

**TWBP 시장에서 계통운영자의 발전설비 예방정비계획 조정 알고리즘에 관한 연구**

한 석 만\*, 정 구 형\*, 김 발 호\*, 박 종 배\*\*, 차 준 민\*\*\*  
 홍익대학교\*, 건국대학교\*\*, 대진대학교\*\*\*

**A study on generator maintenance schedule coordination  
 of system operator in TWBP markets**

Seok-Man Han\*, Koo-Hyung Chung\*, Baiho H. Kim\*, Jong-Bae Park\*\*, Jun-Min Cha\*\*\*  
 Hongik University\*, Konkuk University\*\*, Daejin University\*\*\*

**Abstract** - In TWBP markets, ISO determines the maintenance schedule based on Gencos' and Transcos' offers under reasonable criterion. This paper presents ISO's alternative procedure to coordinate maintenance schedules submitted by Gencos and Transcos. ISO's coordination procedure is formulated as an optimization problem that minimizes expected losses in Gencos' revenue subject to system reserve requirement.

**1. 서 론**

발전기 예방정비계획 문제는 발전설비의 운영과 계획 측면에서 경제성과 신뢰도에 영향을 미치는 중요한 문제이다[1]. 전력회사들은 그들의 설비를 지속적으로 효율적인 운전상태로 유지하기 위해서 항상 예방정비계획의 틀 안에서 운영한다. 예방정비의 목적은 설비의 사용기간을 연장하고 고장 빈도를 줄이기 위함이다. 그리고, 효과적인 예방정비 정책으로 공급지장 빈도도 낮추고 공급지장으로 인한 많은 손해를 감소시키는 역할도 하게 된다[2].

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[2,3].

TWBP 시장에서 시장참여자는 수직통합체제의 단일전력회사와는 달리 안정적인 전력수급의 책임을 더 이상 갖지 않는다. 다만 시장참여자는 자신들의 이익 극대화에 관심이 있으며 그에 따라 입찰전략, 예방정비계획, 전원개발계획 등을 수립한다. 전력계통의 신뢰도와 안전도에 관한 책임은 계통을 운영하는 계통운영자의 몫이다[2]. 하지만 계통운영자는 계통 신뢰도와 안전도를 유지하기 위해 시장원리를 저해하지 않는 범위 내에서 어느 정도의 강제력을 가져야 할 것으로 판단된다.

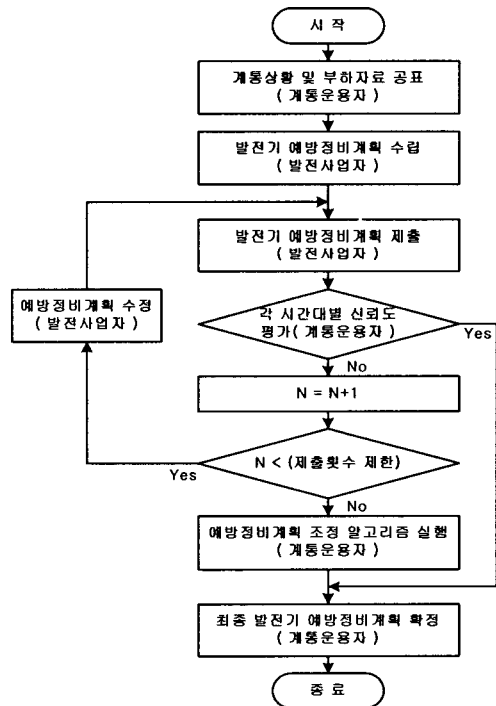
기존의 예방정비계획에 관한 연구는 비용 최소화 개념과 수학적 모델에 기초한 최적 예방정비계획 수립 알고리즘 연구가 대부분이었다[2-6]. 최근에는 기존의 연구에서 고려하지 못했던 송전계약이나 연료계약, 환경계약 등을 고려한 통합적인 예방정비계획 기법이 제안되고 있다[7,8]. 그러나, 경쟁적 전력시장에서 계통운영자의 역할과 예방정비계획 메커니즘에 관한 연구는 미비한 실정이다.

