

쿠르노 모형을 적용한 양방향입찰 풀시장에서 오차 역전파 알고리즘을 이용한 최적 입찰전략수립

권병국 이승철 김중환
중앙대학교 전자전기공학부

The Optimal Bidding Strategy based on Error Backpropagation Algorithm in a Two-Way Bidding Pool Applying Cournot Model

Byeong-Gook Kwon, Seung-Chul Lee, Jong-Hwan Kim
School of EE, Chung-Ang University

Abstract - 본 논문에서는 쿠르노 모형을 적용한 양방향입찰 전력 풀시장에서 입찰에 참여하는 발전기가 최대 이익을 얻기 위한 입찰전략으로서 신경회로망의 오차 역전파 알고리즘을 이용하여 최적 입찰발전량과 입찰가격을 수립하는 기법에 관하여 연구한다. 전력시장 환경은 n 개의 발전기들이 참여하는 비협조적 불완전정보 시장으로 설정하고 Bayesian의 조건부 확률이론을 적용하여 상대 발전기들의 발전비용함수와 시장의 수요함수를 추정하여 발전기 상호간 쿠르노-내쉬균형점을 이루는 최적 입찰발전량을 예측한다. 그리고 이익을 극대화시키기 위해 오차 역전파 알고리즘을 이용하여 시장의 가격탄력성과 쿠르노 시장균형가격에 연결가중치를 조절함으로써 입찰가격이 계통한계가격에 근접하도록 최적 입찰전략을 수립한다.

1. 서 론

전력 풀시장에서의 입찰 전략변수는 발전량과 가격의 조합에 의해 이루어진다. 입찰 의사결정 주체는 발전회사이지만 발전회사는 여러 개의 발전소와 발전기들을 소유하고 있다. 실제 전력 풀시장에 대한 입찰은 개별 발전소의 발전기 단위로 이루어지며 전략으로서 각각의 입찰발전량과 입찰가격을 가지게 된다. 전력 풀시장의 입찰행위에 대한 분석의 이론적 모형은 중요한 전략변수를 무엇으로 보는가에 따라서 대체로 세 가지로 분류할 수 있다. 즉, 발전량을 전략변수로 삼는 쿠르노(cournot) 모형, 가격을 전략변수로 삼는 버트랜드(bertrand) 모형, 발전량과 가격의 조합인 공급계획곡선을 통해 전략을 수립하는 공급함수균형(supply function equilibrium) 모형이 있다. 이들 중, 본 논문에서는 전력 풀시장을 쿠르노 모형으로 분석하고자 한다. 그 이유는 완전경쟁시장에서의 발전량에 대한 내쉬(Nash)균형점을 예측할 수 있다는 점과 전력산업 특유의 비용구조를 살리면서 시장의 가격탄력성을 반영하여 시장균형가격을 예측할 수 있다는 점 때문이다[1].

전력 풀시장에서 발전기의 비용함수는 일반적으로 공개되지 않으므로 쿠르노 모형 시장에서 내쉬균형 발전량과 시장균형가격을 유도하기 위해서는 각 발전기의 비용함수와 시장의 수요함수에 대한 추정이 필요하다. 본 논문에서는 전력 풀시장에서 매년 공표되고 있는 발전기별 변동비(연료비) 자료를 수집하여 Bayesian의 조건부 확률이론을 적용함으로써 상대 발전기들의 비용함수 유형(type)을 추정한다. 추정된 비용함수를 이용하여 정형화된 완전정보게임 시장으로 변환시켜 내쉬균형을 이루는 최적 입찰발전량을 결정한다.[2][3].

