2001년도 대한전기학회 전력기술부문회 추계학술대회 논문집 (2001.11.16~17)

퍼지 최소자승 선형회귀분석 알고리즘을 이용한 특수일 전력수요예측

구본석* 백영식* 송경빈**
경북대학교* 계명대학교**

Load Forecasting for Holidays using Fuzzy Least-Squares Linear Regression Algorithm

Bon-Suk Ku* Young-Sik Baek* Kyung-Bin Song**
Kyungpook National Univ.* Keimyung Univ.**

Abstract - 전력 수요 예측은 전력 수급 안정과 양질의 전력을 공급하기 위한 필수 기법이며 경쟁적인 전력시장에서 전력요금과 밀접한 관련이 있다. 그러므로, 경쟁적인 전력시장 구조하의 시장 참여자에게 있어서 전력수요 예측은 매우 관심 있는 사항이다. 최근의 전력 수요 예측 기법으로 예측한 오차율을 살펴보면 평일과는 다르게 특수일의 전력 수요예측은 평균 5%를 상회하는 수준으로 예측의 정확도가 평일 예측에 비해 크게 낮은데 그 이유는 특수일이 평일에 비하여 부하의 크기가 다소 낮게 나타나고 특수일 마다 계절적인 차이가 있으며 각각의 특수일 마다 고유한 부하의 특성이 있으므로 과거 데이터를 이용할 때 동일 특수일을 이용하게 되며 따라서 평일과는 다르게 일년 단위로 과거 데이터 값들이 취득되므로 오차율이 커진다. 따라서 데이터들을 퍼지화하여 선형계획법을 수행하여 평균 2~3% 정도의 우수한 결과를 도출한 바 있다. 본 논문에서는 퍼지 선형회귀분석법을 이용한 예측 기법에 최소자승법을 도입하여 특수일의 전력 수요예측의 정확도를 개선하였다.

1. 서 론

정확한 수요예측은 전력시스템의 안정적이고 경제적인 운전에 필수조건이다. 또한 정확한 전력 수요 예측은 전력의 고품질을 유지하기 중요한 변수중의 하나이다. 따라서 기존의 전력회사와 경쟁적인 전력산업 구조하의 시장 참여자에게 있어서 전력 수요예측은 매우 관심 있는 사항이다. 전력 수요예측은 전통적으로 회귀분석법과 시계열법을 적용하였으며, 최근에는 예측의 정확도를 개선하기 위해 신경회로망 및 퍼지이론등에 기반을 둔 인공지능 예측기법이 좋은 결과를 제공하고 있다. 현 실정에서는 특수일의 예측도가 평일에 비해 떨어지는 경향을 보이고 있다. 특수일은 평상일과 비교하여 규칙적인 패턴의 정도가 낮기 때문에 예측 정확도가 다소 떨어지고 있다.[1] 1982년 Tanaka에 의해 처음 퍼지 회귀분석이 소개되었으며 수요예측에 퍼지 선형회귀 모델을 적용시킴으로써 2% 정도의 우수한 예측도를 산출한 바 있으며 본 논문에서는 퍼지 선형회귀모델을 이용하는데 있어 최소자승법을 도입하여 예측을 수행하였다.

2. 본 론

2.1 최소 자승법

최소 자승법은 그림 1에서 나타난 것과 같이 x_1, x_2, x_3, x_4에 대한 y의 각 각의 값 y_1, y_2, y_3, y_4와 임의의 직선 식 $y=ax+b$와 표본들 간의 거리가 최소가 될 때의 변수 a와 b를 찾아서 임의의 x_5일 때의 y_5를 찾아내는 기법이다. 즉, 실적치 y_i와 임의의 직선식에 실적치 x_i를 고려했을 때의 차이를 식 (1)과 같이 정의를 한다.

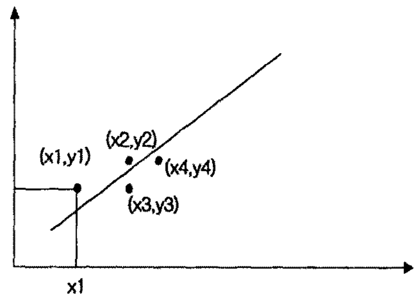

그림 1. 최소 자승법 도식화

잔차(*Residual*)

$$\epsilon_i = y_i - ax_i - b \tag{1}$$

최소자승법(*Least-Squares method*)

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

따라서 최소자승법은 전체 표본을 통하여 정의를 하면 식 (2)와 같으며 그 거리의 자승의 합이 최소가 될 때의 변수 a와 b를 찾아내는 기법이다.