본 논문에서는 TWBP 시장에 부합하는 계통운영자의 예방정비계획 수립 절차를 제시하고, 제안한 절차 중 발전사업자의 계획 조정으로 인한 손실을 최소화시키면서 신뢰도를 만족시키는 계통운영자의 계획 조정 알고리즘에 대해 논하고자 한다. 본 알고리즘에서 계통운영자는 계획 조정에 필요한 최소한의 정보(예측된 시장가격, 발전기 용량)만을 이용한다.

**2. 본 론**

**2.1 발전기 예방정비계획 메커니즘**

TWBP 시장에서 발전기 예방정비를 실질적으로 계획하고 실행하는 주체는 발전사업자들이다. 각 발전사업자들은 자신들의 이익 극대화를 목표로 예방정비계획을 수립한다. 예를 들면, 전력가격이 비싼 시간대보다는 저렴한 시간대에 예방정비를 시행하려 할 것이다. 이렇게 수립된 개별 예방정비계획안들은 공급 신뢰도를 만족 여부를 승인 받기 위해 계통운영자에게 제출된다.



<그림 1> 발전기 예방정비계획 메커니즘

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 발전사업자들의 전략이므로 기존의 계획안을 그대로 고수하려는 발전사업자들이 있을 수 있다. 이 때, 계통운영자는 전력을 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 1>에 나타내었다. 본 논문에서는 제안한 메커니즘 중에서 계통운영자가 신뢰도를 유지시키기 위해 실시하는 계획안 조정 알고리즘에 대해서만 다루기로 한다.

## 2.2 계통운영자의 계획 조정 알고리즘

### 2.2.1 수학적 정식화

$$\text{MINIMIZE } \sum_{i,j}^{N_G} Cap_i \cdot \left( \sum_{t=1}^{N_T} P_t \cdot x_{i,t} - \sum_{t=1}^{N_T} P_t \cdot Sch_{i,t} \right) \quad (\text{식1})$$

subject to

$$\sum_{i=1}^{N_G} Cap_i - \sum_{t=1}^{N_T} (Cap_i \cdot x_{i,t}) - Dem_t \geq Res_t, \forall t \quad (\text{식2})$$

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

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

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

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( $x_{i,t}=0$ )

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

$P_t$  : t번째 보수 주의 예측된 시장가격

$Cap_i$  : 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 ( $M_t = \sum_{i=1}^{N_G} Sch_{i,t}$ )

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

(식1)의 목적함수는 계통운영자의 예방정비계획 조정으로 인한 발전사업자의 예상 수입감소분을 최소화한다는 의미이다. 발전사업자의 수입은 (판매전력량)×(시장가격)×(운전시간)이고, 예방정비를 실시함으로써 (판매전력량)×(시장가격)×(예방정비기간) 만큼의 수입이 감소되기 때문에 위의 수식이 성립한다.

(식2)의 제약조건은 계통 신뢰도를 나타낸다. 본 논문에서는 여러 가지 계통 신뢰도 중 예비력만을 고려하였다. 첫 번째 항은 총설비용량을, 두 번째 항은 예방정비 계획 물량을 나타내며, 세 번째 항은 수요를 나타낸다. 신뢰도 기준에 공급지장확률을 사용하기 위해서는 발전사업자들이 예방정비계획을 제출할 때 발전기들의 사고율을 제출하여 이를 고려할 수 있다.

(식3)의 제약조건은 발전기들의 보수 기간을 나타낸다.  $M_t$ 는 <표2>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 연속기간을 고려하기 위해서는 (식4)가 필요하다.

### 2.2.2 사례연구

본 연구는 GAMS 최적화 프로그램을 사용하여 계통운영자의 예방정비계획 조정 알고리즘을 구현하였으며, 문제의 간략화를 위해 다음과 같이 가정하였다.

