

Unit Commitment of a GENCO Under the Competitive Environment Considering the Uncertainty of Market Prices

鄭 正 源*
(Jung-Won Jung)

Abstract - In recent decades, many countries have introduced competition in the electricity industry. Now, unit commitment becomes not a problem to be solved by a monopoly company but the one to be tackled by each generation company(GENCO). Its aim has been altered from the global cost minimization to the each GENCO's profit maximization.

In this paper, the author proposes the scheme of unit commitment of a GENCO to maximize profit considering the uncertainty of market clearing price. The type of the assumed market is a uniform price market. A genetic algorithm is used for the maximization of the profit.

Key Words : unit commitment, electricity market, price uncertainty, genetic algorithm

1. 서 론

과거 우리나라의 전력산업은 독점 공기업으로서 존재하였다. 한전은 부하공급의 의무를 지녔고, 장단기 계획의 기준은 최소비용이었다. 발전기 기동정지계획은 1~7일 정도의 예측된 부하를 최소비용으로 공급하기 위해서 발전기의 기동 비용, 정지비용, 증발열, 예비력 등을 고려하여 결정되었다. 현재 우리나라의 전력시장은 완전 경쟁시장으로 가는 과정으로서 비용기준시장(CBP; Cost-based Pool)으로 운용되고 있고, 2004년 도매경쟁시장인 양방향시장(TWBP ; Two-way bidding pool)으로 형성될 예정이며 2009년도에는 소매시장까지 경쟁으로 갈 것이다. 전력시장이 경쟁체제로 바뀐 이후부터는 중앙차원에서의 발전기 기동정지계획 수립 과정은 없어지며, 각 발전사업자가 자신의 발전기들을 대상으로 독자적인 기동정지계획(Self Commitment)을 수립해야 한다.

경쟁시장에서의 독자적 기동정지계획은 과거 독점 또는 외국의 지역독점 상황에서의 최소비용 기동정지계획이 아니라, 자신의 이익을 최대화하는 방향으로 수립된다. 전력거래소(PX)가 제공하거나 발전사업자 자신이 예측한 거래일(trading day)의 부하예측 및 예상 시장가격(MCP: market clearing price)은 개개 발전사업자의 기동정지계획에 중요한 입력요소이고, 수립된 기동정지계획은 입찰전략(offer strategy)의 기본이 된다. Sheble 등은 각 발전사업자의 기동정지계획 문제를 이익 극대화 문제로서 접근하였다.[1] 본

논문도 이익 극대화로 기동정지계획을 다루고 있으나 시장 가격의 불확실성을 고려한다. 시장가격의 불확실성은 부하의 불확실성, 타 발전사업자의 입찰전략 등 여러 요인에 의해 발생한다.

비록, 해를 구하는 주체가 달라도 발전기 기동정지계획 문제는 과거의 독점상태에서나 향후의 경쟁체제하에서나 똑같이 최적화 문제이다. 동적계획법, Lagrangian 완화법, 분지한정법 등이 독자적 또는 결합된 형태로 기동정지계획의 해를 구하는데 사용되어 왔고, 최근에는 유전알고리즘의 적용이 많이 시도되어 왔다.[2,3,4,8,9] 유전알고리즘은 연속적 문제나 조합최적화 등의 이산적 문제에 두루 적용이 되고 있다. 하지만, 가능해 영역(feasible range)이 아주 좁은 문제에서는 수립이 어려울 뿐 아니라 전역 최적해를 구하지 못할 수도 있다. 본 논문에서는 유전알고리즘을 이익 최대화의 방법으로서 채택하고, 좁은 영역의 가능해 영역을 다루는 방법으로서 연속 최적화 문제에서의 장벽법(barrier method) 개념을 도입하였다. 즉, 처음 세대에서는 제약조건을 완화하여 페널티 계수를 아주 작게 두고 세대가 진행할수록 페널티 계수를 증가시키도록 새로운 형태의 페널티항을 도입하였다. 한편, 이익 최대화의 자체기동정지계획에서는 발전사업자의 각 발전기는 독립적으로(in a decoupled way) 기동정지계획을 수립될 수 있음을 보인다.

