

전력시장 하에 시장계약의 시장지배력에 관한 영향 연구

유태현, 김문경, 천이경, 류재근, 박종근
서울대학교

The effect of market-contracts on market power in electricity market model

Tae-Hyun Yoo, Mun-Kyeom Kim, Yi-Kyung Chyun, Jae-Kun Lyu, Jong-Keun Park
Seoul National University

Abstract - 세계 전력 시장의 흐름은 기존의 수직 통합적 구조를 벗어나 발전, 송전, 배전, 판매가 나누어진 형태로 변화하고 있다. 이에 따라 전력 거래에 있어서도 시장지배력에 대한 문제가 대두되고 있다. 전력 시장에서는 송전 제약으로 인하여 자유로운 거래가 이루어 지지 않고, 따라서 통상적으로 시장지배력을 완화시킬 수 있는 수단으로 여겨졌던 시장 계약이 되려 시장지배력을 강화시킬 수도 있게 되었다. 이에 대한 2모션에서의 해석적 증명은 이미 이루어졌으며 이 논문에서는 일반화를 위해 3모션에서의 영향을 EMCAS라는 틀을 이용하여 시뮬레이션을 하여 접근한다. 송전 제약 상황에서 3모션에서의 강제적 선도계약 참여와 발전회사의 선별적 선도계약 참여에 대하여 시뮬레이션을 하고 있다. 발전기 구성 및 계통 구성, 그리고 전략의 수립까지의 연구가 진행되어 있다.

1. 서 론

세계 전력 시장은 발전, 송전, 배전, 판매가 모두 합쳐진 독점적 형태에서 시장 경쟁을 도입하기 위해 위의 4가지를 나누어 세분화 하고 있는 추세이다. 변화의 과정 속에서 전력 시장에도 기존의 거래 방식에서 벗어나 전력도 일반 상품처럼 선도, 선물 계약을 통해 거래되는 형태를 나타내고 있다. 발전 회사들이 전력 시장에 입찰을 하고 거래하는 구조가 형성된 것이다. 이러한 구조 속에서 기존의 상품들에서 나타난 독, 과점기업들의 시장지배력 행사 문제는 전력 부분에도 역시 나타나고 있다. 일반적으로 시장 계약은 이러한 시장지배력을 완화시킬 수 있는 수단으로 널리 알려져 있었고, 실제 다른 재원들에 있어서 그 효과가 증명이 되었다. 그러나 전력 부분에서는 송전 제약이라는 특수한 상황으로 인하여 시장지배력이 행사된다. 통상적인 이해로는 전력 시장 부분에서도 시장 계약을 통하여 시장지배력을 완화시킬 수 있다고 믿어왔다. 하지만, 송전 제약이라는 특수한 상황에서 발전 회사가 전략을 조정하여 시장 계약을 함으로써 되려 시장지배력을 강화시킬 수도 있음이 해석적으로 증명되었다. 이런 해석적인 방법은 2모션이라는 특수한 상황을 가정하고 시장 계약의 영향을 증명한 것이다. 특수한 상황을 좀더 일반화시키기 위해서는 3모션, 그리고 그 이상의 모션에서의 해석적 증명이 필요할 것이다. 3모션 이상의 해석적인 증명을 수행하기에 앞서 본 논문에서는 3모션에서의 시장 계약, 발전기 변수들, 모션 구성을 바탕으로 하여 상황을 가정하고 이를 EMCAS라는 전력 시장 운영프로그램을 이용하여 시뮬레이션 해봄으로써 송전계약에서의 시장계약의 시장지배력에 대한 영향을 살펴보고자 한다.

2. 본 론

2.1 발전 회사의 전략적 행위

일반 시장과 다르게 전력 시장과 같은 경우에는 몇몇 발전 회사가 시장을 독, 과점하고 있고 이에 따라 시장지배력을 행사하기 용이한 구조로 되어 있다. 이러한 시장 지배력은 경쟁적 전력 시장의 가격 수준으로부터 변화시켜서 이득을 취할 수 있는 능력으로 정의되고 있다. 따라서 여러 국가에서 시장지배력 행사를 막는 방법으로 규제 기관의 적극적인 개입을 통하여 제한을 하려 하고 있다. 그런데 일반 시장에 존재했던 선도 계약을 전력 시장에 도입함으로써, 시장 지배력을 행사할 수 있는 부분에 있어서 규제를 통하지 않고도 선도 계약을 통해 완화될 수 있다는 의견이 나오게 되고 이 것이 통상적으로 인정 받게 되었다. 그래서 많은 전력 시장에서 이를 이용하고 있다. 하지만, "송전계약이 있는 전력시장에서 시장계약의 시장지배력에 대한 영향 연구" 논문에서 발전회사의 전략적 행위에 의해서 송전 제약이 유발 됨으로써 되려 선도 계약이 시장 지배력을 강화시킬 수도 있음이 해석적으로 증명되었다.

