

베스팅 계약 하에서의 발전회사의 수익 최적화에 대한 연구

이진호 정주환 서장철 최중웅 김재철
LG 산전 신사업기획팀

A Study of Genco's Profit Optimization under Vesting Contract

Jin-Ho Lee Juhwan Jung Jang-Cheol Seo Jong-Woong Choe Jae-Chul Kim
New Business Planning Team LG Industrial Systems Co.

Abstract - 국내 전력 산업은 과거 수직통합적 독점구조에서 부문별 기능분할 및 경쟁도입을 점진적으로 추진하고 있으며 먼저 발전회사간 경쟁을 도입하기 위하여 한국전력의 발전부문을 6개의 발전회사로 분할 하였다. 2004년부터는 본격적으로 양방향 도매전력시장을 도입하여 운영할 계획에 있다. 도매전력시장의 도입으로 발생할 수 있는 가장 큰 시장 위험요소로는 시장가격의 수준 및 변동성에 대한 불확실성을 들 수 있다. 이는 시장참여자 모두에게 위험요소가 될 수 있으며 이를 위하여 정부주도하에 경쟁시장 이행기 동안의 과도기적 위험관리 도구를 제공하게 되며 발전회사와 판매회사 사이의 강제적 계약인 베스팅 계약이 포함될 것으로 예상된다. 여러 가지의 베스팅 계약 중에서 Two-way 베스팅 계약은 발전회사와 판매회사와의 계약량, 계약가격을 정부 또는 관련기관에서 지정하는 것으로 이러한 Two-way 베스팅 계약은 도매전력시장의 초기에 발전회사의 손실을 최소화하는 역할을 할 것으로 예상되지만 반대로 수익을 제한하는 요소로도 작용할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 베스팅 계약 중에서 Two-way 베스팅 계약에 대한 분석을 수행하고 이를 토대로 하여 베스팅 계약 하에서 발전회사의 수익을 최적화 할 수 있는 전략에 대한 연구를 수행하였다.

1. 서 론

최근 국내에서 전력산업 구조개편이 진행되고 있다. 발전회사의 분할은 이미 완료된 상태이며 6개의 발전회사로 분할되어 현재 발전회사가 경쟁적으로 전력을 판매하는 발전경쟁시장(CBP: Cost Based Generation Pool)이 운영되고 있다. 2004년부터는 본격적으로 양방향 도매경쟁 시장(TWBP: Two Way Bidding Pool)을 실시할 예정에 있으며 이를 위하여 배전분할에 대한 논의가 활발히 진행되고 있다. TWBP를 위한 시장규칙이 전력거래소에 의하여 2002년에 공표되었으며 11월28일에 version 5.0이 공표된 상태이다.

TWBP에서는 전력판매자인 발전회사가 발전기별로 공급입찰서를 제출하고 전력구매자인 판매회사가 구매입찰서를 제출하게 되며 전력거래소가 이를 취합하고 전력계통에 대한 여러 가지 물리적 상태를 고려하여 시장청산가격(MCP : Market Clearing Price)를 공표하게 된다. 또한 전력거래소는 각 발전기의 급전계획을 수립하고 급전지령을 내리게 되며 발전기 출력 및 부하의 전력소비량을 계량하여 사후에 정산작업도 수행하게 된다.

CBP하에서 발전회사는 용량요금을 지급받고 있으나 TWBP에서는 용량요금이 사라지게 되고 오직 판매량과 MCP에 기반한 수입이 발전회사의 주된 수익이 되고 결국 MCP의 변화에 따라 발전회사의 수익도 크게 달라지게 된다. 전력산업 구조개편을 이미 시행한 외국의 사례를 보게 되면 대부분 MCP가 심하게 변동하는 것을 알 수 있으며^[1] 또한 발전회사에서 MCP의 변동으로 인한 손실을 헤지(Hedge)하기 위한 수단으로서 Option, forward, future 등과 같은 전력파생상품을 이용하는 연

구도 수행되었다^[2].

