

전력시장에서 시장지배력 억제를 위한 장기계약의
효과분석에 있어서 에이전트 기반 모델 접근 방법의 고찰

이재걸*, 박민혁*, 윤용범*, 김선교**, 윤용태**

한전 전력연구원*, 서울대학교**

Comparison of game theoretic approach and agent-based modeling approach
in quantifying the effect of long term contract offered to pivotal suppliers

(Lee Jae-gul*,

Korea Electric Power Research Institute (KEPRI)*, Seoul National University**

Abstract - This paper represent the algorithm for analysis effect of the long-term contract to reduce market power of pivotal supplier using Agent Based model.

1. 서 론

시장에서 대규모 발전사업자가 시장지배력을 행사할 수 있는 것은 시장의 제도적인 결함에서 유인되는 문제이며, 이러한 시장지배력을 억제시키기 위해서는 수요와 공급의 균형을 확실하게 유지하는 것이며 이는 시장 메커니즘의 개선을 통해서 즉, 시장 제도의 개선을 통해서 이루어질 수 있다.

본 논문에서는 대규모 발전사업자의 시장지배력을 억제시키기 위해서 장기계약을 통한 전력구매를 시행하는 경우 발전사업자들에게서 어떠한 행태가 나타날 것인지를 모의해보기 위하여 에이전트 기반 모형을 사용하였으며 이에 대한 비교를 위하여 게임이론을 이용한 분석도 함께 수행하였다.

2. 본 문

2.1. 시장지배력 (Market Power)

일반적인 시장지배력의 정의는 시장참여자가 인위적으로 시장가격을 조정하여 과도한 이익을 취할 수 있도록 하는 능력을 의미하고 있다. 시장지배력 행사의 가능성을 분석하는 전형적인 지수로서는 Herfindahl-Hirschman Index(HHI)가 있으나 다른 제하와 다른 특징 즉, 저장이 불가능하여 실시간으로 수급평형을 유지해야 하는 특성에 따라서 발생하는 가격스파이크도 있기 때문에 이에 대한 구분이 필요하기 때문에 다소의 문제를 가지고 있다.

이에 전기의 특성을 고려한 시장지배력 분석방법이 연구되고 있는데 이 연구들의 특징은 시장의 잉여전력량보다 큰 발전설비를 가지고 있는 참여자들이 용량입찰을 철회함으로써 공급부족을 발생시켜 가격을 상승시키는 경우에 대한 고려가 필요하다라는 것이다.

시장지배력은 가격을 조정시켜 경쟁적인 수준에서 벗어나게 하여 이익을 취할 수 있는 능력으로써 정의된다. 시장지배력 행사의 가능성을 분석하는 전통적인 방법에는 공급자의 집중정도를 측정하는 Herfindahl-Hirschman Index (HHI)가 있다. 그러나 전력시장의 성과를 예측하고자 할 때, 공급자 기반의 분석은 많은 단점을 지니고 있다.[1-3] 왜냐하면 시장 지배력의 행사는 전력시장에서 가격 탄력성이 낮은 수요의 특징, 전기를 저장할 수 있는 실질적인 장치의 부재, 지속적으로 거의 실시간에 가깝게 수요와 공급의 균형을 유지와 같은 전기의 특징 때문에 이루어 질 수도 있기 때문이다

Bushnell et al.은 전술된 특성을 반영할 수 있는 지표로서 Pivotal Supplier Index (PSI)를 만들었다.[4] 이것은

공급자가 시장지배력을 행사할 수 있는 설비용량을 가진 주요공급자임을 판단하는 이진 지표이다.(공급자가 주요 공급자가 되면 1이고 그렇지 않다면 0이 된다.) PSI를 이용하여서 Wisconsin/Upper Michigan (WUMS) 지역에서 가장 큰 규모의 공급자가 1년 중 55%의 기간 동안 주요하게 되고 시장가격을 경쟁적인 수준에서 높임으로써 시장 지배력을 일상적으로 행사하는 것을 확인할 수 있었다. PSI와 유사하게 미국의 연방 에너지 규제 기구 (FERC)는 Supply Margin Assessment (SMA)를 2001년에 채택했는데 SMA 역시 시장 지배력의 동적 특성을 반영하고 있다.

