2004년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2004.7.14-16

공급함수 입찰모형에서 입찰파라미터 선택에 관한 연구

조철희, 최석근, 이광호
단국대학교

A Study on the Selection of a Bidding Parameter at the Bidding Function Model in an Electricitv Market

Cheol-Hee Cho, Seok-Keun Choi, Kwang-Ho Lee
Dankook University

Abstract - *Generation companies(Genco) submit the* supply functions as a bidding function to a bid market in a competitive electricity market. The profits of Gencos vary in accordance with the bid functions, so the selection of a bidding function plays a key role in increasing their profits. This paper presents an analysis of the selection of the supply function from the viewpoint of Nash equilibrium(NE). Four types of bidding function parameters are used for analizing the electricity market. The competition of selecting bidding parameters is modeled as subgame and overall game in this research. The NEs in both game are computed by using analytic method and payoff matrix method. It is verified in case studies for the NE of overall game to satisfy the equilibrium condition.

1. 서 론

최근의 전력산업이 시장경쟁 체제로 변화하면서 시장참여자들은 전략적 행동을 통해 더 많은 이득을 얻으려 노력하게 된다. 하지만 전력산업의 특성상 과점형태의 전력시장을 가정하고 해석하는 것이 일반적이다.

과점 해석 모형 중 공급함수모형은 대부분 공급과 수요함수를 일차함수로 가정하기 때문에 공급함수의 절편과 기울기를 전략적 입찰파라미터로 모형화[1,2]하는 경우가 대부분이다. 그리고 몇몇 연구에서는 공급함수에 일보다 큰 값을 곱하여 기울기와 절편을 동시에 일정한 비율만큼 변화시켜 입찰파라미터로 이용하는 모형[1,3]과 기울기와 절편을 동시에 전략적 입찰파라미터로 입찰하는 모형[1]도 시도되었다. 지금까지의 연구는 네 가지의 입찰파라미터 중 먼저 하나를 가정하고, 가정된 입찰파라미터로만 시장참여자가 입찰하는 형태의 모형이다.

본 논문에서는 시장참여자가 서로 같은 입찰파라미터로 입찰한 모형의 내쉬균형 뿐만 아니라 입찰파라미터를 넷 중 어느 하나로 가정하지 않을 경우의 입찰 모형에 대한 내쉬균형도 계산한다. 내쉬균형은 전략적 입찰파라미터가 하나의 변수로 표현되는 모형의 경우 해석적 기법으로 계산하고 입찰파라미터의 변수가 두 개 이상일 경우 보수행렬법[4]으로 계산한다.

사례연구에서는 간단한 계통모형에서 내쉬균형을 계산하여 입찰파라미터 사이에 우월전략과 열등전략이 존재함을 검증한다.

2. 입찰파라미터 선택 게임

2.1 입찰파라미터의 종류

공급함수모형이란 한계비용과는 다른 전략적인 공급함수로 입찰함으로서 가격경쟁과 발전량 경쟁의 특성을 혼합한 모형이다.

본 연구에서는 한계비용함수와 수요함수를 선형으로 가정하여 식 (1)과 같이 표현한다. 수요함수는 한계비용함수와 같은 형태이고 기울기가 음수이고, 이득은 수입에서 발전비용을 뺀 값이다.

$$f_i(q_i)=b_i+m_i \times q_i, \qquad i \in N$$
$$g_i(q_i)=k_{bi}+k_{mi} \times q_i \tag{1}$$
$$\Pi_i=pq_i-C_i(q_i)$$

여기서 f는 한계비용함수, 는 절편, m는 기울기, q는 공급량, g는 입찰함수, k_b는 절편, k_m은 기울기, Π는 이득, p는 시장가격, C는 발전비용, N은 전체발전기의 수이다.

