

경쟁적 전력시장에서 발전기 예방정비계획 알고리즘에 관한 연구

한 석만*, 신영균*, 김발호*, 박종배**, 차준민***
 홍익대학교*, 건국대학교**, 대진대학교***

A study on generator maintenance scheduling in competitive electricity markets

Seok-Man Han*, Young-Kyun Shin*, Balho H. Kim*, Jong-Bae Park**, Jun-Min Cha***
 Hongik University*, Konkuk University**, Daejin University***

Abstract - In competitive electricity markets, each GenCo establishes generator maintenance schedule and submits to ISO those. Then, ISO reviews and arranges maintenance schedule of each GenCo to meet the standard for reliability. This paper presents the new optimization model which can apply to competitive electricity markets. The object of this model is to minimize schedules variation of each GenCo and to satisfy system reliability.

펴보고자 한다.

2. 본 론

2.1 발전기 예방정비계획 메카니즘

경쟁시장에서 발전기 예방정비를 실질적으로 계획하고 실행하는 주체는 발전사업자들이다. 각 발전사업자들은 자신들의 이익 극대화를 목표로 예방정비계획을 수립한다. 예를 들면, 전력이격이 비싼 시간대 보다는 저렴한 시간대에 예방정비를 시행하려 할 것이다. 이렇게 수립된 개별 예방정비계획안들은 계통의 신뢰도를 만족하는지 여부를 승인 받기 위해 ISO에게 제출된다.

1. 서 론

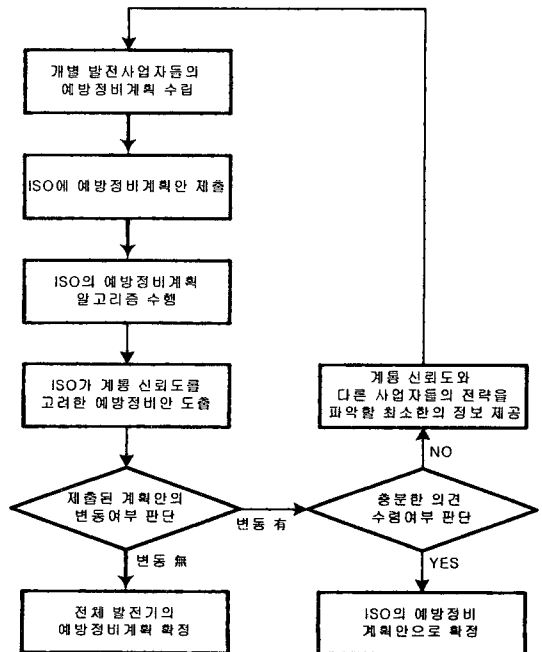
발전기 예방정비계획은 발전기들의 갑작스런 고장이나 사고를 대비하여 사전에 유지, 보수를 계획하는 일련의 과정을 말한다. 수직통합체 하에서의 예방정비계획은 단일 전력회사에 의하여 수립되고 운영되어왔다. 이는 자원의 효율적 활용, 신뢰도 증진, 비용감소, 운영성의 편리함이란 측면에서는 매우 효과적인 체계였음이 분명하다. 하지만 시장의 원리가 도입된 경쟁체제 하에서는 기존의 단일 전력회사가 ISO, 발전사업자와 배전사업자, 송전회사로 분리되었으며 개별 사업자들은 자신들의 이익을 극대화하는 방향으로 예방정비계획을 수립하고 운영하기 때문에 이에 적합한 예방정비계획 메카니즘이 필요하다[1].

계획안을 제출받은 ISO는 개별 계획안들이 계통 신뢰도를 만족하는지 여부를 판단하고 만약 신뢰도를 만족시키지 못하는 계획안들이 있다면 이를 조정 또는 반려하여 모든 시간대의 신뢰도를 적정 수준으로 유지한다. ISO가 계통 신뢰도를 만족하도록 임의로 조절하는 방법이 있을 수 있으나 이는 시장개입을 최소화한다는 목적에 부합되지 않으므로 본 논문에서는 계획안을 다시 반려하여 발전사업자 스스로 계획안을 수정하는 방안을 제안한다. 계획안을 반려시킬 때, 개별 발전사업자들이 계통 신뢰도 또는 다른 발전사업자들의 전략을 참고할 수 있는 최소한의 정보도 함께 제공한다.

