

퍼지 선형 회귀분석법을 기반으로 한 특수일 수요예측시스템 개발

조현호*, 백영식*, 홍덕현**, 송경빈***
 경북대* 대구 효성 가톨릭대** 계명대***

A Fuzzy Linear Regression Algorithm of Load Forecasting for Holidays

Hyunho Cho*, Young sik Baek*, Dug Hun Hong**, Kyung-Bin Song***
 Kyuogpook National Univ.* Catholic Univ. of Taegu-Hyosung.** Keimyung Univ.***

Abstract - This paper proposes a fuzzy linear regression algorithm based on Tanaka's theory for holiday load forecasting. The load patterns of holidays are quite different from those of ordinary weekdays. It is difficult to accurately forecast the holiday load due to the insufficiency of the load patterns compared with ordinary weekdays. The test results show that the proposed method greatly improves the forecast accuracy for holidays.

1. 서 론

정확한 전력 수요예측은 전력시스템의 안정적이고 경제적인 운전 에 필수조건이다. 또한 정확한 전력 수요 예측은 전력의 고품질을 유지하기 위한 중요한 변수중의 하나이기도 하다. 따라서 기존의 전력회사와 경쟁적인 전력산업 구조하의 시장 참여자에게 있어서 전력 수요 예측은 매우 관심있는 사항이다. 전력 수요예측은 전통적으로 회귀분석법과 시계열법을 적용하였으며, 최근에는 예측의 정확도를 개선하기 위해 신경회로망 및 퍼지이론 등에 기반을 둔 인공지능 예측기법이 좋은 결과를 제공하고 있다. 우리나라의 최근의 전력수요예측 기법의 오차를 살펴보면, 1995년에서 1997년 사이 3년간의 실적자료를 대상으로 한 예측의 정확도가 평일은 평균 2.57%이고, 주말의 경우 3.67%, 특수일은 평균 5.5%로 나타난다. [1] 평균 오차가 보여주듯 특수일에 대한 예측의 정확도는 평일에 비해 떨어지는 경향을 보이고 있다. 특수일은 평상일과 비교하여 규칙적인 평일의 정도가 낮기 때문에 예측 정확도가 다소 떨어지고 있다. 연간 발전일수에서 특수일이 차지하는 비중이 약 15.01% 이므로, 무시할 수 없으며, 따라서 특수일에 대한 보다 개선된 예측 기법이 요구 된다 하겠다. 본 논문에서는 예측의 정확도 향상에 큰 기여를 한 퍼지이론을 도입하여 회귀분석 기법에 적용한 일명 퍼지 선형 회귀분석기법을 제안하고자 한다. 1982년 Tanaka에 의해 처음 퍼지회귀분석이 소개되었으며 삼각 대칭 퍼지넘버인 매개변수가 주어지고 선형회귀법으로 사용하였다. 이 방법은 인간의 평가가 영향력을 끼칠 수 있는 부분적으로 이용 가능한 데이터나 부정확한 데이터에 의해 결정되어지는 실제적인 상황에 사용되도록 추진되었다. 전력수요예측에 퍼지 선형회귀분석을 적용하기 위해 먼저 과거 특수일의 정보와 특수일 직전의 평일에 관한 정보를 퍼지화가 필요하다. 퍼지화된 정보를 이용하여 퍼지 선형회귀모델의 파라미터값을 찾는다. 퍼지 선형회귀모델을 이용해 특수일의 직전 평일 정보를 퍼지값으로 입력하면, 예측하고자 하는 해당 특수일의 수요를 예측할 수 있다. 퍼지 선형 회귀분석법을 적용한 특수일의 예측 정확도가 기존의 전력 수요예측 기법보다 우수하여, 제안된 알고리즘의 타당성을 입증하였다.

