

퍼지 회귀분석법을 이용한 경쟁 전력시장에서의 현물가격 예측

(The System Marginal Price Forecasting in the Power Market Using a Fuzzy Regression Method)

송경빈*

(Kyung - Bin Song)

요 약

본 논문에서는 퍼지 선형회귀분석법을 이용한 경쟁 전력시장에서의 전력의 시간별 현물가격을 예측하는 기법을 제시한다. 제안한 기법은 2002년 봄의 일주일에 대한 시간별 수요를 예측하여 본 기법의 타당성과 정확도를 검증하였다. 제안한 방법의 예측 오차는 주중의 경우 3.14%~6.10%이며, 주말의 경우 7.04%~8.22%로써 뉴럴 네트워크 기법을 이용한 방법과 비교하여 타당한 결과를 보였다.

Abstract

This paper presents hourly system marginal price forecasting of the Korea electric power system using a fuzzy linear regression analysis method. The proposed method is tested by forecasting hourly system marginal price for a week of spring in 2002. The percent average of forecasting error for the proposed method is from 3.14% to 6.10% in the weekdays, from 7.04% to 8.22% in the weekends, and comparable with a artificial neural networks method.

Key Words : system marginal price forecasting, fuzzy linear regression

1. 서 론

경쟁전력시장에서 전력가격의 정확한 예측은 합리적이고 효율적인 전력시장 운용을 가능케한다. 전력시장 참여자들은 장기적으로 경쟁에서 유리한 지위를 차지하기 위한 입찰 전략이나 사업 결정에 있어서 실시간으로 변화하는 현물가격은 관심의 대상이 되므로 현물 가격 예측에 대한 연구는 필수적이

라 할 수 있다. 해외에서 현물가격 예측은 관심있는 연구분야이며, 국내에서는 연구가 미미한 현실이다. 본 논문에서는 퍼지 이론 과 회귀분석 방법을 분석하여 퍼지 선형회귀분석법을 이용한 시스템 한계가격 예측 알고리즘을 제시한다. 본 논문에서는 퍼지 선형회귀분석법을 적용하여 한국전력거래소로부터 획득한 데이터를 바탕으로 2002년 5월 6일(월)부터 5월 12일(일)까지 일주일 동안 일간 시스템 한계가격 예측을 수행하였다. 제안한 알고리즘의 평일에 대한 평균 오차율은 3.14% ~ 6.10%이다.

* 주저자 : 송실대 전기제어시스템공학부 전임강사

Tel : 02-820-0648, Fax : 02-817-7961

E-mail : kbsong@ssu.ac.kr

접수일자 : 2003년 4월 14일

1차심사 : 2003년 4월 28일 2차심사 : 2003년 7월 7일

심사완료 : 2003년 10월 6일

2. 퍼지 선형회귀분석법을 이용한 시스템 한계가격 예측

표 1. 퍼지 데이터 입력
Table 1. Fuzzy input data

	day of the week $Y_i (y_i, e_i)$	previous four weekdays $X_i (x_i, \gamma_i)$
forecasting day(i=F)	$SMP_t^{forecast}$	$D1 SMP_t^{forecast}, D2 SMP_t^{forecast}, D3 SMP_t^{forecast}, D4 SMP_t^{forecast}$
previous 1st week(i=1)	SMP_t^{pre1}	$D1 SMP_t^{pre1}, D2 SMP_t^{pre1}, D3 SMP_t^{pre1}, D4 SMP_t^{pre1}$
previous 2nd week(i=2)	SMP_t^{pre2}	$D1 SMP_t^{pre2}, D2 SMP_t^{pre2}, D3 SMP_t^{pre2}, D4 SMP_t^{pre2}$
previous 3rd week(i=3)	SMP_t^{pre3}	$D1 SMP_t^{pre3}, D2 SMP_t^{pre3}, D3 SMP_t^{pre3}, D4 SMP_t^{pre3}$

2.1 퍼지선형회귀분석법

선형회귀분석 모델에 퍼지 개념을 도입하면, 입력 변수와 출력변수를 퍼지화하여 선형회귀모델의 계수를 퍼지화 할 수 있다. 따라서, 퍼지 선형회귀 모델은 식(1)와 같이 표현된다.

$$Y_i = A_0 \oplus (A_1 \otimes X_i) \quad (1)$$

여기서, Y_i, X_i, A_0, A_1 는 퍼지 넘버(fuzzy number)이며, \oplus 는 퍼지 넘버의 합 연산을 나타내는 것이고, \otimes 는 퍼지 넘버의 곱 연산을 나타내는 것이다.

