

확률적 수요함수를 고려한 공급함수의 전략변수 내쉬균형 연구

論 文

57-1-4

Supply Function Nash Equilibrium Considering Stochastic Demand Function

李 光 浩[†]
(Kwang-Ho Lee)

Abstract - A bid-based pool (BBP) model is representative of energy market structure in a number of restructured electricity markets. Supply function equilibrium (SFE) models of interaction better match what is explicitly required in the bid formats of typical BBP markets. Many of the results in the SFE literature involve restrictive parametrization of the bid cost functions. In the SFE models, two parameters, intercept and slope, are available for strategic bidding. This paper addresses the realistic competition format that players can choose both parameters arbitrarily. In a fixed demand function, equilibrium conditions for generation company's profit maximization have a degree of freedom, which induces multi-equilibrium. So it is hard to choose a convergent equilibrium. However, consideration of stochastic demand function makes the equilibrium conditions independent each other based on the amount of variance of stochastic demand function. This variance provides the bidding players with incentives to change the slope parameter from an equilibrium for a fixed demand function until the slope parameter equilibrium.

Key Words : Electricity Market, Nash Equilibrium, Supply Function, Demand Function, Strategic Parameter

1. 서 론

산업구조를 과점모형으로 분석하는데 쿠르노(Cournot), 버트랜드(Bertrand) 모형이 오래전부터 사용되고 있지만, 발전시장에서는 가격뿐만 아니라 최대가능용량 까지도 전략적으로 입찰할 수가 있다. 따라서 발전기의 특정 출력이나 가격이 아닌 출력과 가격의 조합으로 표현되는 공급일정(Supply Function)을 제시하는 모형이 보다 현실적이다[1,2].

공급함수모형은 발전력 도메시장에서의 입찰전략을 표현하는데 적합하여 발전력 판매 참여자의 공급행태를 분석하는데 이용되고 있다. 또한 균형상태를 계산하여 전력시장의 특성과 효율성을 분석하거나 시장지배력을 감시하는 데에도 많이 사용된다.

공급함수모형에 대한 연구는 80년대 후반부터 시작되어 현재까지도 꾸준히 지속되고 있다. 이러한 연구의 효시라고 할 수 있는 연구[2]에서는 불확실성을 포함하여 공급함수모형에 대한 기초를 제시하였지만 내쉬균형이 존재하는 영역만을 다루며 시장참여 기업이 직접 가격을 결정한다고 가정하기 때문에 전력시장과는 거리가 있다. 전력시장에서의 가격결정은 시장운영자(Market Operator; MO)의 시장거래가치 최대화에 의해 이루어지고 있다.

전력시장에서의 전략변수 선택에 적용하여, 일차함수로 표현되는 공급함수의 절편을 전략변수로 두는 절편전략[3,4], 공급함수의 기울기를 전략변수로 가정하는 기울기전략[5],

그리고 둘을 동시에 선택하는 병행전략[6,7] 등에 대해 게임의 모형을 정의하고 내쉬균형을 유도하는 연구가 소개되었다. 또한 선도계약과 결합된 모형으로 확장한 분석도 시도되었다[8].

발전참여자가 입찰시에 공급함수를 선택하는 경우, 많은 파라미터를 선택 대상으로 하여 가능한 많은 유연성을 확보하려고 할 것이다. 따라서 병행전략이 보다 현실적인 모형이라 할 수 있다. 하지만 병행전략에 대한 내쉬균형은 단순전략(pure strategy)으로 다수가 존재해서 오히려 내쉬균형 중에서 선택해야하는 초점(focal point) 문제가 발생한다[9]. 병행전략에서 다수의 내쉬균형 분포를 분석하여 수직에 가까운 입찰함수로 쿠르노 내쉬균형에 도달할 수 있음도 소개되었다[7]. 하지만 수직에 가까운 입찰함수는 부하의 변동에 민감하게 작용하여 예상과 큰 편차를 내는 위험성을 갖는다.