- 발전사업자가 제출한 예방정비계획은 신뢰도를 만족하지 못하여 제출횟수 제한만큼 계통운영자가 반려시켰으나 여전히 자신들의 계획안을 고수한다.
- 예측된 부하 자료, 시장가격은 발전사업자, 계통운영자 모두 알고 있는 자료이다.
- 각 주기의 예비력은 부하의 10%이다.
- 총 보수주기는 6주이며 예방정비는 주단위로 실시한다.
- 각 발전사업자는 1대의 발전기를 가지고 있으며 계통의 총 발전기는 6대이다.
- 각 주기에서의 판매전력량은 발전기 최대 용량과 동일하다.
- 송전설비에 의한 영향은 무시한다.

<표1>은 각 주기별 부하자료와 시장가격이며, <표2>는 발전사업자들이 제출한 예방정비계획이다.

<표 1> 각 주기별 부하자료와 시장가격

구분	보수 시기(주)					
	1	2	3	4	5	6
부하 (MW)	2,000	2,100	2,450	2,200	2,150	2,100
시장가격 (원/MW)	50	49	60	67	64	62

<표 2> 발전사업자들이 제출한 예방정비계획

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

<표1>의 발전사업자들이 제출한 계획대로라면 주기1, 2에서 예비력 부족 또는 전력 수급의 불균형을 초래한다. 따라서, 주기1과 주기2에서 예방정비 계획된 발전기들의 계획안 변동이 필요한 상황이다. 또한 Gen#1, 2는 두 주기에 걸쳐 예방정비를 실시한다.

<표 3> 계통운영자가 조정한 예방정비계획

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

시뮬레이션 결과는 <표3>과 같다. 모든 주기에서 예비력 제약조건을 만족하였으며, 발전사업자의 수입감소분은 33,670원(289,000원-255,330원)이다.

### 3. 결론 및 향후 계획

본 논문에서는 TWBP시장에서 발전사업자와 계통운용자간의 예방정비계획 메커니즘을 제시하였다. 특히, 발전사업자가 자신의 계획안을 고수할 경우, 계통운용자가 이용할 수 있는 계획안 조정 알고리즘을 제시하였다. 본 알고리즘은 예측된 시장가격을 이용하여 발전사업자의 예상 수입감소분을 최소화하고 동시에 신뢰도 기준(필요 예비력)을 만족시킨다.

본 연구에서는 송전계통에 의한 영향을 무시하였지만, 실제 예방정비계획에 있어서는 송전계통을 고려하여 계획을 수립한다. 따라서, 송전계통과의 협조 메커니즘에 대한 연구가 필요하다. 또한, 발전기에 갑작스런 사고가 발생하였을 경우 사고 이후의 예방정비 일정에도 영향을 미치게 된다. 이러한 갑작스런 사고 이후 예방정비 일정을 조정하는 메커니즘 및 알고리즘에 관한 연구도 필요하리라 판단된다.

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

### [참 고 문 헌]

- [1] H. Kim, S. Moon, J. Choi, S. Lee, D. Do and M. M. Gupta, "Generator maintenance scheduling considering air pollution based on the fuzzy theory", in Porch. IEEE International Fuzzy System Con., Vol 3, pp.1759-1765, 1999.
- [2] M. Shahidehpour & M. Marwali, "Maintenance Scheduling in Restructured Power Systems", Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [3] Yaoyu Wang & Edmund Handschin, "Unit Maintenance Scheduling in Open System Using Genetic Algorithm", Transmission and Distribution Conference, IEEE, Vol 1, pp.334-339, 1999.
- [4] D. Chattopadhyay, "A practical maintenance scheduling program : mathematical model and case study", Trans. IEEE, Vol 13, pp. 1475-1480, 1998
- [5] Z. A. Yamayee, "Maintenance Scheduling:Description, Literature Survey, and Interface with Overall Operations Scheduling", Trans. IEEE, Vol 8, 1982.
- [6] Jung-Won Jung & Jung-Ik Kim, "Maintenance Scheduling using a Genetic Algorithm with New Crossover Operators", Trans. KIEE, Vol 48, pp.545-552, 1999.
- [7] E. L. da Silva, M. Th. Schilling & M. C. Rafael "Generation Maintenance Scheduling Considering Transmission Constraints", Trans. IEEE, Vol 15, pp.838-843, 2000.
- [8] 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.
- [9] 韓國電力公社 電力經濟研究室, "發電系統 供給信賴度", 1989. 2.