

역전파 신경회로망 기반의 단기시장가격 예측

송병선 이정규 박종배 신중린  
건국대학교

Locational Marginal Price Forecasting Using Artificial Neural Network

Byoung-Sun Song Jeong-Kyu Lee Jong-Bae Park Joong-Rin Shin  
Konkuk University

**Abstract** - Electric power restructuring offers a major change to the vertically integrated utility monopoly. Deregulation has had a great impact on the electric power industry in various countries. Bidding competition is one of the main transaction approaches after deregulation. The energy trading levels between market participants is largely dependent on the short-term price forecasts. This paper presents the short-term System Marginal Price (SMP) forecasting implementation using backpropagation Neural Network in competitive electricity market. Demand and SMP that supplied from Korea Power Exchange (KPX) are used by a input data and then predict SMP. It needs to analysis the input data for accurate prediction.

1. 연구 배경

전 세계적으로 독점체제가 불가피했던 전력산업은 정보통신기술의 발달과 효율적인 발전기술의 등장으로 경쟁도입이 가능해지면서 경쟁체제로 전환되고 있다. 우리나라의 전력산업 구조개편은 지금까지 세계 각 국에서 추진되어온 전력산업 구조개편 모형을 참고하여 송전망을 제외한 발전·배전·판매사업에 경쟁체제를 도입하는 방안을 마련하는 것이다. 구조개편을 통해서 경쟁 촉진 및 효율성 향상 효과로 인해 요금인하 및 다양한 소비자 선택권 등의 형태로 최종소비자에게 과급될 수 있다[1].

계통계획은 시장원리 도입에 따라서 가격 신호를 바탕으로 수립되어진다. 발전 확충계획, 송전망 확충계획, 배전계획 등은 장기 전력가격예측에 의해 결정되고, 시장 참여자들 사이의 전력거래는 대부분 단기 전력가격예측에 의해 결정된다[2]. 앞으로의 시장이 양방향 입찰시장(Two Way Bidding Pool : TWBP)의 형태로 운영된다면, 단기가격 예측은 시장참여자들의 이익 극대화를 위한 중요한 요소가 된다. 따라서 정확한 계통한계가격 예측은 시장참여자들에게 있어서 이익을 극대화 할 수 있는 전략수립의 바탕이 된다.

가격예측에 있어서 중요한 요소로는 시간, 부하, 이전 가격패턴 등이 있다[3]. 기존의 단기가격 예측에는 Ying Yi Hong 등의 Recurrent Neural Networks를 이용한 PJM (Pennsylvania, New Jersey, Maryland)의 LMP (Locational Marginal Price)예측[4], A. Martini 등의 Simulation Tool을 이용해 Generating Company (GENCO)의 입찰량, 기동정지계획, 계통의 시간대별 에너지 가격 및 이익 등의 예측[5], Koreneff등의 Time Series Method를 이용한 전력 현물가격 예측 등이 있다[6].

입력요소로는 전력거래소에서 제공되는 과거의 계통한계가격과 수요자료를 사용하여 학습한 역전파 신경회로망(Back-propagation Neural Networks)을 이용하여 각 시간대별 계통한계가격을 예측하게 된다[7]. 입력요소로는 요일별, 계절별 특성이 나타나므로 동일요일의 4주간 자료를 입력자료로 선정하였으며, 이 4주간의 자료 중 예

측시의 입력자료와 가장 흡사한 패턴을 선택하여 신경회로망을 학습시킨 후 예측을 수행하였다.

2. 문제의 정식화

전력거래소에서 결정되어지는 계통한계가격(SMP)은 발전사업자가 제출한 입찰자료를 바탕으로 계통 상황을 고려하여 결정되어진다. 기본적으로 계통한계가격은 수요와 공급의 균형이 이루어지는 상태에서 마지막으로 투입된 한계 발전기의 가격으로 정해지게 된다. 계통한계가격은 전력의 수요, 발전기의 고장정지확률, 발전기의 설비용량, 발전기의 보수상태, 발전기의 입/출력 특성, 발전기들의 투입 우선순위 등 여러가지 요소들에 의해 영향을 받는다[5].

