

퍼지 최소 자승 선형회귀분석 알고리즘을 이용한 특수일 전력수요예측

論 文
52D-4-6

Load Forecasting for Holidays Using a Fuzzy Least Squares Linear Regression Algorithm

宋敬彬* · 具本皙** · 白榮植***
(Kyung-Bin Song · Bon-Suk Ku · Young-Sik Baek)

Abstract - An accurate load forecasting is essential for economics and stability power system operation. Due to high relationship between the electric power load and the electric power price, the participants of the competitive power market are very interested in load forecasting. The percentage errors of load forecasting for holidays is relatively large. In order to improve the accuracy of load forecasting for holidays, this paper proposed load forecasting method for holidays using a fuzzy least squares linear regression algorithm. The proposed algorithm is tested for load forecasting for holidays in 1996, 1997, and 2000. The test results show that the proposed algorithm is better than the algorithm using fuzzy linear regression.

Key Words : load forecasting, fuzzy least squares linear regression.

1. 서 론

전력 수요예측은 안정적이고 경제적인 전력계통의 운용을 위해서 필수적이며 전력의 고품질을 유지하기 위한 중요한 변수중의 하나이며 기존의 전력회사와 경쟁적인 전력산업 구조하의 시장 참여자에게 있어서 전력 수요예측은 매우 관심 있는 사항이다. 전력 수요예측의 최근 관심은 신경회로망, 퍼지이론등과 같은 인공지능 기법을 적용한 예측 모델이 가장 활발히 연구되고 있다.[1] 또한 퍼지 전문가 시스템의 응용연구로 오차가 큰 특수일에 대해 특수일의 수요곡선을 정규화하고 예측수요패턴모형 및 퍼지 룰베이스를 사용하여 특수일의 예측 정확도를 향상시켰다.[2] 전력수요예측 문제에 내재된 비선형성과 불확실성을 반영하기 위하여 인공지능형 접근 방식인 신경회로망과 퍼지이론의 도입으로 활발한 연구를 수행하고 있다.[3,4,5,6] 신경회로망의 응용연구분야에서는 전문가의 경험, 지식과 같은 정성적인 정보를 처리하는데 어려움이 많아 코호넨의 자기조직화 신경회로망(Kohonen's selforganizing map)과 다층신경회로망을 결합하여 전력수요예측 오차를 개선하였다.[6] 예측 평균오차는 약 1%이며, 최대오차는 8%를 나타낸다.[7] 해외 전력수요예측의 수준은 국내수준보다 우위에 있으며, 사회·경제적으로 안정적인 요인이 예측기술의 발전에 기여하고 있다. 현재 시행되고 있는 수요예측 기법에 의하면 특수일의 경우 평일에 비하여 그 예측도 개선이 절실한 실정이며 선행된 연구에서 퍼지 선형회귀분석법을 이용하여 정확한 수요예측에

접근한 바 있다.[8]

본 논문에서는 회귀분석 모델을 구성함에 있어서 최소 자승 개념을 이용하기 위하여 수요예측에 대한 새로운 목적함수와 제약식을 제시하고 수치해석 도구인 IMSL의 비선형 계획법을 통하여 기존의 퍼지 선형회귀분석법보다 향상된 예측기법을 제시한다.

2. 퍼지 최소자승 선형회귀 분석

2.1 최소자승법

최소 자승법은 그림 1에서 나타난 것과 같이 x_1, x_2, x_3, x_4 에 대한 y 의 각각의 값 y_1, y_2, y_3, y_4 와 임의의 직선 식 $y = ax + b$ 와 표본들 간의 거리가 최소가 될 때의 변수 a 와 b 를 찾아서 임의의 x_5 의 값에 대한 y_5 를 찾아내는 기법이다. 즉, 실제치 y_i 와 임의의 직선식에 실제치 x_i 를 고려했을 때의 차이를 식 (1)과 같이 정의를 한다.

