

# TWBP 시장에서 계통운영자의 발전설비 예방정비계획 조정 알고리즘에 관한 연구

論 文  
53A-12-7

## Coordination of Generator Maintenance Schedule in Two-Way Bidding Pools

韓錫萬\* · 鄭求亨\* · 金發鎬† · 朴宗培\*\* · 車濬敏\*\*\*

(Seok-Man Han · Koo-Hyung Chung · Balho H. Kim · Jong-Bae Park · Jun-Min Cha)

**Abstract** - In competitive electricity markets, the System Operator (SO) coordinates the overall maintenance schedules whenever the collective maintenance schedule reported to SO by Gencos in the pool does not satisfy the specified operating criteria, such as system reliability or supply adequacy. The SO's coordination usually involves sorts of financial conflict among Genco's. This paper proposes a coordination algorithm which minimizes the total financial loss of Genco's while satisfying the required operating criteria.

**Key Words** : Generator Maintenance Schedule, Coordination, TWBP Markets, ISO's Coordination Procedure

### 1. 서 론

발전기 예방정비계획 문제는 발전설비의 운영과 계획측면에서 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].

이에 반해, TWBP 시장에서 시장참여자는 수직통합체제의 단일전력회사와는 달리 안정적인 전력수급의 책임을 더 이상 갖지 않는다. 다만 시장참여자는 자신들의 이익극대화에 관심이 있으며 그에 따라 입찰전략, 예방정비계획, 전원개발계획 등을 수립한다. 전력계통의 신뢰도와 안전도에 관한 책임

은 계통을 운영하는 계통운영자의 몫이다[2]. 하지만 계통운영자는 계통신뢰도와 안전도를 유지하기 위해 시장원리를 저해하지 않는 범위 내에서 어느 정도의 강제력을 가져야 할 것으로 판단된다.

기존의 예방정비계획에 관한 연구는 비용최소화 개념과 수학적 모델에 기초한 최적예방정비계획 수립 알고리즘 연구가 대부분이었다[2-6]. 최근에는 기존의 연구에서 고려하지 못했던 송전계약이나 연료계약, 환경계약 등을 고려한 통합적인 예방정비계획 기법이 제안되고 있다[7]. 그러나, 경쟁적 전력 시장에서 계통운영자의 역할과 예방정비계획 메커니즘에 관한 연구[8,9]는 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 계통 전체의 공급신뢰도 만족 여부를 심사 받기 위해 계통운영자에게 제출된다.

계획안을 제출 받은 계통운영자는 개별 계획안들이 계통신

† 교신저자, 正會員: 弘益大學 電氣情報制御工學科 副教授 · 工博

E-mail : bhkim@wow.hongik.ac.kr

\* 正會員 : 弘益大學 電氣情報制御工學科 博士課程

\*\* 正會員 : 建國大學 電氣工學科 助教授 · 工博

\*\*\* 正會員 : 大眞大學 電氣工學科 副教授 · 工博

接受日字 : 2004年 8月 24日

最終完了 : 2004年 10月 14日

뢰도를 만족하는지 여부를 판단하고 만약 신뢰도를 만족시키지 못하는 계획안들이 있다면 이를 수정할 수 있도록 발전사업자들에게 반려한다. 발전사업자는 반려된 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 1에 나타내었다. 본 논문에서는 제안한 메커니즘 중에서 계통운영자가 신뢰도를 유지시키기 위해 실시하는 계획안 조정 알고리즘에 대해서만 다루기로 한다.