전력시장에서 거래의 결정은 제시된 입찰함수를 한계비용함수로 가정하여 사회적후생이 최대가 되면서, 공급기업의 이득이 극대가 되는 조건에서 이루어진다[2]. 사회적후생은 소비자효용에서 발전비용를 뺀 값으로 정의되며, 다음 식 (2)와 같이 표현된다.

$$Max\left\{\sum B(q_i)-\sum C_i(q_i)\right\}, \quad i \in N \tag{2}$$

전력 공급 기업이 시장운영자에게 제출하는 입찰함수는 일차함수로 가정하므로 일차항과 상수항의 계수에 따라 여러 가지 형태로 구분된다.

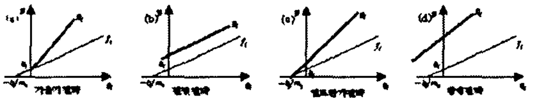

그림 1 입찰파라미터의 종류

그림 1은 네 가지 형태로 분류한 입찰파라미터의 종류를 나타낸다. 그림 1에서 (a)의 입찰파라미터는 기울기이고 (b)는 절편이므로 각각 기울기전략, 절편전략이라 칭한다. (c)는 한계비용함수에 일 이상의 값을 곱하여 일정한 비율로 절편과 기울기를 변화시키는 모형으로 이 때 입찰함수의 모양이 연료단가에 열량을 곱한 형태와 유사하므로 연료단가전략이라 칭한다. (d)는 기울기와 절편을 동시에 입찰파라미터로 이용하므로 병행전략이라 칭한다.

2.2 부분게임의 정의

전력시장에서 두 공급기업(F_1, F_2), 가격탄력성을 갖는 수요함수 f_0를 가정한다. F_1, F_2는 각각 네 가지의 입찰파라미터 중 하나를 이득 극대화를 위한 전략으로 선택하게 된다. F_1, F_2가 각각 하나의 전략모형을 택한 후에는 파라미터의 값을 결정하기 위한 게임이 발생하는데 이를 부분게임이라 정의한다.

부분게임 중 같은 전략모형을 택하는 경우를 부분대칭게임으로, 서로 다른 종류의 전략모형을 선택하는 경우를 부분비대칭게임이라 칭한다. 다음 표 1에서 회색으로 표시된 부분은 부분대칭게임이고 나머지는 부분비대칭게임이다.

표 1 부분대칭게임과 부분비대칭게임

F_1 \ F_2	k_{m2}	k_{b2}	k_{f2}	(k_{m2}, k_{b2})
k_{m1}(기울기전략)	①	⑤	⑥	⑧
k_{b1}(절편전략)	⑤′	②	⑦	⑨
k_{f1}(연료단가전략)	⑥′	⑦′	③	⑩
(k_{m1}, k_{b1})(병행전략)	⑧′	⑨′	⑩′	④

3. 부분게임의 내쉬균형

3.1 부분대칭게임의 내쉬균형

표 2의 ①은 기울기전략 부분대칭게임으로 공급기업은 k_{m1}, k_{m2}를 선택하는 모형이다. 공급량은 사회적 후생(SW)이 극대일 조건에서 결정된다. 발전력 q_1, q_2에 대한 최적 조건식 $\partial SW/\partial q_1=0$, $\partial SW/\partial q_2=0$를 적용하면 다음 식 (3)의 관계가 유도된다.

$$\begin{pmatrix} q_1^* \\ q_2^* \end{pmatrix} = \frac{1}{\Delta}\begin{pmatrix} k_{m2}+m_0 & -m_0 \\ -m_0 & k_{m1}+m_0 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} b_0-b_1 \\ b_0-b_2 \end{pmatrix} \tag{3}$$

여기서 $\Delta=m_0k_{m1}+k_{m1}k_{m2}+k_{m2}m_0$이다.
두 공급기업은 k_{m1}과 k_{m2}를 변화시켜 이득을 극대화하려 한다. 두 공급기업의 이득은 이차식의 형태이므로 다음 식 (4)의 최적조건식을 만족할 때 이득이 극대가 되며 내쉬균형전략을 이룬다.

