2005년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2005. 7. 18 - 20

슈타켈버그 게임을 이용한 발전경쟁시장의 균형 분석

김진호†, 박종배§, 박준호†
†부산대학교 전기공학과, §건국대학교 전기공학과

An Analysis on the Generation Market Using Stackelberg Game Equilibrium

Jin-Ho Kim†, Jong-Bae Park§, and Jun-Ho Park†
†Pusan National University, §Konkuk University

Abstract - In this paper, effects of the subsidy in the electricity market on the market equilibrium are analyzed. The generation competition markets are considered as the basic market structure. The market equilibrium with Cournot game model is derived, first. Then, the variation of Nash equilibrium is investigated when the subsidies to generation companies are provided. The market equilibrium with the subsidy in the electricity market, which is equivalent to the subgame perfect equilibrium, is analytically derived using Stackelberg game model and backward induction method. From this, how the provisions of subsidy to generation companies can affect the strategic behaviors of the generation companies and corresponding market equilibrium are explored, in this paper. Numerical examples are provided to illustrate the basic idea of this paper.

1. 서 론

기존의 우리나라 전력시장은 한국전력공사에 의해 독점체제로 운영되었다. 이 후, 합리적이고 투명한 전력시장의 운영을 위해서 경쟁개념이 도입되었다. 현재는 전력시장의 구조개편에 의해 발전회사간의 입찰(bidding)을 통한 경쟁시장(Competitive Market)을 구축하였다. 즉, 발전회사간의 경쟁 입찰에 의해 발전단가를 고려한 변동비 반영시장(Cost Based Pool)이며, 발전경쟁시장이다. 이후 도소매 부문에도 개방이 이루어질 것으로 예상되며 발전회사의 합리적인 전략(strategy)의 중요성이 강조된다 [1].

이번 연구는 발전회사가 다른 회사와의 경쟁 입찰 과정에서 상대 발전회사의 전략에 대해 아는 경우와 모르는 경우에 어떻게 대응해야 할지에 대한 것이다. 전력구조가 발전경쟁부문에서 도소매 부문의 개방에 이르게 되면 발전회사의 합리적인 전략 결정 행위는 중요하다. 그러므로 현 시점에서 우리나라 전력시장 운영 구조와 이를 시뮬레이션 해보는 것에 의의를 둘 수 있다. 본 논문에서는 우리나라 전력시장을 꾸르노(Cournot)와 슈타켈버그(Stackelberg) 게임을 통해 살펴보고 전력시장에서 발전회사가 어떻게 합리적인 전략을 세울 것인가에 대한 방향을 제시한다.

2. 전력시장 게임 모델링

2.1 Cournot 게임 모형

꾸르노 게임은 우리나라 전력시장처럼 공급량(생산량)의 조절을 통해 경쟁하는 모델이다. 또한 상대방의 전략을 알 수 없는 상황에서 자신의 전략을 선택하는 정적게임이고 상대 경기자의 보수함수를 알 수 있는 완비정보게임이다. 보다 쉽고 간단한 이해를 위해 꾸르노게임에 복점시장(2개의 발전회사만 참여)이라는 조건을 포함시킨다. 꾸르노 게임의 경기자의 보수(Payoff)를 결정하는 요인으로 시장수요함수(1)와 비용함수(2)가 있다 [2].

$$P = \alpha - \beta(q_1 + q_2) \tag{1}$$

단, P : 제품단위당가격, $\alpha, \beta > 0$

$$C_i = c_i q_i \tag{2}$$

단, q_i: 경기자-i의 생산량, c_i: 경기자-i의 한계비용

꾸르노게임의 해는 각 생산량에 따른 이윤을 나타내는 이윤함수 (3)에서 이윤을 극대화 시키는 생산량을 결정하는 전략을 나타낸다. 경기자 1,2의 이윤을 동시에 극대화 시키는 내쉬균형전략을 정하기 위해서는 생산량에 따라 최대이윤을 나타내는 반응함수 (4), (5)를 구한다. 두 반응함수의 교점인 내쉬균형점 (6)이 두 경기자의 이윤을 최대화시키며, 그림 1과 같이 내쉬균형전략이 되어 꾸르노게임의 해가 된다.