퍼지 선형회귀 모델식에 제시된 퍼지 넘버는 삼각 퍼지 넘버(triangular fuzzy number)로 정의된다. 그림 1은 중심이 a 이고 좌·우측 표준편차가 α 와 β 인 삼각 퍼지 넘버 $\tilde{A}(a, \alpha, \beta)$ 의 그래프를 나타낸 것이다.

$A_0(a_0, \alpha_0), A_1(a_1, \alpha_1)$ 는 퍼지 선형회귀 모델식에서 삼각 퍼지 넘버로서 회귀분석 모델의 계수들이다.

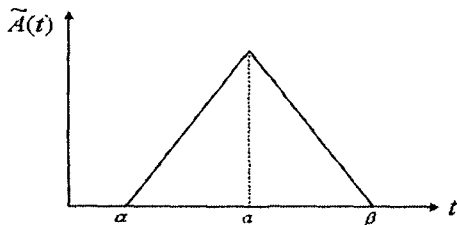


그림 1. 삼각 퍼지 넘버 \tilde{A} 의 그래프
Fig. 1. The graph of a fuzzy number \tilde{A}

a_0, a_1 는 $A_0(a_0, \alpha_0), A_1(a_1, \alpha_1)$ 의 중심이고, α_0, α_1 는 $A_0(a_0, \alpha_0), A_1(a_1, \alpha_1)$ 의 표준편차이다. 변수 $X_i(x_i, \gamma_i), Y_i(y_i, e_i)$ 의 x_i, y_i 는 평균이고 γ_i, e_i 는 표준편차로 대칭형 삼각 퍼지 넘버이다. 변수 $X_i(x_i, \gamma_i), Y_i(y_i, e_i)$ 가 과거 데이터를 이용하여 결정되면 회귀분석 모델의 계수인 $A_0(a_0, \alpha_0), A_1(a_1, \alpha_1)$ 를 구할 수 있으며, 변수 $X_i(x_i, \gamma_i)$ 가 주어지면 변수 상관관계로부터 변수 $Y_i(y_i, e_i)$ 를 추정할 수 있다.

2.2 일간 시스템 한계가격 예측

일간 시스템 한계가격을 예측하기 위한 입력 데이터는 예측일의 직전 평일 4일과 예측일과 동일 요일 형태인 직전 3주 데이터를 이용하여 만들어진다. 표 1은 예측일의 직전 4일과 동일 요일 형태의 직전 3주에 대한 입력 데이터의 형식을 나타낸다.

일반적으로, 삼각 퍼지 넘버의 곱셈에 대해서는 그 결과가 삼각 퍼지 넘버가 아닌 다른 모양으로 곱셈계산 후 삼각형의 모양이 보존되지 않지만, 식(2)와 선형계획법(fuzzy linear programming)을 이용하면 삼각 퍼지 넘버의 곱셈계산 후에도 삼각형의 모양을 보존할 수 있다[1,2]. 따라서, 선형 계획법을 이용하여 식(2)의 최적화 문제를 풀이한다.

$$\begin{aligned} \text{Minimize } & J(a, \alpha) \\ & = \text{Max}(a_0, |a_1| \gamma_1, |a_1| x_1) \end{aligned} \quad (2)$$

퍼지 외귀분석법을 이용한 경쟁 전력시장에서의 연물가격 예측

$$+ \text{Max}(\alpha_0, |a_1|\gamma_2, \alpha_1|x_2|)$$

$$+ \text{Max}(\alpha_0, |a_1|\gamma_3, \alpha_1|x_3|)$$

Subject to

$$|y_1 - (a_0 + a_1 x_1)| \leq \frac{1}{2} \text{Max}(\alpha_0, |a_1|\gamma_1, \alpha_1|x_1|) - \frac{1}{2} e_1$$

$$|y_2 - (a_0 + a_1 x_2)| \leq \frac{1}{2} \text{Max}(\alpha_0, |a_1|\gamma_2, \alpha_1|x_2|) - \frac{1}{2} e_2$$

$$|y_3 - (a_0 + a_1 x_3)| \leq \frac{1}{2} \text{Max}(\alpha_0, |a_1|\gamma_3, \alpha_1|x_3|) - \frac{1}{2} e_3$$

$$\alpha_0, \alpha_1 \geq 0$$

그림 2는 퍼지 선형회귀분석법을 이용한 일간 시스템 한계가격 예측 알고리즘을 순차적으로 나타낸 순서도 그림이다.