본 연구에서는 부하의 불확실성을 반영한 확률적 수요함수를 반영함으로써 병행전략에서 내쉬균형이 다수가 되는 문제점을 해결하려 한다. 발전참여자 입장에서 부하에 불확실성이 있을 때 위험요소를 줄이기 위해 기대이익을 고려하게 되고 이에 대한 최적조건을 유도함으로써 초점문제를 해결한다. 사례연구를 통해 부하의 분산이 클수록 위험회피의 유인이 증가하여 안정적 내쉬균형을 선택하게 됨을 보인다.

2. 고정 수요함수 내쉬균형

2.1 공급함수 모형

전력시장이 도입됨으로써 수요예측도 과거의 전력 MW 값을 추정하는 방식에서 가격탄력성을 포함하여 가격과 부

[†] 正 會 員 : 檀國大 電氣工學科 副教授

E-mail : khlee@dku.edu

接受日字 : 2007年 8月 3日

最終完了 : 2007年 11月 6日

하전력의 상관관계를 찾는 방식으로 변화한다. 일반적으로 전력수요 특성은 다음 식 (1)과 같이 음의 기울기를 갖는 일차함수로 표현된다. 수요의 예측에는 오차가 발생하기 마련인데 주로 절편값을 확률변수로 두고 처리한다[2]. 본 절에서는 수요함수의 절편이 일정한 값을 가질 때를 설명하고 3절에서는 확률변수로 처리될 때를 대상으로 공급함수의 내쉬균형을 분석한다.

발전사의 한계비용함수와 입찰함수도 각각 다음 식(2), (3)과 같이 일차함수로 표현된다.

$$\begin{aligned} D(Q) &= b_0 - m_0 Q \\ Q &= \sum_i q_i \end{aligned} \quad (1)$$

$$f_i(q_i) = b_i + m_i q_i \quad (2)$$

$$g_i(q_i) = k_i + s_i q_i \quad (3)$$

여기서 q_i 는 발전기 i 의 발전량이고, 함수 f_i, g_i 는 한계비용함수와 입찰함수이며 k_i, s_i 는 각각 입찰함수에서의 절편과 기울기의 전략변수이다.

시장운영자(MO)에게 제출된 입찰함수는 발전기의 비용특성으로 간주되어 수요함수에 의한 소비자 이득(Benefit)과 함께 시장거래가치를 최대화하는데 포함된다[3]. 다음 식(4)는 MO가 계산하는 최적화 문제를 나타내고 식(5)는 발전사 i 의 이윤(profit) 최대화 문제를 나타낸다. 본 연구에서는 주장의 선명성과 식의 간결성을 위해 발전기의 최소최대 용량과 송전선의 한계용량 등의 제약조건은 고려하지 않는다.

$$\max W = B(Q) - \sum_i \bar{C}_i(q_i) \quad (4)$$

$$\max \Pi_i = p q_i - C_i(q_i) \quad (5)$$

여기서 p 는 시장가격, B 는 소비자 이득, C 는 발전비용을 나타내고 \bar{C} 는 입찰함수로 계산되는 전략적 비용함수를 의미한다.

2.2 전략변수와 내쉬균형

발전사가 전략변수를 사용하여 이윤을 극대화하기 위해 사용 가능한 파라미터는 k_i, s_i 두 개이다. 둘 모두를 사용하면 지나치게 선택의 자유가 많아서 균형상태를 찾기가 어렵다는 이유로 한 개만 전략적으로 사용하고 나머지는 한계비용에서의 값을 그대로 사용하는 시도[3-5]도 있고, 반면 게임 참여자는 가능한 모든 수단을 동원하고자 하는 유인이 있음을 인정하여 두 파라미터를 모두 전략변수로 사용하는 시도[6,7]도 있다.

