불완비정보게임의 전력시장 적용 사례연구

장세환, 김진호
부산대학교

The Case Studies on the application of incomplete information game in Deregulated Power Pools

Jang Sehwan, Kim Jinho
Pusan National University

Abstract - This paper presents the result of survey and analysis on a theoretical approach to the application of incomplete information game in deregulated Power Pools. The deregulation power market are modeled by the incomplete information game. The case where participants have incomplete information about the operation costs of other participants are highlighted. Pool participants define transactions to maximize their benefit in non-cooperative situation, the ISO defines transactions among participants by looking for minimum price that satisfies the demand in the Pool. The incomplete information game determines Nash equilibrium satisfied Pool participants and the ISO.

1. 서 론

현재 세계 전력산업들은 전력에 대한 생산 효용가치를 높이기 위해 전통적인 수직적 독점중심의 산업구조에서 벗어나 탈규제화 된 경쟁적 시장으로의 개편을 꾀하고 있다. 전력산업구조가 개편됨에 따라 기존의 전기에 대한 개념을 넘어 이제는 하나의 무역상품으로 전기를 인식하게 되었다. 특히, IT산업의 급격한 성장에 기인하여 각 소비자에 대해 단순히 전기를 공급하는 차원을 넘어 전기와 전력망을 이용한 다양한 서비스의 창출이 가능하게 되었다. 그로 인해 보다 더 광범위하게 전력분야에 대한 다양하고 활발한 연구가 진행되어지고 있다.

경쟁적 전력시장의 도입으로 인해 기존의 시스템 중심의 전력에 대한 연구에서 경제학적인 다양한 이론과 IT기술들이 전력시장을 연구하는데 사용되어지고 있다. 현재 경쟁적 전력시장은 크게 시장참여자와 시장운영자로 구성되어져 있다. 시장참여자들은 그들의 이익을 최대화시키기 위해서 노력한다. 반면에, 시장 운영자는 시장의 수요를 만족시키는 최소한의 시장가격을 형성하여 사회적 부가가치를 향상시키기 위해 노력한다. 시장운영자와 시장참여자들 간의 상충적인 목적을 만족시킬 수 있는 합의점을 찾는 방법들이 전력시장에서 하나의 큰 쟁점이다. 이런 전력시장의 특성을 분석하고, 전력시장을 구성·운영하기 위해, 일반적으로 게임이론이 폭넓게 사용되어지고 있다. -게임이론은 경쟁적인 상황 속에서 게임 참여자들의 목적을 만족시키는 균형해를 찾는 이론이다. 따라서 경쟁적 전력시장은 하나의 전력거래게임로 모델화 시킬 수 있다. 시장참여자들과 시장운영자가 모두 게임 참여자가 되어 서로를 목적을 최대한 만족시키는 균형값을 찾기 위해 게임이론의 형태를 지닌 전력거래게임으로 모델화 되는 것이다.

또한, 게임이론을 통해 전력거래게임으로 모델화 된 전력시장은 게임참여자들의 정보의 공개 유무에 따라 완비정보게임과 불완비정보게임의 2종류 형태의 게임으로 다시 나눌 수 있다. 완비정보게임은 시장참여자가 상대방에 대한 모든 정보를 공유하고 있는 환경 속에서 각자의 목적을 최대한 만족시키기 위해 경쟁을 하는 게임을 의미한다. 반면에, 불완비정보게임은 시장참여자가 다른 시장참여자에 대한 정보를 부분적 또는 완전히 비공개적인 환경 속에서 각자의 목적을 만족시키기 위해 경쟁을 하는 게임을 의미한다. 실제 경쟁적 전력시장은 완비정보게임보다 불완비정보게임에 가깝다고 할 수 있다. 그래서 본 연구에서는 경쟁적 전력시장에서 불완비정보 상황 속에서 이루어지는 전력거래게임에 대한 다양한 이론적인 접근 방법들과 적용 사례를 분석, 조사하고자 한다.

경쟁적 전력시장은 불완비정보 전력거래게임으로 모델화되어질 수 있다. 그래서 본 연구는 시장 참여자들이 다른 시장 참여자들의 시장공급함수, 입찰전략 등에 대한 불확실한 정보를 지닌 불완비정보 전력거래게임에 대한 이론적인 접근방법과 적용 사례를 중점적으로 조사를 하였다. 또한, 경쟁적 전력시장을 해석하고 모델화함에 있어서, 송전망제약(Network constraints)을 고려하지 않고 단순히 발전사업자(GENCO)와 시장운영자(Independent System Operator) 양자 간의 목적만을 중심으로 하는 불완비정보 전력거래게임과 송전망제약을 고려한 불완비정보 전력거래게임의 2가지 형태로 나누어 조사하였다.