계통한계가격(System Marginal Price : SMP)으로 결정하는 변동비 반영시장(Cost-Based Pool)의 다음 단계인 양방향입찰시장(Two-Way Bidding Pool : TWBP)에서는 시장결제가격(Market Clearing Price)으로 가격입찰방식(Price-Based Pool)을 적용한다. 따라서 시장에 참여한 발전기들은 입찰에 성공할 때 최대 이익을 얻게 된다. 계통한계가격에 영향을 미치는 요소는 전력시장의 수요, 발전기의 고장정지확률, 발전기의 설비용량, 발전기의 보수상태, 발전기의 입/출력 특성, 발전기들의 투입 우선순위, 그리고 경쟁 발전기들의 입찰전략 등 여러 가지가 있다. 하지만 전력 풀시장에서 일반적으로 공개되는 자료

는 시간별 예측수요량과 계통한계가격의 실적 뿐이다[4].

따라서, 본 논문에서는 전력 풀시장에서 공개되는 일정기간의 실제 예측수요량과 계통한계가격 자료를 이용하여 입찰전략을 수립한다. 먼저 쿠르노 모형을 적용하여 최적 입찰발전량과 쿠르노 시장균형가격을 예측한 후, 최대 이익을 얻기 위해 입찰가격과 계통한계가격의 차이가 최소화 하도록 신경회로망(Neural Network)의 오차 역전파(Error Backpropagation) 학습 알고리즘을 이용한다. 즉 입찰가격과 계통한계가격의 오차신호를 피드백(feedback)시켜 시장의 가격탄력성과 쿠르노 시장균형가격의 연결가중치(weight)를 조절함으로써 최적 입찰가격을 예측한다. 오차 역전파 알고리즘의 입력자료는 예측수요량과 계통한계가격으로써 부하(load)의 시간대별 변화추이와 계절적 변화특성을 고려하기 위해 입찰시간의 4시간전, 4주전까지의 자료를 시간축 패턴으로 입력하여 학습시킨다[5].

발전공급입찰시에 제출하는 입찰발전량과 입찰가격은 각 시간대별로 입찰발전량과 입찰가격을 복수의 세트르 나누어 제출하는 것으로 가정하고, 반복 입찰게임을 통해서 입찰발전량에 따른 계통한계가격의 포인트를 최소자승법(Least Mean Square)을 이용하여 기울기를 구한다. 이 기울기를 쿠르노-내쉬균형점에서의 최적 입찰발전량과 입찰가격의 지점에 적용하여 발전공급입찰 제출용 발전량과 가격의 세트를 결정한다.

2. 전력 풀시장의 형태

본 논문에서는 입찰게임의 문제를 정식화하고 분석의 간소화를 위해 다음과 같은 가정을 적용하도록 한다.

- 1) 강제적 전력 풀시장(Mandatory Power Pool)
강제적 풀시장이란 모든 참여자들이 풀을 통하여 전력을 판매 및 구입하여야 한다. 참여자들 사이의 직접 거래를 허용하지 않고 판매와 구매 전력을 전력거래소(Power Exchanger : PX)에서 집중 관리한다.
- 2) 양방향입찰 전력 풀시장(TWBP)
양방향입찰 전력 풀시장(TWBP : Two-Way Bidding Pool)으로 가정하고 시장결제가격(Market Clearing Price)은 가격입찰방식을 적용한다. 즉 시장에 참여한 발전기들 중에 입찰에 성공한 발전기들은 계통한계가격으로 결정하는 것이 아니라 입찰가격으로 결정된다. 따라서 가장 높은 입찰가격, 즉 계통한계가격으로 결정될 때 최대 이익을 얻게 된다. 단, 낮은 입찰가격을 제출한 발전기가 계통 투입의 우선권을 가진다.
- 3) 비협조적 불완전 정보시장
시장에 참여하는 발전기들의 비용함수 및 이익에 대한 정보는 공개되지 않는다. 단지 전력 풀시장에서 매년 발전기별 변동비(연료비) 자료는 공개된다.