전력시장 개설 초기에 MCP의 변동 등과 같은 불확실성 및 이로 인해 파생되는 위험에 발전회사를 포함하여 시장참여자들에게 노출되어 있으므로 호주 등에서는 정부차원에서 경쟁시장 이행기 동안의 과도기적 위험관리 도구를 제공하는 제도적 장치 즉, 베스팅(Vesting) 계약을 고안하여 실행하였다^{[3][4]}.

베스팅 계약은 경쟁시장 이행기 동안에 과도기적으로 시행되며 시장이 정착될수록 계약의 양이 점차로 감소하도록 하며 시장참여자들이 하여금 강제로 계약을 수립하도록 한다. 국내에서도 베스팅 계약에 대한 연구용역이 2002년 한국전력에 의하여 수행되었으며 그 결과로 국내 환경에 적합한 베스팅 계약들에 대한 청사진이 나오게 되었다^[5].

2. Two Way 베스팅 계약

2.1 개요

베스팅 계약은 TWBP의 도입에 따른 전력가격의 안정화와 위험관리를 위하여 고안되었다. 베스팅 계약은 TWBP의 시작과 동시에 유효하며 시장참여자들이 의무적으로 계약을 맺어야 한다. 소매경쟁이 점차로 도입됨에 따라 베스팅 계약의 양은 점차로 감소하게 되고 완전 소매경쟁 체제에서는 베스팅 계약은 소멸하게 된다. 베스팅 계약은 계약 가격, 시기, 계약량 등 세부적인 사항에 대하여 정부기관 또는 규제당국의 승인을 받아야 한다. 베스팅 계약에는 여러 가지가 있으며 그 중 큰 영향을 가지는 것은 Two Way 베스팅 계약이다.

Two Way 베스팅 계약은 발전회사와 판매회사간의 의무적인 판매 계약이며 CfD(Contract for Difference)와 유사한 형태의 재무/회계적 계약이라 할 수 있다. 발전회사가 판매회사가 판매하여야 하는 계약량과 계약금액(strike price)에 대하여 정부의 소매요금 정책 및 시장의 내외적 요소와 연계하여 설정된다. Two Way 베스팅 계약에는 7가지의 세부 계약 형태가 있으며 이는 기저부하나 계절부하 등을 고려하여 구분한다. 또한 대상 부하는 프랜차이즈 부하에만 국한하며 소매경쟁이 점진적으로 도입됨으로서 프랜차이즈 부하가 줄어들며 따라 계약량 또한 줄어들게 되어 있다.

발전회사 및 판매회사는 전력시장에 전력을 판매 또는 구매행위를 한 후에 서로간에 Two Way 베스팅 계약에 의거하여 차액 정산을 수행한다. 이 때 차액 정산 (Difference Payment : 이하 DP)에 대한 식은 (1)과 같다.

$$DP = (P_M - P_C) \times V_C \quad (1)$$

여기서 P_M : 시장가격, 즉 MCP를 의미
 P_C : Two Way 베스팅 계약 가격(strike price)
 V_C : 베스팅 계약 량

(1)에서 $P_M > P_C$ 인 경우, 즉 MCP가 strike price 보

다 크면 발전회사가 판매회사에 DP를 주게 되며 반대로 $P_M < P_C$ 인 경우는 판매회사가 발전회사에 DP를 주게 된다.

2.2 베스팅 계약의 역할

Two Way 베스팅 계약이 없다면 발전회사의 이익은 MCP의 변화에 직접적으로 연관이 되어 있으며 판매량이 고정되어 있다면 MCP의 값이 크면 클수록 이익은 비례하여 상승하게 된다. 하지만 Two Way 베스팅 계약에 의하여 MCP의 가격 상승에 대한 이익 분이 판매회사에 지급하는 DP 때문에 상당부분 상쇄되며 MCP 상승에 대한 이익을 감소시킨다. 따라서 발전회사가 MCP를 상승시키는 시장지배력을 억제하는 효과를 가져오게 된다.

Two Way 베스팅 계약은 MCP 상승에 대한 발전회사의 이익을 감소하는 역할 뿐 아니라 MCP의 하락에 따른 손실을 보전하는 역할도 한다. MCP가 하락하여 발전회사가 손실을 입게되는 경우 판매회사로부터 DP만큼의 현금을 받게 되므로 손실을 보상받을 수 있다. 따라서 Two Way 베스팅 계약은 발전회사와 판매회사간의 일종의 위험을 Hedge하는 수단으로서 작용할 수 있다.

