

전략벡터정의를 통한 입찰전략수립

강동주 문영환 오태규 김발호*
 한국전기연구원 홍익대학교*

Bidding Strategy Determination by Defining Strategy Vector

Kang, Dong-Joo Moon, Young-Hwan Oh, Tae-Kyoo Kim, Balho*
 KERI Hong-ik University*

Abstract - This paper shows the optimal bidding strategy determination method using Nash equilibrium concept by defining bidding strategy vector. This vector is 2-dimension vector whose components are generation amount and generation cost. Thereby we are able to make all possible strategies and their's payoff table. And then we erase dominated strategies one by one so that we obtain Nash equilibrium, the optimal bidding strategy of generation bidding game.

하고 그 단위에 대한 배수만큼을 선택할 수 있는 전략의 범위로 한정한다.

1. 서론

전력산업의 규제가 완화됨에 따라, 계통의 운영 방식이 크게 바뀌고 있다. 기존의 수직통합체에서 하나의 주체에 의해 계통의 발전과 급전이 이루어지던 구조에서 시장에 참여하여 서로 경쟁하게 되는 다수의 의사 결정 주체들에 의해 운영되는 구조로 바뀌고 있다[1]. 경제학적인 관점에서 이들 주체들은 자신의 비용과 이득을 고려하여 이득을 극대화하기 위해 행동하게 되며, 결과적으로 광범위한 범위에 산재해 있는 자원을 효율적으로 할당하는 효과를 가져오게 된다. 대표적인 개혁 모델들로서 지역독점입찰, 발전경쟁입찰, 도매탁송, 소매탁송, 의무적/자발적 푸을 등을 들 수 있는데, 본 논문에서는 우리나라가 곧 시행하게 될 발전경쟁입찰 모델을 고려할 것이다[2]. 현재 KPX에서 시범 운행하고 있는 CBP(Cost Based Pool)가 하나의 고유한 함수 형태로 발전량과 발전비용이 1:1 대응관계를 이루는데 반하여, 발전경쟁입찰단계에서 도입하게 될 PBP(Price Based Pool)모델에서는 발전기의 고유 비용함수에다 발전사업자가 자신에게 돌아갈 이득을 부가함으로써 그 이득 크기에 따라 대응하는 여러 가지 가격이 매겨질 수 있다. 본 논문에서는 입찰시 발전사업자가 제출하는 희망발전량과 가격에 대한 정보를 '전략벡터'로 정의하고 입찰전략게임에서 내쉬 균형을 도출하는 과정을 보일 것이다.

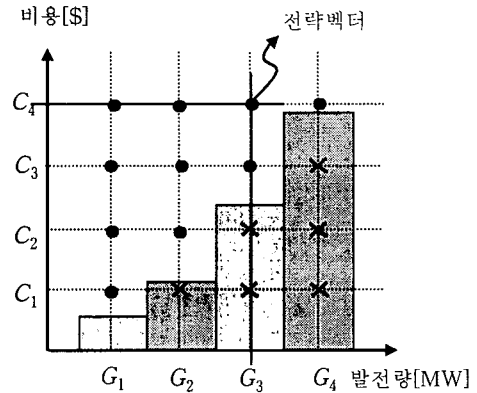


그림 1 발전비용함수와 입찰전략벡터

2. 본론

2.1 입찰전략벡터

발전기의 발전량을 일정한격별 불연속적 생산단위로 구분하고 그에 대응하는 비용함수를 불연속적인 계단 함수 형태로 그림 1과 같이 정의한다. 발전사업자는 입찰에 응할 경우 막대그래프함수로 표현된 원가에 임의의 이득 성분을 더해서 입찰에 응하게 되는데, 이 때 이득 성분은 일정하게 정해진 것이 아니라 발전사업자의 전략에 의해 변동될 수 있는 값이다. 발전사업자는 다수의 선택 가능한 전략 중에서 특정 전략을 선택하게 되는 것이며 바로 이 선택 과정의 근거를 마련하는 것이 본 논문의 주제라 할 수 있겠다. 이러한 전략 선택의 결정 수단으로 비협조 게임의 내쉬 균형 개념을 도입하여 최적 전략 벡터를 도출하는 수단으로 활용하였다. 단 해석의 편의를 위해 세로축 가격 성분의 최소단위를 일정하게 정의