전력산업은 안정적인 전력수급이 그 일차적인 목표이므로 ISO는 개별 사업자 간의 예방정비계획안을 적절히 조절하여 적정 수준 이상의 신뢰도를 확보하여야 한다. 이 과정에서 ISO는 시장을 왜곡하고 경쟁을 저해하는 시장개입을 최소화해야 하며 궁극적으로는 ISO의 계획안 조절없이 자체적으로 예방정비가 이루어 지는 것을 목표로 삼아야한다.

기존의 예방정비계획에 관한 연구는 발전비용 또는 신뢰도를 단독 목적함수로 두고 최적화 하는 방법[2][3], 예방정비 비용과 공급장장 비용 모두를 목적함수로 두고 최적화 하는 방법[4]들이 주된 관심사였다. 수직통합체에서는 단일회사가 계통에 관한 모든 정보를 가지고 있어 이러한 연구들이 실제 적용될 수 있었으나, 경쟁체제에서는 시장참여자가 그들의 개인적인 정보를 공개하지 않거나 진정한 정보를 고의적으로 틀리게 제공할 가능성이 있기 때문에 기존의 연구들이 실제 적용되기 어렵다.

본 논문에서는 경쟁적 전력시장에서 적용할 수 있는 발전사업자와 ISO간의 발전기 예방정비계획 수립 메카니즘을 제안하며, 이 메카니즘 하에서 ISO가 최소한의 정보(발전기 용량, 제출된 계획안)를 가지고 개별 계획안들을 조절할 때 활용할 수 있는 최적화 방법을 소개하고 ISO의 예방정비계획 수립과정을 사례연구를 통해 살



〈그림 1〉 발전기 예방정비계획 메카니즘

예방정비계획을 수립하는 것 자체가 발전사업자들 간의 전략이므로 기존의 계획안을 그대로 고수하려는 발전사업자들이 있을 수 있다. 이 때, ISO는 전력을 안정적으로 공급하는 책임이 있으므로, 이러한 발전사업자들에게 대해서는 강제력을 행사하지 않을 수 없다. 하지만 ISO가 발전사업자들의 계획안 변동을 최소화하면서 계통 신뢰도를 만족시키려는 입장을 취한다면 비록 모든 발전사업자들의 계획안을 수용하지 못한다 하더라도 계획안이 변동된 발전사업자들에 대한 보상의 책임은 없다고 판단된다. 계획안이 변동된 발전사업자는 자신들의 계획안을 수정할 수 있는 기회와 여러 계통 정보들도 같이 제공받게 되므로, 기존의 계획안을 고수하려는 발전사업자에게 ISO가 강제력을 행사하더라도 시장 전체적인 측면에서는 큰 영향을 미치지 않는다.

2.2 ISO의 예방정비계획 알고리즘

기존의 예방정비계획 알고리즘은 예방정비비용, 발전비용, 계통 신뢰도 등을 최소화시키는 목적함수를 사용한 대규모 최적화 기법들이 사용되었다. 하지만 경쟁시장에 적용하기에는 시장개입 등과 같은 많은 어려움이 있다. 본 절에서는 앞에서 제안한 예방정비계획 메커니즘에 적합한 최적화 모형을 소개하고 간단한 사례 계통에 적용하여 분석한다.