2.3 베스팅 계약에 의한 발전회사 수입 분석

2.2장에서 기술한 것과 같이 Two Way 베스팅 계약에 의하여 발전회사의 수입이 영향을 받는다. 발전회사가 전력을 판매하면서 얻는 시장에서의 수입과 Two Way 베스팅 계약에 의한 DP를 조합하면 총 수입은 식(2)와 같다.

$$NI = V_M \times P_M + (P_C - P_M) \times V_C \quad (2)$$

여기서 NI(Net Income) : 발전회사의 총수입
 V_M : 발전회사의 실제 전력 판매량
 P_M : MCP
 P_C : Two Way 베스팅 계약 가격(strike price)
 V_C : Two Way 베스팅 계약 량

식(2)에서 도매시장에서의 판매수입은 $V_M \times P_M$ 이 되고 Two Way 베스팅 계약에 의한 차액정산분은 $(P_C - P_M) \times V_C$ 이 되며 이를 통합한 것이 전체 발전회사의 수입이 된다. 식(2)를 MCP로 정리하면 식(3)과 같이 기술할 수 있다.

$$NI = V_M \times P_M + (P_C - P_M) \times V_C \quad (3)$$

$$= (V_M - V_C) \times P_M + P_C \times V_C$$

CASE 1 : $V_M = V_C$

베스팅 계약량과 실제 전력시장에 판매한 전력량이 같은 경우이다. 이 경우 발전회사의 총 수입은 $NI = P_C \times V_C$ 이 되어 MCP와 무관하게 일정한 수입을 얻게 된다. 발전회사가 MCP에 관계없이 일정한 수입을 얻기를 원한다면 베스팅 계약량 만큼 전력을 판매하면 된다.

CASE 2 : $V_M > V_C$

베스팅 계약량 보다 전력시장에 판매한 전력량이 큰 경우이다. 이 경우 발전회사는 고정적인 수입인 $P_C \times V_C$ 이외에 추가적으로 $(V_M - V_C) \times P_M$ 의 수입을 올리게 된다.

CASE 3 : $V_M < V_C$

베스팅 계약량 보다 전력시장에 판매한 전력량이 작은 경우이다. 발전회사는 고정적인 수입인 $P_C \times V_C$ 를 얻게 되지만 $(V_C - V_M) \times P_M$ 만큼 판매회사에 지불하여야

한다.

2.4 베스팅 계약 유무에 대한 수입 비교

베스팅 계약이 없는 경우에 발전회사의 수입은 현물시장의 수입만이 있다면 식(4)와 같이 된다.

$$NI' = P_M \times V_M \quad (4)$$

시장에 판매하는 발전량에 비례하여 발전회사의 수입이 증가한다. 베스팅 계약으로 인하여 달라진 발전회사의 수입인 식(2)와 위의 식(4)를 비교한다.

CASE 1: $P_M > P_C$

MCP가 strike price 보다 큰 경우이다. 이 경우 식(2)와 식(4)를 비교하면 베스팅 계약으로 인하여 수입이 $(P_M - P_C) \times V_C$ 만큼 줄어드는 것을 알 수 있다. MCP가 상승할 수록 수입의 양이 비례하여 감소되기에 발전회사의 입장에서 MCP가 상승을 기대하지 않게 되어 약의적인 MCP 상승의도를 억제하는 효과를 가져온다.

CASE 2: $P_M < P_C$

MCP가 strike price 보다 작은 경우이다. 이 경우 식(2)와 식(4)를 비교하면 베스팅 계약으로 인하여 수입이 $(P_C - P_M) \times V_C$ 만큼 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 MCP의 하락으로 인한 발전회사의 손실을 보전할 수 있게 된다.

위의 두가지 경우를 종합하여 그림1에 나타내었다. 그림1에서는 strike price를 80원/kWh로 가정하였고 MCP가 100원/kWh인 경우와 50원/kWh 인 경우를 같이 나타내었으며 실선으로 표시한 것이 베스팅 계약이 없는 경우에 발전량에 따른 수입의 변화를 도시하였고 점선으로 표시한 것이 베스팅 계약에 있는 경우에 대한 수입을 발전량에 대하여 도시하였다. 2.3장의 Case 1의 분석결과에 의하여 베스팅 계약이 있는 경우의 두가지 수입 그래프는 발전량이 베스팅 계약량인 점에서 항상 만나게 되어 있음을 알 수 있다.