$$\partial \Pi_1(q_1^*)/\partial k_{m1}=0,\quad \partial \Pi_2(q_2^*)/\partial k_{m2}=0 \tag{4}$$

식 (3), 식 (4)를 연립해서 계산하면 식 (5)로 표현된다.

$$k_{m1}^*=\frac{m_1}{2}+\sqrt{\frac{m_1^2}{4}+\frac{m_0}{2m_0+m_2}\Delta},\quad k_{m2}^*=\frac{m_2}{2}+\sqrt{\frac{m_2^2}{4}+\frac{m_0}{2m_0+m_1}\Delta} \tag{5}$$

내쉬균형 k_{m1}^*과 k_{m2}^*는 입찰함수, 한계비용함수, 수요함수에서 절편과는 무관하고 기울기에 의해서만 결정되는 특성을 알 수 있다.

절편전략 부분대칭게임은 표 2의 ②에 해당되며 k_{B1}, k_{B2}를 입찰파라미터로 이용한다. 발전력은 사회적 후생이 극대일 때 결정되고 다음 식 (6)과 같이 유도된다.

$$\begin{pmatrix} q_1^* \\ q_2^* \end{pmatrix} = \frac{1}{\Delta}\begin{pmatrix} m_2+m_0 & -m_0 \\ -m_0 & m_1+m_0 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} b_0-k_{B1} \\ b_0-k_{B2} \end{pmatrix} \tag{6}$$

여기서 $\Delta=m_0m_1+m_1m_2+m_2m_0$이다.
발전기업은 이득 극대화를 위한 전략을 택하게 되므로 다음 식 (7)을 만족할 때의 전략이 내쉬균형이다.

$$\partial \Pi_1(q_1^*)/\partial k_{B1}=0,\quad \partial \Pi_2(q_2^*)/\partial k_{B2}=0 \tag{7}$$

식 (6), 식 (7)을 연립하여 계산하면 식 (8)의 내쉬균형 k_{B1}^*, k_{B2}^*를 구할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} k_{B1}^* \\ k_{B2}^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (m_2+m_0)\times(\Delta+m_2m_0) & -m_2m_0^2 \\ -m_1m_0^2 & (m_1+m_0)\times(\Delta+m_1m_0) \end{pmatrix}^{-1}\begin{pmatrix} \Delta(m_2+m_0)b_1+m_2^2m_0b_0 \\ \Delta(m_1+m_0)b_2+m_1^2m_0b_0 \end{pmatrix} \tag{8}$$

식 (5)와 비교하여 식 (8)의 절편전략의 내쉬균형 k_{B1}^*, k_{B2}^*은 두 공급기업의 한계비용과 수요함수의 기울기 뿐만 아니라 절편에도 영향을 받음을 알 수 있다.

연료단가전략의 부분대칭게임은 표2의 ③에 해당되며 입찰함수는 다음 식 (9)과 같다. 공급량은 사회적 후생 극대의 최적조건을 적용함으로서 다음 식 (10)과 같다.

$$g_1(q_1)=k_{f1}\cdot(b_1+m_1\times q_1),\quad g_2(q_2)=k_{f2}\cdot(b_2+m_2\times q_2) \tag{9}$$

$$\begin{pmatrix} q_1^* \\ q_2^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_{f1}m_1+m_0 & m_0 \\ m_0 & k_{f2}m_2+m_0 \end{pmatrix}^{-1}\begin{pmatrix} b_0-k_{f1}b_1 \\ b_0-k_{f2}b_2 \end{pmatrix} \tag{10}$$

이득극대화 최적조건은 다음 식 (11)과 같이 표현된다.

$$\partial \Pi_1(q_1^*)/\partial k_{f1}=0,\quad \partial \Pi_2(q_2^*)/\partial k_{f2}=0 \tag{11}$$

식 (10)과 식 (11)를 연립하여 나타난 비선형 연립방정식을 본 논문에서는 Matlab을 사용하여 계산하였다.