시장운영자의 최적화는 발전력의 최적배분 문제이므로 식(4)의 시장거래가치를 발전력으로 미분하여 영이 되는 조건을 구하면 된다. 발전입찰 참여자 2인이 경쟁하는 게임모형에서 이를 나타내면 다음 식(6)과 같다.

$$\begin{pmatrix} q_1^* \\ q_2^* \end{pmatrix} = \frac{1}{\Delta} \begin{pmatrix} s_2 + m_0 & -m_0 \\ -m_0 & s_1 + m_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} b_0 - k_1 \\ b_0 - k_2 \end{pmatrix} \quad (6)$$

여기서 $\Delta = m_0 s_1 + s_1 s_2 + s_2 m_0$ 이다.

발전사 입장에서는 이윤극대화 조건을 찾으려 하는데, 전략변수에 따라서 최적 조건은 다르게 나타난다. 절편(k_i) 전략을 사용하는 경우에는 $\partial \pi_i / \partial k_i = 0$, 기울기(s_i) 전략을 사용하는 경우에는 $\partial \pi_i / \partial s_i = 0$ 의 조건을 구해서 MO의 최적조건과 연립함으로써 내쉬균형을 구할 수 있다. 기울기 전략일 때의 내쉬균형을 구하면 다음 식(7)과 같다.

$$s_i^* = \frac{m_i}{2} + \sqrt{\frac{m_i^2}{4} + \frac{m_0 \Delta}{2m_0 + m_j}}, \quad i \neq j \quad (7)$$

여기서 $\Delta = m_0 s_1 + s_1 s_2 + s_2 m_0$ 이다.

2.3 병행전략의 균형

발전사가 기울기와 절편의 전략변수를 동시에 사용하는 병행전략을 사용하면 발전사의 최적조건은 $\partial \pi_i / \partial k_i = 0, \partial \pi_i / \partial s_i = 0$ 두 개의 식이 얻어진다. 두 식을 이용하면 두 개의 최적 전략을 구할 수 있는 듯 보이지만 식을 유도하면 두 식은 다음 식(8),(9)와 같이 독립적이지 않음을 알 수 있다.

$$\begin{aligned} \partial \pi_i / \partial k_i &= \{ \{ m_0 s_j - (s_i - m_i)(m_0 + s_j) \} q_i - (k_i - b_i)(m_0 + s_j) \} / \Delta \\ &= A_i q_i + B_i = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \partial \pi_i / \partial s_i &= \{ \{ m_0 s_j - (s_i - m_i)(m_0 + s_j) \} q_i - (k_i - b_i)(m_0 + s_j) \} / \Delta \\ &= A_i q_i + B_i = 0 \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \partial \pi_i / \partial s_i &= q_i \{ \{ m_0 s_j - (s_i - m_i)(m_0 + s_j) \} q_i - (k_i - b_i)(m_0 + s_j) \} / \Delta \\ &= A_i q_i^2 + B_i q_i = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

$$q_i = \alpha_i b_0 + \beta_i \quad (10)$$

여기서 $A_i = \{ m_0 s_j - (s_i - m_i)(m_0 + s_j) \} / \Delta, B_i = - \{ (k_i - b_i)(m_0 + s_j) \} / \Delta$ 이고, 식(10)의 α 와 β 는 식(6)을 정리해서 수요함수 절편에 대한 표현으로 나타낼 때의 계수이다. 따라서 한 발전사에서 이용 가능한 식은 하나이고 기울기와 절편 중 하나는 자유롭게 선택할 수 있는 조건이 된다. 내쉬균형은 유일하게 구해지지 않고 두 전략변수의 조합으로 이루어지는 해의 영역을 이룬다.

이러한 내쉬균형으로 이루어지는 영역을 분석하면, 기울기가 매우 크고 절편이 큰 음의 값을 가질 때 쿠르노 균형상태로 수렴함을 알 수 있다[7]. 쿠르노 균형은 과점경쟁을 해석하는 모형 중에서 공급자에게 가장 큰 이득을 가져다주는 모형이다. 즉 병행전략 내쉬균형은 쿠르노 균형에서의 발전량에 해당하는 수직선에 가까운 비탄력적 입찰함수를 선택하는 것이다.