2. 기동정지계획

개별 발전사업자의 기동정지계획은 거래일 동안 이익이 최대가 되도록 수립되어야 한다. 시장가격의 불확실성을 고려하기 위해서 시장가격을 확률적 변수로 두면 이익 최대화 문제로서 기동정지 계획 문제를 아래와 같이 정식화할 수 있다. 목적함수는 이익이 되므로 식(1)과 같다.

* 正 會 員 : 慶星大學校 電氣電子컴퓨터工學部 副敎授
接受日字 : 2002年 12月 26日
最終完了 : 2003年 2月 11日

$$E\left[\sum_{t=1}^T (R_t - C_t)\right] = \sum_{t=1}^T \int (R_t - C_t) f_t(p_t) dp_t \quad (1)$$

여기서,

$$R_t = \sum_{j=1}^N \sum p_t P_{j,t} U_{j,t} \quad (2)$$

$$C_t = \sum_{j=1}^N (F_j(P_{j,t}) + S_j(1 - U_{j,t-1})U_{j,t}) \quad (3)$$

기호에 대한 설명은 아래와 같다.

p_t : 확률 시장가격

$f_t(p_t)$: t 시간의 시장가격의 확률밀도함수

R_t : t 시간의 수익

C_t : t 시간의 발전비용

N : 발전사업자의 발전기 대수

T : 기동정지 대상의 총 시간

$E\left[\sum_{t=1}^T (R_t - C_t)\right]$: (수익-비용)의 기대치. 즉, 이익의 기대치

$P_{j,t}$: j 발전기의 t 시간대 발전 출력

$F_j(P_j) = a_j + b_j P_j + c_j P_j^2$: j 발전기의 연료비용

S_j : 발전기 j 의 기동비용

$U_{j,t}$: 발전기 j 의 t 시간대 운전상태 (1 : 운전, 0 : 정지)

이 문제의 제약조건은 다음 식으로 표시된다. (4)식은 발전기 출력의 상하한을, (5) 및 (6)식은 각각 최소기동시간 제약 및 최소정지시간 제약을 나타낸다.

$$P_{\min,j} \leq P_{j,t} \leq P_{\max,j} \quad (4)$$

$$U_{j,t} = 1, \text{ for } \sum_{i=t_s}^{t-1} U_{j,i} < MUT_j, t = t_s + 1, \dots, T \quad (5)$$

$$U_{j,t} = 0, \text{ for } \sum_{i=t_d}^{t-1} (1 - U_{j,i}) < MDT_j, t = t_d + 1, \dots, T \quad (6)$$

여기서,

$P_{\min,j}, P_{\max,j}$: 발전기 j 의 최소/최대 출력

t_s : 발전기를 기동한 시간

t_d : 발전기를 정지시킨 시간

MUT_j : 발전기 j 의 최소 기동시간

MDT_j : 발전기 j 의 최소 정지시간

전통적인 기동정지계획과는 달리 발전력의 합이 전체부하와 같아야 한다는 조건은 여기에 포함되지 않는다. 모든 발전사업자의 입찰결과로서 전체적인 급전계획이 수립되며 이 과정에서 저절로 부하를 충족하는 발전력 배분이 이루어진다. 즉, 발전사업자의 기동정지계획에서는 부하에 대한 조건은 발생하지 않는다. 다만, 부하는 시장가격에 영향을 미치는 요인으로서 기동정지계획에 간접적으로 관여할 뿐이다.

발전사업자의 이익의 기대치는 각 발전기에 의한 이익의 기대치 합이며, 이들 상호간 발전출력을 조절해야만 하는 제약이 존재하지 않는다. 따라서, 각 발전기의 기동정지계획은

독립적으로 수립될 수 있다. 이는 수리적 입장에서 보면 계산량이 아주 축소됨을 의미한다.

발전기 j 의 t 시간대 출력(최적 입찰량 $\hat{P}_{j,t}$)은 다음으로 결정된다.

$$\hat{P}_{j,t} = P_{\max,j} \quad P_{j,t}^* > P_{\max} \quad (7-1)$$

$$\hat{P}_{j,t} = P_{\min,j} \quad P_{j,t}^* < P_{\min} \quad (7-2)$$

$$\hat{P}_{j,t} = P_{j,t}^* \quad \text{이외의 경우} \quad (7-3)$$

$$\text{단, } P_{j,t}^* = \frac{p_t - b_j}{2c_j}$$

이익 극대화 문제에서의 자체 기동정지계획 수립은 다음의 흐름도로 구할 수 있다.