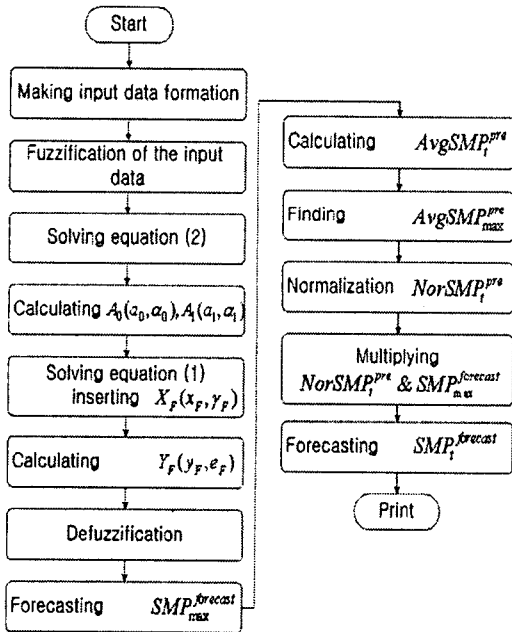


그림 2. 일간 시스템 한계가격 예측 알고리즘
Fig. 2. The algorithm of the daily system marginal price forecasting

2.3 예측 결과의 비교 분석

2002년 5월 6일(월)부터 5월 12일(일)까지 일주일 에 대한 일간 시스템한계가격 ($SMP_t^{forecast}$)을 퍼 지 선형 회귀분석법을 이용하여 예측하였다.

예측 결과에 대한 정확도 분석을 위해 하루 24시 간의 예측값에 대한 최소오차와 최대오차를 표현한 최소·최대 오차율(minimum and maximum percent error)과 하루 24시간에 대한 오차의 평균을 계산한 평균 오차율(percent average error)과 예측 오차의 분포도를 나타내는 표준편차 오차(standard deviation error)와 오차비교시 명백성을 잘 나타내 는 평가지표인 RMS 오차(Root Mean Square error) 등이 다음의 수식(3) ~ (6)으로 계산되었다. 여기서, 주기 T 는 24시간을 나타낸다.

Percent Error [%] :

$$E_t = \frac{|SMP_t^{actual} - SMP_t^{forecast}|}{SMP_t^{actual}} \times 100 \quad (3)$$

Percent Average Error [%] :

$$E_{avg} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left(\frac{|SMP_t^{actual} - SMP_t^{forecast}|}{SMP_t^{actual}} \times 100 \right) \quad (4)$$

Standard Deviation Error :

$$E_{sd} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T |E_{avg} - E_t|^2} \quad (5)$$

Root Mean Square Error :

$$E_{rms} = \frac{1}{T} \sqrt{\sum_{t=1}^T (SMP_t^{actual} - SMP_t^{forecast})^2} \quad (6)$$

표 2는 2002년 5월 6일(월)부터 5월 12일(일)까지 일간 시스템 한계가격 예측 결과를 여러 가지 정확도 평가방법을 사용하여 퍼지 선형회귀분석 모델을 이용한 예측 방법과 신경 회로망(Artificial Neural Networks)을 이용한 예측 방법[3]을 비교하여 제시 하였다.

제안한 예측 방법으로 가격을 예측한 경우를 요일 에 따라 비교할 때, 평일인 경우 평균 오차율이 3.14%에서 6.10%의 결과를 얻을 수 있었으며, 5월

표 2. 제안된 방법과 신경 회로망 방법의 결과 비교

Table 2. The comparison of the results between the proposed forecasting method and the artificial neural networks method