3. 발전회사 수익 최적화

전력산업 구조개편 이전의 수직통합 구조의 전력회사는 수익을 최적화하는 방법의 하나로 발전기의 운영 비용을 최적화하는 발전기 기동정지 계획(Unit Commitment : 이하 UC)을 수립하였다. 발전 측면에서 경쟁이 없는 환경에서는 수입을 조절하기 보다는 지출, 즉 운영비용을 줄임으로서 수익을 최적화 하는 방법을 주로 사용하였다.

이와는 달리 다수의 발전회사가 경쟁하는 TWBP에서는 판매량이 수익에 대한 중요한 요소이며 시장가격인 MCP도 중요한 요소로 작용한다. 따라서 발전회사의 수

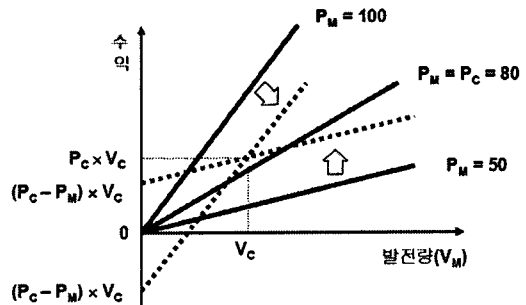


그림 1 베스팅 계약으로 인한 발전회사 수입 변화

익이 커지기 위해서는 판매량을 증가하고 MCP가 상승하여야 한다. 하지만 MCP의 경우는 하나의 발전회사가 조절하기 어려우며 게다가 MCP를 의도적으로 조절하는 행위는 TWBP에서 제재를 받게 된다. 결국 판매량을 조절하는 것이 수익에 가장 큰 영향을 미치는 변수가 되며 수익을 최적화 하기 위한 수단으로 UC가 중요한 요소가 될 것이다.

베스팅 계약이 있는 경우, UC는 더욱 발전회사의 수익 최적화에 큰 영향을 가지게 된다. 2장에서 고찰하였듯이 베스팅 계약하에서는 MCP의 상승이 발전회사의 수익에 큰 영향을 미치지 못하는 것을 알 수 있다. 따라서 베스팅 계약을 고려한 UC의 수립은 발전회사의 수익에 중요한 역할을 하게 된다.

수직통합 구조의 UC의 목적함수는 발전소의 운영비용의 최소화이다. 기존 UC의 목적함수는 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$F = \sum_{t=1}^{DH} \sum_{i=1}^{NOU} (C_i^t U_i^t + STCost_i^t + DNCost_i) \quad (5)$$

여기서 $C_i^t = \alpha_i (P_i^t)^2 + \beta_i P_i^t + \gamma_i$

P_i^t : t 시간 i 발전기 출력

U_i^t : t 시간 i 발전기 상태

DH : 고찰 기간

NOU : 기동정지 대상 발전기 수

$STCost_i^t$: t 시간 i 발전기 시동비용

$DNCost_i$: i 발전기 정지 비용

UC에서는 위의 목적함수 F를 최소화 하는 발전기 기동과 정지상태를 결정하며 다음과 같은 제약조건을 통상 고려한다.

- 전력수급 평형 조건
- 예비력 제약 조건
- 출력 상하한 제약
- 최소 운전/정지시간

TWBP이후 베스팅 계약하에서의 변형된 UC의 목적함수는 수익을 최적화 하도록 목적함수가 변화하여야 한다. 발전회사의 수익은 식(2)의 현금수입 NI에서 식(5)의 비용인 F를 차감한 것이 되며 식(6)에 표현하였다.

$$\begin{aligned} TotalBenefit(TB) &= \sum_{t=1}^{DH} NI^t - F \\ &= \sum_{t=1}^{DH} (V_M^t P_M^t + R^t) \\ &\quad - \sum_{t=1}^{DH} \sum_{i=1}^{NOU} (C_i^t U_i^t + STCost_i^t + DNCost_i) \\ &= \sum_{t=1}^{DH} \left(V_M^t P_M^t - C_i^t U_i^t + R^t - \sum_{i=1}^{NOU} (STCost_i^t + DNCost_i) \right) \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 NI_t : t 시간 현금수입