2. 본 론

2.1 특수일 전력 수요패턴의 특성

수요의 패턴을 크게 분류하면 평일, 주말, 특수일로 구분된다. 일반적으로 월, 화, 수, 목, 금요일을 평일로, 주말은 토요일이나 일요일로 특수일은 법정 공휴일과 연휴로 정의된다. 일주일의 수요 패턴에서 평일은 거의 일정하며 주말의 수요는 약간 감소되는 형태이다. 특수일은 산업 부하의 감소로 인해 평일보다 전체 부하가 낮아지는 경향이 있다. 특수일의 최대 수요를 정규화 하여 보면 그림.1에 제시한 것과 같다. 식목일에 대한 최대 수요를 1991년부터 1995년까지 정규화하여 나타낸 곡선인데 특수일이 화, 수, 금요일 경우 일정한 수요 패턴을 나타내며, 일요일(92년)과 월요일(93년)인 경우 상당히 다른 수요 패턴을 보인다. 따라서 해당 특수일에 대해 요일을 구분해 줄 필요가 있다. 따라서 본 논문에서는 토, 일, 월, 그리고 평일(화, 수, 목, 금)로 요일 유형을 나누었다. 특수일의 부하를 예측하기 위해 직전 평일의 자료를 사용할 수 있는데 그 근거는 직전 평일 4일간의 부하와 특수일 부하사이의 규칙적인 관계가 그림 2.와 같이 보여지기 때문이다.

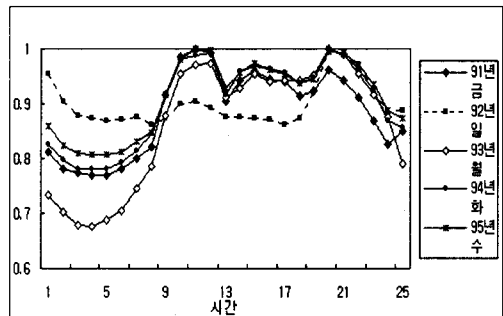


그림 1. 특수일수요특성곡선

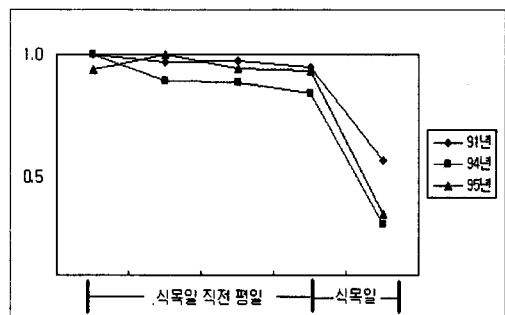


그림 2. 특수일과 직전 평일과의관계

2.2. 퍼지 선형 회귀분석

퍼지 선형 회귀분석법은 회귀모형을 구성함에 있어서, 변수들 사이의 관계를 설정하는데, 필요한 데이터의 수가 다소 적더라도 해결할 수 있는 방법을 제공하며, 선형 계획법을 기반으로 한다. [2] 삼각퍼지 넘버인 \tilde{A} 는 (a, α, β) 로 표현되는데 수학적으로 식(1)과 같다. 여기서, a 는 \tilde{A} 의 중심을, α 와 β ($\alpha, \beta > 0$) 는 각각 \tilde{A} 그래프의 좌·우측 스프레드를 나타낸다. 만일 $\alpha = \beta$ 일 때, 삼각퍼지는 대칭형 삼각퍼지넘버(Symmetric triangular fuzzy number)라 하며, \tilde{A} 는 (a, α) 로 표시된다.

$$\tilde{A}(t) = \begin{cases} 1 - \frac{|a-t|}{\alpha} & \text{if } a-\alpha \leq t \leq a, \\ 1 - \frac{|a-t|}{\beta} & \text{if } a \leq t \leq a+\beta, \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