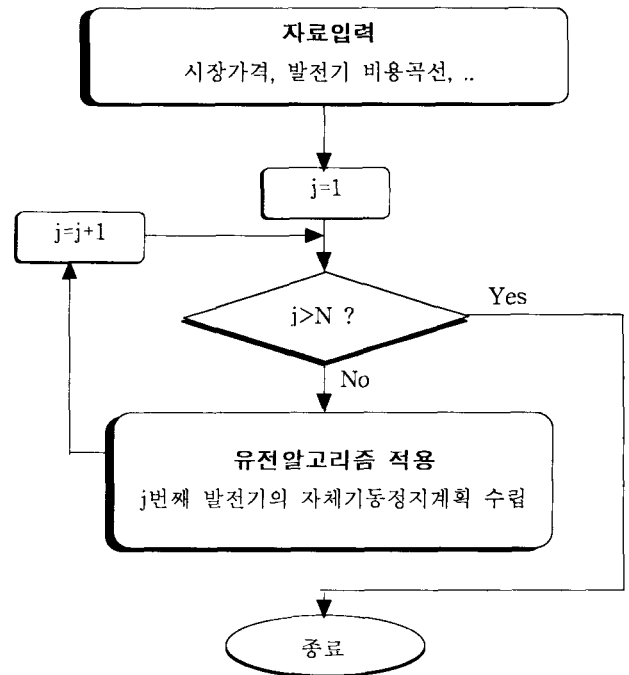


그림 1 자체 기동정지계획 수립 흐름도
Fig. 1 Flow chart for a GENCO's Unit Commitment Schedule

3. 적용된 유전알고리즘

유전알고리즘은 자연의 우생학 원리를 모사한 것으로 많은 연구자들이 자신들의 문제에 적합하도록 수많은 방법론을 만들어 왔다. 각 개체의 표현도 실수형, 이진형, 이진배열형 등 많은 방법이 있고, 교배방법 및 돌연변이처리 방법 또한 다양하다.

기동정지계획에서는 각 발전기의 최소기동시간 및 정지시간의 제약을 어떻게 다루는가가 유전알고리즘의 효율에 결정적 영향을 미친다. Yang[8]이 제안한 이후 많이 사용된 방법으로는 개체표현 방법(encoding)을 사용해서 가능해 영역만 탐색하도록 한 방법이다.[2,4,7,8] 이 방법은 한 발전기

의 스트링을 분할하여 여러 부분으로 나누고, 각 부분의 첫 비트는 기동 또는 정지를 결정짓게 하고 나머지 비트는 최소 기동시간 또는 최소 정지시간을 초과한 시간으로 나누어 처리했다. 그러나, 유전알고리즘이란 근본적으로 좋은 패턴(개체)들로서 새로운 패턴을 만들어서 탐색하는 과정인데, 이 방법으로는 교배 후 생기는 자손의 패턴과 부모의 패턴 사이의 연관성이 부족하다. 각 개체는 하나의 스키마로서 스트링 군의 한 대표로 표현되어야 하나[9], Yang[8] 등의 이 방법은 스키마의 대표 표현을 제공하지 못한다.

다른 방법으로는 복구법(repairing method)의 적용을 들 수 있다.[3] 각 개체를 최소정지/기동 시간 제약에 맞도록 개체(스트링)의 비트를 수정하여 가능해로 매핑하는 방법을 사용했다. 그러나, 매핑이 선형적이지 않아서 전역 탐색이라는 유전알고리즘의 장점이 약해지며, 역시 개체가 가지는 패턴의 의미를 약화시킨다.