3. 입찰발전량

3.1 발전비용함수

쿠르노 모형 시장에서 최적 발전량을 유도하기 위해서는 각 발전기들의 비용함수에 대한 추정이 필요하다. 발전기의 발전비용함수는 일반적으로 발전량에 대한 이차함수로 표시된다. 발전기 i 의 발전량을 q_i 라고 하면 비용함수 C_i 와 한계비용

(Marginal Cost) MC_i 은 다음과 같이 나타낸다.

$$C_i = a_i + b_i q_i + c_i q_i^2 \quad (1)$$

$$MC_i = \frac{\partial C_i}{\partial q_i} = b_i + 2c_i q_i \quad (2)$$

전력 풀시장에서 발전기들의 비용함수는 공개되지 않으므로, 매년 공표되고 있는 발전기별 변동비(연료비) 자료를 수집하여 상대 발전기들의 비용함수곡선을 추정하여 구축한다. 반복적인 입찰게임을 통해 추정된 상대 발전기들의 비용함수와 입찰유형(type)을 Bayesian의 조건부 확률이론을 적용하여 정형화된 완전정보게임형태로 변환시킨다[3].

3.2 시장수요함수

쿠르노 모형의 최적 입찰발전량을 유도하기 위해서는 수요함수에 대한 예측이 필요하다. 전력 풀시장에서 일반적으로 수요함수는 다음과 같이 주어진다[1].

$$P = d_0 - eQ \quad (3)$$

여기서, P : 소비시장가격(원/kWh)

d_0 : 기준점(수요 및 발전량이 "0" 일 때의 가격)

e : 가격탄력성

Q : 예측수요량

매 시간별로 입찰전력을 세우기 위해서는 시간별 기준점(benchmark point) d_0 를 얻어 시간별 수요함수를 구축한다. 소비시장가격 P 에는 최종소비자에게 부과된 평균전력요금을 입력하고 시간별 시장의 가격탄력성, 시간별 예측수요량을 조합하면 매 시간별 d_0 을 계산하여 얻을 수 있다. 쿠르노 모형에서는 시장가격을 결정하는 쿠르노 발전기와 시장가격을 수용하는 원자력, 수력, 독립발전사업자(Independent Power Producer : IPP) 등의 변방(fringe) 발전기로 구분된다. 그러므로 총예측수요량에서 변방 발전기의 발전량을 제외한 쿠르노 발전기 n 개가 참여하는 시장의 수요함수는 다음과 같다.

$$P = d_0 - e(q_1 + q_2 + \dots + q_n) \quad (4)$$

3.2 쿠르노-내쉬 균형발전량

쿠르노 모형에서 발전기의 주요 전략변수는 발전량이다. 따라서 발전기의 전략은 이득을 극대화하는 발전량을 결정하는 것이다. 하지만 자신의 이익 극대화 전략은 상대 발전기의 전략에도 상호영향을 주므로 상호 이익 극대화 전략의 수렴상태인 쿠르노-내쉬균형점을 구하기 위해서는 상호연관성을 갖는 n 개의 연립방정식을 동시에 계산해야 한다. 비용함수가 발전량의 2차 함수로, 수요함수가 1차 함수로 표현되고 용량제한 조건이 없으면 발전기 i 의 이익함수(Benefit Function) B_i 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$B_i = F \cdot q_i - C_i(q_i) \quad (5)$$

$$= [d_0 - e(q_1 + \dots + q_n)]q_i - (a_i + b_i q_i + c_i q_i^2)$$

i 번째 발전기가 $n-1$ 개의 다른 발전기들의 생산량이 일정하게 주어질 때 위의 이익함수 B_i 를 q_i 로 편미분하여 0으로 두고 q_i 에 대해 풀면, 이익을 극대화 하는 발전량 q_i^* 를 다음과 같이 결정하게 된다[6][7].

$$q_i^* = \frac{1}{2} \frac{d_0 - b_i - e(q_1 + \dots + q_{i-1} + q_{i+1} + \dots + q_n)}{e + c_i} \quad (6)$$

식(6)과 같이 표현된 n 개의 최적반응함수를 q_1, q_2, \dots, q_n

에 대해 동시에 n 개의 연립방정식으로 풀면, 전력 풀시장에 참여하는 모든 발전기의 이익이 최대화되는 쿠르노-내쉬 균형점을 구할 수 있다. 이 균형점에서 각 발전기들의 발전량 $q_1^*, q_2^*, \dots, q_n^*$ 은 최적 입찰발전량이 되며, 이들의 합을 쿠르노-내쉬 균형발전량 Q_c 이라 한다.

