

게임이론을 이용한 발전사업자 설비투자전략

김종혁*, 이정인*, 한석만*, 정구형**, 김발호*
 홍익대학교*, 한국전기연구원**

An application of game theory to a strategy of genco's power planning

Jong-Hyuk Kim*, Seok-Man Han*, Jeong-In Lee*, Bal-Ho Kim*, Koo-Hyung Chung**
 Hong-ik University*, KERI**

Abstract - Recently, the electric power industries around the world are moving from the conventional monopolistic or vertically integrated environments to privatization, deregulation, and competition environments, where each participant is concerned with the maximization of profits in the marketplaces rather than system-wide costs minimization. To reduce difference of viewpoint about power planning between Gen co and regulator, adjustment procedures need. This paper presents that game theory can be applied by systematic decision-making means.

2. 본 론

1. 서 론

수직 통합 체제를 유지해 오던 전력산업에 시장경쟁이 도입되면, 비용 최소화라는 기존의 계통운영방식에 수정이 불가피하게 된다. 즉 경쟁체제로 전환된 전력시장에 참가한 발전사업자나 공급업자는 계통전체의 비용 최소화보다는 자신의 이익을 극대화하는 것에 관심을 집중하게 된다. 그러나 이와 반대로 규제자(정부)는 안정적인 전력수급과 원활한 전력시장 운영을 달성하고자 한다.

이와 같은 규제자와 발전사업자 간의 설비계획에 대한 관점의 차이를 줄이기 위해서, 규제자와 발전사업자 사이의 계획을 비교하여 서로의 계획안을 조정하는 절차가 필요하다. <그림1>은 이러한 설비계획 수립체계를 대략적으로 표현한 그림이다.

2.1 게임이론의 적용

발전사업자가 입찰한 가격과 발전량에 의해 형성된 공급곡선과 계통의 수요가 만드는 수요곡선이 만나는 점에서 현물가격(spot price)이 형성되며, 이 현물가격은 계통의 제약조건을 고려한 상태에서 가장 마지막으로 기동되는 발전사업자가 입찰한 가격으로 결정된다. 이러한 형태의 시장에서 개별 발전사업자는 이익을 극대화시키는 입찰발전량과 가격을 설정하기 위한 의사 결정을 해야 한다. 또한 전력시장에서 자신의 이익을 극대화하기 위해서는 자신의 입찰가격과 발전량 뿐 아니라 상대의 입찰가격과 발전량을 모두 고려해야 하므로 게임이론을 적용하기에 매우 적합한 상황이라고 할 수 있다.

2.1.1 게임이론 적용을 위한 가정

발전사업자의 투자전략 수립에 있어 게임이론을 적용하기 위하여 아래와 같이 몇 가지 가정을 두기로 한다. <그림1>의 설비계획 수립체제로 보던 불필요한 부분이나, 본 논문에서는 발전사업자 부분만 다루기 때문에 이를 가정한다.

- 전력시장에 참여하는 발전사업자들이 입찰한 전력량이 계통전체부하를 공급할 수 있는 충분한 양이 되도록 규제자(Regulator)측에서 피드백하여 전력의 부족 현상이 나타나지 않는다.
- 현물시장에는 부하를 공급하는 둘 이상의 시장참여자가 존재한다.
- 송전손실과 계통혼잡 같은 계통 제약조건은 없다.

2.1.2 불완전정보 상황하의 전력거래

현실에 보다 복잡하도록 전력시장에 참가한 시장참가자의 경쟁적 상황을 고려하여 연속적 게임(continuous game)을 통해 상대의 비용함수에 대한 확률분포만을 파악하고 있는 불완전정보 개념을 적용한 전력거래의 해석을 수행한다.

즉 시장에 참가한 발전사업자의 비용함수에 대한 정보는 공개되지 않는다. 따라서 전력시장을 불완전정보게임으로 구현한다. 경쟁도입을 통한 개별발전사업자가 시장에 참가하게 되면 각자의 이익을 극대로 자신에게 돌아오는 이익을 알 수 없게 된다. 하지만 연속적 게임을 통하여 상대에 비용함수에 대한 확률분포를 알 수 있으므로 먼저 상대비용함수(상대비용함수의 계수)에 대한 추정이 선행되어야 한다. 먼저 상대비용함수의 계수에 대한 확률적 평균을 Bayes rule을 적용해서 상대방의 타입을 결정하게 되면 정형화된 형태의 게임으로 변환할 수 있게 된다. 이렇게 되면 완전정보게임과 마찬가지로 Nash 균형개념을 도입해서 전력거래를 해석할 수 있다. 여기서 타입은 각 발전사업자가 추정하고 있는 타 발전사업자의 비용함수로 정의되며, 상대비용함수의 계수를 추정하여 이차다항식으로 표현한다.