본 논문에서는 유전알고리즘에서 제약조건을 처리하는 가장 일반적인 방법인 페널티항을 사용했다. 페널티항의 적용 방법은 페널티항을 목적함수에 더하는 방법과 페널티항을 목적함수에 곱하는 방법으로 나뉘어 진다.[10-14] 최소화 문제에서의 페널티항은 통상 (8)식으로 표현된다.[10,11,12, 14]

$$\begin{aligned} \min \quad & f(\mathbf{x}) \\ \text{s.t.} \quad & g_i(\mathbf{x}) \leq 0, \quad i=1, 2, \dots, m \\ & p(\mathbf{x}, n) = K_n \sum_{i=1}^m d_i(\mathbf{x}) \end{aligned} \quad (8)$$

여기서,

$p(\mathbf{x}, n)$: 목적함수에 더해지는 페널티항

K_n : n 세대에서의 페널티 계수

$d_i(\mathbf{x}, n)$: n 세대에서의 제약조건을 위반한 정도

K_n 은 상수이거나 세대수에 따른 함수로 둔다. 세대수에 따라 변화시키는 것은 해석적 방법에서의 장벽법 개념을 도입한 것이다. $d_i(\mathbf{x}, n)$ 는 제약조건을 위반한 개체에 대해서 위반한 정도를 정량화한 값이다. $g_i(\mathbf{x})$ 의 절대치 또는 제곱을 이용해 왔다.

최대화 문제에서는 목적함수에 1이하의 양수의 페널티항을 곱했고, 그 형태는 다음과 같다.[13,14]

$$p(\mathbf{x}) = 1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left(\frac{\Delta b_i(\mathbf{x})}{B_i} \right)^\alpha \quad (9)$$

여기서,

$$B_i = b_i \quad \text{or} \quad \Delta b_{\max, i} = \max\{\Delta b_j\} \quad (10)$$

$$\Delta b_i = \max\{0, g_i(\mathbf{x})\}$$

이와 같은 페널티항의 도입은 제약조건을 위반한 정도에 따라 상대적으로 페널티를 부여하는 개념이었다.

기동정지 문제는 가능해 영역이 아주 협소한 경우이므로 유전알고리즘으로써 초기 세대에서 가능해를 만날 가능성이 희박하고, 페널티 계수를 고정된 채로 초기세대에서 가능해를 만난다면 국부수렴(pre-mature)될 가능성이 아주 높다.

따라서, 페널티 계수를 점차 크게 해서 앞 세대에서는 좋은 해를 찾고 점차 세대를 더해가면서 이들 해를 제약조건을 만족하는 해로 옮겨가게 하는 방법을 사용하는 것이 바람직하다.

본 논문에서는 발전사업자의 자체 기동정지계획을 수익의 최대화 문제로서 정식화했고, 페널티 항은 최대화 문제에 적합하도록 목적함수에 곱하도록 설정하였으며, 장벽법의 개념을 도입하여 일정 세대수 까지는 페널티를 적용하지 않고 그 이후에는 세대수가 증가함에 따라 페널티 계수가 증가하도록 하였다.

다음 식은 본 논문에서 제안한 것으로 n 번째 세대에서의 최소기동시간 및 정지시간 제약을 표현한 페널티항을 포함한 적합도이다.

$$Fit(\mathbf{x}_j) = (\Pi(\mathbf{x}_j) + \epsilon) \cdot \frac{1}{1 + K_n d(\mathbf{x}_j)} \quad (11)$$

여기서,

\mathbf{x}_j : 개체 j 의 벡터표현

$Fit(\cdot)$: 적합도

$\Pi(\mathbf{x}_j)$: 개체 \mathbf{x}_j 에 의한 이익(=수익-비용)

K_n : 세대 n 의 페널티 계수

$d(\mathbf{x}_j)$: 개체 \mathbf{x}_j 의 최소정지 및 운전 조건의 위반정도

ϵ : 적합도를 0이상으로 보정하는 항

적합도 보정항 ϵ , 페널티 계수 K_n 및 위반량 $d(\mathbf{x}_j)$ 은 다음과 같다.

$$\epsilon = \begin{cases} 0 & \text{for } \Pi_{\min} \geq 0 \\ -\Pi_{\min} & \text{for } \Pi_{\min} < 0 \end{cases} \quad (12)$$

$$K_n = \begin{cases} 0 & n \leq N_{fix} \\ K \left(\frac{n - N_{fix}}{N_{generation} - N_{fix}} \right)^2 & n > N_{fix} \end{cases} \quad (13)$$

$$d(\mathbf{x}_j) = N_{viol}(\mathbf{x}_j) \quad (14)$$

여기서,

Π_{\min} : 전체 세대(population)에서의 이익 최소치

$N_{viol}(\mathbf{x}_j)$: 개체 \mathbf{x}_j 가 표현하는 기동정지계획에서의 최소기동시간 및 정지시간제약을 위반한 횟수