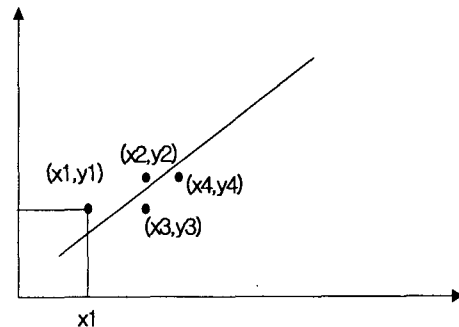


그림 1 최소 자승법

Fig. 1 The least square method

* 正 會 員 : 崇實大 電氣制御工學部 專任講師 · 工博

** 準 會 員 : 慶北大 電氣工學科 · 博士

*** 正 會 員 : 慶北大 電子電氣工學部 正教授 · 工博

接受日字 : 2002年 10月 7日

最終完了 : 2002年 12月 6日

잔차(Residual) : $\epsilon_i = y_i - ax_i - b$ (1)

최소자승법(Least Squares method)은 잔차 자승의 합이 최소가 될 때의 변수 a 와 b 를 찾아내는 기법이며, 수식으로 다음과 같이 표현한다.

$Min \sum_{i=1}^m \epsilon_i^2$ (2)

따라서 최소 자승법은 본 논문에서는 입력데이터를 퍼지화하여 삼각 퍼지 입력이 되며 퍼지 최소자승법의 알고리즘은 참고문헌을 이용하여 수요예측에 적용하였다.[11]

2.2 퍼지 최소 자승 선형회귀분석법

퍼지 최소자승 선형회귀분석은 일반적으로 1차 선형식으로 표현되고 몇 개의 상관 관계가 있는 값들과 일반적인 선형식에 최소 자승법을 도입하여 선형식을 유도하는 과정이며 이 때 값들은 모두 퍼지화하여 사용된다.

$A_1 = (a_1, \alpha_1, \beta_1)$, $A_2 = (a_2, \alpha_2, \beta_2)$ 는 삼각 퍼지 넘버로 a -term은 삼각 퍼지 멤버십 함수의 값이 1인 경우이며 a -term과 β -term은 멤버십 함수 값이 0인 경우로 좌우 스프레드를 나타낸다.

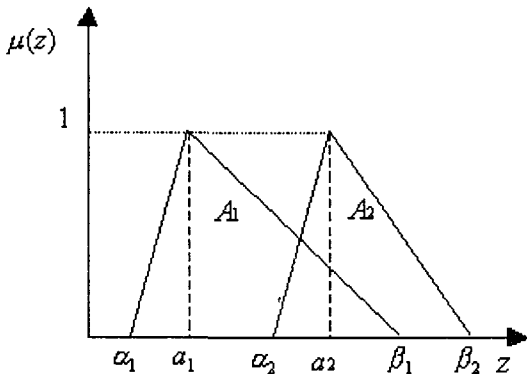


그림 2 두 개의 삼각 퍼지 그래프
Fig. 2 The graph of two triangular fuzzy number

Diamond 모델은 퍼지 최소자승법을 나타내며 아래의 두 삼각 퍼지 넘버에서 D metric을 정의하면 식 (3)과 같다.

$D(A_1, A_2)^2 = (a_1 - a_2)^2 + \{(a_1 - \alpha_1) - (a_2 - \alpha_2)\}^2 + \{(a_1 + \beta_1) - (a_2 + \beta_2)\}^2$ (3)

따라서, 최소 자승법을 이용한 퍼지선형회귀 모델 구성을 식 (4)에 나타내었다.

$Min \chi(A_0, A_1) = \sum_{i=0}^n D(A_0 \oplus (A_1 \otimes X_i), Y_i)^2$ (4)

$A_0 \oplus (A_1 \otimes X_i) = \{a_0 + a_1 x_i, \max(\alpha_0, \alpha_1 | \gamma_i, |x_i| \alpha_1)\}$ (5)

여기서, 입력은 각각 $X_i = (x_i, \gamma_i)$, $Y_i = (y_i, e_i)$ 이며 변수들은 $A_0 = (a_0, \alpha_0)$, $A_1 = (a_1, \alpha_1)$ 로 좌우 대칭형 삼각 퍼지이다. 식 (5)와 $Y_i = (y_i, e_i)$ 를 이용하여 식 (4)를 구성하면 식 (6)과 같이 D metric을 구성할 수 있다. [11]