		2002/5/6 (Mon)	2002/5/7 (Tue)	2002/5/8 (Wed)	2002/5/9 (Thu)	2002/5/10 (Fri)	2002/5/11 (Sat)	2002/5/12 (Sun)
proposed forecasting method	Min-Max (Actual)	15.45 58.49	46.88 58.78	38.77 58.93	38.77 51.74	35.67 58.75	36.45 52.26	16.54 54.02
	Min-Max (Forecast)	16.84 58.78	44.39 57.55	39.18 52.03	34.28 57.63	42.25 56.10	47.48 54.77	17.71 56.04
	Min-Max Error[%]	0.22 14.59	0.06 7.01	0.13 14.41	1.98 11.58	0.07 18.44	1.36 30.25	0.47 30.45
	Average Error[%]	5.42	3.14	4.47	6.10	4.12	7.04	8.22
	S D Error	3.65	2.04	5.10	2.60	4.10	6.86	9.19
	RMS Error	0.55	0.42	0.74	0.66	0.50	0.83	0.99
artificial neural networks method	Min-Max (Actual)	15.45 58.49	46.88 58.78	38.77 58.93	38.77 51.74	35.67 58.75	36.45 52.26	16.54 54.02
	Min-Max (Forecast)	15.70 54.76	40.70 53.22	40.39 51.56	27.32 54.56	40.16 55.41	44.83 51.08	16.59 52.37
	Min-Max Error[%]	0.00 32.35	1.46 13.55	0.28 15.07	0.07 29.54	0.18 12.60	0.04 23.00	0.22 42.51
	Average Error[%]	7.16	7.81	5.50	5.61	4.54	4.21	12.51
	S D Error	2.45	2.00	2.74	3.69	1.69	2.23	5.51
	RMS Error	0.79	0.95	0.81	0.90	0.57	0.59	1.53

12일인 경우는 일요일의 요일 특성상 평일보다도 높은 8.22%의 오차를 나타나는 것을 알 수 있다. 제안된 예측 기법은 인공 신경 회로망을 이용하여 기존에 발표된 논문의 예측 기법과 비교할 때, 평일인 경우 월요일과 화요일에 오차율이 많은 개선을 보였으며 특히, 일요일의 경우 많은 개선의 여지를 보였다. 제안된 방법은 기존의 방법에 비해서 평일의 경우보다 예측하기가 더 어려운 일요일에서 보다 정확한 예측을 이루었다.

그림 3은 일주일 동안 실제 일간 시스템 한계가격과 예측한 일간 시스템 한계가격의 결과들을 비교하여 그림으로 나타낸 것이다. 그림 3에서 일간 시스템 한계가격의 예측결과는 대부분 실제 일간 시스템 한계가격과 비교적 근접하게 예측되고 있는 경향을 볼 수 있다.

3. 결 론

일간 시스템 한계가격을 예측하기 위해 퍼지 선형 회귀분석 모델을 제안하였으며, 한국전력거래소로부터 획득한 데이터를 바탕으로 2002년 5월 6일(월)부터 5월 12일(일)까지 일주일 동안 일간 시스템 한계가격 예측을 수행하였다. 제안된 방법을 이용한 일간 시스템 한계가격 예측에서 예측 평균 오차율은 평일의 경우 3.14%에서 6.10%이었으며, 주말인 경우 7.04%에서 8.22%의 결과를 얻을 수 있었다. 일간 시스템 한계가격 예측 결과가 실제 일간 시스템 한계가격과 비교적 근접하게 예측되고 있는 경향으로 종합해 볼 때, 본 연구에서 제안된 예측 기법의 타당성과 그 효용성이 입증된다.