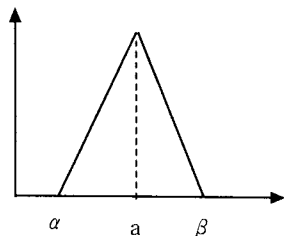


그림 3. 퍼지넘버 \tilde{A} 그래프

퍼지 선형 회귀 모델은 다음 식으로 표현된다. [2]

$$Y_i = A_0 \oplus (A_1 \otimes X_i) \quad (2)$$

여기서, $A_0: (a_0, \alpha_0)$, $A_1: (a_1, \alpha_1)$ 는 퍼지 넘버로서 회귀 분석모델의 계수로 중심 a_i 이고, 스프레드는 α_i 이다. 변수 X_i 는 (x_i, γ_i) 이며, Y_i 는 (y_i, e_i) 이다. 식(2)에서 퍼지 넘버의 덧셈(\oplus)은 다음과 같이 계산되고:

$$(\tilde{A} \oplus \tilde{B})(z) = \sup_{x+y=z} T(\tilde{A}(x), \tilde{B}(y)),$$

퍼지 넘버의 곱셈(\otimes)은 다음과 같다 :

$$(\tilde{A} \otimes \tilde{B})(z) = \sup_{x \cdot y = z} T(\tilde{A}(x), \tilde{B}(y)),$$

삼각 퍼지 넘버에서 곱셈에 대한 모양 보존 문제는 참고 문헌[3]로 극복된다. 정의된 퍼지 선형 회귀 모델에서 파라미터인 \tilde{A}_0, \tilde{A}_1 을 구하기 위해 선형계획법으로 다음의 최적화 문제를 계산한다.

$$\begin{aligned} & \text{Minimize } J(a, \alpha) \\ & = \text{Max}(a_0, |a_1| * \gamma_1, \alpha_1 |x_1|) \\ & = \text{Max}(a_0, |a_1| * \gamma_2, \alpha_1 |x_2|) \\ & \quad \vdots \\ & + \text{Max}(a_0, |a_1| * \gamma_i, \alpha_1 |x_i|) \end{aligned} \quad (3)$$

Subject to

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

$$|y_1 - (a_0 + a_1 x_2)| \leq \frac{1}{2} \text{Max}(a_0, |a_1| * \gamma_2, \alpha_1 |x_2|) - \frac{1}{2} e_2.$$

$$\begin{aligned} |y_1 - (a_0 + a_1 x_i)| & \leq \frac{1}{2} \text{Max}(a_0, |a_1| * \gamma_i, \alpha_1 |x_i|) - \frac{1}{2} e_i. \\ \alpha_0, \alpha_1 & \geq 0 \end{aligned}$$

위 수식들은 표1에 제공된 i 개의 퍼지데이터 X_i, Y_i 에 의해 퍼지 선형 회귀모델의 파라미터들의 값을 추정하게 된다.

표 1 퍼지 데이터 입력

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)
⋮	⋮	⋮
i	(x_i, γ_i)	(y_i, e_i)

2.3. 사례 연구

2.3.1 입력변수의 퍼지화

퍼지 선형회귀분석기법의 퍼지 입력데이터는 표 1.에 제시하였다. 특수일의 전력수요예측을 위해 퍼지 입력데이터는 다음과 같이 정의한다. $X_i(x_i, \gamma_i)$ 는 특수일 직전 평일 4일간의 수요를 정규화한 퍼지넘버 즉, x_i 는 특수일 직전평일 4일간의 수요를 정규화한 값들의 평균이고, γ_i 는 x_i 의 표준편차이다. 마찬가지로 Y_i 는 특수일 최대전력수요의 정규화한 퍼지넘버, 즉, y_i 는 정규화된 특수일의 최대전력수요의 평균이고, e_i 는 y_i 의 표준편차이다. 그림4.는 평균과 표준 편차의 퍼지화 과정을 나타내고 있다. 그림에서 일반적인 삼각 퍼지와 다른 점은 삼각형의 범위가 각각 다른데, 이것은 해당 년도별 특수일 직전평일의 표준편차가 다르기 때문이며, 이는 각 연도별 특수일 직전 평일의 부하 특성을 고려해주는 역할도 내포하고 있다.