이와 같이 이론적으로는 병행전략으로 쿠르노 내쉬균형에 도달할 수가 있지만, 실제로 입찰함수에 대한 규칙과 제약이 있게 되면 이는 구현할 수가 없다. 또한 부하의 수요 특성에 불확실성이 포함되면 수직선에 가까운 입찰함수의 선택으로 이윤이 오히려 줄어들 수가 있게 되어 입찰함수에 탄력성을 두는 것이 유리할 수가 있다.

3. 확률적 수요특성에서의 내쉬균형

3.1 수요함수의 확률적 분포

부하의 불확실성은 여러 방식으로 나타낼 수 있지만 주로 일정한 가격탄력성을 유지하면서 부하의 수준에서 변동을 하는 모형이 사용된다. 즉 수요함수의 기울기는 유지되면서 절편 값이 달라지는 것이다.

절편값에 포함된 불확실성을 확률적 분포로 가정하여 일정한 평균값(E)과 분산값(V)을 갖는 모형으로 앞에서의 내쉬균형 유도 과정에서 다룰 수 있다. 수요함수의 절편인 b_0 대신 확률변수인 b_x 를 사용한다.

3.2 발전이윤 기댓값과 최적조건

부하가 확률변수로 나타나면 입찰전략을 세울 때 발전사는 전력판매 이윤에 대한 확정적인 관계를 얻을 수 없고 대신 확률적 기댓값을 고려하게 된다. 따라서 이윤 최적화의 조건도 이윤의 기댓값을 미분하여 구해진다. 다음 식은 절편 파라미터로 미분할 때의 조건을 나타낸다.

$$\begin{aligned} \partial E[\pi_i] / \partial k_i &= A_i E[q_i] + B_i \\ &= A_i (\alpha_i E[b_x] + \beta_i) + B_i \end{aligned} \quad (11)$$

여기서 발전력에 대한 기댓값 $E[q_i]$ 은 식(10)에서 b_0 대신 b_x 를 사용하여 적용하여 $E[q_i] = \alpha_i E[b_x] + \beta_i$ 관계를 적용한 것이다. 한편 기울기 파라미터로 미분할 때의 조건을 나타내면 다음 식(12)와 같다.

$$\begin{aligned} \partial E[\pi_i] / \partial s_i &= A_i E[q_i^2] + B_i E[q_i] \\ &= A_i (E[q_i]^2 + \alpha_i^2 V[b_x]) + B_i E[q_i] \\ &= A_i E[q_i]^2 + B_i E[q_i] + A_i \alpha_i^2 V[b_x] \end{aligned} \quad (12)$$

여기서 $E[q_i^2] = V[q_i] + E[q_i]^2 = \alpha_i^2 V[b_x] + E[q_i]^2$ 의 관계식을 사용하였다.

3.3 확률부하의 영향

확률부하를 고려한 기대이윤의 최적조건 유도 결과와 고정 수요특성에 대한 유도 결과를 비교하여 확률부하가 전략 파라미터 선택에 미치는 영향을 살펴본다.

절편에 대한 미분식 (8)과 (11)은 발전력 기댓값 표현 외에는 정확히 일치한다. 따라서 확률부하의 평균값을 고정 수요함수의 절편이라 두면, 즉 $E[b_x] = b_0$ 이면 고정 수요함수에 대한 균형조건식을 그대로 사용할 수가 있다.

기울기에 대한 미분식 (12)는 식(9)와는 달리 새로운 항, $R = A_i \alpha_i^2 V[b_x]$ 이 추가됨을 알 수 있다. 확률부하에 대한 최적 조건식 (11)과 (12)가 동시에 영이 될 때가 병행전략에 대한 내쉬균형이 되는데 식(11)이 만족하게 되면 식(12)는 R 항만이 남게 된다. 확정 부하에서 식(8)과 (9)가 동시에 만족되는 성질과는 다른 특성을 갖는다. 따라서 R=0 일 때가 균형상태가 된다. 이를 만족하기 위해서는 $\alpha_i \neq 0$ 이므로

$A_i = 0$ 이어야 하고, $A_i = 0$ 를 만족하는 다음 (13)이 (12)식 대신에 실질적 내쉬균형 조건이 된다.

$$m_0 s_j = (s_i - m_i)(m_0 + s_j) \quad (13)$$

$$m_0 s_i = (s_j - m_j)(m_0 + s_i) \quad (14)$$

여기서 식(14)는 발전사 j에 대해 정리한 것이다.