V_M^t : t 시간 총발전량, $\sum_{i=1}^{NOU} P_i^t$

P_M^t : t 시간 MCP

R_t : $(P_C^t - P_M^t) \times V_C^t$

P_C^t : t 시간 Two Way 베스팅 계약 가격

V_C^t : t 시간 Two Way 베스팅 계약량

기존의 UC에서의 제약조건은 수직통합 구조에서의 제약조건이므로 베스팅 계약의 환경에 맞도록 변경되어야 한다. 첫번째로 전력수급 평형 조건은 수요를 만족하도록 전력생산량이 결정되어야 하는 조건이 있으나 하나의 발전회사의 입장에서는 베스팅 계약량 이상 발전하는 것으로 수정하는 것이 바람직하다고 볼 수 있다. 2.3장에서의 분석결과에 의하면 베스팅 계약량 이하로 발전하는 경우, 발전회사에 손실을 가져오므로 TB를 최적화 하기 위해서는 발전회사의 발전량이 베스팅 계약량 이상으로 계약을 두는 것이 적절하다.

두 번째로 예비력 제약 조건은 전력거래소와의 보조서비스(Ancillary Service) 계약에 의한 조건으로 변경되어야 한다. 도매경쟁 환경에서는 예비력 확보를 전력거래소와 ASP(Ancillary Service Provider)간의 예비력 보조서비스 계약으로 이루어 지기에 여기서도 이를 고려하여 보조서비스의 예비력 계약을 만족하는 제약 조건을 고려하여야 한다.

식(6)의 TB를 최적화 하는 방법은 기존의 Lagrange Relaxation 방법을 이용하거나 Dynamic Programming, 또는 최근 많이 사용되고 있는 인공지능 기법인 유전알고리즘(Genetic Algorithm) 등의 방법(6)으로 가능할 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 논문에서는 도매경쟁 시장의 도입 초기에 위험관리를 위하여 실시되는 베스팅 계약 중 Two Way 베스팅 계약이 발전회사의 수익에 미치는 영향을 간략히 분석하였다. 또한 베스팅 계약 환경에서의 발전회사의 수익 최적화를 위한 방법으로서 변형된 발전기 기동정지 계획을 제안하였다. 기존의 발전기 기동정지 계획의 정칙을 발전회사 수익 최적화의 측면에서 변형하였으며 이에 따른 제약조건의 변화를 새로이 제시하였다.

구체적인 사례연구에 대한 연구결과를 통하여 본 논문에서 제안하는 방법의 타당성에 대한 검증이 필요하며 발전회사와 직거래 수용가 간의 직거래에 대한 영향은 고려하지 않았다. 위의 두가지 분야에 대한 것은 미래의 연구과제로서 지속적으로 수행되어야 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] Slobodan Vucetic, Kevin Tomsovic, and Zoran Obradovic, "Discovering Price-Load Relationships in California's Electricity Market", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 16, No. 2, pp280-286, May 2001
- [2] Thomas W. Gedra, "Optional Forward Contract for Electric Power Markets", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 9, No. 4, pp1766-1773, Nov. 1994
- [3] W. Mielczarski, G. Michalik, "Trading electrical energy in open electricity markets in Australia", PES Winter Meeting, IEEE, Vol. 2, pp1075-1077, Jan. 1999
- [4] W. Mielczarski, G. Michalik, M. Widjaja, "Bidding strategies in electricity markets", PICA(Power Industry Computer Applications) '99. Proceedings of the 21st 1999 IEEE International Conference, pp71-76, Jul 1999
- [5] 한국전력, "A Development of the Pool Price Stabilisation & Risk Management Framework for Korean Electricity Market", 전력산업 연구회 세미나, Nov. 2002
- [6] S.A. Kazarlis, A.G. Bakirtzis and V. Petridis "A Genetic Algorithm Solution to The Unit Commitment Problem" IEEE Trans. Vol .11 1996.