2.2. 시장지배력 완화방안

시장 지배력 완화 수단에는 규제적 해법, 구조적 해법, 시장 규칙 해법이 있는데[5] 규제적 해법은 가격 상한(price cap)과 대규모 공급자가 선도계약을 통하여 용량의 일부분을 판매하도록 하는 장기 계약을 의무화하여 규제자가 직접 시장가격을 안정화 시키는 방법이며, 구조적 해법은 대규모 공급자가 시장지배력을 갖지 못하도록 신규사업자들을 진입시키는 방안인데 이를 위해서 신규 사업자에 대한 진입장벽의 감소가 있을 수 있으며 또한 지역적인 시장 지배력 행사를 제거하기 위한 송전선로의 신/중설 그리고 시장가격에 민감하게 반응하는 고객을 유인하기 위한 수요 관리 프로그램의 운영 등이 포함된다. 시장 규칙 해법은 시장규칙과 공급자의 물리적인 생산이나 금융적 결정에 민감한 행동 규칙을 수정함으로써 시장가격에 간접적으로 영향을 주는 방법을 의미한다.

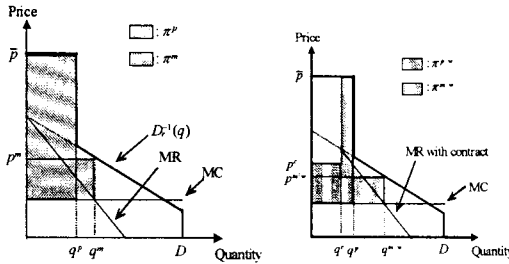
본 논문에서는 위의 세 가지 시장지배력 완화방안 중에 규제적 차원의 의무적인 장기계약에 의한 시장지배력 완화에 대한 영향을 분석할 것이다.

이러한 규제적 측면에서의 접근은 과거에 몇 가지 연구를 통하여 이루어 졌는데 Allaz and Vila[6]는 선도시장의 존재가 상품에 대한 시장의 전체적인 경쟁력을 향상시킨다는 것을 증명하였으며 Cheng[7]는 England & Wales 시장에서 장기 계약의 결과를 설명하였다. 그리고 Wolak[8]는 Australia 전기 시장에서 발전자의 시장 지배력을 감소시키기 위해 헛것 계약이 어떻게 사용되는지 보였으며 Borenstein는 California 전력시장에서 이루어진 장기 계약의 중요한 역할에 대하여 논하였다.

2.3. 장기구매계약의 효과분석을 위한 모델링

에이전트 기반 모델은 대규모의 데이터를 포함한 복잡한 시장 시나리오 하에서의 공급자 행동 분석을 위해 개발되었는데, 에이전트 기반 모델은 시장참여자들의 의사결정과 상호작용을 단일 의사 결정 단위의 반복을 사용하여서 시뮬레이션이 가능하기 때문이다. 의사결정단위는 불완전 정보에 근거한 제한적인 내부 의사 결정 규칙을 가지고 이러한 의사결정 규칙으로부터 합리성을 산출하도록 설계되어 있다.

에이전트 기반 모델을 이용한 접근은 영국 전기 시장의 경매 설계에서 균등한 것부터 차별적인 가격결정을 전환 시의 결과를 설명하는데 적용되었다.[9],[10] 이 모형에서 에이전트의 학습능력의 특징이 효과적으로 설명되었는데 이 모형은 추후에 균형시장에서의 쌍무 계약 사이에서 생기는 상호작용을 통합시키기 위해 사용되면서 더 많은 발전을 이루었다.[11] 우세한 하나의 공급자가 주요하게 되고, 비주류 공급자가 될 때의 시장 상황을 고려하면 각 비주류의 공급자들은 가격에 영향을 미칠 정도로 크지 않지만, 기업간 통합이 이루어진다면 충분히 주요한 공급자로서의 영향력을 발휘할 수 있다고 하면 이러한 상황에서 용량 철회를 하거나 가격상한선까지 입찰하는 방법으로 가격을 상승시킬 것이며, 이러한 상황을 모델링하기 위해서 아래와 같이 시장을 모델링하였다.