위의 두 식을 만족하는 해석적 결과를 얻기 위해 두 발전사의 경쟁에 국한하여 전략변수를 정리하면 다음 식(15)와 같다. 이는 식(7)과 같음을 알 수 있다. 경쟁사가 둘 이상일 때에는 해석적인 유도는 하기 어렵지만 비선형 연립방정식 계산으로 결과 값을 얻을 수가 있다.

$$s_i^* = \frac{m_i}{2} + \sqrt{\frac{m_i^2}{4} + \frac{m_0 \Delta}{2m_0 + m_j}}, \quad i \neq j \quad (15)$$

한편 $A_i = 0$ 가 성립하면서 식(11)이 만족하기 위해서는 $B_i = 0$ 도 만족해야 하므로 $k_i = b_i$ 가 성립한다. 따라서 내쉬균형에서의 절편 파라미터는 한계비용함수의 절편과 동일하고 기울기 파라미터는 기울기전략에서의 조건과 일치함을 알 수 있다. 두 개의 전략변수를 동시에 고려하여 자유로운 선택을 하더라도 균형상태는 기울기 파라미터 하나만을 선택하는 경우로 수렴한다는 의미이다.

고정 수요함수일 때는 균형조건이 식(8) 혹은 (9) 하나만 작용하여 다수의 내쉬균형이 존재하지만 확률부하인 경우에는 식(11)과 식(12)가 R 만큼 차이를 보인다. 만약 R=0 이면 두 식의 차이가 사라져 고정 수요함수일 때와 동일한 상황이 된다. R=0 이란 분산값이 영일 때이므로 더 이상 확률 부하가 아닌 것이다.

또 다른 R의 의미는, 평균값을 사용한 고정 수요함수의 균형조건에서 기울기를 변화시키고자하는 유인이다. 식(11)을 만족하는 다수의 상태에서 기울기를 일정만큼 변화시키므로서 이윤이 증가하는 정도를 나타낸다.

4. 사례연구

4.1 대상 계통

전력시장에 참여하는 발전사는 F1, F2 두 개이고 부하는 하나의 집중된 수요함수로 가정한다. 발전사의 한계비용함수와 고정 수요함수의 기울기 및 절편은 다음 표 1과 같다 [3,6].

주어진 시장상황에 대해 완전경쟁, 쿠르노 모형, 그리고 절편전략과 기울기전략 모형에서의 내쉬균형을 구하면 다음 표 2와 같다.

표 1 수요함수와 한계비용함수

Table 1 Demand and Marginal Cost Functions

| | 함수 형태 | b_i | m_i |
|-----------|-------------------------|-------|-------|
| F1 한계비용함수 | $b_1 + m_1 q_1$ | 10 | 0.35 |
| F2 한계비용함수 | $b_2 + m_2 q_2$ | 10 | 0.45 |
| 고정 수요함수 | $b_0 - m_0 (q_1 + q_2)$ | 100 | 0.5 |

표 2 완전경쟁과 과점모형에서의 내쉬균형
Table 2 Nash Equilibria of Perfect Competition and Oligopoly Model

| | 완전경쟁 | 쿠르노 모형 | 절편전략 | 기울기전략 |
|---------------|-------|--------|--------|--------|
| 발전량(q_1) | 72.65 | 50.07 | 58.66 | 56.64 |
| 발전량(q_2) | 56.50 | 44.80 | 52.49 | 50.06 |
| 가격(p) | 35.43 | 52.56 | 44.43 | 46.65 |
| 이윤(π_1) | 923.5 | 1692.4 | 1417.2 | 1514.4 |
| 이윤(π_2) | 718.3 | 1455.3 | 1187.0 | 1270.9 |
| 절편(k_1) | - | - | 23.89 | - |
| 절편(k_2) | - | - | 20.81 | - |
| 기울기(s_1) | - | - | - | 0.647 |
| 기울기(s_2) | - | - | - | 0.732 |