K : 상수

N_{fix} : 미리 정해진 고정값 (이 세대 이전에는 페널티를 부과하지 않음)

$N_{generation}$: 전체 세대수

예를 들어서, 고려대상 발전기의 최소기동 및 정지시간이 각각 3시간이라고 할 때, 어떤 개체 \mathbf{x}_j 의 위반량 $d(\mathbf{x}_j)$ 의 계산은 그림 2와 같다.

논문에서 사용한 개체는 이진형이다. 개체의 각 비트(bit)는 시간에 따른 각 발전기의 기동정지상태를 표시한다. 교배의 경우 일정 교배법(one-point crossover)을 적용했다. 돌연변이는 일반적으로 사용되는 방법으로 각 비트에 대하

여 돌연변이 확률을 적용하여 0과 1 상태를 변경하는 것으로 했다.

x_j : 0 0 0 1 1 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1

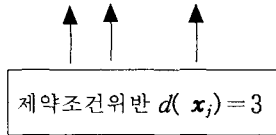


그림 2 제약조건 위반량 계산 예

Fig. 2 An example of evaluating the quantity of the constraint violation

4. 사례연구

본 논문의 주안점은 시장가격의 불확실성을 고려한 발전 사업자의 기동정지계획 수립에 있다. 즉, 부하예측 방법이나 부하와 시장가격의 관계 설정, 예비력 시장 등 여러 요인의 영향 고려방안, 입찰전략 수립 등은 본 논문에서 다루고 있지 않다. 전력수요와 시장가격의 상관관계는 1에 가깝다.[6] 하지만, 하계와 같이 전력예비율이 낮은 경우 시장가격은 어느 수요를 넘어감에 따라 급격히 증가하는 추세를 가진다.[5] 사례연구에 적용된 확률 시장가격은 다음 표 1과 같은 부하패턴을 기준으로 두고 통상의 수요예측 오차 수준인 ±2%를 적용하여 수요를 만들고 각각 수요가 1/3의 확률을 갖는 것으로 했다. 캘리포니아 전력시장을 참조하여 이 들 수요에 대해서 전력가격은 수요가 30,000MW이하에서는 0.002 \$/MWh, 30,000MW 이상에서는 0.005 \$/MWh의 기울기를 갖는 것으로 했다.[5]

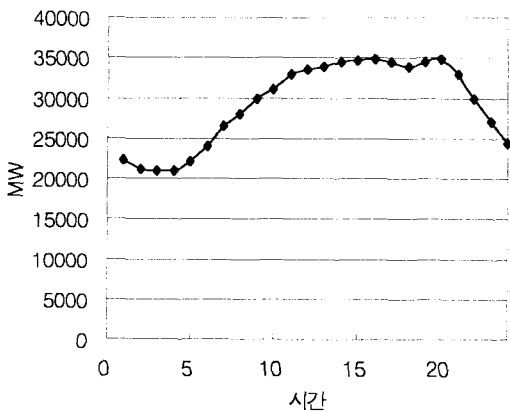


그림 3 사례연구에 적용된 부하곡선

Fig. 3 Load curve for the case study

사례연구의 발전기는 모두 어떤 한 발전사업자가 소유한 것이며, 이들 발전기의 특성은 표 2로 두었다.[3,4]

표 2에서 초기상태는 양의 정수일 때는 기동되어온 시간을, 음의 정수일 때는 정지되어온 시간을 의미하고, 기동비용은 다음 식으로 주어진다.

$$S_j = \begin{cases} CST; & \text{if } T_{off} > MDT_j + CSH; \\ HST; & \text{if } MDT_j \leq T_{off} \leq MDT_j + CSH; \end{cases} \quad (15)$$

표 1 확률분포별 시장가격

Table 1 Probabilistic market clearing prices (\$/MWh)