[그림 1] 시장의 모델링 개념

수요 D는 기지수이며, 완전 비탄력적이라고 가정하는데 수요 그 자체는 비탄력적일지라도, 시장 모형의 주요 공급자의 관점에서 예측되는 수요는 가격에 민감한 잔여 수요이다. 왜냐하면 우리는 경쟁적인 비주류 공급자를 존재를 인정하였기 때문이다. 주요 공급자에 의한 잔여 수요, $D_r(p)$ 는 수요 D에서부터 경쟁적인 비주류 공급자의 총 공급량 $S_j(p)$ 을 빼는 것에 의해 계산된다. 경쟁적인 비주류 공급자의 총 공급 역함수가 다음의 상향 선형 함수라고 가정하면.

$$S_j^{-1}(q) = aq + b \quad (0 \leq q \leq Q_j^{total}) \quad (1)$$

$a > 0$ 인 기울기이고, b 가 경쟁적인 비주류 공급자의 총 공급 역함수의 절편일 때, Q_j^{total} 는 경쟁적인 비주류 공급자의 총 공급용량을 의미한다. 그 때 잔여 수요의 역함수는 다음과 같이 주어진다.

$$D_r^{-1}(q) = \begin{cases} \bar{p} & (0 \leq q \leq q^p) \\ -a(q - D) + b & (q^p \leq q \leq D) \end{cases}$$

where $q^p = D - Q_j^{total}$ (2)

\bar{p} 가 규제자에 의해 부과된 가격 상한선이고 q^p 는 수요를 충족하는데 꼭 필요량을 의미한다. 주요 공급량은 우세한 공급자가 주요하질 않을 경우에만 음수가 되기 때문에 반드시 양수이어야 한다. Fig. 1은 경쟁적인 비주류 공급자의 총 공급역함수를 보여주고, 주요 공급자에 의한 잔여 수요 역함수를 보여준다. 공급량 q 에 대한 주요 공급자의 비용함수가 선형이라고 가정하자.

$$C(q) = cq + d \quad (3)$$

$c > 0$ 과 d 가 각각 선형이며, 상수 계수 일 때, 선형 비용함수는 일정한 한계비용 c 을 이끈다.

이 모형에서, 주요한 공급자는 이익을 최대화시키기 위한 생산량을 선택하고, 나머지 비주류 공급자들이 가격 수용자로서 행동할 것이라고 가정한다. 주요한 공급자는 두 가지 전략을 가지고 있다. 첫번째 전략은 용량을 q^p 까지 철회시키는 것을 통해 가격을 \bar{p} 까지 올리는 것이

다. 우리는 이러한 전략을 주요한 전략(pivotal strategy)이라고 부르겠다. 주요한 전략의 이익 π^p 는 다음과 같이 주어진다.

$$\pi^p = q^p \cdot \bar{p} - C(q^p) \quad (4)$$

다른 전략은 공급 수준 q^m 을 한계 비용(MC)과 한계 수익(MR)이 만나는 지점까지 설정해놓는 방법이다.(말하자면, 전통적인 목적적 해라고 볼 수 있다.) 우리는 이 전략을 비-주류전략(non pivotal strategy)이라고 칭하겠다. 비-주류 전략의 이익 π^m 은 다음과 같이 주어진다.

$$\pi^m = q^m \cdot p^m - C(q^m) \quad \text{where } q^m = (b - c + aD)/(2a), p^m = (b + c + aD)/2 \quad (5)$$

(5)번 식에서 q^m 과 p^m 은 다음의 이익 최대화 문제에 대한 the first order condition으로부터 파생된다.

$$\max_q [q \cdot p(q) - C(q)] \quad \text{where } p(q) = -a(q - D) + b \quad (6)$$