본 연구는 새로운 연구에 앞서 불완비정보하의 전력시장에 대한 기존의 다양한 연구들을 조사하고 분석하여 보다 창의적이고 새로운 연구를 위한 포석으로서의 의미를 담고 있다. 이제 본론에서는 불완비정보게임에 대한 보다 기본적인 개념의 이해와 송전망제약의 고려 유무에 따라 분류된 다양한 논문을 통해 경쟁적 전력시장을 불완비정보 전력거래게임으로 모델화 시키는 다양한 이론적인 접근방법과 적용사례를 조사한 결과를 살펴볼 수 있을 것이다.

2. 본 론

2.1 불완비정보게임.

게임이론에서 불완비정보게임은 적어도 한 경기자가 상대경기자의 유형을 모르는 상태에서 자신의 대안을 선택하는 게임을 말한다. 여기서 경기자의 유형이란 경기자가 가지고 있는 성격 혹은 특성을 의미한다.[1] 전력시장에서 유형은 곧 정보를 나타낸다. 일반적으로 정보는 구체적으로 시장참여자의 비용함수, 입찰전략 등을 의미한다. 불완비정보게임의 해를 구하기 위해서는 2가지 방법이 흔히 사용된다. 첫째로, 경기자의 불완비정보에 대한 사전적 믿음을 확률분포로 나타내어 해를 구하는 베이즈균형이 있다. 경기자의 유형과 그 유형에 대한 믿음이 추가된 내쉬균형을 베이즈 균형 혹은 베이즈내쉬균형이라고 한다. 둘째로, 불완비정보게임은 제 3의 경기자(nature)를 도입하여 불완전정보게임으로 전환이 가능하다. 전환된 불완전정보게임을 해석함으로써 해를 구할 수 있는 것이다. 이 중 일반적으로 베이즈균형이 가장 폭 넓게 사용되지만, 많은 연구를 통해서 새로운 방법이 제시되기도 한다.

2.2. 불완비정보게임의 전력시장 적용 사례연구

게임이론을 통한 경쟁적 전력시장을 불완비정보게임으로 해석하고 모델화함에 있어서, 기존의 연구들을 크게 두 가지로 나누어 생각할 수 있다. 송전망제약을 고려하지 않고 발전사업자와 시장운영자간의 목적함수만을 중심으로 해석하는 사례들과 송전망제약을 고려하여 보다 더 현실적이고 구체적인 해석을 하는 사례들로 분류하였다.

2.2.1. 송전망제약을 고려하지 않은 불완비정보게임

전력시장을 해석함에 있어서, 송전망제약을 고려하지 않는 불완비정보게임의 적용사례를 알아보자. [2]에서는 전력시장에서 전력가격책정을 위해 불완비정보게임으로 모델링된 게임을 불완전정보게임으로 변환시킴으로서 게임을 해석하고 있다. 게임이론의 기본적 이론인 베이즈균형과 확률분포를 이용하여 [3~8]는 불완비게임의 해석에 접근하고 있다. [10]에서는 제안된 Beyesian Network을 모델을 이용하여 과거 정보를 바탕으로 불완비정보인 상대방의 유형을 해석하고 있다. 아래의 표1은 각 연구의 좀 더 세부적인 내용을 담고 있다.

<표 1> 송전제약을 고려하지 않은 불완비정보게임 사례조사

논문	내 용
[2]	• 전력시장에서 전력가격책정을 위한 불완비정보게임의 적용 • 불완비정보게임을 불완전정보게임으로 변형을 통해 게임 해석
[3]	• 추정된 비용함수와 추정된 확률분포에 의해 불완비정보 과점시장에서 발전회사의 이익을 최대화 시키는 최적의 생산량 제시
[4]	• Network Security Behavior는 n-person zero-sum game으로 모델화 • 해커와 디펜드 쌍방의 행동의 따른 안전도 연구
[5]	• 정부와 개인간의 의사소통과정을 불완비정보게임으로 모델화
[6]	• 불완비 정적 협력게임을 사용한 총ER(emission right)을 도출 및 분석 • 경매모델을 통한 시장참여자사이에 고질의 전력과 초기 ER의 최적의 분포를 위한 베이즈내쉬균형제안
[7]	• 인터넷서버 제공자와 사용자간의 hierarchical Network game을 완비정보, 부분불완비정보, 불완비정보의 관점에서 분석 • 전략적 가격책정의 이론적인 뼈대 구축
[8]	• GMCR의 불완비선호정보에 대한 연구 확대 • 일반화된 Robustness해석법은 정상상태를 위한 최소 조건 지정을 제안 • Robustness해석법의 수력발전과 환경간의 문제 적용
[9]	• 공급자의 입찰전략의 self-adapting 과정 모델화 • 불완비정보의 동적 게임이론과 posterior probability 적용한 모델해석

[10]	• Beyesian Network을 이용한 다른 사업자의 유형 모델화 • Beyesian Network의 history data를 통한 belief의 업데이트

2.2.2. 송전망제약을 고려한 불완비정보게임

이제 송전망제약을 고려한 전력시장모델에서 불완비정보게임의 적용사례를 알아보자. [11~15]에서는 기본적으로 불완비게임의 해석은 게임이론의 베이즈균형 방법으로 접근하고 있다. 또한, 송전망제약을 지닌 전력시장 모델을 해석하기 위해서 Lagrangian multipliers 와 Karush-Kuhn-Tucker condition을 이용하여 문제의 해를 도출하고 있다. 각 연구들에 기본적으로 바탕이 되는 이론적 배경은 비슷하지만, 전력시장을 바라보는 관점과 적용 시스템의 차이로 다양한 결과를 보여준다. 아래의 표1은 각 연구의 좀 더 세부적인 내용을 담고 있다. 현재 송전망 제약을 고려한 연구가 활발히 진행되기 시작하는 단계라 할 수 있을 것이다. 점차적으로 전력계통 전 시스템을 고려한 연구들이 이루어 질 것이다..