시간	case 1	case 2	case 3	시간	case 1	case 2	case 3	시간	case 1	case 2	case 3
1	24.5	24.1	25.0	9	40.0	39.4	41.5	17	62.5	60.8	64.2
2	22.2	21.8	22.6	10	45.0	43.5	46.6	18	60.0	58.3	61.7
3	22.0	21.6	22.4	11	55.0	53.4	56.7	19	62.0	60.3	63.7
4	22.0	21.6	22.4	12	57.5	55.8	59.2	20	64.0	62.3	65.7
5	24.0	23.6	24.4	13	60.0	58.3	61.7	21	55.0	53.4	56.7
6	28.0	27.5	28.5	14	62.5	60.8	64.2	22	40.0	39.4	41.5
7	33.0	32.5	33.5	15	63.5	61.8	65.2	23	34.0	33.5	34.5
8	36.0	35.4	36.6	16	64.0	62.3	65.7	24	28.6	28.1	29.1

표 2 발전기 자료

Table 2 Data of generators

(용량: MW, 시간: hour, 비용: \$ 기준)

발전기	P_{max}	P_{min}	a	b	c	최소 기동 시간	최소 정지 시간	Hot start cost (HST)	Cold start cost (CST)	cold start CSH	초기 상태
1	455	150	1000	16.19	0.00048	8	8	4500	9000	5	8
2	455	150	970	17.26	0.00031	8	8	5000	10000	5	8
3	130	20	700	16.60	0.00200	5	5	550	1100	4	-5
4	130	20	680	16.50	0.00211	5	5	560	1120	4	-5
5	162	25	450	19.70	0.00398	6	6	900	1800	4	-6
6	80	20	370	22.26	0.00712	3	3	170	340	2	-3
7	85	25	480	22.74	0.00079	3	3	260	520	2	-3
8	55	10	660	25.92	0.00413	1	1	30	60	0	-1
9	55	10	665	27.27	0.00222	1	1	30	60	0	-1
10	55	10	670	27.79	0.00173	1	1	30	60	0	-1

사례의 발전사업자에 대한 이익 극대화의 기동정지계획 결과는 그림 2와 같다. 시장가격의 불확실성 영향을 반영한 것과 하지 않은 경우의 비교를 위해서 시장가격 예측치가 표 1의 case1으로 결정된 경우(확률이 평균값인 경우)에 대해서 기동정지계획을 구했다.

이 사례결과에서 보면, 시장가격의 불확실성을 고려한 경우나 고려하지 않았을 경우가 크게 차이가 나지는 않는다. 하지만, 10번 발전기의 출력이 9시 및 22시에서 차이가 나는 데, 이는 30,000MW근방에서 가격 변화의 차이가 발생하고 발전기 10의 한계발전비용 또한 이 점에서의 시장가격과 비슷하기 때문이다. 따라서, 발전기의 한계발전비용이 비용곡선의 변곡점 근방에 있는 경우에는 수요예측 또는 시장가격의 불확실성에 대한 고려가 필요하고, 기대 이익의 평가가 달라지게 된다.

발전기	기동정지 계획(1:on, -:off)
1	11111111111111111111111111111111
2	11111111111111111111111111111111
3	11111111111111111111111111111111
4	----111111111111111111111111111111
5	----111111111111111111111111111111
6	----111111111111111111111111111111
7	-----111111111111111111111111111111
8	-----111111111111111111111111111111--
9	-----111111111111111111111111111111--
10	-----111111111111111111111111111111--
총수익	\$881,886.78

그림 4 시장가격 불확실성 반영시 기동정지계획
Fig. 4 Unit commitment considering price uncertainty

발전기	기동정지 계획(1:on, -:off)
1	11111111111111111111111111111111
2	11111111111111111111111111111111
3	11111111111111111111111111111111
4	11111111111111111111111111111111
5	----111111111111111111111111111111
6	----111111111111111111111111111111
7	-----111111111111111111111111111111
8	-----111111111111111111111111111111--
9	-----111111111111111111111111111111--
10	-----111111111111111111111111111111--
총수익	\$880,879.6

그림 5 결정적 시장가격 적용시 기동정지계획
Fig. 5 Unit commitment with deterministic prices

5. 결 론

본 논문에서는 각 발전사업자의 기동정지계획 수립 방안을 이익 극대화의 문제로 두고 그 해를 구했다. 시장가격의 변동은 발전사업자 수익의 변동을 의미하므로 기동정지계획을 수립 할 때는 시장가격의 불확실성을 고려할 수 있어야 한다. 시장가격을 확률변수로 두어서 이러한 시장가격의 불확실성을 고려하였다.