$D(A_0 \oplus (A_1 \otimes X_i), Y_i)^2 = [(a_0 + a_1 x_i) - \max(\alpha_0, \gamma_i \alpha_1, x_i \alpha_1) - (y_i - e_i)]^2 + [(a_0 + a_1 x_i) + \max(\alpha_0, \gamma_i \alpha_1, x_i \alpha_1) - (y_i + e_i)]^2 + (a_0 + x_i \alpha_1 - y_i)^2$ (6)

D metric 중 max 포함 부분 (g)과 그렇지 않은 부분 (f)으로 나누면 다음과 같다.

$f(a_0, a_1) = [2(a_0 + a_1 x_i)^2 + (y_i - e_i)^2 + (y_i + e_i)^2 - 2(a_0 + a_1 x_i)(y_i - e_i) - 2(a_0 + a_1 x_i)(y_i + e_i) + (a_0 + a_1 - y_i)^2]$ (7)

$g(a_0, a_1) = 2[\max(\alpha_0, \gamma_i \alpha_1, x_i \alpha_1)^2 - 4e_i \max(\alpha_0, \gamma_i \alpha_1, x_i \alpha_1)]$ (8)

따라서, 식 (4)에 의하여 다음과 같은 식이 성립된다.

$Min \sum_{i=1}^n \{f(a_0, a_1) + g(a_0, a_1)\}$ (9)

2.3 퍼지 최소자승 알고리즘의 수요예측 적용

본 알고리즘의 수요예측 적용을 위하여 앞절에서 살펴 본 바와 같이 삼각 퍼지 넘버로 입력 데이터를 구성해야 한다. 입력 데이터는 특수일 당일의 부하와 특수일 전 평일 4일의 부하를 이용하게 된다. 단 전 평일 4일은 화, 수, 목, 금요일 때의 부하만을 이용하여 사용하며 입력 데이터를 표 1에 나타내었다. 본 논문에서는 $i=3$ 즉 과거 3개년에 대하여 데이터를 검색하고 이를 이용한다.

표 1에서 $X_i(x_i, \gamma_i)$ 와 $Y_i(y_i, e_i)$ 의 구성은 다음과 같다.[9]

표 1 퍼지 데이터 입력
Table 1 Fuzzy input data

i	X_i (x_i, γ_i)	Y_i (y_i, e_i)
1	(x_1, γ_1)	(y_1, e_1)
2	(x_2, γ_2)	(y_2, e_2)
⋮	⋮	⋮
3	(x_3, γ_3)	(y_3, e_3)

$X_i(x_i, \gamma_i)$ 는 특수일 전 평일 4일의 값을 토대로 만들어지며 다음과 같다. 직전 평일 4일의 최대 값이 각각 m_1, m_2, m_3, m_4 라 하면 이 4가지 값 중에 가장 큰 값(M)으로 정규화를 하게 된다. 이것이 입력 변수의 퍼지화이며 식으로 나타내면 각각 $\frac{m_1}{M}, \frac{m_2}{M}, \frac{m_3}{M}, \frac{m_4}{M}$ 로 퍼지화가 되며 이들의 평균은 다음과 같이 정의한다.

$$x_i = \frac{m_1 + m_2 + m_3 + m_4}{4M} \quad (10)$$

그리고 γ_i 는 이들의 표준편차로 주어진다.

$$\gamma_i = \sqrt{\frac{(\frac{m_1}{M} - x_i)^2 + (\frac{m_2}{M} - x_i)^2 + (\frac{m_3}{M} - x_i)^2}{4} + (\frac{m_4}{M} - x_i)^2} \quad (11)$$

$Y_i(y_i, e_i)$ 의 구성은 특수일 당일에 대한 정보를 가지며 특수일 직전 평일 4일이 m_1, m_2, m_3, m_4 라고 하면 특수일 당일은 m_5 로 표현 가능하다.