핵심은 다음과 같이 정리할 수 있다. 2모션 상황에서 전력 유입 지역의 발전 회사에 대한 선도 계약은 발전 회사의 낮은 입찰 전략을 유도하고 혼잡 발생 가능성을 줄임으로써 해당 회사의 기대 이윤을 감소하

고 사회 후생을 증진 시키는 결과를 가지고 오게 된다. 반대로 전력 유출 지역의 발전 회사에 대한 선도 계약은 혼잡 발생 가능성을 높임으로써 유출 지역 발전 회사에 대한 기대 이윤을 증진 시키는 효과를 가지고 오게 된다. 이와 같은 이론은 2모션이라는 특수한 상황에서 증명된 것이고 이를 3모션으로 확장하여 일반화된 증명이 필요하게 되었다. 본 논문에서는 3모션으로 확장하는 데에 있어서 필요한 조건들을 설정하는 데에 주안점을 두고 있다.

2.1.1 3모션으로의 확장에서의 과정

2모션에서 해석적으로 증명한 논문에서의 상황을 3모션으로 옮겨 시뮬레이션 적으로 보이기 위하여 몇 가지 기준을 필요로 한다. 우선, 3모션의 해석적 증명은 아직 이루어지지 않은 상황이다. 따라서, 2모션에서 가정했던 상황을 3모션에 적합하도록 바꿀 필요가 있다. 2모션에서는 발전 회사의 전략을 수식화하여 이를 바탕으로 두 회사의 전략을 각각 가로축과 세로축으로 두어 내쉬 균형(Nash equilibrium)을 찾아냄으로써 최적 전략을 도출 하였다. 만약 교점이 없는 경우(불연속 구간)에는 확률적으로 최적 균형을 찾아내는 혼합 내쉬 균형을 이용하여 문제를 증명해 내었다. 3모션에서도 이와 같은 방법을 사용하여 모델링을 할 필요가 있다. 세부적인 내용은 다음과 같다.

첫 째로, 계통 내에서 발전 회사의 전략적 행위가 작용하지 않을 때 각 모션에 송전 혼잡이 걸리지 않는 상황을 만들어야 한다. 기초가 되는 2모션 관련 논문에서 발전 회사가 전략적으로 송전 혼잡을 일으켰을 때 선도 계약이 시장 지배력에 어떠한 영향을 미치게 되는지에 대하여 논하였기 때문이다.

둘 째로, 발전 회사가 전략을 이용하여 day-ahead 시장에 입찰 할 때, 그 전략으로 인하여 송전 혼잡을 일으킬 수 있도록 시뮬레이션을 조정하여야 한다. 두 개의 발전 회사가 각각의 전략을 가지고 자신의 이윤을 극대화 하기 위해 전략을 수행하였을 때 송전 혼잡이 걸리게 하여야 한다.

셋 째로 두 발전 회사가 서로의 전략에 대하여 영향을 받게 하여야 한다. 2모션에서 바탕으로 한 것은 두 발전 회사가 서로 전략을 가지고 서로의 전략을 확인하며 자신의 이윤을 최대화 하는 방향으로 시장에 참여할 때를 고려하였다. 따라서 3모션에서도 서로의 전략을 인지하고 영향을 받을 수 있게끔 설계할 필요가 있다.

이와 같은 기준을 바탕으로 계통 조건들과 발전기의 변수들, 소비자들의 조건들, 그리고 발전 회사들의 전략을 가정하여 시뮬레이션에 도입하여 연구를 진행하였다.

2.2 3모션 계통에서의 모델링의 실제

우선, 위와 같은 기준들을 토대로 3모션에서 다음과 같이 적용하였다. 그림 1 과 같은 3모션에서 bus 1, bus 2 에 발전기를 두고 두 회사(Genco A, Genco B)가 bus 2, bus 3 에 있는 load에 전력을 공급하게 하였다. 시뮬레이션에서 모델링하는 발전기와 부하는 2모션에서의 이론을 적용할 수 있도록 구성하였다. 즉, 전력의 유출 지역의 발전회사는 3모션에서 bus 1 (발전기만 있는 버스)의 발전기를 소유하게 하였고, 전력의 유입 지역의 발전회사는 bus 2 (발전기와 부하가 같이 있는 버스)의 발전기를 소유하게 하였다. 그리고 각 모션별 impedance는 모두 같게 정하였다. 그리고 시뮬레이션에서 사용하는 3모션 계통은 모두 같은 zone 에 있는 것으로 가정하였다. 각각의 발전 회사가 가진 발전기는 석탄 발전기(base 발전기) 1대씩으로 배정하였으며, 각각의 발전기의 heat rate는 해당 발전기의 용량 한계까지 같은 비율을 가지도록 정하였다. 발전기 고정비에 대한 수치는 표 1에 수록하여 두었다. 외부 지역에서 3모션 내로 유입되는 전력은 없으며, Genco A 와 Genco B 가 생산한 전력만이 load에 공급될 수 있도록 설정하였다. 각 발전 회사들의 발전기에 공급 되는 연료도 30\$/ton 으로 같게 하였다. 이는 서로 다른 가격을 가진 연료들을 공급받게 되면, 송전 제약 상황에서의 시장 지배력 행사가 발전 회사의 전략에 의하여 근거 되었는지를 판단하는 데에 있

