3월 23일생. 2003년 홍익대 전자 전기공학부 졸업. 현재 동 대학원 석사 과정

Tel : 02-338-1621 Fax : 02-320-1110
E-mail : gagamael77@hanmail.net



김 발 호 (金發鎭)

1962년 7월 12일생. 1984년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1984~1990년 한국전력공사 기술연구본부 전력경제연구실 근무. 1992년 Univ. of Texas at Austin 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 졸업(공학). 1999년~현재 홍익대학교 전기정보제어공학과 부교수

Tel : 02-320-1462 Fax : 02-320-1110
E-mail : bhkim@wow.hongik.ac.kr