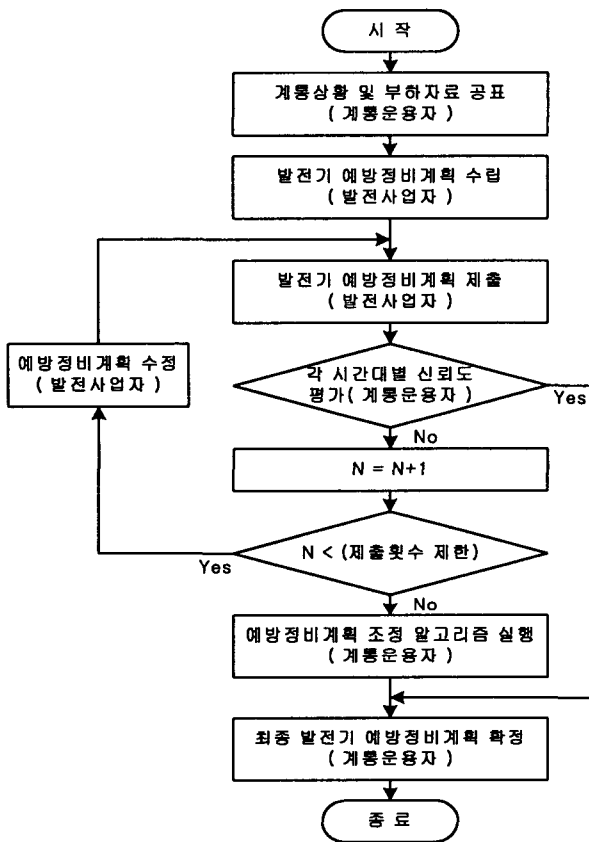


그림 1 발전기 예방정비계획 메커니즘  
Fig. 1 Mechanism of generator maintenance scheduling

2.2 계통운영자의 계획 조정 알고리즘

계통운영자는 전력시스템을 안정적으로 운영할 책임을 갖고 있다. 하지만, 발전사업자들이 제출한 계획안은 신뢰도 기준을 만족시키지 못하여 계획안대로 계통을 운영할 경우 전력수급을 만족시키지 못하는 결과를 초래할 수 있다. 따라서, 계통운영자의 계획 조정이 불가피한 상황이지만 발전사업자의 계획안은 자신들의 이익극대화를 위한 전략이므로 공정하고 합리적인 계통운영자의 조정 알고리즘이 필수적이다. 본

논문에서는 발전사업자의 예방정비계획 조정으로 인한 재정적인 손해를 최소화시키면서 계통신뢰도를 만족시킬 수 있는 알고리즘을 제안하며, 이를 수학적으로 정식화하면 다음과 같다.

2.2.1 수학적 정식화

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

subject to

$$\sum_{i=1}^{N_G} Cap_i - \sum_{i=1}^{N_G} (Cap_i \cdot x_{i,t}) - Dem_t \geq Res_t, \forall t \tag{2}$$

$$\sum_{t=1}^{N_p} x_{i,t} = M_i, \forall i \tag{3}$$

$$\prod_{k=1}^{N_p - M_i + 1} (\prod_{t=k}^{M_i + k - 1} x_{i,t}) = 1, \forall i, k \text{는 정수} \tag{4}$$

$$x_{i,t} = \text{binary variable (0 or 1)} \tag{5}$$

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

$i$ 번째 발전기가  $t$ 번째 보수 주에  
예방정비 실시( $x_{i,t}=1$ ), 가동( $x_{i,t}=0$ )

$Sch_{i,t}$  : 발전사업자가 제출한 예방정비계획

$i$ 번째 발전기가  $t$ 번째 보수 주에  
예방정비 실시( $Sch_{i,t}=1$ ), 가동( $Sch_{i,t}=0$ )

$P_t$  :  $t$ 번째 보수 주의 예측된 시장가격

$Cap_i$  :  $i$ 번째 발전기의 용량

$Dem_t$  :  $t$ 번째 보수 주의 예측된 수요

$Res_t$  :  $t$ 번째 보수 주의 필요 예비력(신뢰도 기준)

$M_i$  :  $i$ 번째 발전기의 보수 기간 ( $M_i = \sum_{t=1}^{N_p} Sch_{i,t}$ )

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

식 1의 목적함수는 계통운영자의 예방정비계획 조정으로 인한 발전사업자의 예상 수입감소분을 최소화한다는 의미이다. 발전사업자의 수입은 (판매전력량)×(시장가격)×(운전기간)이고, 예방정비를 실시함으로써 (판매전력량)×(시장가격)×(예방정비기간) 만큼의 수입이 감소되기 때문에 위의 수식이 성립한다.

식 2의 제약조건은 계통신뢰도를 나타낸다. 본 논문에서는 여러 가지 계통신뢰도 중 예비력만을 고려하였다. 첫 번째 항은 총설비용량을, 두 번째 항은 예방정비계획 물량을 나타내며, 세 번째 항은 수요를 나타낸다. 신뢰도 기준에 공급지장확률을 사용하기 위해서는 발전사업자들이 예방정비계획을

제출할 때 발전기들의 사고율을 제출하여 이를 고려할 수 있다.

식 3의 제약조건은 발전기들의 보수 기간을 나타낸다.  $M_i$ 는 표 2에서 해당 발전기의 예방정비를 나타내는 1의 개수이다.

식 4의 제약조건은 발전기들의 보수 연속 기간을 나타낸다. 식 3으로는 예방정비가 두 주기에 걸쳐 계획되었다는 것을 고려하지 못하므로 발전기들의 예방정비가 연속이 아닌 해도 발생할 수 있다. 따라서, 연속 보수 기간을 고려하기 위해서는 식 4가 필요하다.

### 2.2.2 사례연구

본 연구는 GAMS 최적화 프로그램을 사용하여 계통운영자의 예방정비계획 조정 알고리즘을 구현하였으며, 문제의 간략화를 위해 다음과 같은 가정을 두었다. 사례연구 계통은 그림 2와 같다.