4. 입찰가격

4.1 쿠르노 시장균형가격

양방향입찰시장(TWBP : Two-Way Bidding Pool)에서는 시장결정가격(Market Clearing Price)으로 가격입찰방식을 적용한다. 시장에 참여한 발전기들 중에 입찰에 성공한 발전기들은 계통한계가격(System Marginal Price)으로 결제하는 것이 아니라 입찰가격으로 결제된다. 따라서 가장 높은 입찰가격, 즉 계통한계가격으로 결정될 때 최대 이익을 얻게 된다.

식 (6)에서의 쿠르노-내쉬 균형발전량을 통해 계산된 소비시장가격 P 는 도매시장가격이 아니라 송배전 요금이 포함된 가격이다. 그러므로 송배전 요금을 차감하면 도매시장 균형가격이 되는데, 이를 쿠르노 시장균형가격 P_c 이라 한다. 쿠르노 시장균형가격으로 입찰할 경우 계통한계가격과 일치할 때 최대 이익을 얻게 되지만, 계통상황의 변동이나 발전기의 기동정지계획 등 발전공급계획에 변경이 발생할 경우, 현실적으로 쿠르노 시장균형가격이 계통한계가격과 일치하기는 어렵다. 따라서 발전기가 최대이익을 얻기 위해서는 시장의 가격탄력성과 쿠르노 시장균형가격에 가중치를 적용하여 입찰가격이 계통한계가격에 근접하도록 차이를 최소화 하는 것이 필요하다.

4.2 오차 역전파 알고리즘

본 논문에서는 전력 풀시장에 쿠르노 모형을 적용하여 쿠르노-내쉬 균형발전량과 쿠르노 시장균형가격을 예측한 후, 쿠르노 시장균형가격과 계통한계가격의 오차를 최소화하기 위해 신경회로망(Neural Network)의 오차 역전파(Error Backpropagation) 학습 알고리즘을 이용한다. 즉, 입찰가격과 계통한계가격의 오차를 역전파시켜서 매 시간대별 가격탄력성과 쿠르노 시장균형가격에 연결가중치를 조절함으로써 최적 입찰가격을 예측한다[4]. 다음 그림은 입력층, 은닉층, 출력층을 가진 다층 신경회로망의 오류 역전파 학습 알고리즘의 구조를 나타낸다.

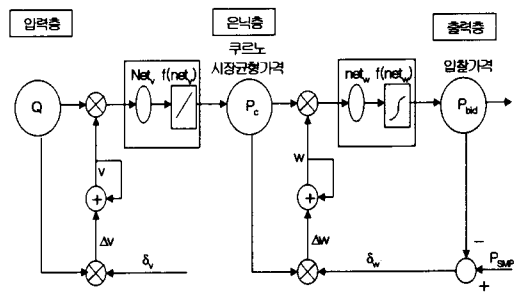


그림.1 오차 역전파 학습 알고리즘 구조

전력 풀시장에서 공개되는 자료는 각 시간대별 예측수요량과 계통한계가격의 실적이다. 따라서, 입력층의 입력값은 예측수요량 Q 로, 은닉층의 출력값은 쿠르노 시장균형가격 P_c 로, 출력층의 출력값은 입찰가격 P_{bid} 로 하며 출력층의 목표값은 계통한계가격 P_{SMP} 으로 한다. 입력층의 가중치는 v 로 하고 활성함수는 다음과 같이 선형함수로 한다.

$$f(net_v) = d_0 - \lambda net_v \quad (7)$$

여기서, λ : 활성함수의 기울기

net_v : 합성연산자($=\sum vQ$)