본 논문에서는 입력데이터를 퍼지화하여 삼각 퍼지로 입력이 되며 퍼지 최소자승법의 알고리즘은 참고문헌을 이용하여 수요예측에 적용하였다.[2]

2.2 퍼지 최소 자승 선형회귀분석

2.2.1 퍼지 최소자승 선형회귀분석

퍼지 최소자승 선형회귀분석은 일반적으로 1차 선형식으로 표현되고 몇 개의 상관관계가 있는 값들과 일반적인 선형식에 최소자승법을 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 $a-term$은 삼각 퍼지 멤버쉽 함수의 값이 1인 경우이며 $\alpha-term$과 $\beta-term$은 멤버쉽 함수 값이 0인 경우로 좌 우 스프레드를 나타낸다. [3]

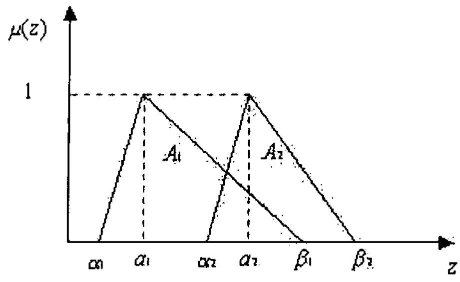

그림 2. 삼각퍼지 넘버가 두 개일 때

참고문헌 [2]에서 제시된 Diamond model은 퍼지 최소자승법을 나타내며 아래의 두 삼각 퍼지넘버에서 D metric을 정의하면 식 (3)과 같다.

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

따라서 최소 자승법을 이용한 퍼지선형회귀 모델 구성은 식 (4)와 같다.

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

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

여기서, 입력은 각 각 $X_i = (x_i, \gamma_i)$, $Y_i = (y_i, e_i)$이며 변수들은 $A_0 = (a_0, \alpha_0)$, $A_1 = (a_1, \alpha_1)$로 좌우 대칭형 삼각 퍼지이다. 식 (5)과 $Y_i = (y_i, e_i)$를 이용하여 식 (4)를 구성하면 식 (1)과 같이 D metric을 구성할 수 있다. [2]

2.2.2 수요예측 적용 알고리즘

본 알고리즘의 수요예측 적용을 위하여 우선 2.2.1에서 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 이용한다. 입력 데이터를 표 1에 나타내었다.

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)

x_i : 특수일 직전 평일 4일간의 수요를 정규화한 값들의 평균
γ_i : x_i의 표준편차
y_i : 특수일 당일의 정규화값
e_i : y_i의 표준편차

표 1의 변수들은 위와 같이 정의되며 e_i는 0이다.
따라서 D matric의 식은 좀 더 간단하게 표현되며 식 (3)에 따라서 D matric을 구성하면 식 (6)과 같으며 식 (4)에 의하여 목적 함수와 제약조건식을 구성하면 식 (7)과 같다.

$$\begin{aligned} D_{LR}(A_0 \oplus (A_1 \otimes X_i), Y_i)^2 = &\ [(a_0 + x_i a_1) - \max(\alpha_0, \gamma_i a_1, x_i \alpha_1) - y_i]^2 \\ &+ [(a_0 + x_i a_1) + \max(\alpha_0, \gamma_i a_1, x_i \alpha_1) - y_i]^2 \\ &+ (a_0 + x_i a_1 - y_i)^2 \end{aligned} \quad (6)$$

Object fun.

$$\begin{aligned} Min\ r = &\ 9a_0^2 + 6(x_1 + x_2 + x_3)a_0 a_1 - 6(y_1 + y_2 + y_3)a_0 \\ &- 6(x_1 y_1 + x_2 y_2 + x_3 y_3)a_1 + 3(x_1^2 + x_2^2 + x_3^2)a_1^2 \\ &+ 9(y_1^2 + y_2^2 + y_3^2) + 2(\max(\alpha_0, \gamma_1 a_1, x_1 \alpha_1)^2 \\ &+ \max(\alpha_0, \gamma_2 a_1, x_2 \alpha_1)^2 + \max(\alpha_0, \gamma_3 a_1, x_3 \alpha_1)^2) \end{aligned}$$

Subject to

$$\alpha_0 > 0,\ \alpha_1 > 0,\ a_0 > 0,\ a_1 > 0 \quad (7)$$

식 (7)는 최적화 문제로 수치해석 프로그램인 IMSL의 Quadratic Programming으로 해결한다.
목적함수가 최소가 될 때의 변수 α_0, α_1, a_0, a_1를 구하게 되며 구해진 값들을 이용하여 예측 연도의 특수일의 전력 수요를 예측하게 된다.

$$Y_i = A_0 \oplus (A_1 \otimes X_i) \quad (8)$$

$$Y_i(y_i, e_i) = \{a_0 + a_1 x_i, \max(\alpha_0, a_1 \gamma_i, \alpha_1 x_i)\} \quad (9)$$

식 (8)는 식 (9)으로 표현되며 구하고자 하는 값인 y_i는 변수와 예측하고자 하는 연도의 특수일 직전 평일의 데이터를 알고 있으므로 구할 수 있다.[4]

2.2.3 사례연구

2.2.2에서 유도한 식들을 토대로 예측을 수행해 보겠다. 96년 노동절을 예측해보면 QP에 의해서 구해진 변수의 값들은 다음과 같다.