개별 발전사업자의 발전기 기동정지계획을 시장가격에 따른 이익 극대화 문제로 볼 때, 전체 출력의 합에 대한 제약은 없어진다. 즉, 전통적인 기동정지계획에서의 등중분연료비의 조건이 없어지고, 각 발전기는 개별 발전기를 통한 이익의 최대화로 자체 기동정지계획을 수립할 수 있다. 즉, 발전사업자의 각 발전기는 분할(decoupling)된 형태의 문제로서 기동정지계획을 수립할 수 있다.

이익 최대화 문제로서의 발전사업자 기동정지계획 문제에 유전알고리즘을 적용할 때, 협소한 가능해 영역을 효과적으

로 탐색하기 위해서, 일정 세대까지는 최소기동(또는 정지) 시간 제약조건 위반 여부를 전혀 반영하지 않고, 그 이후에는 세대가 증가함에 따라 제약조건 위반시 페널티를 높일 수 있도록 새로운 페널티항을 제시하였다.

감사의 글

본 연구는 2000년도 경성대학교 학술지원연구비에 의하여 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] C.W. Richter and G.B. Sheble, "A profit-based unit commitment GA for the competitive environment," IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 15, No. 2, May 2000
- [2] A. Rudolf, R. Bayrleithner, "A genetic algorithm for solving the unit commitment problem of a hydro thermal power system," IEEE Trans. on Power System, Vol. 14, No. 4, 1999
- [3] K.S. Swarup, S. Yamashiro, "Unit commitment solution methodology using genetic algorithm," IEEE Trans. on Power System, Vol. 17, No. 1, 2002
- [4] W. Xing, F. Wu, "Genetic algorithm based unit commitment with energy contracts," Electrical Power and Energy Systems 24, 2002
- [5] P.L. Joskow, Deregulation and regulatory reform in the U.S. electric power sector, AEI Conference on Deregulation in Network Industries, Dec. 1999
- [6] 한국전력거래소, 2002년 운용실적, www.kpx.or.kr
- [7] H. T. Yang, P. C. Yang, C. L. Huang, "A parallel genetic algorithm approach to solving the unit commitment problem: implementation on the transputer networks," IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 12, No.2, 1997
- [8] H.T. Yang, P.C. Yang, C.L. Huang, "Applications of the genetic algorithm to the unit commitment problem in power generation industry," International Joint Conference of the Fourth IEEE International Conference on Fuzzy Systems and The Second International Fuzzy Engineering Symposium., Proceedings of 1995 IEEE International Conference on , Volume: 1 , 20-24 Mar 1995
- [9] D.E. Goldberg, Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning, Addison-Wesley Publishing Company Inc., 1989
- [10] A.C. Homaifar, C. Qi, and S. Lai, "Constrained optimization via genetic algorithms," Simulation, Vol. 62, No.4, 1994
- [11] J. Joines, C. Houck, "On the use of non-stationary penalty functions to solve nonlinear constrained

optimization problems with GAs," Proceedings of the first IEEE conference on evolutionary computations, 1994

- [12] Z. Michalewicz, "A survey of constraint handling techniques in evolutionary computation method," Evolutionary programming IV, 1995
- [13] T. Yokota, M. Gen, K. Ida, T. Taguchi, "Optimal design of system reliability by an approved genetic algorithm," Trans. of institute of electronics, Information and Communication Engineers, Vol. J78A, No.6, 1995
- [14] M. Gen, R. Cheng, Genetic algorithms and engineering design, John Wiley & Sons, Inc., 1997

저 자 소 개



정정원 (鄭正源)

1960년 11월 8일생. 1983년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1985년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1985년~1992년 한국전력공사 전력경제연구실 연구원,

1992년~현재 경성대학교 전기전자컴퓨터공학부 부교수

Tel : 051-620-4774, Fax : 051-624-5980

E-mail : jwjung@star.ks.ac.kr