은닉층의 가중치를 w 라 하면 $net_w = \sum P_c w$ 이다. 은닉층과 출력층 사이의 활성화함수는 다음과 같이 단극 시그모이드(Sigmoid)형 함수를 사용한다.

$$f(net_w) = \frac{2}{1 + e^{-\lambda net_w}} - 1 \quad (8)$$

시그모이드형 함수는 비선형 단조증가 함수로 연속적이며 0과 1 사이에 net_w 범위를 축소할 수 있어 일반적으로 널리 사용한다. 출력층의 출력값인 입찰가격 P_{bid} 는 목표값인 계통한계가격 P_{SMP} 과 비교하여 오차를 계산하게 된다. 출력층의 오차함수 $E(w)$ 는 다음과 같다.

$$E(w) = \frac{1}{2} \sum_p \sum_k (P_{SMP}^k - P_{bid}^k)^2 \quad (9)$$

여기서, p : 패턴수
 k : 패턴내 학습수

출력층의 오차를 거꾸로 은닉층에 역전파하고 가중치를 갱신한다. 오차함수에 경사감소법을 적용하여 출력층의 오차신호 δ_w 와 은닉층과 출력층간의 가중치 변화량 Δw 을 구하면 다음과 같다.

$$\delta_w = (P_{SMP} - P_{bid}) f'(net_w) = (P_{SMP} - P_{bid}) P_{bid} (1 - P_{bid}) \quad (10)$$

$$\Delta w = \delta_w P_c \quad (11)$$

은닉층의 오차신호 δ_v 와 입력층과 은닉층간의 가중치 변화량 Δv 은 다음과 같다.

$$\delta_v = f'(net_v) \sum_k \delta_w^k w^k = - \sum_k \delta_w^k w^k \quad (12)$$

$$\Delta v = - Q \sum_k \delta_w^k \delta_v \quad (13)$$

오류 역전파 학습 알고리즘의 순서는 다음과 같다.

- 1) 입력값(Q, P_c), 목표값(P_{SMP})을 입력하고, 초기 가중치($\Delta v, \Delta w$) 및 허용오차를 결정한다.
- 2) 출력층의 오차 $E(w)$ 를 계산한다.
- 3) 출력층의 오차신호 δ_w 와 은닉층과 출력층간의 가중치 변화량 Δw 을 계산한다. 또한 은닉층의 오차신호 δ_v 와 입력층과 은닉층간의 가중치 Δv 를 계산한다.
- 4) 출력값이 허용오차 범위내에 수렴할 때까지 연결 가중치 v 와 w 을 수정하여 반복 학습한다. 학습 종료시의 출력값을 최적 입찰가격으로 결정한다.

본 논문에서는 전력 풀시장에서 일반적으로 공개되는 예측수요량과 계통한계가격 자료를 이용함에 있어, 각 요일의 시간대별 부하추이와 계절적 부하변화특성을 고려하기 위해 일정한 기간의 실제 자료를 이용하여 오차 역전파 알고리즘을 학습시킨다.

5. 입찰전략수립

발전공급입찰시에 제출하는 입찰발전량과 입찰가격은 각 시간대별로 입찰발전량과 입찰가격을 복수의 세트로 나누어 제출하는 것으로 가정하고, 반복 입찰게임을 통해서 입찰발전량 q_i^* 에 따른 계통한계가격 P_{SMP} 의 포인트들을 최소자승법

(Least Mean Square)을 이용한다. q_i^* 와 P_{SMP} 간의 오차함수는 다음과 같다.

$$E(q_n) = \sum_{n=0}^N (a + bq_n^* - P_{SMP_n})^2 \quad (14)$$

위의 오차함수를 이용하여 선형함수의 기울기를 구할 수 있다. 이 기울기를 입찰 시간대 t 에서의 쿠르노-내쉬균형을 이루는 최적 입찰발전량과 입찰가격의 지점에 적용한다. 최적 입찰발전량과 입찰가격은 최대 이익을 내는 지점이므로 그 이하로 나머지 입찰전략 세트를 작성한다.