표 2의 ④인 병행전략 부분대칭게임은 전략변수가 두 개씩이므로 해석적으로 구하기가 어렵다. 따라서 입찰전략의 구간을 정하고 이산화하여 변화시키면서 이득행렬을 만든 후 보수행렬법으로 내쉬균형을 찾는다.

3.2 부분비대칭게임의 내쉬균형

표 2의 ⑤는 F_1은 기울기를, F_2는 절편을 입찰한다. 입찰함수는 $g_1(q_1)=b_1+k_{m1}\times q_1$, $g_2(q_2)=k_{B2}+m_2\times q_2$이고 공급량은 사회적 후생이 극대가 될 조건에서 결정되므로 식 (12)와 같이 유도된다. 그리고 두 공급기업의 이득극대화를 위한 최적조건은 다음 식 (13)과 같다. 식 (12)와 식 (13)을 연립하여 계산하면 다음 식 (14)의 내쉬균형전략이 계산된다.

$$\begin{pmatrix} q_1^* \\ q_2^* \end{pmatrix} = \frac{1}{\Delta}\begin{pmatrix} m_2+m_0 & -m_0 \\ -m_0 & k_{m1}+m_0 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} b_0-b_1 \\ b_0-k_{B2} \end{pmatrix} \tag{12}$$

여기서 $\Delta=m_0k_{m1}+k_{m1}m_2+m_2m_0$이다.

$$\partial \Pi_1(q_1^*)/\partial k_{m1}=0,\quad \partial \Pi_2(q_2^*)/\partial k_{B2}=0 \tag{13}$$

$$k_{m1}^*=\frac{m_0m_1+m_1m_2+m_2m_0}{m_0+m_2},\quad k_{B2}^*=\frac{\Delta(k_{m1}^*+m_0)b_2+k_{m1}^*m_0(m_0b_1+b_0k_{m1}^*)}{(k_{m1}^*+m_0)(k_{m1}^*m_0+\Delta)} \tag{14}$$

식 (14)에서 기울기전략의 k_{m1}^*은 한계비용함수와 수요함수의 기울기로만 이루어지며 k_{B2}^*는 기울기와 절편 모두 연관됨을 알 수 있다.

공급기업 F_1은 기울기를, F_2는 연료단가를 입찰한다고 가정하면 표 2의 ⑥에 해당되며 입찰함수는 각각 $g_1(q_1)=b_1+k_{m1}\times q_1$, $g_2(q_2)=k_{f2}\cdot(b_2+m_2\times q_2)$이다. 공급량은 사회적 후생의 극대화 조건을 통해서 다음 식 (15)과 같이 유도된다.

$$\begin{pmatrix} q_1^* \\ q_2^* \end{pmatrix} = \frac{1}{\Delta}\begin{pmatrix} k_{f2}m_2+m_0 & -m_0 \\ -m_0 & k_{m1}+m_0 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} b_0-b_1 \\ b_0-k_{f2}b_2 \end{pmatrix} \tag{15}$$

여기서 $\Delta=m_0k_{m1}+k_{m1}k_{f2}m_2+k_{f2}m_2m_0$이다.

$$\partial \Pi_1(q_1^*)/\partial k_{m1}=0,\quad \partial \Pi_2(q_2^*)/\partial k_{f2}=0 \tag{16}$$

두 공급기업의 이득극대화 최적조건은 식 (16)과 같이 표현되고 식 (15)와 식 (16)를 연립하여 비선형 연립방정식을 풀면 내쉬균형 k_{m1}^*과 k_{f2}^*이 구해진다.