퍼지 외귀분석법을 이용한 경쟁 전력시장에서의 연물가격 예측

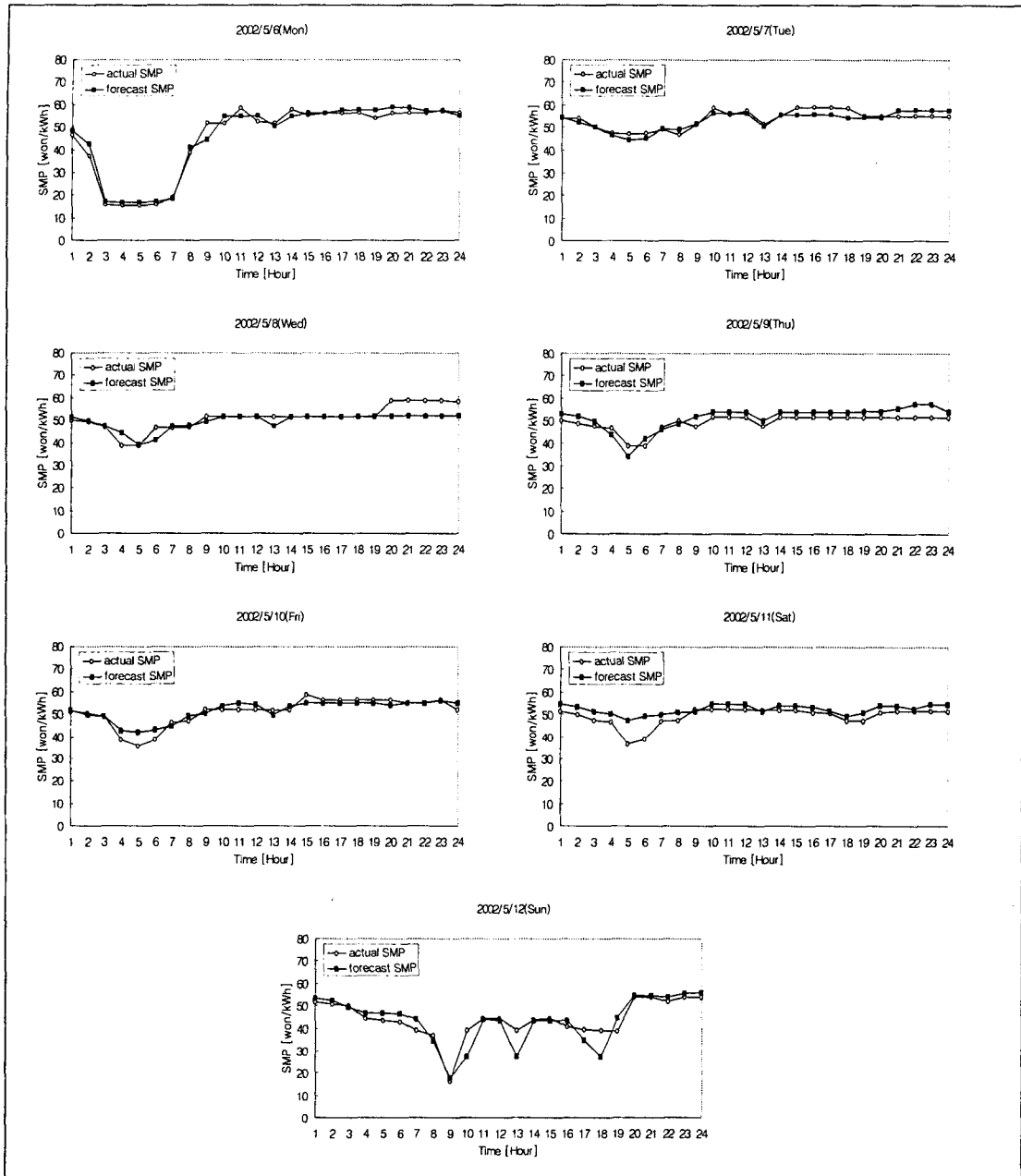


그림 3. 예측된 일간 시스템 한계가격과 실제 일간 시스템 한계가격의 비교
 Fig. 3. The comparison between the forecasted daily system marginal price and the actual daily system marginal price

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력공학공동 연구소(과제관리번호:01-005) 주관으로 수행된 과제임.

◇ 저자소개 ◇

송경빈 (宋敬彬)

1963년 9월 15일생. 1986년 연세대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 텍사스A&M전기공학과 졸업(박사). 1995년 LG-EDS 시스템 전문과장. 1996년 한전전력연구원 선임연구원. 1998년 대구효성가톨릭대학교 전임강사. 2000년 계명대학교 공학부 전임강사. 2002년~현재 송실대학교 전기제어시스템공학부 전임강사.

References

- [1] Kyung-Bin Song, Bon-Suk Ku, Young-Sik Baek, "An improved algorithm of the daily peak load forecasting for the holidays", KIEE Transactions on PE, Vol. 51, No. 3, pp. 109-117, March 2002.
- [2] D. H. Hong, "Fuzzy linear regression analysis for fuzzy input-output data using shape-preserving operations", Fuzzy Sets and Systems, Vol. 122, No. 3, pp. 513-526, 2001.
- [3] Jeong-Kyu Lee, Min-Soo Kim, Jong-Bae Park, and Joong-Rin Shin, "SMP forecasting using artificial neural networks", Proceedings of the KIEE Summer Annual Conference 2002, Vol. A, pp. 389-391, July 2002.