6. 사례연구 및 고찰

본 논문의 사례연구에서는 문제의 간소화를 위해 어느 한 발전회사를 1대의 발전기로 간주하고, 입찰에 참여하는 발전회사는 5개로 하며 나머지 원자력, 수력, 독립발전사업자(IPP) 등은 가격수용자로 설정한다. 각 발전회사의 한계비용함수를 추정하고 매 시간대별 수요함수 구축을 통해 예측수요량에 대한 발전회사들의 쿠르노-내쉬 균형점을 구한다. 표.1은 어느 날(2003.09.29)의 시간대별 쿠르노-내쉬 균형점에서 구한 발전회사 A의 최적 입찰발전량과 입찰가격 등을 나타낸 것이다.

표.1 시간별 발전량과 가격(2003.09.29)

Time (hr)	예측 수요량 Q(kW)	쿠르노-내쉬 균형발전량 Qc(kW)	A의 입찰 발전량 q(kW)	쿠르노 시장균형가격 Pc(원/kWh)	A의 입찰 가격 Pbid(원/kWh)	계통한계 가격 PSMP(원/kWh)
19	37702	19379	4747.85	68.19	55.31	55.96
18	33700	17288	4218.27	65.59	55.15	55.96
17	37606	19254	4688.35	65.39	55.10	55.96

표.1 에서 쿠르노 시장균형가격 P_c 는 쿠르노-내쉬 균형발전량을 통해 계산된 소비시장가격 P 에서 송전단가(6.75원/kWh), 배전단가(10.19원/kWh), 용량요금(7.17원/kWh)을 차감한 가격이다. 시장 가격탄력성 $e=0.1$ 로 하였다.

오차 역전파 학습 알고리즘의 입력자료는 예측수요량과 계통한계가격으로서 입찰시간의 4시간전, 4주전까지의 자료를 시간패턴으로 입력하였다. 다음 그림.2는 2003년 9월 22일(월)~28일(일)까지 1주일간의 매 시간별 계통한계가격 P_{SMP} 와 쿠르노 시장균형가격 P_c 을 비교한 그래프이다.

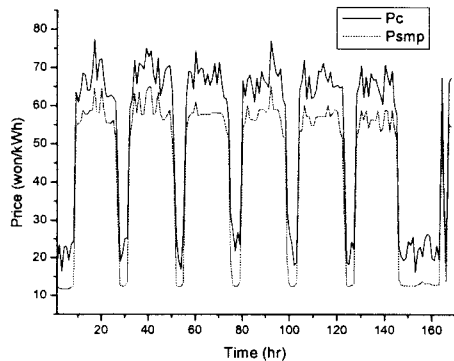


그림.2 P_{SMP} 와 P_c 비교 그래프

그림.2의 그래프 결과를 보면 쿠르노 시장균형가격이 계통한계가격보다 과대 계산되어 있음을 알 수 있다. 이러한 차이가 발생하는 이유는 발전회사의 경비계획 때문이다. 즉, 쿠르노

시장균형가격을 계산하는데 사용한 사고율 및 계획정비율은 모든 달에 대해 동일한 것으로 가정된 반면 계통한계가격에서는 월별로 차별적인 정비계획이 반영되어 있으므로 계획정비가 거의 없으면 과대 계산될 수 있다.

다음 그림.3은 시간별 계통한계가격 P_{SMP} 와 발전회사 A의 최적 입찰가격 P_{bid} 을 비교한 그래프이다.