<표 2> 송전제약을 고려한 불완비정보게임 사례조사

논문	내 용
[11]	• 기술적인 제약조건하에 불완비정보상태의 발전회사의 기대 꾸르노 균형상태의 발전출력을 얻기 위한 해법과 모델화 • Kuhn-Tucker vector 최적이론을 이용한 기대꾸르노균형상태 분석
[12]	• 일부송전제약을 고려한 전략적 게임에서 불완비/비대칭적 정보를 표현 • 베이즈게임균형을 이용한 IWM 모델 확장 • IEEE 57-bus system 적용
[13]	• 전력 공급자의 전략적 행위와 시장 균형에 대한 네트워크제약의 영향 분석
[14]	• 불완비정보상태의 송전제약을 고려한 발전회사들의 경쟁을 분석하는 모델 제시 • 제안된 이중적 문제를 Karush-Kuhn-Tucker 최적이론을 이용하여 해석 • 제안된 방법을 8-bus system에 적용
[15]	• 3-bus 송전제약을 고려한 전력시장에서 TR(Transmission Right)을 지닌 발전회사의 입찰전력을 Lagrangian 최적해 이론을 사용하여 해석 • PTDF수치에 따른 영향 분석

3. 결 론

경쟁적 전력시장은 불완비정보 전력거래게임으로 모델화되어질 수 있다. 그래서 본 연구는 시장 참여자들이 다른 시장 참여자들에 대해 불확실한 정보를 지닌 불완비정보 전력거래게임에 대한 이론적인 접근방법과 적용사례를 중점적으로 조사를 하였다. 또한, 경쟁적 전력시장을 해석하고 모델화함에 있어서, 송전망제약(Network constraints)을 고려하지 않고 발전사업자(GENCO)와 시장운영자(Independent System Operator) 간의 목적함수만을 중심으로 하는 불완비정보 전력거래게임과 송전망제약을 고려한 불완비정보 전력거래게임의 2가지 형태로 나누어 조사하였다. 본 연구는 새로운 연구에 앞서 불완비정보하의 전력시장에 대한 기존의 다양한 연구들을 조사, 분석하여 보다 창의적이고 새로운 연구를 위한 포석으로서의 의미를 담고 있다.

[참 고 문 헌]

[1] 한동근, "게임이론", 도서, 1997
[2] R. W. Ferrero, "Application of games with Incomplete information for pricing electricity in deregulated power pool", IEEE transaction on Power systems, Vol. 13, No. 1, February 1998
[3] F. S. Wen, "Oligopoly Electricity market Production under Incomplete information", IEEE Power Engineering Review, April 2001
[4] Xia Zheng You, "A Kind of Network security behavior model based on game theory", IEEE, 2003
[5] Kiyushi Kobayashi, "Providing Policy Information and Citizen Learning", IEEE, 2003
[6] Jin Guanghou, "Application of Game Theory in Power Quality Market", IEEE conference on Power System technology, November 2004
[7] Hongxia Shen, "Network Game with a Probabilistic Description of User Types", IEEE conference on Decision & Control, December 2004
[8] Hiroyuki Sakakibara, "The Application of Robustness Analysis to the conflict with Incomplete Information", IEEE Transaction on System, Man, Cybernetics, Vol. 32, No. 1, February 2002
[9] Zhigang Hao, "A model of self-adapting Process of suppliers' Bidding strategies", IEEE, 2002
[10] Xiao-Feng Wang, "Using Bayesian networks to model the belief in the opponent in static game with incomplete information", IEEE Conference on Machine Learning & Cybernetics, August 2004
[11] Y. B. Zhang, "Constrained competitive cournot equilibrium with Incomplete Information in Electricity Market", IEEE, 2002
[12] Pedro F. Correia, "Game with Incomplete and Asymmetric Information in Poolco Markets", IEEE Transaction on Power systems, Vol. 20, No. 1, February 2005
[13] Yongping Zhang, "Analysis of network constraints' effects on strategic behavior in an incomplete information environment", IEEE, 2002
[14] Tao Li, "Strategic Bidding of Transmission-Constrained GENCOs with Incomplete Information", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 20, No. 1, February 2005
[15] Youfei Liu, "Transmission Rights and Generator's Strategic Bidding in Electricity Markets", IEEE, 2004