$$y_i = \frac{m_5}{M} \quad (12)$$

이때 특수일 당일의 값이므로 표준편차 e_i 는 0이 된다. 이렇게 과거 3개년의 데이터를 검색하여 표 1과 같은 형식으로 입력 데이터를 만들게 된다. e_i 가 0이므로 D metric의 식은 좀 더 간단하게 표현되며 식 (3)에 따라서 D metric을 구성하면 식 (13)과 같으며 식 (4)에 의하여 목적 함수와 제약 조건식을 구성하면 식 (14)와 같다.

$$\begin{aligned} & D_{LR}(A_0 \oplus (A_1 \otimes X_i), Y_i)^2 \\ &= [(a_0 + x_i a_1) - \max(a_0, \gamma_i a_1, x_i a_1) - y_i]^2 \\ &+ [(a_0 + x_i a_1) + \max(a_0, \gamma_i a_1, x_i a_1) - y_i]^2 \\ &+ (a_0 + x_i a_1 - y_i)^2 \end{aligned} \quad (13)$$

목적함수

$$\begin{aligned} \text{Min } r \\ &= 9a_0^2 + 6(x_1 + x_2 + x_3)a_0 a_1 - 6(y_1 + y_2 + y_3)a_0 \\ &- 6(x_1 y_1 + x_2 y_2 + x_3 y_3)a_1 + 3(x_1^2 + x_2^2 + x_3^2)a_1^2 \\ &+ 9(y_1^2 + y_2^2 + y_3^2) + 2(\max(a_0, \gamma_1 a_1, x_1 a_1)^2 \\ &+ \max(a_0, \gamma_2 a_1, x_2 a_1)^2 + \max(a_0, \gamma_3 a_1, x_3 a_1)^2) \end{aligned}$$

제약조건

$$a_0 > 0, a_1 > 0, a_0 > 0, a_1 > 0 \quad (14)$$

식 (14)는 최적화 문제로 수치해석 프로그램인 IMSL의 비선형계획법(Quadratic Programming)을 이용하여 목적함수가 최소가 될 때의 변수 a_0, a_1, a_0, a_1 를 구하게 된다. 이렇게 구한 값들을 이용하여 예측 연도의 특수일의 전력 수요를 예측하게 된다.

$$Y_i = A_0 \oplus (A_1 \otimes X_i) \quad (15)$$

$$Y_i(y_i, e_i) = \{a_0 + a_1 x_i, \max(a_0, a_1 \gamma_i, a_1 x_i)\} \quad (16)$$

식 (15)는 식 (16)으로 표현되며 구하고자 하는 값인 y_4 는 비선형계획법에 의해 구한 변수와 예측하고자 하는 연도의 특수일 직전 평일의 데이터 (x_4)를 알고 있으므로 구할 수 있다.[9]

2.4. 사례연구

퍼지 최소 자승 선형회귀분석 알고리즘을 적용하여 사례연구를 수행하였다. 96년 노동절의 전력수요를 예측하기 위해 식 (14)를 비선형계획법으로 풀면 해는 다음과 같다.

표 2 예측 변수와 직전 평일 4일의 실적치
Table 2 Forecasting variables and value of four weekdays before holiday

	a_0	a_1	x_4
값	0.003037	0.825254	0.993044

식 (16)으로부터 $y_4 = 0.822547$ 를 계산한다.

구해진 값은 직전 평일 4일 중 최대 값으로 정규화 된 값이므로 실제 부하 값은 다음과 같다.

$$0.822547 \times 25914.600000 \text{ [MW]} = 21315.982270 \text{ [MW]}$$

96년 노동절의 실제 값은 21430.200000[MW]이므로 오차율은 0.53%로 예측이 된다. 퍼지 최소 자승 선형회귀분석 알고리즘을 1996년의 특수일에 대해 적용해 보면 표 3과 같다.