완전경쟁일 때 가격이 가장 낮고 쿠르노 모형에서 가장 높고 공급함수전략은 중간 정도이다. 발전량은 반대의 순서이다. 이윤은 가격의 순서와 같으며 절편전략보다 기울기전략이 높게 나타난다. 공급함수전략 중에서 병행전략에 대한 분석은 다음 절에서 살펴본다.

4.2 병행전략 내쉬균형

고정 수요함수에 대해 병행전략을 사용하는 경우의 내쉬균형 조건은 식(8) 혹은 (9)로 표현된다. 따라서 내쉬균형을 만족하는 (k_1, s_1) 조합과 (k_2, s_2) 조합은 무수히 많이 존재한다. 이를 s_1, s_2 평면에 이윤의 분포로 나타내면 다음 그림 1과 같다. 그림에 나타난 모든 값들이 이론적 내쉬균형을 나타낸다. 따라서 게임 참여자들이 실제로 균형상태를 선택하는 것은 매우 어렵다.

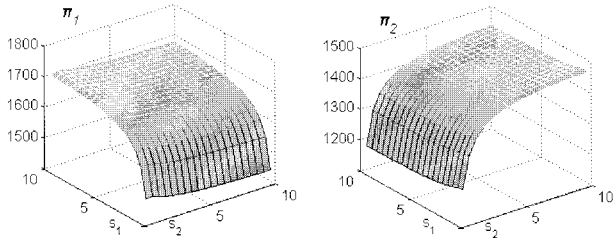


그림 1 병행전략 내쉬균형에서의 이윤분포
Fig. 1 Profits at Two-Parameter Nash Equilibrium

이러한 상황에 대해서 참여자가 두 전략변수를 동시에 변화시킨다는 가정을 포함시키면 전반적인 균형상태는 s_1, s_2 을 계속 증가시키는 방향으로 나타나며 증가할수록 시장의 결과는 쿠르노 균형상태로 수렴하게 된다[7].

그림 1에서 이를 확인하기 위해 상태 P($s_1=s_2=10$)를 살펴보면, 전략변수는 $k_1=-455.9, k_2=-401.1$ 이고 발전량은 $q_1=50.78, q_2=45.30$, 시장가격은 51.96, 발전사 이윤은 $\pi_1=1679.4, \pi_2=1439.0$ 이다. 따라서 표 2에서의 쿠르노 균형상태에 근접함을 알 수 있다. 기울기를 더 크게 하고 절편을 더욱 작은 값

으로 선택하면 결과는 쿠르노 균형에 더욱 가까워진다. 이러한 결과는 발전사가 쿠르노 균형상태에 해당하는 수직선에 가까운 입찰함수를 제시하는 것인데 실제로는 입찰시의 시장규칙이나 제약으로 인해 실제로 사용하기는 힘들다. 또한 부하의 수요함수에 불확실성이 존재하는 경우, 수직선 형태로 입찰함수로 인해 이윤이 큰 폭의 변동을 하게 되어 위험요소가 증가하여 쉽게 선택할 수 없는 전략이다.

4.3 확률적 수요함수

표 1에서 수요함수의 절편값이 확률분포로 나타나는 경우를 살펴본다. 평균값은 고정부하에서의와 같은 100으로 두고 80에서 120까지 동일한 확률로 변동하는 것으로 가정한다. 이를 나타내면 그림 2와 같으며 절편의 분산값을 계산하면 400/3이다.