- 발전사업자 j 가 추정하고 있는 발전사업자 i 의 타입

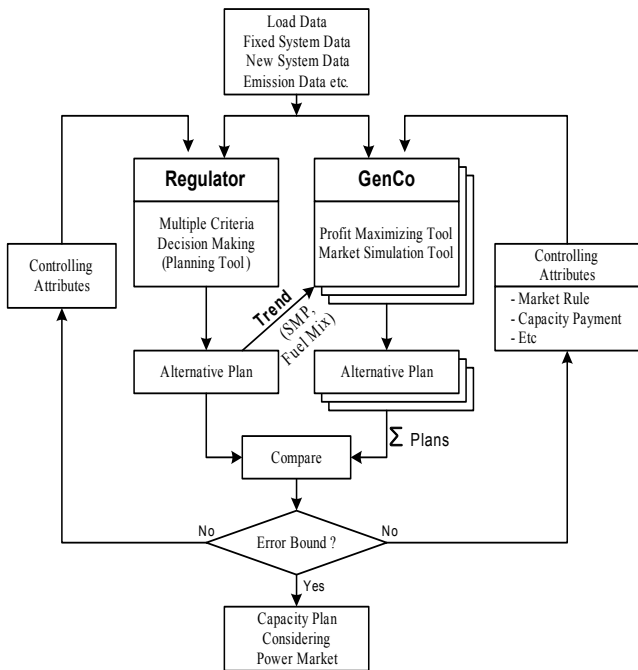
$$T_{j \rightarrow i}^n = C_i^n(P_i) = a_i^n + b_i^n P_i + c_i^n P_i^2$$

$$P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^{\max}$$

여기서 $C_i^n(P_i)$ 는 발전사업자 i 가 P_i 만큼 발전하는 데 소용되는 비용을 나타내며, 이 비용함수는 상대에게는 공개되지 않으며 단지 상대발전사업자의 타입에 대한 확률을 알고 있게 된다. 따라서 Bayes rule을 적용해서 상대 타입에 대한 확률적 평균을 구해서 비용함수를 추정하게 된다. 이렇게 추정된 상대의 비용함수와 자신의 비용함수를 통해서 개별 발전사업자들은 완전정보상황에서와 같은 비용편익분석을 적용가능하다.

- 발전사업자 i 의 시간 t 에서의 이득

$$PF_{i,t} = \rho_t P_{i,t} - C_i P_{i,t}$$



<그림 1> 전력시장을 고려한 설비계획 수립 체계

본 논문에서는 위의 설비계획 수립체계 중 발전사업자(Genco) 부분 이윤극대화를 위한 설비계획 수립방안의 체계를 게임이론을 활용하여 설정해 보고자 한다.

ρ_t : 시간 t 에서의 현물가격
 $P_{i,t}$: 발전사업자 i 에게 시간 t 에 할당된 발전량

2.2 발전사업자 설비투자

<그림 1>의 설비계획 수립체계 중 발전사업자의 설비계획 수립방안의 체계를 게임이론을 적용해서 체계를 잡아보도록 한다.

2.2.1 발전사업자의 설비계획 시 고려사항

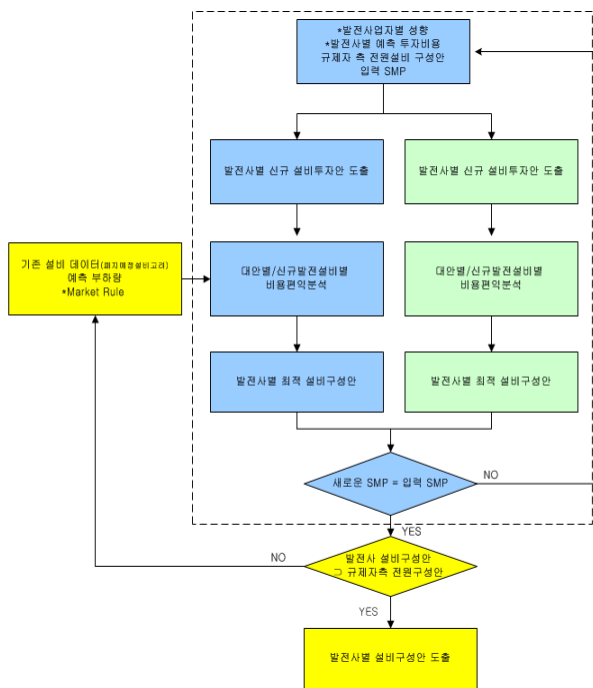
i) 발전사업자는 현재의 공급 설비 기준으로 단기시장에서 수익을 얻게 되는데 발전사업자의 수익은 시장운영규칙에 의해 영향을 받고, 이 과정에서 발전사업자는 경영이득 최대화를 위한 전략적 행동을 하게 되고 이에 따라 입찰 전략과 발전기 운영 전략이 변경하게 되므로 시장운영 모듈에서는 시장규칙을 변경할 수 있는 모듈을 포함해야 한다.

ii) 시장운영 모듈의 결과로 대상기간 동안의 연도별 현금흐름을 추정하고 수익률, 자본회수기간 등과 같은 투자관련 지표들을 산출하는 역할을 한다.

iii) 발전사업자의 전략 모듈은 각 발전사업자의 성향(보수적, 중도적, 급진적)에 따라 입찰/단기/중기/장기 전략들을 변화시켜 각각에 해당되는 행동을 하도록 지시하는 모듈이다. 발전사업자가 다수로 존재한다면 타사업자의 전략적 행동도 자사의 수익률에 영향을 미치기 때문에 이를 분석하기 위한 게임 모듈도 필요하다.