표 3 1996년 특수일에 대한 예측 오차율 비교
Table 3 The comparison of load forecasting errors for holidays in 1996

특수일	퍼지 선형회귀 모델	제안된 모델	개선도(+)
삼일절	1.21	0.95	0.26
식목일	0.30	1.05	-0.75
어린이날(일)	5.89	4.72	1.17
노동절	1.27	2.95	-1.68
석탄일	1.47	0.72	0.75
현충일	3.33	2.27	1.06
제헌절	5.55	3.36	2.19
광복절	1.54	0.04	1.50
개천절	1.09	0.81	0.28
성탄절	0.04	0.80	-0.76
평균 오차율	2.17(1.75)	1.77(1.44)	

표 4 1997년 특수일에 대한 예측 오차율 비교
Table 4 The comparison of load forecasting errors for holidays in 1997

특수일	퍼지 선형회귀 모델	제안된 모델	개선도(+)
삼일절(토)	5.21	3.62	1.59
식목일(토)	12.47	9.21	3.26
노동절	3.35	0.58	2.77
어린이날(월)	9.89	8.93	0.96
석탄일	1.68	0.71	0.97
현충일	0.15	0.75	-0.60
제헌절	1.40	2.60	-1.20
광복절	2.62	1.85	0.77
개천절	0.88	0.15	0.73
성탄절	3.93	3.31	0.62
평균 오차율	4.16(2.00)	3.17(1.42)	

표 3에서 보면 평균 오차율 1.77%로 퍼지 선형회귀 분석 모델과 비교해 보면 식목일과 노동절 그리고 성탄절을 제외한 모든 특수일에서 그 예측도가 개선이 되었다.

또한 표에서 ()의 수치는 토요일과 월요일 특수일을 제외한 특수일들의 예측도를 나타내고 있으며 토요일과 월요일 특수일이 예측 정확도를 저해하는 원인임을 알 수 있다.

표 4, 5에서는 1997년과 2000년의 예측 결과 값을 정리하였다. 표 3, 4, 5를 통하여 총 30개 표본 중 23개의 정확도가 향상되었으며 오차율이 커진 특수일을 보면 그 차이가 1% 정도로 크지 않았는데 이는 최소 자승 알고리즘에서 발생할 수 있는 경우이다. 기존의 퍼지 선형회귀 모델에 최소 자승법을 도입하여 예측의 정확성을 크게 향상시킬 수 있었다.

토요일과 월요일 특수일은 과거 퍼지 선형회귀분석법에 상대계수법을 도입하여 토요일과 월요일 특수일 예측 정확성을 크게 향상시킨 바 있으며 본 논문에도 토요일과 월요일 특수일

예측의 알고리즘을 도입한다면 더욱 정확한 예측 값을 도출해 낼 수 있을 것이다.

표 5 2000년 특수일에 대한 예측 오차율 비교
Table 5 The comparison of load forecasting errors for holidays in 2000

특수일	퍼지 선형회귀 모델	제안된 모델	개선도(+)
삼일절	2.08	3.87	-1.79
식목일	5.11	3.30	1.81
노동절(월)	10.21	7.08	3.13
어린이 날	3.85	1.57	2.28
석탄일	6.84	4.58	2.26
현충일	4.62	3.07	1.55
제헌절(월)	4.69	5.56	-0.87
광복절	7.51	4.97	2.54
개천절	0.80	0.36	0.44
성탄절(월)	9.69	6.74	2.95
평균 오차율	5.54(4.40)	4.11(3.10)	