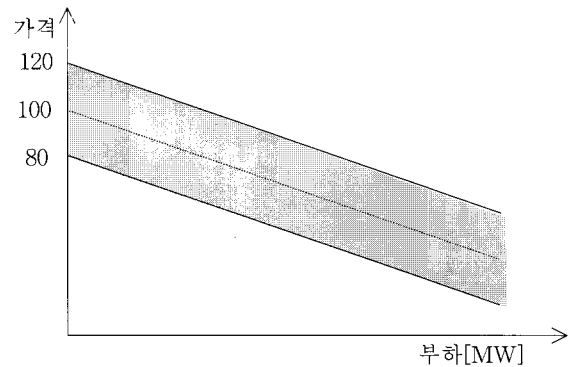


그림 2 확률적 부하의 수요함수
Fig. 2 Demand Function of Stochastic Load

고정 부하인 경우, 상태 P는 균형조건인 (8)과 (9)를 만족하므로 두 참여자는 전략을 변화시키려하지 않을 것이다. 하지만 확률적 부하에서는 상태 P가 균형조건 (11)은 만족시키지만 조건(12)는 만족하지 않고 R 만큼의 편차를 갖는다. 상태 P에서의 R 값을 계산하면, $A_1=-0.8757, \alpha_1=0.0909, V[b_x]=400/3, R=A_1\alpha_1^2 V[b_x]=-0.965$ 이다. 따라서 발전사 F_1 은 상태 P에서 기울기 s_1 을 1 만큼 감소시켜 이윤 기댓값을 0.965 만큼 증가시킬 수 있으므로 기울기를 낮추려 할 것이다.

4.4 분산값의 영향 분석

발전참여자가 기울기 값을 바꾸려는 유인의 정도를 확인하기 위해 기울기를 8~12 범위에서 동일한 확률로 변화시키면서 이윤의 변화를 계산하면 그림 3과 같다. 상대편 전략은 상태 P에서의 값으로 고정시키고 자신의 기울기를 바꾸면서 식(11)을 만족시키는 절편을 선택하여 이윤을 계산한 것이다.

고정부하로 표시한 선은 수요함수의 절편이 100으로 고정된 경우로서 이윤의 변화가 나타나지 않는다. 반면 확률부하에 대한 그래프는 기울기를 줄일수록 이윤이 증가함을 나타낸다. 상태 P에서 발전사 F_1 이 기울기를 1 만큼 감소시킬

때 이윤의 변화는 $1691.326 - 1690.267 = 1.06$ 정도이다. 이는 수치적 편차를 의미하며 미분으로 구한 편차 $R=0.965$ 와 거의 일치함을 알 수 있다.

두 참여자는 모두 기울기를 낮추려는 유인을 갖게 되어 상태 P는 더 이상 내쉬균형이 아니고 새로운 균형상태에 도달하게 되는데 이 점이 3.3 절에서 유도한 기울기전략에 의한 내쉬균형 상태이다. 이를 계산하면 표 2에서의 기울기전략 결과와 동일하다. 즉, $s_1=0.647$, $s_2=0.732$ 가 될 때까지 기울기를 낮추게 된다. 두 발전사의 이윤은 상태 P보다 더 낮아지지만 기울기전략 변화의 유인에 의해서 결국 이 상태에 도달하게 되는 것이다.