- 발전사업자가 제출한 예방정비계획은 신뢰도를 만족하지 못하여 제출횟수 제한만큼 계통운영자가 반려시켰으나 여전히 자신들의 계획안을 고수한다.
- 예측된 부하자료, 시장가격은 발전사업자 및 계통운영자 모두가 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.

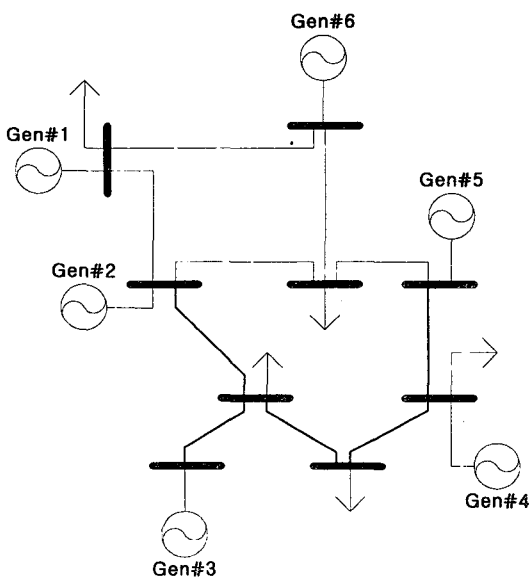


그림 2 사례연구 계통  
Fig. 2 Case study

표 1은 각 주기별 부하자료와 시장가격이며, 표 2는 발전

사업자들이 제출한 예방정비계획이다.

표 1 각 주기별 부하자료와 시장가격  
Table 1 Loads data & market price of each period

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  
Table 2 Generators data submitted by each GenCo

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

표 1의 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  
Table 3 Modified maintenance schedule by ISO

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 표 3과 같다. 모든 주기에서 예비력 제약조건을 만족하였으며, 발전사업자의 수입감소분은 33,670원 (289,000원-255,330원)이다.

### 3. 결론 및 향후 계획

본 논문에서는 TWBP시장에서 발전사업자와 계통운영자 간의 예방정비계획 메커니즘을 제시하였다. 제시한 메커니즘은 경쟁적 전력시장에서 각 시장참여자의 의견을 조율할 수 있는 메커니즘이다. 하지만 이러한 메커니즘 하에서도 각 시장참여자의 의견을 조율할 수 없을 경우, 즉 발전사업자가 자신의 예방정비계획안을 고수할 경우에는 계통운영자는 불가피하게 계획안을 조정해야 한다.

본 논문에서는 협조메커니즘을 통해서도 계통신뢰도를 만

족시키지 못하는 경우, 계통운영자가 이용할 수 있는 계획안 조정 알고리즘에 초점을 맞추었다. 본 알고리즘은 발전사업자의 예방정비계획 조정으로 인한 재정적인 손해를 최소화시키면서 계통신뢰도를 만족시킬 수 있는 알고리즘이다.

계획 조정 알고리즘은 최적화 모형으로 정식화할 수 있으며, 예측된 시장가격을 이용하여 발전사업자의 예상 수입감소분을 최소화시키는 목적함수와 신뢰도 기준(필요 예비력), 발전기 예방정비기간을 제약조건들로 구성하였다.

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

**감사의 글**

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원(01-중-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. Shahidepour & 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] 한석만 외, "경쟁적 전력시장에서 계통운영자의 발전기 예방정비계획에 관한 연구", 대한전기학회논문지, Vol 53A 8월호, pp. 477-483, 2004.
- [9] 한석만 외, "경쟁적 전력시장에서 발전기 예방정비계획 알고리즘에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회, Vol A, pp. 643-645, 2003.

**저 자 소 개**



**한 석 만(韓錫萬)**

1976년 12월 5일생. 2002년 홍익대 전자전기공학부 졸업. 2004년 동 대학원 전기정보 제어공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정

Tel : 02-338-1621 Fax : 02-320-1110

E-mail : ichtous@passmail.to



**정 구 형(鄭求亨)**

1974년 9월 20일생. 2001년 홍익대 전자전기 제어공학과 졸업. 2003년 동 대학원 전기정보 제어공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정

Tel : 02-338-1621 Fax : 02-320-1110

E-mail : gal110412@wow1.hongik.ac.kr



**김 발 호(金發鎬)**

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(공학박). 1999년~현재 홍익대학교 전기정보 제어공학과 부교수

Tel : 02-320-1462 Fax : 02-320-1110

E-mail : bhkim@wow.hongik.ac.kr



**박 중 배(朴宗培)**

1963년 11월 24일생. 1987년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 건국대학교 전기공학과 조교수

Tel : 02-450-3483 Fax : 02-447-9186

E-mail : jbaepark@konkuk.ac.kr



**차 준 민(車濬敏)**

1964년 5월 9일생. 1989년 고려대학교 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 대전대학교 전기공학과 부교수

Tel : 031-539-1915 Fax : 031-539-3579

E-mail : chamin@road.daejin.ac.kr