본 논문에서는 전력거래소가 공개하는 계통한계가격과 수요 데이터만을 고려하여 역전파 신경회로망을 기반으로 계통한계가격을 예측하였다. 입력요소로는 각 패턴당 예측시 t를 기준으로 이전 3시간의 계통한계가격과 다중평균, 이전 3시간 및 예측시의 수요자료를 사용하였다. 입력 유닛은 요일별 특성과 계절별 특성이 고려되어 지는데 계절별 특성을 고려하기 위하여 4주간의 데이터를 사용한 4개의 패턴이 이용하였다[7].

3. 신경회로망 개요

인간 두뇌에 관한 탐구는 오래 전부터 계속되어 왔다. 컴퓨터를 통한 인공지능의 구현을 위한 노력으로 최근에는 패턴인식, 의사결정 등에서 컴퓨터보다 우수한 인간의 두뇌를 모방한 신경망에 대한 연구가 가속되고 있다. 신경회로망은 입력층, 은닉층, 출력층 방향으로 연결강도를 가지고 연결되어져 있으며, 각 층내의 연결과 출력층과 입력층으로의 직접적인 연결은 존재하지 않는 전방향의 네트워크이다. 입력값과 출력값에 대한 오차를 정정하는 규칙으로는 역전파 신경 회로망 학습 알고리즘을 사용하게 된다. 이것의 기본원리는 입력층의 각 유닛에 입력패턴을 주면, 이 신호는 각 유닛에서 활성화수에 의해 변환되어 연결강도를 통해 은닉층에 전달되고 다시 출력층으로 전달하여 신호를 출력하게 된다. 이 출력값과 목표값을 비교하여 오차를 최소화하는 방향으로 연결강도를 조절하게 된다[8]. 하나의 패턴마다 위 과정을 사용하고 계절별 특성을 고려하기 위해 4주의 데이터를 이용하게 되므로 4개의 패턴을 사용했다. 각 패턴의 오차를 합산한 오차합을 최소화하여 목표값을 구하게 되는데 다음과 같이 나타낸다.

$$MinError = \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \frac{1}{2} (d_{pk} - o_{pk})^2 \quad (1)$$

P : 패턴의 수

K : 출력유닛의 수

$d_{pk}$  : p번째 패턴에서의 k번째 출력유닛의 목표값

$o_{pk}$  : p번째 패턴에서의 k번째 출력유닛의 계산값

각 층에 사용되는 활성화함수는 양극화활성함수를 사용하였다. 활성화함수는 신경회로망에서 입력력 값의 신호를 발생시킨다.

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

#### 4. 신경회로망의 적용

본 논문에서는 단기 계통한계가격을 예측하기 위해 역전파 신경회로망을 이용하였다. 계통한계가격은 계절별, 요일별, 시간대별 특성을 가지고 있으므로, 역전파 신경회로망의 입력으로 동일 요일의 이전 4주간의 자료를 사용하였다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{input}_p(t) = & (SMP_{w,}(t-1), SMP_{w,}(t-2), SMP_{w,}(t-2) \text{의 가중평균,} \\ & SMP_{w,}(t-3), SMP_{w,}(t-2), SMP_{w,}(t-1), \\ & Demand_{w,}(t-3), Demand_{w,}(t-2), Demand_{w,}(t-1), \\ & Demand_{w,}(t)) \end{aligned} \quad (4)$$

여기서,

$i$ : 4, 3, 2, 1, (패턴)

$W$ : 예측주

$t$ : 예측시

식에서 알 수 있듯이 본 논문에서는 4개의 패턴을 가진 역전파 신경회로망을 사용하였다. 그러나, 입력자료를 동일요일로만 구성했다 하더라도 외부의 어떤 원인에 의해 요일특성을 잃어버린 날도 있을 것이다. 이러한 입력자료를 이용해 학습한다면 신경회로망의 오차 수렴성에 좋지 않은 영향을 미칠 것은 당연한 것이다. 따라서, 본 논문에서는 4개의 패턴 중 예측시의 패턴과 가장 가까운 것을 하나 선택해 학습을 시킨 후 예측시의 계통한계가격 예측을 수행하였다. 이 방법은 4개의 패턴 모두를 사용함으로써 인한 신경회로망의 불확실성을 제거하고 단 하나의 패턴만을 학습함으로써 완벽하게 학습할 수 있는 장점을 가지고 있다.