$$\Pi_1(q_1, q_2) = Pq_1 - TC_1 = (\alpha - \beta(q_1 + q_2))q_1 - c_1 q_1 \tag{3}$$

$$\partial\Pi_1/\partial q_1 = \alpha - 2\beta q_1 - \beta q_2 - c_1 = 0$$

$$\partial\Pi_2/\partial q_2 = \alpha - 2\beta q_2 - \beta q_1 - c_2 = 0$$

$$q_1^*(q_2) = (\alpha - c_1)/2\beta - q_2/2 \tag{4}$$

$$q_1^*(q_2) = (\alpha - c_1)/2\beta - q_2/2 \tag{5}$$

$$N.E: (q_1^*, q_2^*) = ((\alpha - 2c_1 + c_2)/3\beta, (\alpha - 2c_2 + c_1)/3\beta) \tag{6}$$

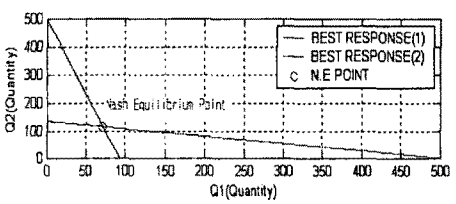

그림 1. Cournot 게임 균형

2.2 Stackelberg 게임 모형

슈타켈버그게임 또한 꾸르노게임과 동일하게 공급량(생산량)의 조절을 통해 경쟁하는 게임이다. 하지만, 꾸르노게임은 동시에 전략을 선택하는 정적게임이였다면, 슈타켈버그게임은 순차적으로 전략을 선택하는 동적게임이라는 점의 차이가 있다 [2]. 나머지 특징은 꾸르노게임과 동일하다 또한 꾸르노게임과 동일한 복점시장이라는 조건을 두기로 한다. 슈타켈버그의 경기자의 보수(Payoff)를 결정하는 요인인 시장수요함수 (1)와 비용함수 (2)는 꾸르노게임과 동일하다. 슈타켈버그 게임의 해를 구하기 위해서는 Backward Induction을 사용하여 부분게임완전 결과를 구한다. 경기자 1이 먼저 선택할 경우, 경기자 2는 경기자의 1의 결정에 의존하는 반응함수 (7)를 구해 (8)식과 같은 부분게임완전내쉬균형전략을 구한다. 경기자 1의 반응함수 (8) 이용하여 슈타켈버그 게임의 해인 부분게임완전결과 (10)를 구하며, 그 결과는 그림 2와 같다.

$$q_2^*(q_1) = \frac{\alpha - c_2}{2\beta} - \frac{q_1}{2} \tag{7}$$

$$\Pi_1 = \frac{1}{2}(\alpha - 3q_1 - 2c_1 + c_2)q_1$$

$$q_1^* = \frac{\alpha - 2c_1 + c_2}{2\beta} \tag{8}$$

$$(q_1^* = \frac{\alpha - 2c_1 + c_2}{2\beta}, q_2^*(q_1) = \frac{\alpha - c_2}{2\beta} - \frac{q_1}{2}) \tag{9}$$

$$q_2^*(q_1^*) = \frac{\alpha - c_2}{2\beta} - \frac{q_1^*}{2} = \frac{\alpha + 2c_1 - 3c_2}{4\beta}$$

$$(q_1^* = \frac{\alpha - 2c_1 + c_2}{2\beta}, q_2^* = \frac{\alpha + 2c_1 - 3c_2}{4\beta}) \tag{10}$$