위 그림에서 볼 수 있듯이 발전량 축의 G_i 와 비용 축의 C_j 가 만나는 좌표가 발전사업자의 전략이 되는데, 이 때 생산전력의 가격은 막대 그래프 함수로 표현한 생산비용보다는 높아야 하므로 X표 된 전략은 선택에서 배제된다. 따라서 총 6개의 전략을 취할 수 있으며 각 전략에 따르는 수익을 구할 수 있다. 각 전략별 이득 (payoff)이 구해지면, 두 사업자의 대응 이득 행렬 (payoff matrix)을 구해서 반복적인 열등전략삭제의 과정에 의해 최종적인 내쉬균형을 도출할 수 있다. 이 내쉬균형점이 발전입찰 게임에서의 최적전략(optimal strategy)이 된다.

2.2 열등전략과 내쉬균형

완전 정보 하에서 정적게임의 해 또는 균형을 찾는 방법은 여러 가지가 있으나, 본 논문에서는 반복적 열등전략(iterated strict dominance)에 의한 방법을 이용한다[3]. 열등전략이란 상대가 어떤 전략을 택하든지 간에 (s_{-i}) 선수 i 에 대해 임의의 발전사업자 i 에게 어떤 전략 s_i 전략이라고 할 때, 이 전략 이외의 다른 전략 또는 다른 전략의 조합에 의해서 만들어진 전략이 s_i 의 전략을 택한 경우 보다 항상 높은 효용을 주는 경우, 이러한 전략에 비해 열등전략이라 한다.

열등전략

모든 $s_{-i} \in S_{-i}$ 에 대해 선수 i 에게 어떤 순수전략 s_i 에 대해 $u_i(\sigma'_i, s_{-i}) > u_i(s_i, s_{-i})$ 를 만족하는 σ'_i 이 존재하면 s_i 는 열등전략

열등전략이 존재할 경우 합리적인 어느 누구도 이러한

전략을 택하지는 않을 것이다. 더구나 상대방도 자신과 게임을 하고 있는 상대가 열등전략을 택하지 않을 것을 알고 있기 때문에 이러한 열등전략을 삭제해도 게임의 해를 구하는 데는 전혀 문제가 되지 않는다. 이러한 논리에서 열등전략을 삭제하고 나면 최종전략이 도출되거나 축소된 형태의 전략형 게임이 나타나게 된다.

약열등전략은 열등전략과 유사한 개념으로 어떤 전략에 대해 열등하거나 동등한 보상을 주는 전략을 의미한다. 어떤 경우에는 동등할 수 있다는 점에서 열등전략과 차이가 있다.

약열등전략

모든 $s_{-i} \in S_{-i}$ 에 대해 선수 i 에게 어떤 순수전략 s_i 에 대해 $u_i(\sigma_i^*, s_{-i}) \geq u_i(s_i, s_{-i})$ 를 만족하는 σ_i^* 가 존재하면 s_i 는 약열등전략

약열등전략의 경우에는 반복적 열등전략 삭제 때 나타나지 않는 커다란 문제점이 존재하게 된다. 그것은 약열등전략을 삭제하는 순서에 의해 균형이 바뀔 수 있다는 점이다. 어떤 경우에는 전혀 열등전략이 없는 게임도 있으며, 어떤 경우에는 일부 열등전략이 존재하지 않는 게임도 있으며, 어떤 경우에는 일부 열등전략이 존재하지만, 삭제하고 나면 더 이상 열등전략이 존재하지 않는 경우도 있다. 이러한 게임의 해를 찾기 위해서는 새로운 균형개념이 필요하며, 이를 위한 대표적인 균형개념이 바로 내쉬균형개념이다. 내쉬균형은 서로 자기가 예측한 대로 게임참여자들이 균형전략을 취하고 있고, 그 전략이 최선의 대응전략이기 때문에, 이러한 균형전략에서는 어느 한쪽도 전략을 바꿀 요인이 없게 된다.

내쉬균형

모든 게임참여자 i 에게 $u_i(\sigma_i^*, s_{-i}^*) \geq u_i(s_i, s_{-i}^*)$ 를 만족하는 전략 s_i^* 를 내쉬균형전략이라 한다.