#### 5. 사례연구 및 고찰

본 논문에서는 한국전력거래소에서 제공되는 시간대별 계통한계가격과 수요예측 자료를 이용해 2002년 4월 15일부터 2002년 5월 18일까지 5주간 평일의 단기 계통한계가격을 예측하였다. 다음 표 1은 예측 수행에 대한 결과 오차를 나타낸 것이다. 표 1에서 알 수 있듯이 4개의 패턴을 모두 사용하여 예측한 계통한계가격의 오차가 제안한 방법을 이용했을 때보다 더 큼을 확인할 수 있다. 또한, 주간 평균오차 역시 5주에 걸쳐 모두 개선됨을 확인할 수 있으며, 그 오차가 적어 이익극대화를 추구하는 시장참여자들에게 유용한 정보를 제공할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나, 5월 2일의 오차를 보면 그 값이 매우 큰데 이는 5월 1일 근로자의 날 다음날이기 때문이다. 휴일 다음날의 계통한계가격은 그 패턴이 일정치 않으며 급격한 변화가 나타나는 지점이 발생한다. 월요일의 오차가 다른 날들에 비해 상대적으로 큰 이유도 이 때문이다.

4개의 패턴 중 예측시 입력자료와 가장 유사한 패턴을 선택하는 방법으로는 놈(norm)을 사용하였다. 8개의 항목을 가지고 있는 입력벡터들 사이의 거리를 계산해 이 중 예측시 입력벡터와 가장 거리가 짧은 패턴을 선택해 역전파 신경회로망의 학습에 사용하게 된다. 그림[1]은 계통한계가격을 예측하는 일련의 과정을 나타낸 것이다.

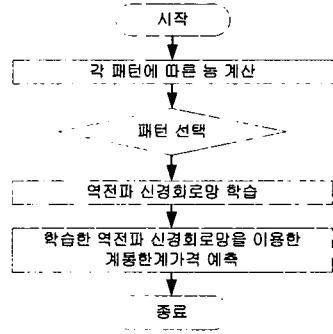


그림 1 계통한계가격 예측과정

또한, 그림 2는 표 1의 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 그래프에서 실제의 계통한계가격을 예측값이 거의 유사하게 따라가고 있으며, 일부 구간에서는 일치하고 있음을 확인할 수 있다.

#### 6. 결론

본 논문에서는 한국전력거래소에서 제공되는 계통한계가격과 수요예측 자료를 역전파신경회로망의 입력자료로 사용해 2002년 4월 15일부터 2002년 5월 18일까지 5주간의 계통한계가격을 예측하였으며, 이를 실제 계통한계가격과 비교 분석하였다. 그 결과, 제안한 방법을 계통한계가격예측에 적용하였을 경우 5주간의 평균오차가 5.26%로 그렇지 않았을 경우의 6.61%보다 더 정확한 값을 도출함을 보였으며, 1일 평균오차는 최저 1%까지 내려가 매우 정확한 예측이 가능함을 보였다. 따라서, 여러 시장 참여자들에게 그들의 목적에 부합할 수 있는 유용한 정보의 제공이 가능하리라 판단된다. 그러나, 월요일 및 휴일 다음날의 계통한계가격 예측에 있어 그 정확도가 평일에 비해 상대적으로 떨어짐을 알 수 있으며, 이 문제를 해결하기 위한 새로운 방법론이 모색되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 산업자문부 및 한국전력연구원의 대학전력연구센터 지원 프로그램에 의하여 수행되었습니다.