2가지 전략에서 산출된 이익이 fig. 2에서 묘사되어있다. 하향의 대각선과 상향의 대각선은 각각 π^p 과 π^m 을 묘사한다. 주요한 공급자가 주요 전략을 선택할 수 있을 정도로 \bar{p} 가 충분히 높다고 가정하자. 말하자면, π^p 가 π^m 보다 높다고 가정하자. 이러한 가정하에서(우리의 목적에 부합하는), 시장은 항상 주요한 공급자의 시장 지배력 행사로 인한 가격 스파이크를 나타낼 것이다. 규제는 주요한 공급자 주요 전략을 수정하도록 충분한 의무적인 장기 계약을 요구함으로써 시장 지배력을 완화시킬 수 있고, 그 결과 바람직하지 않은 가격 스파이크 제거할 수 있다.

만약 주요한 공급자가 총량 q^c 에 대하여 가격 p^c 로 가격으로 장기 계약을 체결했다면, 그 기간 동안 실제 현물 가격은 p 이다. 그 때 주요한 공급자는 $(p^c - p) \cdot q^c$ 과 같은 보수를 받을 자격이 주어지게 된다. 장기 계약에서 공급량과 계약 가격이 주어질 때, 두 전략에서의 이익이 각각 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$\pi^{p/w}(q^c) = q^p \cdot \bar{p} - C(q^p) + (p^c - \bar{p}) \cdot q^c \quad (7)$$

$$\pi^{m/w}(q^c) = q^{m/w} \cdot p^{m/w} - C(q^{m/w}) + (p^c - p^{m/w}) \cdot q^c \quad \text{where } q^{m/w} = (b - c + aD + aq^c)/(2a) \quad p^{m/w} = (b + c + aD - aq^c)/2 \quad (8)$$

지수 $/w$ 는 장기계약을 체결한 상태를 나타낸다. $q^{m/w}$ 과 $p^{m/w}$ 은 장기계약에서의 다음의 이익 최대화 문제에 대한 first order condition로부터 계산될 수 있다.

$$\max_q [q \cdot p(q) - C(q) + (p^c - p) \cdot q^c] \quad \text{where } p(q) = -a(q - D) + b \quad (9)$$

장기 계약이 체결된 상태에서의 두 전략의 이익은 fig. 3에 표현되어있다. 하향의 대각선과 상향의 대각선은 각각 $\pi^{p/w}$ 과 $\pi^{m/w}$ 을 의미한다.

만약 장기 계약 기간 동안 $\pi^{p/w}$ 이 $\pi^{m/w}$ 보다 작아진다면, 주요한 공급자는 비-주요 전략을 선택할 것이다. 따라서 바람직하지 않은 가격 스파이크는 발생하지 않는다.

최소 계약량 q_{min}^c 은 주요한공급자에 의한 무차별점으로 정의된다. 말하자면,

$$\pi^{p/w}(q_{min}^c) = \pi^{m/w}(q_{min}^c) \quad (10)$$

만약 규제자가 주요 공급자에게 장기 계약으로 q_{min}^c 보다 더 많은 양을 의무지게 한다면, $\pi^{p/w}$ 는 $\pi^{m/w}$ 보다 더 작게 되기 때문에 주요공급자는 비-주요 전략을 선택한다. 항 $p^c \cdot q^c$ 과 관련된 식(10)에서 취소되기 때문에, 계약 가격 p^c 가 직접적으로 양에 영향을 미치지 않는다.

1. 사례연구

사례연구에서 간략한 사례를 이용하여 제시된 분석방법의 결과를 제시하였다.

계통에서 비탄력적인 수요는 450MW이고 경쟁적인 비주요 공급자들의 집합 용량 역함수는 다음과 같다.

$$S^j(q) = 1/90 q + 2$$

또한 가격상한은 8 [\$ /MWh]로 설정되어 있으며, 식(4),(5)에 따르면, 주요 및 비-주요 전략의 이익은 각각 450\$, 360\$으로 계산된다. 여기서, 비-주요 전략의 공급량과 가격은 각각 180MW와 5 [\$ /MWh]이다. 주요 전략의 이익이 비-주요 전략의 것보다 크기 때문에, 주요 공급자는 용량을 90MW까지 철회시켜 시장가격을 \bar{p} 으로 올린다.