본 논문에서는 두 발전사업자의 입찰 게임에서 전략별 이득(payoff)이 구해지면 반복적 열등전략 삭제에 의해 게임을 축소시켜 나가고 더 이상 열등전략이 없어지면 약열등 전략을 삭제시켜 그 경우 얻어진 해가 내쉬균형 조건을 만족하는지의 여부를 검토하여 최종적인 입찰 전략을 확정하게 된다. 열등전략이 왜 내쉬균형전략이 될 수 없는지는 열등전략의 정의를 생각해보면 바로 알 수 있다. 열등전략이란 상대의 전략에 관계없이 항상 우월 전략이 존재하므로 상대방 전략을 주어졌다고 가정하면 열등한 전략에서 우월전략으로 바뀔 유인이 항상 존재하기 때문이다. 따라서 열등전략은 최선의 대응전략이 될 수 없기 때문에 이를 삭제하여도 무방하다. 이렇게 열등 전략을 삭제하고 남은 축소된 게임에서 내쉬균형을 찾는 경우나 원래의 게임에서 내쉬균형을 찾는 것이나 하등 다를 바가 없게 된다. 왜냐하면, 열등전략을 계속 삭제하고 남은 전략은 바로 상호간에 최선의 전략이 되기 때문에 반복적으로 열등전략을 삭제한 후 구한 균형은 내쉬균형이다.

3. 사례 연구

발전경쟁입찰방식의 푸울(pool) 시장에서 A,B 두 발전사업자가 경쟁하는 상황을 설정한다. 입찰에 참여하는 두 사업자가 계통 전체의 부하를 공급하지 못하는 경우는 제 3의 발전사업자가 나머지 부하를 시장가격으로 공급한다고 가정한다. 임의의 발전사업자 입찰 가격 $p_i = C_i^n / G_i^n$ 라 정의한다. 여기서 G_i^n 는 i 사업자의 발전단위, C_i^n 는 i 사업자의 n 단위 발전비용합수를 나타낸다. 두 사

업자의 입찰가격이 같은 경우 많은 발전량을 적어낸 사업자에게 계통투입의 우선권을 준다. 이는 발전사업자에게 일정 이상의 발전용량확보에 대한 동기를 부여하기 위함이다. 또한 두 사업자의 입찰 가격이 같고 희망 발전량의 합이 계통전체수요를 초과하는 경우 수요를 양분해서 공급하도록 한다. 그림 2, 3은 발전입찰경쟁게임에 참여하는 A,B 두 사업자의 비용함수와 선택할 수 있는 전략벡터들을 각각 나타낸 그림이다.