3. 결 론

평일에 비하여 예측의 정확도가 크게 떨어지는 특수일의 예측을 정확도를 개선하기 위해 퍼지 최소 자승 선형회귀분석 알고리즘을 적용한 전력수요예측기법을 제안하였다. 제안한 기법은 선형회귀모델의 계수를 찾기위해 최소 자승법을 적용하였다. 1996년과 1997년, 2000년을 대상으로 예측을 수행한 결과 퍼지 선형회귀분석법을 이용한 수요예측보다 정확도가 크게 향상되었으며 기존 논문과의 비교를 통하여 제안된 알고리즘의 타당성을 입증하였다. 향후, 기온의 변화와 국가적인 대규모 행사의 영향을 퍼지화하여 전력수요예측의 정확도를 개선하는 연구가 필요하다. 또한, 주 5일 근무로 인한 생활 패턴의 변화가 전력수요에 미치는 영향등도 고려하여 예측기법에 반영 할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목격기초연구(과제번호 : R01-2000-000-00011-0)지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] K.H. Kim, J.K. Park, K.J. Hwang and S.H. Kim, "Implementation of Hybrid Short-term Load Forecasting System Using Artificial Neural Networks and Fuzzy Expert Systems", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 10, No. 3, pp. 1534-1539, August 1995.
- [2] 김광호, 황갑주, 박종근, 김성학, "단기전력 수요예측 전문가 시스템의 개발", 전기학회 논문지 47권, 3호, pp. 284-290, 1998년 3월.
- [3] S. Rahman, and R. Bhatnagar, "An Expert System

Based Algorithm for Short-Term Load Forecast", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 3, No. 1, pp. 50-55, 1987.

[4] T. M. Peng, N. F. Hubele and G. G. Karady," An Adaptive Neural Network approach to One-Week Ahead Forecasting", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 8, pp. 1195-1203, August 1993.

[5] A. G. Bakirtzis, V. Petridis, S. J. Kiartzis, M. C. Alexiadis, and A. H. Maissis," A Neural Network Short Term Load Forecasting Model for the Greek Power System", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 11, No. 2, pp. 858-863, May 1996.

[6] R. Lamedica, A. Prudenzi, M. S. M. Caciotta, and V. Orsolini Cencelli," A Neural Network GBased Technique For Short-Term Forecasting of Anomalous Load Periods", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 11, No. 4, pp. 1749-1756, November 1996.

[7] Hiroyuki Mori, Hidenori Kobayashi," Optimal Fuzzy Inference for Short-Term Load Forecasting", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 11, No. 1, February 1996.

[8] 조현호, 백영식, 송경빈, 홍덕헌, "퍼지 선형회귀분석 알고리즘을 이용한 특수일 전력수요예측", 대한 전기학회 추계학술대회 논문집, pp. 298-300, 2000년 7월.

[9] D.H. Hong, S.H. Lee and H.Y. Do, "Fuzzy Linear Regression Data Using Shape Preserving Operations", Fuzzy Sets and Systems, Vol 122, pp. 513-526, September 2001.

[10] D.H. Hong and H.Y. Do, "Fuzzy Systems Reliability Analysis By The Use of Tw(the weakest t-norm) on Fuzzy Number Arithmetic Operations", Fuzzy Sets and Systems Vol. 90, pp. 307-316, September 1997.

[11] D.H. Hong and H.Y. Do and J.K. Song "Fuzzy least-squares linear regression analysis using shape preserving operations", Fuzzy Sets and Systems Vol. 90, pp. 307-316, September 1997.

[12] 김광호, "특수일 전력수요예측을 위한 퍼지 전문가시스템의 개발", 전기학회 논문지 47권, 제7호, pp. 886-891, 1998년 7월.

[13] K.H. Kim, "Short-Term Load Forecasting for Special Days in Anomalous Load Conditions Using Neural Networks and Fuzzy Inference Method", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 15, No. 2, pp. 559-565, May 2000.

[14] 구분석, 백영식, 송경빈, "퍼지 최소자승 선형회귀분석 알고리즘을 이용한 특수일의 전력수요예측", 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp. 51-53, 2001년 11월.

저자 소개



송경빈 (宋敬彬)

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

Tel : (02)820-0648

E-mail : kbsong@ssu.ac.kr



구본석 (具本植)

1976년 1월4일생. 2000년 경북대 전기공학과 졸업. 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.

Tel : (053)940-8802

E-mail : kbs1994@palgong.knu.ac.kr



백영식 (白榮植)

1950년 7월 8일생. 1974년 서울대 전기공학과 졸업. 1977년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1977년 명지대 전기공학과 조교수. 현재 경북대 전자전기공학부 교수.

Tel : (053)950-5602

E-mail : ysbaek@bh.kyungpook.ac.kr