어서 불분명한 점이 존재할 수 있어서 이다.

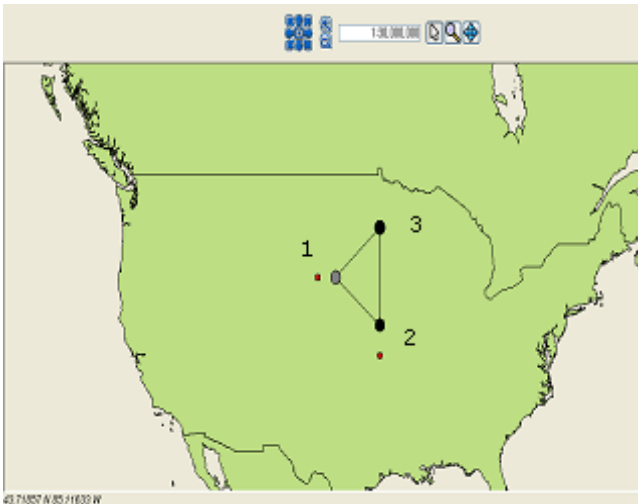
송전 회사를 만들어 두기는 하였지만, 문제의 간편화를 위해 모션별 송전 요금은 0\$로 책정하여 무시하였다. 배전 회사도 만들어 두기는 하였지만, 문제의 간편화를 위해 배전 요금은 0\$로 책정하여 무시하였다. 소비자들의 성향은 기본적으로 가격에 대하여 탄력적으로 정하였다. 수요 탄력성 계수는 Load 2 Load 3과 같은 경우, -0.1로 정하였다. 이는 각 Load의 수요량에 대하여 같은 기울기를 가진 수요 곡선을 만들기 위하여 수식적으로 계산하여 구한 값이다. 또한 가격 탄력적으로 반응하는 수요곡선을 상정하였다. Load2의 수요곡선의 reference price는 15\$/MWh 이고 Load 3의 reference price 도 15\$/MWh 이다. EMCAS에서는 가격에 대한 수요량을 다음과 같은 식을 이용하여 구한다.

$$L = aP^{\epsilon} \quad (1)$$

L 은 수요량이며, P는 가격, ϵ 은 수요 탄력성, a는 reference price 와 그에 해당하는 수요량과의 관계를 이용한 상수 값이다.

<표 1> 발전기 파라미터

	Generator 1	Generator 2
fixed o&m cost(\$/kW-m)	2.1	1.5
variable o&m cost(\$/MWh)	1.75	1.25
Heat rate (Btu/kWh)	1000	1000
Capacity(MW)	500	300



<그림 1> EMCAS를 이용한 3모션 계통 시뮬레이션

2.2.1 3모션에서의 발전사들의 전략 수립 과정

기존의 바탕이 되는 2모션 관련 논문에서는 발전 회사들끼리 서로의 전략에 대하여 자신의 이윤을 최대화 시키는 방법인 내쉬 균형을 통하여 가격이 결정된다고 하였다. 이를 토대로 3모션에서 시뮬레이션을 적용할 때에는 다음과 같은 과정으로 각 회사의 전략을 수립할 필요가 있다. 발전 회사들은 각각 전략을 가지고 있으며, 서로의 전략에 대하여 알고 있어야 한다.

EMCAS 시뮬레이션 툴을 이용하여 <그림 2> 와 같이 각 발전 회사 별로 입찰 가격을 조정하고 현 상황에 가장 이윤을 많이 낼 수 있는 전략을 수립할 수 있도록 조정할 수 있다.