공급기업 F_1은 절편을, F_2는 연료단가를 입찰한다고 가정하면 표 2의 ⑦에 해당되며 입찰함수를 나타내면 $g_1(q_1)=k_{B1}+m_1\times q_1$, $g_2(q_2)=k_{f2}\cdot(b_2+m_2\times q_2)$이다. 공급량을 계산하기 위해서 사회적 후생의 극대화 조건을 이용하면 다음 식 (17)이 유도된다.

$$\begin{pmatrix} q_1^* \\ q_2^* \end{pmatrix} = \frac{1}{\Delta}\begin{pmatrix} k_{f2}m_2+m_0 & -m_0 \\ -m_0 & m_1+m_0 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} b_0-k_{B1} \\ b_0-k_{f2}b_2 \end{pmatrix} \tag{17}$$

여기서 $\Delta=m_0m_1+m_1k_{f2}m_2+k_{f2}m_2m_0$이다.
두 공급기업은 이득 극대화를 목적으로 하기 때문이 $\partial \Pi_1(q_1^*)/\partial k_{B1}=0$, $\partial \Pi_2(q_2^*)/\partial k_{f2}=0$과 식 (17)을 연립하여 비선형연립방정식을 풀면 내쉬균형이 구해진다.

F_2는 병행전략(k_{m2}, k_{B2})을 사용하고 F_1은 기울기전략, 절편전략, 연료단가전략 중 하나를 입찰전략으로 사용하는 모형으로 표 2의 ⑧⑨⑩에 해당된다.

F_1은 기울기전략을, F_2는 병행전략을 입찰한다고 가정하면, 이 모형에서 입찰에 사용되는 변수는 총 세 개이다. F_2의 전략이 두 개이므로 미분을 이용하여 해석적으로 내쉬균형을 계산하기 어렵다. 따라서 보수행렬법으로 내쉬균형을 계산한다.

4. 전체게임의 표현

4.1 보수행렬의 구성

부분게임 16종류의 내쉬균형을 모아서 F_1과 F_2가 각각 선택할 수 있는 모든 전략을 나타낸 것을 전체게임이라 정의한다. 전체게임의 보수행렬은 부분게임에서 계산한 내쉬균형에서의 이득으로 구성된다. 병행전략이 기울기전략보다 항상 이득이 작다면 발전기업은 병행전략을 선택하지 않으므로 내쉬균형에 영향을 미치지 못한다. 따라서 4×4형태가 아닌 표 2에서 열은 회색 부분과 같이 3×3형태의 보수행렬로만 전체게임을 구성할 수 있다.

표 2 전체게임의 구성

F_1 \ F_2	k_{m2}	k_{B2}	k_{f2}	(k_{m2}, k_{B2})
k_{m1}(기울기전략)	Π_1/Π_2	Π_1/Π_2	Π_1/Π_2	Π_1/Π_2

k_{b1}(절편전략)	Π_1/Π_2	Π_1/Π_2	Π_1/Π_2	Π_1/Π_2
k_{r1}(연료단가전략)	Π_1/Π_2	Π_1/Π_2	Π_1/Π_2	Π_1/Π_2
(k_{m1}, k_{b1})(병행전략)	Π_1/Π_2	Π_1/Π_2	Π_1/Π_2	Π_1/Π_2

4.2 전체게임의 내쉬균형

전체게임의 내쉬균형은 3×3형태의 이득행렬을 대상으로 보수행렬법으로 계산한다. 그리고 한계비용함수와 수요함수의 일차항과 상수항의 계수를 변화시켜 수만 번 반복적으로 전체게임의 내쉬균형을 계산하여 기울기전략으로 수렴함을 확인한다.

열등전략은 이득을 추가할 수 있는 전략으로 미분하여 민감도에 대한 값이 영에 근접함을 확인하여 검증한다.