1.0

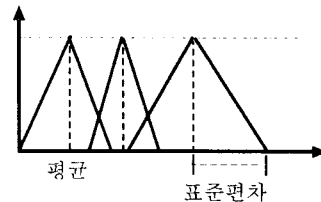


그림4. 입력변수 퍼지화

2.3.2. 퍼지 선형 회귀분석을 이용한 수요예측 기법

퍼지 선형회귀분석 기법을 이용한 특수일의 수요예측을 수행하기 위해 한국 전력공사의 1991년부터 1995년까지 실적자료를 사용하였다. 1996년의 특수일중 식목일, 삼일절, 광복절, 성탄절을 대상으로 본 논문에 제안된 기법을 적용하여 테스트를 수행 하였다. 식(2)의 퍼지 선형회귀모델의 파라미터를 찾기 위해 표 2.의 유형이 같은 과거 3개년간의 실적자료를 이용하였다. 과거 3개년간의 자료를 이용함으로써 퍼지 선형회귀모델의 파라미터를 찾는 식(3)은 다음의 식으로 변형된다.

$$\begin{aligned} & \text{Minimize } J(a, \alpha) \\ & = \text{Max}(a_0, |a_1| * \gamma_1, \alpha_1 |x_1|) \\ & + \text{Max}(a_0, |a_1| * \gamma_2, \alpha_1 |x_2|) \\ & + \text{Max}(a_0, |a_1| * \gamma_3, \alpha_1 |x_3|) \end{aligned} \quad (4)$$

Subject to

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

$$|y_1 - (a_0 + a_1 x_2)| \leq \frac{1}{2} \text{Max}(a_0, |a_1| * r_2, a_1 |x_2|) - \frac{1}{2} e_2.$$

$$|y_1 - (a_0 + a_1 x_3)| \leq \frac{1}{2} \text{Max}(a_0, |a_1| * r_3, a_1 |x_3|) - \frac{1}{2} e_3.$$

표2 퍼지 입력데이터 테이블

i	X_i (x_i, r_i)	Y_i (y_i, e_i)
연도		
1(91년)	(0.995416, 0.002957)	(0.927385, 0)
2(94년)	(0.983909, 0.009894)	(0.884083, 0)
3(95년)	(0.992247, 0.004557)	(0.891524, 0)
4(96년)	(0.988327, 0.008)	($y_4, 0$)(예측대상)

예측 대상 특수일 중 식목일을 선택하여 퍼지 선형회귀 분석을 이용한 특수일의 최대수요예측을 설명하면 다음과 같다. 우선 96년 식목일의 최대수요예측을 위해 식(4)에 따라서 목적 함수를 구성한다. 여기에 사용된 수요 데이터는 동일요일 유형인 91년과 94년 그리고 95년 식목일과 직전 평일 4일간의 수요가 사용되었다.(표 2. 참조). 예측 대상 년도를 기준으로 3개년의 데이터를 수집하여 알고리즘을 수행하였다. 선형 계획법에 기반한 식(4)에 의해, 목적함수 J의 최소값을 구하고, 제약 조건식과 목적함수로부터 연산된 식 J의 값이 최소일 때, 변수 (a_0, a_1, a_0, a_1) 를 구하면 퍼지 선형회귀 모델의 파라미터 $A_0(a_0, a_0)$, $A_1(a_1, a_1)$ 를 찾을 수 있어 다음의 식(5)를 사용하여 예측하고자 하는 96년 식목일의 정규화된 최대전력수요를 얻을 수 있다.

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

$$= (a_0 + a_1 |x_i|, \max(a_0, |a_1| r_i, a_1 |x_i|)) \quad (5)$$

여기서, $A_0(a_0, a_0)$, $A_1(a_1, a_1)$;
 $X_i(x_i, r_i)$, $Y_i(y_i, e_i)$

다음식(6)과 같이 직전 평일 4일간 중 최대 수요량을 정규화된 특수일의 최대전력수요에 곱해 주면, 해당 특수일의 최대전력 수요량을 얻을 수 있다.