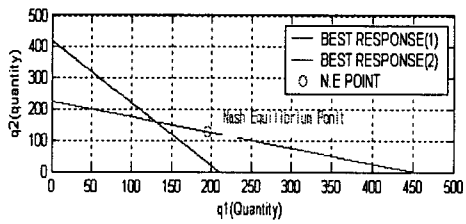

그림 2. Stackelberg 게임 균형

3. 사례 연구

본 연구에서는 CBP 시장 [3] 과 같은 전력시장을 대상으로 꾸르노게임과 슈타겔버그게임을 모델링하여 시뮬레이션을 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

3.1 Cournot 게임결과

시장의 수요함수는 $p = \alpha - \beta(q_1 + q_2)$로 가정하였으며, 발전회사의 비용함수는 $C(q_i) = \frac{1}{2}a_i q_i^2 + b_i q_i + c_i$로 가정하였으며, 두 발전회사로 이루어진 복점 (Duopoly) 시장을 가정하였다. 시장수요함수와 두 발전회사의 비용함수에 의해 각 발전회사의 이윤을 최대화하는 발전량을 시뮬레이션을 통해 얻을 수 있었다. 각 발전회사의 비용함수를 30%씩 증가 시켰을때의 반응을 살표보자. 비용함수가 linear와 quadratic simple 일때의 경우와 유사한 결과를 얻을 수 있다. 비용함수가 증가함에 따라 두 발전회사 모두 발전량이 줄어든다. 하지만 시장수요가격은 늘어남을 알 수 있다. 각 발전회사의 이윤은 가격이 증가하는 폭보다 발전량의 감소폭이 더 크게 영향을 주어서 줄어드는 결과가 나타난다.

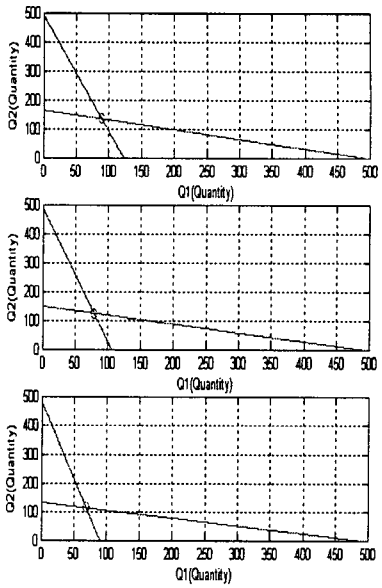

그림 3. Cournot 게임 사례연구 결과

표 1. Cournot 게임 사례연구 결과

parameter 변화률	-30%	기준(100%)	30%
발전회사1의 비용parameter	a=2, b=10, c=8	a=2.6, b=13, c=10.4	a=3.38, b=16.9, c=13.52
발전회사2의 비용parameter	a=1, b=9, c=10	a=1.3, b=11.7, c=13	a=1.69, b=15.21, c=16.9
발전회사1의 균형생산량	89.00	78.9	68.84
발전회사2의 균형생산량	134	124.08	112.72
총 시장 균형 생산량	223.00	202.98	181.56
시장수요가격	277	297.04	318.43
발전회사1의 이윤	15834	14307.53	12735.49
발전회사2의 이윤	26924	25382.22	23426.41

3.2 Stackelberg 게임결과

동일한 시장환경에서 동적 게임인 슈타겔버그게임의 결과는 다음과 같다. 시장수요함수와 두 발전회사의 비용함수에 의해 각 발전회사의 이윤을 최대화하는 발전량을 시뮬레이션을 통해 얻을 수 있었다. 각 발전회사의 비용함수를 30%씩 증가 시켰을때의 반응을 살표보자. 비용함수가 linear와 quadratic simple 일때의 경우와 유사한 결과를 얻을 수 있다. 비용함수가 증가함에 따라 두 발전회사 모두 발전량이 줄어든다. 하지만 시장수요

가격은 늘어남을 알 수 있다. 각 발전회사의 이윤은 가격이 증가하는 폭보다 발전량의 감소폭이 더 크게 영향을 주어서 줄어드는 결과가 나타난다. 비용함수가 변화함에 따라 나타나는 결과가 슈타켈버그게임도 꾸르노게임과 거의 유사한 결과를 얻을수 있다.