#### [참고 문헌]

- [1] 조성봉 · 김진우, 전력산업의 개혁 방향과 주요 정책과제, 에너지경제연구원, 2000.
- [2] B.R. Szkuta, L.A. Sanabria, T.S. Dillon, "Electricity Price Short-Term Forecasting Using Artificial Neural Network", IEEE Transactions on Power System, Vol. 14, No. 3, pp. 851-857, 1999.
- [3] Mohammad Shahidehpour, Muwaffaq Alomoush "Restructured Electrical Power Systems Operation, Trading, and Volatility, Marcel Dekker, Inc. 2001.
- [4] Ying Yi Hong and Chuan-Yo Hasiao, "Locational Marginal Price Forecasting in Deregulated Electric markets Using a Recurrent Neural Network", IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Vol.2, pp. 539-544, 2001.
- [5] A. Martini, P. Pelacchim L Pellegrini, M.V Cazzolo A. Garzillo and M. Innorta, "A Simulation Tool for Short Term Electricity Market", Power Industry Computer Applications, 2001. PICA 2001. Innovative Computing for Power - Electric Energy Meets the Market. 22nd IEEE Power Engineering Society International Conference on, pp.112-117, 2001.
- [6] Koreneff G., Seppala A., Lehtonen M, Kekkonen V., Laitinen E., Hakki J. and Antila E., "Electricity Spot Price Forecasting as a Part of Energy Management in Deregulated Power Market", Energy Management and Power Delivery, 1998. Proceedings of EMPD '98, 1998 International Conference on, Vol. 1, pp.223-228, 1998.

[7] 이경규, 김민수, 박종배, 신중린 "신경회로망을 이용한 계통 한계비용 예측" 대한전기학회 하계학술대회, pp.389-391, 2002.  
 [8] 김대수, 신경망 이론과 응용(I), 하이테크정보사, 1992.

[9] Laurene Fausett, Fundamentals of Neural Networks Architectures, Algorithms, and Applications, Prentice Hall International, Inc.

	월요일		화요일		수요일		목요일		금요일		토요일		평균	
날짜	4월 15일		4월 16일		4월 17일		4월 18일		4월 19일		4월 20일		4 패턴	1 패턴
방법	4 패턴	1 패턴	4 패턴	1 패턴	4 패턴	1 패턴	4 패턴	1 패턴	4 패턴	1 패턴	4 패턴	1 패턴	4 패턴	1 패턴
오차(%)	11.79	11.40	4.29	2.66	2.45	2.35	5.90	7.96	3.38	4.35	2.35	1.33	5.03	5.01
날짜	4월 22일		4월 23일		4월 24일		4월 25일		4월 26일		4월 27일		4 패턴	1 패턴
방법	4 패턴	1 패턴	4 패턴	1 패턴	4 패턴	1 패턴	4 패턴	1 패턴	4 패턴	1 패턴	4 패턴	1 패턴	4 패턴	1 패턴
오차(%)	5.23	5.45	2.42	1.00	1.95	1.53	4.69	4.46	2.64	2.38	2.48	1.71	3.24	2.76
날짜	4월 29일		4월 30일		5월 1일		5월 2일		5월 3일		5월 4일		4 패턴	1 패턴
방법	4 패턴	1 패턴	4 패턴	1 패턴	4 패턴	1 패턴	4 패턴	1 패턴	4 패턴	1 패턴	4 패턴	1 패턴	4 패턴	1 패턴
오차(%)	3.71	3.50	6.12	4.57			31.82	25.71	10.51	6.29	5.53	3.95	11.54	8.80
날짜	5월 6일		5월 7일		5월 8일		5월 9일		5월 10일		5월 11일		4 패턴	1 패턴
방법	4 패턴	1 패턴	4 패턴	1 패턴	4 패턴	1 패턴	4 패턴	1 패턴	4 패턴	1 패턴	4 패턴	1 패턴	4 패턴	1 패턴
오차(%)	6.85	5.30	7.26	3.98	6.58	5.49	13.38	3.56	4.49	5.41	3.77	4.22	7.06	4.66
날짜	5월 13일		5월 14일		5월 15일		5월 16일		5월 17일		5월 18일		4 패턴	1 패턴
방법	4 패턴	1 패턴	4 패턴	1 패턴	4 패턴	1 패턴	4 패턴	1 패턴	4 패턴	1 패턴	4 패턴	1 패턴	4 패턴	1 패턴
오차(%)	3.93	4.47	6.71	4.82	6.77	5.98	8.42	3.63	8.15	9.08	2.98	2.57	6.16	5.09
평균	6.30	6.02	5.36	3.41	4.44	3.84	12.84	9.06	5.83	4.77	3.42	2.76	6.61	5.26