2.2.2 발전사업자의 발전설비계획

발전사업자의 설비투자계획은 많은 요소들(시장규칙, 재무상황, 연료가격, 환경문제 등)을 고려하여 결정되고 있다. 특히 개별 사업자의 장/단기 전략에 따라 설비투자계획이 결정되기 때문에 결과를 예측하기가 매우 어렵다. 발전사업자의 설비투자계획 흐름을 개략적으로 나타내면 <그림2>와 같다.



<그림 2> 발전사업자 설비계획 체계

위의 설비계획 체계를 살펴보면 다음과 같다.

i) 입력변수 : 위 그림에 *한 내용으로 발전사업자별 성향, 발전사별 예측 투자비용, Market rule이다. 발전사업자별 성향이라 함은 개별발전사업자가 추구하는 내부수익률(IRR)을 이야기 하며, 평균 수익률이 12%로 가정한다면, 공격적 발전사업자는 단계별로 11%, 10%, 9%, 8%의 수익률을 보고 투자할 것이고,

반대의 사업자들은 13%, 14%, 15%의 수익률을 보고 투자할 것이다.

또한 발전사별 예측 투자비용을 입력할 때는 자신의 입력데이터는 정확한 값이겠지만, 다른 발전사들의 투자액은 예측값 일 수 밖에 없다.

마지막으로 Market rule의 조정은 발전사업자들의 설비구성안을 규제자 측의 전원구성안과 맞추기 위한 수단으로 단적으로 Capacity payment의 조정을 들 수 있다.

ii) 위의 체계도에서 파란색은 이 프로그램을 사용하는 발전사업자의 전략이고, 녹색의 경우 다른 사업자의 예측 값이 될 것이며, 노란색의 경우 전체적 값의 변화를 가져오게 하는 정책적 요소가 될 것이다.

즉 녹색의 경우 발전사업자들이 많아질수록 늘어날 수 있도록 설계되어야 할 것이다.

iii) SMP의 비교에 있어서 어느 정도의 수렴범위가 주어져야지만, 프로그램 상에서 수렴된 값이 나올 것으로 보인다. 초기의 SMP는 <그림 1>에서 확인할 수 있듯, 규제자 측에서 입력되며, 그 후에는 발전사업자의 설비구성안에 의한 SMP가 입력데이터로 활용되게 된다.

설비구성안의 비교에 있어서는 규제자 측의 전원구성안보다 많은 발전사업자의 설비구성안이 나오면 수렴된 것으로 본다. 그렇지 못한 경우는 Market rule를 변화시켜 수렴하는 값을 만들어낼 수 있는 정책을 살펴볼 수 있다.

3. 결 론

시장경쟁 논리의 적용은 전력시장에 참가한 시장참여자들의 이익극대화라는 명백한 명제를 대두시킨다. 이 시점에서 보다 체계적인 의사결정 수단으로 게임이론이 적용될 수 있음을 보였다.

추후 자신의 비용함수를 공개하지 않을 경쟁적 전력시장에서 상대에 대한 계약적인 정보, 즉 상대방 비용함수의 확률분포에 대한 정보만을 가지고 전력거래의 해석이 가능한 수단으로 활용될 수 있을 것이다. 앞서 살펴본 <그림1>의 모습이 모두 구현된다면, 전력시장을 반영한 전원설비계획이라는 큰 그림이 그려질 것이고, <그림2>의 발전사업자 부분만을 본다면 게임이론을 활용한 전력거래 해석의 수단으로 사용될 것으로 보인다.

또한 경쟁체제로 전환된 전력시장에서, 발전사업자나 공급업자의 이익극대화라는 측면과 규제자(정부)의 안정적인 전력수급과 원활한 전력시장 운영이라는 측면이 차이를 좁힌 전원설비계획을 만드는 데 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 지원에 의하여 한국전력공사 경영연구소(과제번호 : R-200702-210, 과제명 : 전력시장모의시스템 구축) 주관으로 수행된 과제임.

[참 고 문 헌]

- [1] 김발호, 신영균, 강동주, "게임이론을 적용한 전력시장거래해석", 홍익대학교 학술연구논문, 2002
- [2] 전원계획처, 전력경제(전력설비 투자이론), 한국전력공사
- [3] L. G. Mitten, Preference Order Dynamic Programming, Management Science, Vol. 21, No. 1, pp.43-46, 1974
- [4] 김영창, 환경문제를 고려한 다목적 전원개발계획에 관한 연구, 한국과학기술원, 1993
- [5] 한국전력공사, WASP Package 전산모형 운용 안내서
- [6] 김영창, 발전설비 투자이론, IECC 에너지시리즈, 2006저자명,
- [7] Allen J.Wood and F.Wollenberg, "Power Generation, operation, and control", John Wiley & Sons, inc, 1996
- [8] D.Fudenberg and J.Tirole, "Game theory", The MIT Press,1991
- [9] H.S. Bierman and L.Fernandez, "Game Theory with economic application", Addison Wesley, 1998