5. 사례연구

5.1 부분게임과 전체게임의 내쉬균형

두 공급함수 F_1과 F_2 수요함수 f_0의 절편은 각각 b_1=10, b_2=10, b_0=100이고 기울기는 각각 m_1=0.35, m_2=0.45, m_0=-0.5이다. 공급량은 수요량과 같고, 송전용량 및 발전용량 등의 제약조건은 고려하지 않는다.

부분게임의 내쉬균형을 구하기 위해서 3절에서 소개한 해법을 적용하였다. 다음 표 3는 이렇게 계산된 부분게임의 내쉬균형을 나타낸다.

표 3 부분게임의 내쉬균형전략으로 나타낸 전체게임

F_1 \ F_2	$\Pi_2(k_{m2})$	$\Pi_2(k_{b2})$	$\Pi_2(k_{r2})$	$\Pi_2(k_{m2}, k_{b2})$
$\Pi_1(k_{m1})$	0.6471/0.7321	0.6344/27.6704	0.6344/1.4659	0.63/(0.63,16.5)
$\Pi_1(k_{b1})$	31.0573/0.7149	28.5249/24.4028	30.5625/1.3489	29.5/(0.5,21)
$\Pi_1(k_{r1})$	1.6093/0.7149	1.4984/26.9939	1.4984/1.3489	1.62/(0.57,19.5)
$\Pi_1(k_{m1}, k_{b1})$	(0.64, 10.5)/0.73	(0.48, 18.5)/26.5	(0.56, 15.5)/1.44	(0.56, 16.5)/(0.66, 13.5)

다음 표 4는 표 3의 균형전략을 이용하여 구성한 전체게임의 이득행렬이다. 표 5에서 밑줄 표시된 것은 전체게임에서의 최적대응전략[2]이다. F_1과 F_2는 각각의 경우 k_{m1}, k_{m2}를 택할 때에 이득이 최대이고 기울기전략을 선택했을 때 두 기업은 더 이상 전략을 변화시켜도 더 큰 이득을 낼 수 없는 상태가 되고 이 때를 내쉬균형이라 할 수 있다. 표 5의 회색부분은 전체게임의 내쉬균형을 나타낸다.

표 4 전체게임의 보수행렬

F_1 \ F_2	k_{m2}	k_{b2}	k_{r2}	(k_{m2}, k_{b2})
k_{m1}	2692.2/2259.3	2655.6/2120.5	2687.0/2231.2	2682.6/2221.3
k_{b1}	2526.9/2215.8	2519.6/2110.3	2526.6/2195.0	2523.6/2105.6
k_{r1}	2656.6/2252.4	2627.1/2120.0	2652.4/2225.7	2647.3/2194.5
(k_{m1}, k_{b1})	2688.0/2258.6	2602.4/2119.2	2652.6/2225.7	2649.6/2233.4

5.2 시장변동에 따른 변화

5.1절의 공급함수와 수요함수의 일차항과 상수항의 계수를 -10%~+10% 범위에서 변화시키고 범위 안에 값을 임의로 50000회 선택하여 전체게임의 균형전략을 계산하였다. 기울기전략과 다른 전략과 비교하기 위해서 분모를 기울기전략으로 두고 기울기, 연료단가, 절편전략의 순으로 이득의 비율을 표현하면 {$\Pi_1(k^*_{m1}, k^*_{m2})/\Pi_1(k^*_{m1}, k^*_{m2}) > \Pi_1(k^*_{r1}, k^*_{m2})/\Pi_1(k^*_{m1}, k^*_{m2}) > \Pi_1(k^*_{b1}, k^*_{m2})/\Pi_1(k^*_{m1}, k^*_{m2})$}이므로 기울기전략 > 연료단가전략 > 절편전략의 순서임을 다음 그림 2를 통해 알 수 있다. 마찬가지로 F_2의 경우도 이득의 크기는 기울기, 연료단가, 절편전략의 순서임을 알 수 있다. F_1과 F_2 모두 더 이상 전략을 수정해서 더 큰 이득을 낼 수 없기 때문에 기울기전략으로 입찰하는 것이 내쉬균형이고 다음 그림 2는 50000회 시행의 결과 항상 성립함을 나타낸다.