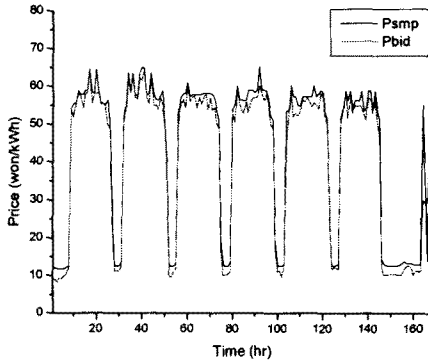


그림.3 P_{SMP} 와 P_{bid} 비교 그래프

입찰가격 P_{bid} 이 계통한계가격 P_{SMP} 보다 높을 경우 발전 공급계획에 참여하지 못하므로, 그림.3에 나타났듯이 입찰가격이 계통한계가격보다 낮도록 가중치를 조절하였다. 그림.3의 그래프에서 입찰가격과 계통한계가격과의 1주일간 평균오차는 약 8.12% 였다. 하지만 일요일(약20.46%)을 제외한 주중평균오차는 약 6.06%였고, 01시~07의 심야시간대(약12.68%)를 제외한 주간시간대 오차는 약 3.34% 였다. 따라서 주중의 주간시간대에서 단기 입찰가격예측 적용이 가능할 것으로 보인다.

발전공급입찰시에 제출하는 입찰발전량과 입찰가격은 각 시간대별로 입찰발전량과 입찰가격을 복수의 세트로 나누어 제출한다. 따라서 표.1 에서와 같이 입찰 시간대 t 에서의 쿠르노-내쉬균형을 이루는 최적 입찰발전량과 입찰가격의 지점을 찾은 후, 식(14)에서 구한 기울기를 적용하여 나머지 입찰전략 세트를 작성한다.

7. 결 론

본 논문에서는 입찰전략을 수립하는데 있어서 전력 풀시장에서 공개하는 발전기 변동비(연료비), 시간별 예측수요량 및 계통한계비용 자료를 이용하였다. 발전비용함수 및 수요함수를 추정하여 발전량의 쿠르노-내쉬균형을 구하여 입찰발전량을 결정하였고, 신경회로망의 오차 역전파 학습 알고리즘을 이용하여 계통한계가격과 근접한 입찰가격을 결정함으로써 입찰전략을 수립해보았다.

일단 발전공급계획에 참여해야 하므로 오차 역전파 알고리즘을 학습하는데 있어서 입찰가격이 계통한계가격보다 높지 않도록 가중치를 조절하는 것이 중요하다. 공휴일 및 심야시간대를 제외한 주중 주간시간대 오차는 약 3.34% 였으므로 단기 입찰가격예측에는 적용 가능할 것으로 생각한다. 그러나 계통한계가격이 낮은 공휴일 및 심야시간대에 오차를 줄이는 방법과 계통상황에 따른 계통한계가격 변동이나 불량자료 입력시 대처하는 방법 등에 대한 개발이 향후 연구되어야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 에너지경제연구원, 「경쟁적 전력시장에서의 정부의 역할 -전략적 행동과 규제-」, 2001. 12.
- [2] R. W. Ferrero, J. F. Rivera, and S. M. Shahidehpour, "Application of Game with Incomplete Information for Pricing

Electricity in Deregulated Power Pools", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 13, No. 1, pp. 184-189, Feb. 1998.

- [3] B.G.Kwon, S.C.Lee, D.S.Choi, J.W.Kim, "Application of Bayesian-Cournot Nash Game Model in Establishing Bidding Strategy with Incomplete Information among Non-cooperative Generation Companies", IFAC, Vol. 1, pp.436-440, Sep. 2003.
- [4] Nogales, F.J., Contreas, J.,Conejo, A.J., Espinola, R., "Forecasting next-day electricity prices by time series models", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 17, Issue: 2, pp. 342-348, May. 2002.
- [5] 이상배, 「퍼지-뉴로제어시스템」, 2002. 03.
- [6] Benjamin F. Hobbs, "Linear Complementarity Models of Nash-Cournot Competition in Bilateral and POOLCO Power Markets", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 16, No. 2, pp. 192-202, May. 2001.
- [7] Roy Gardner, 「Games for business and economics」, John Wiley & Sons, Inc, 1995.