2.2.1 수학적 정식화

$$\text{MINIMIZE}_{x_{i,t}} \sum_{i=1}^{N_G} \text{Cap}_i \cdot \left| \sum_{t=1}^{N_P} (t \cdot x_{i,t}) - \sum_{t=1}^{N_P} (t \cdot \text{Sch}_{i,t}) \right| \quad (\text{식1})$$

subject to

$$\sum_{i=1}^{N_G} \text{Cap}_i - \sum_{i=1}^{N_G} (\text{Cap}_i \cdot x_{i,t}) - \text{Dem}_t \geq \text{Res}_t, \forall t \quad (\text{식2})$$

$$\sum_{i=1}^{N_G} x_{i,t} = M_t, \forall t \quad (\text{식3})$$

$$\sum_{k=1}^{N_P-M_t+1} \left(\prod_{i=k}^{M_t+k-1} x_{i,t} \right) = 1, \forall t, k \text{는 정수} \quad (\text{식4})$$

$$x_{i,t} = \text{binary variable (0 or 1)} \quad (\text{식5})$$

여기서,

i : 발전기 index ($i=1, 2, \dots, N_G$)

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

N_G : 총 발전기 대수

N_P : 총 보수 주(1년=52주)

$x_{i,t}$: ISO가 수립한 예방정비계획
i번째 발전기가 t번째 보수 주에
예방정비 실시 ($x_{i,t}=1$), 가동 ($x_{i,t}=0$)

$\text{Sch}_{i,t}$: 발전사업자가 제출한 예방정비계획
i번째 발전기가 t번째 보수 주에
예방정비 실시 ($\text{Sch}_{i,t}=1$), 가동 ($\text{Sch}_{i,t}=0$)

Cap_i : i번째 발전기의 용량

Dem_t : t번째 보수 주의 예측된 수요

Res_t : t번째 보수 주의 필요 예비력(신뢰도 기준)

M_t : i번째 발전기의 보수 기간 ($M_t = \sum_{i=1}^{N_G} \text{Sch}_{i,t}$)

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

(식1)의 목적함수는 두 부분으로 이루어졌다. 하나는 개별 발전사업자들이 제출한 예방정비계획안과 ISO가 계통 신뢰도를 고려하여 수립한 예방정비계획과의 차이를 최소화시키는 부분이다. 다른 하나는 용량이 작은 발

전기들을 우선적으로 이동시키는 부분이다. 계획안 변동 최소화는 절대값을 취한 부분이고, 용량에 따라 우선 순위를 부여하는 것은 절대값에 용량을 곱한 부분이다. 본 논문에서는 편의상 용량에 페널티를 부과하였으나, 발전비용을 페널티 합수로 고려하여도 무방하다. $\text{Sch}_{i,t}$ 는 제출된 계획안들을 모두 취합하여 모든 보수 주와 모든 발전기들을 대상으로 만들어진 예방정비계획이다. $\text{Sch}_{i,t}$ 와 $x_{i,t}$ 는 0 또는 1의 값을 갖기 때문에 보수 주의 index를 곱하면 예방정비를 실시하는 주의 index들만 선택해서 뽑아낼 수 있다. 만약 발전사업자들이 제출한 예방정비계획과 ISO가 수립한 예방정비계획이 동일하다면 목적함수 값은 0가 된다. 이는 발전회사들이 계획한 예방정비가 모든 시간대의 계통 신뢰도를 만족한다는 의미이다.

(식2)의 제약조건은 계통 신뢰도를 나타낸다. 본 논문에서는 여러 가지 계통 신뢰도 중 예비력만을 고려하였다. 따라서 계통 신뢰도에 영향을 가장 많이 미치는 용량에 우선순위를 둔 것이다. 첫 번째 항은 총설비용량을, 두 번째 항은 예방정비계획 물량을 나타내며, 세 번째 항은 수요를 나타낸다. 만약 공급지장확률을 사용한다면 발전사업자들이 예방정비계획을 제출할 때 발전기들의 사고율을 같이 제출하면 이를 고려할 수 있다.

(식3)의 제약조건은 발전기들의 보수 기간을 나타낸다. M_t 는 <표1>에서 해당 발전기의 예방정비를 나타내는 1의 개수이다.