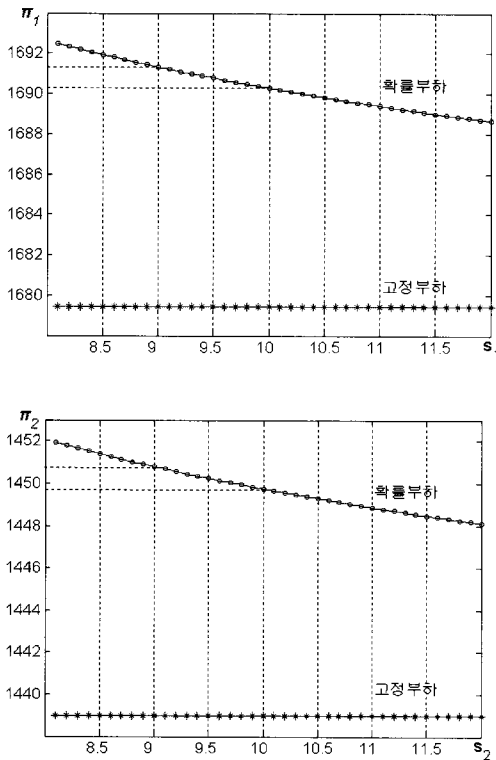


그림 3 상태 P에서 기울기전략에 따른 이윤의 변화
Fig. 3 Profits in Slope Changes at State P

5. 결 론

본 논문은 과점구조를 해석하는 공급함수 모형에서 전략 변수를 동시에 변화시킬 때의 내쉬균형에 대한 연구이다. 병행전략에 대한 내쉬균형 조건을 유도하면 자유도가 존재하여 다수의 균형상태가 발생함을 확인하였다. 이것이 오히려 참여자의 선택을 어렵게 만드는데, 부하에서의 불확실성을 고려함으로써 단일 내쉬균형으로 수렴한다는 특성을 유도하였다. 부하 수요함수의 절편을 확률분포로 나타낼 때 분산값이 클수록 기울기를 바꾸려는 유인을 증가하여 고정 부하에서의 균형상태에서 이탈하게 됨을 확인하였다. 이러한 전략 변화의 유인으로 인해 최종적으로 절편은 한계비용함수 값으로 고정하고 기울기만을 변화시키는 균형상태에 이르게 된다. 사례연구를 통해 확률부하에서의 민감도 편차를 분석하고 정량적으로 검증하였다.

참 고 문 헌

- [1] 한국전력공사, 경쟁적인 전력시장에서 발전경쟁력 분석 연구, 경영경제연구소, 2000. 12.
- [2] Paul D. Klemperer and Margaret A. Meyer, "Supply function equilibria in oligopoly under uncertainty," *Econometrica*, vol.57, no. 6, pp. 1243-1277, November 1989.
- [3] C. A. Berry, B. F. Hobbs, and W. A. Meroney, "Understanding How Market Power Can Arise in Network Competition: A game theoretic approach," *Utility Policy*, Vol.8, pp.139-158, 1999.
- [4] B.F. Hobbs, "Linear complementarity model models of Nash-Cournot competition in bilateral and POOLCO power market," *IEEE Trans. Power Syst.*, Vol.16, No.2, pp.194-202, May 2001.
- [5] J.D. Weber and T.J. Overbye, "An individual welfare maximization algorithm for electricity markets," *IEEE Trans. Power Syst.*, Vol.17, No.3, pp.590-596, Aug. 2002.
- [6] 조철희, 이광호, "전력시장 입찰함수모형에서 입찰 파라미터 선택에 관한 연구," *전기학회논문지*, 53A권, 11호, pp.630-635. 2004. 11.
- [7] R. Baldick, "Electricity market equilibrium models: the effect of parametrization," *IEEE Trans. Power Syst.*, Vol.17, No.4, pp.1170-1176, Nov. 2002.
- [8] H. Niu, R. Baldick, and G. Zhu, "Supply Function Equilibrium Strategies with Fixed Forward Contracts," *IEEE Trans. Power Syst.*, Vol.20, No.4, pp.1859-1863, Nov. 2002.
- [9] Roy Gardner, *Games for Business and Economics*, John Wiley & Sons, Inc. 2003.
- [10] D.W. Carlton, and J.M. Perloff, *Modern Industrial Organization*, Addison-Wesley, 2000.

감사의 글

이 연구는 2006학년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음.

저 자 소 개



이 광 호 (李 光 浩)

1965년 12월 22일생. 1988년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1995년 전력연구원 위촉연구원. 2001년 미국 Univ. of Texas (Austin) 방문교수. 1996~현재 단국대 공대 전기공학과 교수.

Tel : 031-8005-3604

E-mail : khlee@dku.edu