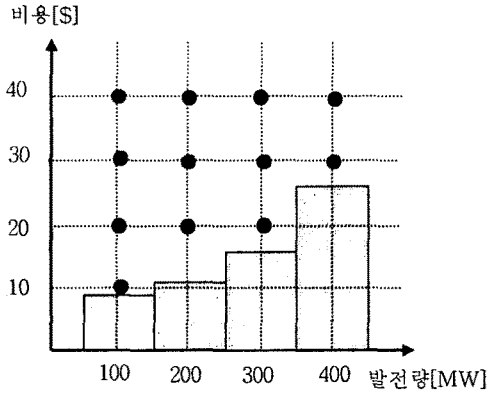


그림 2 A사업자의 비용함수와 입찰전략

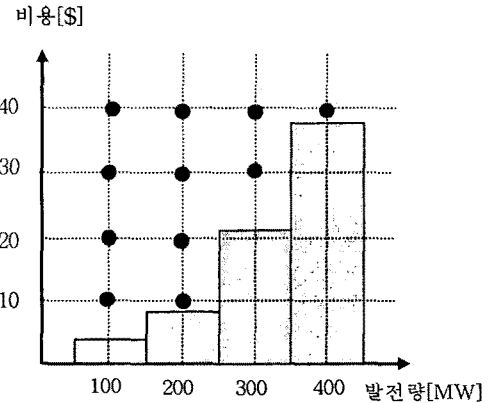


그림 3 B사업자의 비용함수와 입찰전략

	100,10	100,20	100,30	100,40	200,10	200,20	200,30	200,40	300,30	300,40	400,40
100,10	2.12	12.17	22.27	32.37	2.12	2.12	7.22	12.32	2.8	5.17	0.2
100,20	12.17	12.17	22.27	32.37	12.32	12.32	12.32	12.32	12.38	12.38	0.52
100,30	22.27	22.27	22.27	32.37	22.52	22.52	22.52	22.52	22.68	22.68	0.82
100,40	32.37	32.37	32.27	32.37	32.72	32.72	32.72	32.72	32.98	32.98	0.122
200,20	9.7	12.17	22.27	32.37	12.32	12.32	12.32	29.32	9.12	15.18	0.2
200,30	22.12	29.17	49.27	69.37	19.22	19.22	19.22	29.32	19.22	19.22	0.22
200,40	29.17	29.17	49.27	69.37	29.32	29.32	29.32	29.32	12.38	12.38	0.42
300,20	14.7	44.12	74.27	104.37	3.6	14.7	29.12	44.17	14.7	23.10	14.7
300,30	14.7	44.17	74.27	104.37	4.12	14.7	29.12	44.17	9.12	23.10	0.2
300,40	31.10	44.17	74.27	104.37	15.18	15.18	19.22	29.32	5.17	15.18	0.14
400,30	14.0	54.0	94.0	134.0	5.8	14.0	34.0	54.0	14.0	26.0	14.0
400,40	14.0	54.0	94.0	134.0	9.12	14.0	34.0	54.0	14.0	26.0	9.12

표 1 A,B 사업자의 Payoff Matrix

	100,10	100,20	100,30	100,40	200,10	200,20	200,30	200,40	300,30	300,40	400,40
100,10	2,12	12,17	22,27	32,37	2,12	2,12	7,22	12,32	4,8	5,17	1,2
100,20	12,17	12,17	22,27	32,37	12,32	12,32	12,32	12,32	14,38	14,38	0,52
100,30	22,27	22,27	22,27	32,37	22,27	22,27	22,27	22,27	24,68	24,68	4,82
100,40	32,37	32,37	32,37	32,37	32,37	32,37	32,37	32,37	34,98	34,98	12,2
200,20	2,12	12,17	22,27	32,37	12,32	12,32	12,32	12,32	14,38	14,38	0,52
200,30	12,17	12,17	22,27	32,37	12,32	12,32	12,32	12,32	14,38	14,38	0,52
200,40	22,27	22,27	22,27	32,37	22,27	22,27	22,27	22,27	24,68	24,68	4,82
300,30	22,27	22,27	22,27	32,37	22,27	22,27	22,27	22,27	24,68	24,68	4,82
300,40	32,37	32,37	32,37	32,37	32,37	32,37	32,37	32,37	34,98	34,98	12,2
400,40	42,47	42,47	42,47	42,47	42,47	42,47	42,47	42,47	44,98	44,98	20,2

입찰전략게임의 내쉬균형점

표 2 반복적 열등전략삭제에 의한 내쉬균형도출

4. 결 론

본 논문에서는 특정 발전량에 매길 수 있는 다양한 가격을 반영하여 입찰전략벡터(bidding strategy vector)를 정의하였다. 그러한 전략이 정의되면 그에 해당하는 이득 행렬(payoff matrix)을 구할 수 있고, 열등전략을 반복 삭제하여 게임을 축소시킨 다음, 더 이상 열등전략이 존재하지 않게 되면, 약열등 전략을 삭제하여 게임을 계속 축소시켜 나갔다. 약열등 전략은 삭제 순서에 영향을 받기 때문에, 약열등 전략을 삭제하여 축소된 게임이나 균형이 도출되면 내쉬균형 여부에 대한 검증 단계를 거쳐 최종적으로 해를 확정하였다. 향후로는 송전요금을 반영한 경우와 실제 입찰 과정처럼 일정 주기 간격으로 반복적으로 수행되는 다단계 동적 게임의 측면에서도 연구를 진행할 생각이다.

(참 고 문 헌)

[1] Sally Hunt and Graham Shuttlesworth, "Competition and Choice in Electricity", pp 53-75, John Wiley & Sons
 [2] 전력산업 구조변화 및 전력태소에 관한 연구", pp. 51-208, 한국전력공사 전력경제처
 [3] 박주현, "게임이론의 이해", pp 27-81, 도서출판 해남
 [4] H. Scott Bierman, Louis Fernandez, "Game Theory with Economic Applications", pp 3-93, Addison Wesley