표 2 5주간 계통한계가격 예측 오차

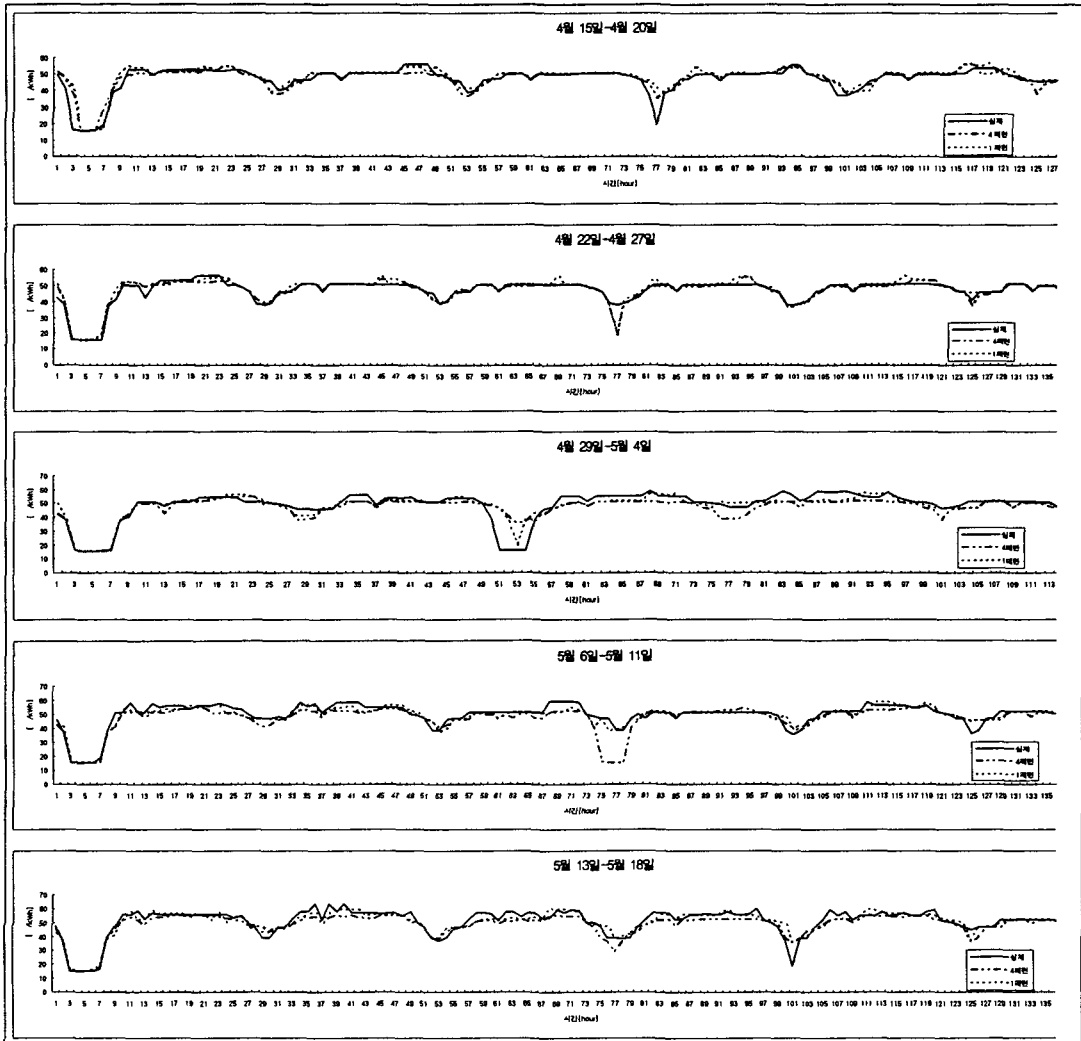


그림 2 2002년 4월 15일부터 5월 18일까지의 계통한계가격 그래프