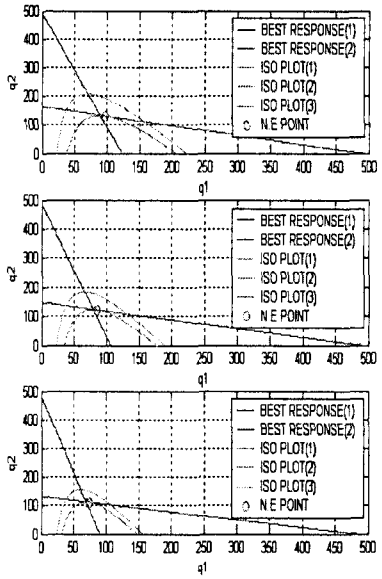

그림 4. Stackelberg 게임 사례연구 결과

표 2. Stackelberg 게임 사례연구 결과

parameter 변화률	-30%	기준 (100%)	30%
발전회사1의 비용parameter	a=2, b=10, c=8	a=2.6, b=13, c=10.4	a=3.38, b=16.9, c=13.52
발전회사2의 비용parameter	a=1, b=9, c=10	a=1.3, b=11.7, b=13	a=1.69, b=15.21, c=16.9
발전회사1의 균형생산량	97.9	84.89	72.7
발전회사2의 균형생산량	130.7	126.94	111.41
총 시장 균형 생산량	228.6	211.83	184.11
시장수요가격	271.4	293.17	315.89
발전회사1의 이윤	15998.65	14404.82	12791.17
발전회사2의 이윤	25744.44	24644.83	22993.59

4. 결 론

전력시장에 정부가 규모가 작거나 새로 진입하는 발전회사를 위해 보조금 형태의 지원을 하게 되는 경우, 이를 Stackelberg 게임을 이용하여 분석할 수 있었다. 즉, 그림 5의 반응함수1은 정부가 보조금을 지원하면 오른쪽으로 평행이동하게 된다. 정부가 보조금을 지원함에 있어 과다한 지원이 꼭 발전회사 1의 이윤을 최대화 시키지는 않는다. 정부가 그 시장에 맞는 딱 알맞은 보조금을 지원 할때 만이 발전회사 1의 이윤을 최대화하고 그에 따른 발전회사 2의 이윤 또한 극대화 시킬수 있다. 정부가 최적의 보조금을 지원하게 되면, 이는 슈타켈버그게임과 동일한 결과를 나타낸다. 그러므로 꾸르노게임으로 모델링 할수 있는 전력시장에 보조금을 지원하게 되는 경우에 슈타켈버그게임을 통해 시장을 분석하고 전략적 행동을 선택할 수 있다.

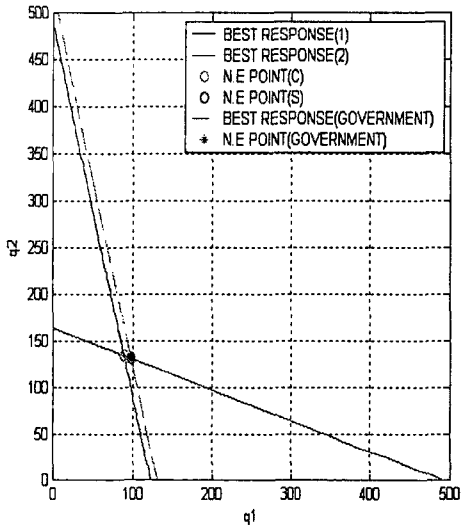

그림 5. 보조금지금에 의한 균형의 변화

감사의 글

본 연구는 2005년도 부산대학교 교수 연구 지원사업에 의해 지원되었음.

[참 고 문 헌]

[1] 김남일, 전력시장에서의 시장 참여자 행태 분석, 에너지경제연구원, 2003

[2] Robert Gibbons, Game Theory for Applied Economists, 1992

[3] http://www.kpx.or.kr 한국전력거래소