표 2. 예측된 변수와 예측 연도직전 평일 4일의 실적치

	a_0	a_1	x_4
값	0.00303369	0.825254	0.993044

따라서 식 (9)에 따라서 $y_4 = 0.8225470223$

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

0.8225470223 × 25914.6 [MW] = 21315.98227[MW]

96년 노동절의 실제 값은 21430.2[MW]

따라서 오차율은 0.53%로 예측이 된다.

이 알고리즘을 통하여 96년의 특수일을 예측하면 다음 표 3과 같다.

표 3 96년 특수일 오차율

	예측 값	실측 값	오차율
삼일절	23495.72	23817.9	1.35
식목일	23957.96	23454.77	2.14
노동절	21315.98	21430.2	0.53
어린이날(일)	21005.70	20200.9	3.98
석탄일	22808.89	23093	1.23
현충일	25180.14	24506.47	2.75
광복절	27839.86	27434.3	1.48
성탄절	24652.84	24854.5	0.81
평균 오차율	**1.78**		

표 4. 기존 논문과의 비교

96년 특수일	기존 논문		제안된 기법
	24시간 예측 평균 오차율	24시간 예측 최대 오차율	일 최대 부하예측 오차율
삼일절	1.23	3.18	1.35
식목일	1.02	4.69	2.14
노동절	1.92	5.70	0.53

표 3에서 보면 평균 오차율 1.78%로 퍼지 선형회귀 분석 모델을 이용한 예측 정확도와 비교해 봤을 때 정확도가 0.5%정도 향상되었으며 최소 자승법을 이용한 예측이 좋은 결과를 보임을 알 수 있었으나 정확도가 약간 낮아진 특수일도 있었다.[5] 이는 퍼지 최소자승 선형회귀분석법의 알고리즘 상 나타나는 특성이며 96년 어린이날의 경우 일요일 특수일로 과거 동일 특수일 데이터 이용에 85년과 74년의 부하값이 이용되어 예측의 정확도가 다소 떨어졌을 것이다. 표 4에서는 본 연구의 결과 비교를 위하여 참고문헌[6]을 이용하였다.

표에서 보듯이 두 결과의 형태는 다르지만 본 알고리즘의 타당성과 우수성을 입증하는 데에는 큰 무리가 없을 것으로 생각된다.

3. 결 론

평일에 비하여 예측의 정확도가 크게 떨어지는 특수일의 예측을 과거 퍼지 선형회귀모델을 이용하여 기존의 전력수요예측 기법보다 우수함을 입증한 바 있다. 본 논문은 퍼지 선형회귀 모델의 구성을 최소자승법에 의해 구성하였으며 96년의 경우 퍼지 선형회귀분석법을 이용한 수요예측보다 0.5%의 정확도가 향상되었다.

본 논문은 퍼지화된 데이터를 이용하여 선형회귀 모델을 구성하는데 있어 최소 자승법을 도입하였으며 그 결과 퍼지 선형회귀분석법 보다 정확한 예측을 수행할 수 있다는데 큰 의미를 부여할 수 있다. 과거 토요일과 일요일, 월요일 특수일 경우 퍼지선형회귀 분석법과 상대계수법을 이용하여 예측도를 크게 개선한 바 있으며 향후 퍼지 최소자승 선형회귀분석 알고리즘과 상대계수법을 이용하여 토요일과 월요일에 대한 예측도 수행해 볼 예정이다.

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구
(과제번호:R01-2000-00011)지원으로 수행되었음.

[참 고 문 헌]

[1] 전력수급계획 및 운영해석 종합시스템 개발에 관한 연구, 한국 전력공사 전력 연구원, 1998.12

[2] D.H. Hong and H.Y. Do and J.K. Song "Fuzzy least-squares linear regression analysis using shape preserving operations", ELSEVIER SCIENCE Inc. 2001

[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, 1997[2] 저자명, "논문제목", 논문지명, 권호, 페이지, 출판년도

[4] Dug Hun Hong, Sungho Lee and Hae Young Do, "Fuzzy linear regression data using shape preserving operations", Fuzzy Sets and systems

[5] 조현호, 백영식, 송경빈, 홍덕헌, "퍼지 선형회귀분석 알고리즘을 이용한 특수일 전력수요예측", 2000년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 pp.298-300, 2000.7

[6] Kwang-Ho Kim, Member, IEEE,"Shore-Term Load Forecasting for Special Days in Anomalous Load Conditions Using Neural Networks and Fuzzy Inference Method ,IEEE TRANSACTION ON POWER SYSTEM, VOL.15, NO.2, pp.559-565, MAY 2000