예측최대전력 수요량 = 예측된 특수일 최대 전력수요 정규화 값 × 직전 평일 4일간 전력수요 중 최대값 (6)

표-2에서 $Y_i(y_i, e_i)$ 의 e_i 자리가 모두 0로 두는 이유는 y_i 값이 평균해서 얻은 값이 아니고 해당 특수일의 정규화된 최대수요를 나타내고 있으므로, 표준 편차에 해당하는 e_i 의 값이 0이 된다. 예측 오차를 얻기 위한 식은 식(7)으로 정의할 수 있으며, 기존 예측 기법으로 추정된 오차율과 비교 할 수 있다.

$$\text{예측오차율} = \frac{| \text{예측수요값} - \text{실제수요값} |}{\text{실제수요값}} \times 100(\%) \quad (7)$$

예를 들면, 표 2의 식목일 최대 전력수요예측에서 y_4 는 0.905941로 추정되었으므로, 식목일의 최대 전력수요량은

$$0.905941 \times 26338.79(\text{kW}) = 23582.86(\text{kW})$$

$$\text{예측오차율} = \frac{|23582.86 - 23454.77|}{23454.77} \times 100(\%) = 0.55(\%)$$

으로 예측 수행 하였다.

기존의 퍼지전문가 시스템을 이용한 특수일 전력수요예측 결과와[4] 본 논문에서 제안한 퍼지 선형 회귀분석법을 이용한 특수일의 수요예측 결과를 비교하여 표 3.에 제시하였다. 기존의 기법은 특수일 및 특수일 다음날까지의 평균 오차를 결과로 제시하였는데 본 논문은 특수일의 최대수요에 대한 오차를 비교하여 정확한 비교는 아니지만 제안한 기법의 정확성을 검증하기에는 문제가 없을 것 같다. 제안한 기법을 적용한 경우, 대부분 기존기법보다 정확하여 제안된 기법의 특수일의 수요예측의 정확도를 개선할 가능성이 보여진다.

표 3 특수일에 대한 최대수요예측 오차의 비교

특수일(1996년)	오차율(%)	
	제안된 기법	기존의 기법
삼일절	1.21	1.50
식목일	0.55	1.31
광복절	2.06	1.46
성탄절	0.04	1.57
평균	0.97	1.46

3. 결 론

본 논문에서는, 특수일의 전력수요 예측에 있어서 해당 특수일의 과거 수요 데이터만으로 퍼지 선형회귀 분석 알고리즘을 이용하여 보다 향상된 전력 수요예측을 가능하게 하였다. 과거 동일 특수일과 직전 평일과의 관계를 퍼지화 하여 선형 회귀분석을 통해 얻은 예측값은 실제 수요량과 비교하여 오차율을 상당히 줄일 수 있었다. 과거 해당 특수일의 수요 데이터는 전력 예측 전문가의 경험과 축적된 지식을 이루는 가장 기본적인 자료이므로 그것만으로도 예측 수행이 가능하다고 생각된다. 향후 연구과제로 특수일 전력수요 예측의 정확도를 높이기 위해, 수요 데이터뿐만 아니라 온도, 습도, 기상상태 등을 변수로 추가함으로써, 더욱 향상된 정확도를 가진 전력수요 예측이 가능하다고 판단된다.

4. 참고 문헌

- [1] 전력수급계획 및 운영해석 종합시스템 개발에 관한 연구, 한국전력공사 전력연구원, 1998, 12
- [2] Dug Hun Hong, Sungho Lee and Hae Young Do, "Fuzzy linear regression data using shape preserving operations", Fuzzy Sets and systems (논문 게재대기)
- [3] 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 90, pp. 307-316, 1997년
- [4] 김광호, "특수일 전력수요예측을 위한 퍼지 전문가시스템의 개발", 전기학회논문지 제47권, 제7호, pp.886-891, 1998년7월