기울기전략 내쉬균형에서 절편을 추가하여 이득이 커지는지 확인하기 위해 $\partial\Pi(q_1)/\partial k_{b1}$, $\partial\Pi(q_2)/\partial k_{b2}$를 계산하면 -2.84× 10^{-14}~2.84× 10^{-14}이므로 기울기전략에서 F_1

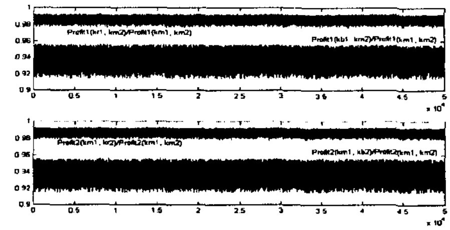

그림 2 이득의 비교

과 F_2는 절편을 전략으로 추가하더라도 이득은 거의 변화가 없다. F_1은 절편전략으로 F_2는 기울기전략으로 입찰하는 경우 $\partial\Pi_1(q_1)/\partial k_{m1}$, $\partial\Pi_2(q_2)/\partial k_{b2}$과 반대의 경우에도 $\partial\Pi_1(q_1)/\partial k_{b1}$, $\partial\Pi_2(q_2)/\partial k_{m2}$은 -3.6× 10^{-12}~3.6× 10^{-12}의 값을 가지므로 두 공급기업은 전략을 추가하여도 이득의 변화가 거의 없다. 즉 병행전략을 선택할 유인이 없다. 연료단가전략은 일정비율로 절편과 기울기를 변화시켜 입찰하는 병행전략의 일부로 생각할 수 있다 따라서 공급기업은 입찰전략으로 선택하지 않을 것이다.

6. 결 론

본 논문에서는 공급기업이 선택할 수 있는 전략을 하나로 가정하지 않고 공급함수모형에서 나타날 수 있는 전략을 모두 포함하여 전력시장을 해석하였다. 두 공급기업을 가정할 때 공급기업은 네 종류의 입찰파라미터를 각각 입찰전략으로 선택할 수 있고 이 경우 나타나는 16종류의 부분게임에 대해서 해석적 기법과 보수행렬법을 이용하여 내쉬균형을 계산하였다.

전체게임의 내쉬균형은 부분게임의 내쉬균형을 이용하여 보수행렬법으로 계산하였고, 이 때 병행전략은 기울기전략에 비해 열등전략이고 기울기전략이 전체게임의 내쉬균형으로 나타났다.

기울기전략이 전체게임의 내쉬균형 임을 검증하기 위해 각각 공급함수와 수요함수를 변화시키면서 50000번 전체게임의 내쉬균형을 분석하였다. 시행한 결과 모든 경우에서 전체게임의 내쉬균형이 기울기전략으로 나타남을 확인하였다.

감사의 글

이 논문은 산업자원부에서 시행한 전략산업 인프라구축지원사업으로 수행된 논문입니다.

[참 고 문 헌]

[1] Ross Baldick, "Electricity market equilibrium models: The effect of parametrization," *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol.17, No.4, pp. 1170-1176, November 2002.

[2] C. A. Berry, B. F. Hobbs, W. A. Meroney," Analyzing Strategic Behavior in Transmission Networks," *IEEE Turoiral on Game Theory in Electric Power Markets*, IEEE Press T-136-0, pp. 7-32, 1999.

[3] K.H. Lee, and R. Baldick, "Tuning of Discretization in Bimatrix Game Approach to Power System Market Analysis," *IEEE Trans. on Power Systems*, February 2003.

[4] S. Stoft, "Using Game Theory to Study Market Power in Simple Networks," *IEEE Tutorial on Game Theory in Electric Power Markets*, IEEE Press TP-136-0, pp.33-40, 1999.