이러한 조건을 이용하여 식(10)을 풀면, 바람직하지 않은 가격 스파이크를 제거하기 위한 최소 계약 공급량 29.12MW로 계산된다. 만약 주요공급자가 장기 의무 계약에서 29.12보다 더 많은 공급량을 요구 받는다면, 공급자는 더 이상 시장가격을 \bar{p} 로 올릴 수 있는 인센티브를 가지지 못한다.

\bar{p} [\$ /MWh]	8	10	12	14	16
q_{min}^j [MW]	29.2	52.4	62.7	68.5	72.3
$q^{m/w}$ [MW]	194	206	211	214	216
$p^{m/w}$ [\$ /MWh]	4.84	4.71	4.65	4.62	4.60

[표 1] 사례연구 결과표

Table 1은 최소 계약 공급량과 결과적으로 생산된 공급량, \bar{p} 의 다양한 수준을 보여준다. \bar{p} 가 증가함에 따라, 주요 공급자는 가격 스파이크에서 더 많은 이익을 얻을 수 있다. 따라서, 의무적인 장기 계약의 총 공급량은 주요 공급자의 시장 지배력을 완화시키기 위해 필요하다.

3. 결 론

거래 가능한 상품으로서의 전기의 주목할만한 몇몇의 특징은 주요 공급자가 시장 지배력을 행사할 수 있게 해준다. 시장 지배력은 공급 용량을 철회시키는 것에 의해 불법적인 가격 스파이크를 빈번히 야기하거나, 더욱 악화된다면 정전을 일으키기도 한다.

본 논문에서는 우리는 시장 지배력을 완화시키고, 바람직하지 않은 가격 스파이크를 제거하기 위한 의무적인 장기 계약에서의 적정 공급량을 결정하는 방법론을 제시하였다. 시장 효율은 주요 공급자가 더 이상 가격 스파이크를 발생시킬 인센티브가 없을 때 보장 될 수 있다.

[참 고 문 헌]

[1] S. Borenstein, J. Bushnell, E. Kahn, S. Stoft, Market power in California electricity market, Utilities policy, vol. 5, no. 3/4, pp. 219-236, 1996.
 [2] S. Borenstein, J. Bushnell, C. R. Knittel, Market power in Electricity markets: Beyond concentration measures, Energy J., vol. 20, no. 4, pp. 65-89, 1999.
 [3] A. F. Rahimi, A. Y. Sheffrin, Effective market monitoring in deregulated electricity markets, IEEE Trans. Power Syst., vol. 18, no. 2, pp. 486-493, 2003.
 [4] AEP Power Marketing, Inc., et al., 97 FERC 61219; Order on triennial market power updates and announcing new, interim generation market power screen and mitigation policy, Docket No ER96-2495-015, Nov. 20, 2001

[5] AEP Power Marketing, Inc., et al., 97 FERC 61219; Order on triennial market power updates and announcing new, interim generation market power screen and mitigation policy, Docket No ER96-2495-015, Nov. 20, 2001
 [6] B. Allaz, J. L. Vila, Cournot competition, forward markets and efficiency, J. Econ. Theor., vol. 59, no. 1, pp. 1-16, 1993.
 [7] D. T. Y. Cheng, Economic analysis of the electricity market in England and Wales, IEEE Power engineering review, Apr. 1999, pp. 57-59
 [8] F. A. Wolak, An empirical analysis of the impact of hedge contracts on bidding behavior in a competitive electricity market, Int. Econ. J., vol. 14, no. 2, pp. 1-39, 2000.
 [9] S. Borenstein, The trouble with electricity markets and California electricity restructuring disaster, J. Econ. Perspectives, vol. 16, no. 1, pp. 191-211, 2002.
 [10] A. K. David, F. S. Wen, Market power in electricity supply, IEEE Trans. Energy Convers. vol. 16, no. 4, pp. 352-360, 2001.
 [11] P. Klemperer, M. Meyer, Supply function equilibria in oligopoly under uncertainty, Econometrica, vol. 59, no. 6, pp. 1243-1277, 1989.