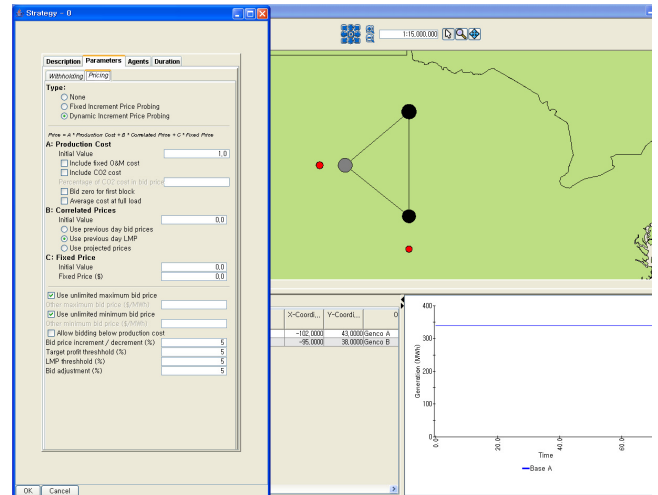
EMCAS에서는 가격 책정 전략에 있어서 다음과 같은 식을 이용한다.

$$\text{Bid Price} = A * (\text{Production cost}) + B * (\text{Correlated Price}) + C * (\text{Specified price}) \quad (2)$$

A, B, C는 모두 상수이다. Production cost 는 각 발전기의 발전 비용의 미하며, Correlated Price 는 그 외에 관련 되어 있는 가격을 나타내는 지수로 전일의 입찰 가격이나 LMP 등을 고려할 수 있다. 마지막으로 specified price 같은 경우, 임의로 사용자가 집어넣을 수 있는 값이다. 이를 조정하여 3모션에 적합한 전략을 수립하여 보았다. 우선 A 를 1로 정하여 발전 비용에 대한 회수를 할 수 있도록 정하였다. B의 값도 1로 정하고 Correlated price 를 전일 bid price 로 설정한다. Specified price

를 정하는데 있어서 C를 일단 0으로 설정하였다. 추후의 연구에 있어서 이 값을 자신의 이윤을 좀 더 극대화 시킬 수 있는 방안으로 사용할 수 있을 것이다.

이러한 가격 책정과 더불어 가격 책정 방법을 설정해줄 필요가 있다. 상대 회사의 전략을 알고 자신의 입찰 가격을 조정할 수 있는 dynamic increment pricing probing 을 사용한다. 이를 이용하여 입찰 가격을 올리고 내릴 때의 비율, 그리고 후에 어떻게 입찰을 조정할지 등을 정하여야 한다. 이 또한 추후의 연구를 통하여 정할 것이다.



<그림 2> 각 발전 회사의 전략 수립

3. 결 론

기존의 2모션에서 이루어졌던 송전 제약 상황에서 발전회사의 시장지배력에 대한 전략적 행위에 대한 해석적 증명을 3모션에서도 시뮬레이션으로 증명하여 일반화된 증명을 이루는 데에 초석이 될 수 있도록 시장 시뮬레이션 기본 변수 및 계통을 모델링 하여 보았다. 본문에서는 2모션에서 3모션으로 확장하여 기존의 이론을 증명해 내기 위해서 필요한 전방적인 변환 단계를 정해 놓았다. 잠정적으로 3모션을 설계하고 두 발전 회사에 대한 과점적 상황에 대한 알맞은 설정을 이루어 놓았다. 또한, 발전기 관련 변수들과, 2개의 load 와 2개의 generator를 가진 모션을 구성하였다. 그리고 수요 측에 있어서 수요자가 가격에 대하여 어떻게 반응하게 될지를 나타내는 수요 곡선에 대한 모델링이 일부 이루어진 상황이다. 각 발전 회사들에 대한 전략을 전일의 입찰 가격과 상대 회사의 입찰을 바탕으로 정할 수 있도록 구성해 보았다. 선도 계약에 관련된 부분은 아직 확실히 설계하지 않은 상태이고 추후에 추가적으로 설계하게 될 것이다. 이를 바탕으로 실제 시뮬레이션을 실행하여 발전회사가 선도 계약에 대하여 송전 혼잡을 발생시켜 시장 지배력을 강화시킬 수 있는지에 대하여 알아볼 것이다. 추후의 연구 방향은 부하 지역의 수요 곡선에 대하여 발전 회사가 어떻게 수요를 조정할 지에 대한 내용과 송전 혼잡이 발생하게 될 때, LMP 가격을 올려서 시장 지배력을 측정하는 데에 있어서 과연 이 상황이 발전 회사의 전략에 의한 것인지에 대하여 증명해내는 방식으로 진행할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 남영우, "송전계약이 있는 전력시장에서 시장계약의 시장지배력에 대한 영향 연구", 2006
- [2] A. K. David and F. S. Wen, "Market power in electricity supply", IEEE Trans. Energy Convers., vol. 16, no. 4, pp. 352-360, 2001.
- [3] A. Mas-Collel, A. Whinston, and J. Green, Microeconomic theory. New York: Oxford University Press, 1995.
- [4] S. Borenstein, J. Bushnell, and S. Stoft, "The competitive effects of transmission capacity in a deregulated electricity industry," Rand J. Econ., vol. 31, no. 2, pp. 294-325, 2000