(식4)의 제약조건은 발전기들의 보수 연속 기간을 나타낸다. (식3)으로는 예방정비가 두 주기에 걸쳐 계획되었다는 것을 고려하지 못하므로 발전기들의 예방정비가 연속이 아닌 해도 발생할 수 있다. 따라서, 보수 연속 기간을 고려하기 위해서는 (식4)가 필요하다.

2.2.2 사례연구

본 연구는 GAMS 최적화 프로그램을 사용하여 ISO의 예방정비 알고리즘을 구현하였으며, 문제의 간략화를 위해 발전기는 6대이고 총 보수 주는 5주인 소규모 계통의 예방정비계획을 수립하였다. 발전사업자들이 제출한 예방정비계획과 각 주기의 부하자료는 다음과 같다. 각 주기의 예비력은 부하의 10%라고 가정한다.

발전기명	용량 (MW)	보수 시기(주)				
		1	2	3	4	5
Gen#1	780	1	1	0	0	0
Gen#2	730	0	1	0	0	0
Gen#3	620	0	1	0	0	0
Gen#4	530	0	0	0	0	1
Gen#5	440	0	0	0	0	1
Gen#6	570	0	0	0	0	1

<표 1> 발전사업자들이 제출한 예방정비계획

MW	보수 시기(주)				
	1	2	3	4	5
부하	2,000	2,100	2,450	2,200	2,150
예비력	200	210	245	220	215

<표 2> 각 주기별 부하자료와 필요 예비력

〈표1〉의 발전사업자들이 제출한 계획대로라면 주기2와 주기5에서 예비력 부족 또는 전력 수급의 불균형을 초래한다. 따라서, 주기2와 주기5의 계획안 변동이 필요한 상황이다. 또한 Gen#1은 두 주기에 걸쳐 예방정비를 실시한다.

발전기명	용량 (MW)	보수 시기(주)				
		1	2	3	4	5
Gen#1	780	1	1	0	0	0
Gen#2	730	0	0	1	0	0
Gen#3	620	1	0	0	0	0
Gen#4	530	0	0	0	0	1
Gen#5	440	0	0	0	1	0
Gen#6	570	0	0	0	0	1

〈표 3〉 ISO가 수립한 예방정비계획

시뮬레이션 결과는 〈표3〉과 같이 Gen#2,3,5의 계획이 변동되었으며 모두 1주기씩만 이동되었다. 계획이 변동된 Gen#2,3,5는 이 계획을 바탕으로 다시 계획을 수립하여야 할 것이다.

3. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 경쟁시장에서 적용할 수 있는 ISO와 발전사업자간의 예방정비계획 메카니즘을 제안하였으며, ISO가 신뢰도를 만족시키기 위하여 계획안 변동을 함에 있어 개별 발전사업자의 계획안을 최대한 수용하는 최적화 모형을 제시하였다.

최소한의 정보만을 이용하여 경쟁을 유도하고 시장개입을 최소화하고, 시장참여자의 의견을 충분히 반영시킬 수 있는 메카니즘을 제시하였다는 점에서 과거에 이루어졌던 연구들과는 많은 차이점이 있다.

본 논문에서 제안한 메카니즘 중, 다른 사업자들의 전략과 계통 신뢰도를 파악할 수 있는 정보의 수준을 정하는 문제와 예비력이 아닌 다른 계통 신뢰도 지수를 사용하였을 경우, 변동 우선 순위를 정하는 연구도 필요하다.

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여
기초전력공학공동연구소(01-중-05) 주관으로
수행된 과제임

[참고 문헌]

- [1] M. Shahidehpour & 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, pp838-843, 2000.
- [5] Jun-Min Cha, "Maintenance Scheduling of Generators using Serial Multi-Stage Decision Making in Long-term Generation Expansion Planning", Korea Univ. 博士學位論文 1995. 12.
- [6] 한국전력공사 전력경제연구소, "發電系統 供給信賴度", 1989. 2.