

○박 영 일 박 중 근
서울대학교 전기공학과

An Expert System for Short Term Load Forecasting by Fuzzy Decision

○Young-il Park Jong-Keun Park
Dept. of Electrical Eng. Seoul National University

ABSTRACT

Load forecasting is an important issue as for the economic dispatch and there have been many researches which are classified into two classes, time series method and factor analysis method. But the former is not adaptive for a sudden change of a correlated factor and the latter is not efficient as the factor estimation is not easy. To make matters worse, both of them are not good for the estimation of special days. It is because the load forecasting is not a problem modeled precisely in mathematics, but a problem requires experience and knowledge those can solve it case by case. In this viewpoint, an expert system is proposed which can use complicated experience of an expert by use of fuzzy decision.

1. 서 론

부하예측은 경제급전의 관점에서 중요한 문제이며, 현재까지 크게 두가지 즉, 시계열형의 방법과 요인분석 방법에 의한 연구들이 이루어져 왔다. 그러나 시계열형의 방법만으로는 전력부하와 밀접한 관련이 있는 요인이 급격한 변화가 생겼을 때 대처하지 못하는 등 사회요인을 고려할 수 없는 단점이 있고, 요인분석의 방법에선 요인의 예측이 애매한 경우가 많다. 또한 제안되었던 두가지 방법이 모두 특수일의 경우는 적합하지 않았다. 이는 부하예측이라는 문제가 수학적으로 정확히 모델링이 되는 문제라기보다는, 여러가지의 상황에 적절히 대처할 수 있는 경험을 필요로 하는 문제이기 때문이다. 본 연구에서는 실제 전문가가 부하예측에 사용할 수 있는 복잡한 경험들을 사용할 수 있는 전문가 시스템을 제안하였다. 또한 특수일을 경험적으로 예측할 수 있는 방법을 보였다.

2. 본 론

2.1 부하 형태의 분류

본 연구에서는 부하를 평일과 특수일로 분류하였다. 여기에서 평일이라함은 화, 수, 목, 금요일의 날 중 특별한 환경적 변화가 없는 날을 의미한다. 특수일은 토, 일, 월요일, 공휴일, 환경요인의 변화가 큰 날을 말한다. 이렇게 나눈 이유는 순수한 평일의 경우엔 단순한 시계열형 모델을 적용해서도 거의 정확한 예측을 할 수 있으며 특수일의 경우 과거의 경험을 바탕으로 예측하기 위함이다.

2.2 평일 부하의 예측

평일 부하의 경우엔 부하의 변화가 심하지 않고 전일과 유사한 형태를 가지고 있기 때문에 단순이동 평균법을 사용한다. 즉,

$$y_t = l + e_t \quad (1)$$

(y_t : 전력부하, e_t : 잔차)

로서 주어졌으며, 여기에서 l 은 시간에 따라 천천히 변할 수 있는 미지수이다. 이 경우 T 개의 관측값 중 최근의 N 개만을 사용하여 최소 제곱법에 의한 추정량 \hat{l} 을 구하면

$$\hat{l} = \frac{1}{N} \sum_{i=T-N+1}^T y_i \quad (2)$$

가 구해진다.

이렇게 구해진 단순이동 평균 M_T 를 M_{T-1} 로 부터 구하는 공식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} M_T &= \frac{1}{N} \sum_{i=T-N+1}^T y_i \\ &= \frac{1}{N} (y_T + (y_{T-1} + \dots + y_{T-N}) - y_{T-N}) \\ &= M_{T-1} + \frac{(y_T - y_{T-N})}{N} \end{aligned} \quad (3)$$

여기에서 T 가 어떻게 주어지느냐에 의해서 l 의 변화가 달라지며 $\sum (l - \hat{l})^2$ 이 최소가 되도록 T 를 정해준다.

2.3 특수일 부하의 예측

특수일의 경우에는 여러 요인이 복합적으로 작용하며, 그 요인이 정확히 어떤 값으로 주어지는 것도 아니다. 즉 날씨나 온도, 사회적 요소를 정확히 예측하는 것이 불가능하다. 또한 어떤 요인과 부하와의 관계를 안다 할지라도 요인들이 복잡한 관계로서 함께 있다면 해결방법이 어려워진다. 예를 들면, 월요일이며 공휴일이고 날씨가 더운 날이 있다고 하자. 이 경우 각각의 요인을 우선 순위가 없이 모두 적용한다면 실제값과 큰 오차가 있게 된다. 이러한 점들을 고려하여 Fuzzy 변수와 Fuzzy decision을 사용한다.

2.3.1 Fuzzy 집합

Fuzzy 집합은 집합의 경계를 명료하게 하지 않은 채 다루는 방법이다. 특수일의 경우엔 많은 부정확한(imprecise) 요인이 포함되는데 이는 정확한 집합으로서 표현할 수 없는 것들이다. 예를 들어 날씨가 "매우 덥다"하면 일반사람의 감각으로서는 인식할 수 있는 의미이지만 정확한 숫자로는 표현할 수 없다. 공휴일의 경우도 각각의 경우가 모두 다르므로 이것도 어느 정도로 큰 의미가 있는지를 말하기 위해선 Fuzzy 집합을 사용할 수 있다. 문제의 대상 영역 전체 집합을 U라 하면 U의 Fuzzy 집합 F는 membership 함수 $U_F(u)$ 로서 규정되며, 여기에서 u는 U의 요소이다. membership 함수 $U_F(u)$ 는 U의 요소 u를 Fuzzy 집합 F에의 membership (소속도)를 [0,1]의 수치로 나타낸다.

Fuzzy 집합 F는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F = U_F(u_1)/u_1 + U_F(u_2)/u_2 + \dots + U_F(u_n)/u_n$$

$$= \sum_{i=1}^n U_F(u_i)/u_i \quad (4)$$

(U가 불연속)

$$F = \int_u U_F(u)/u \quad (5)$$

(U가 연속)

위의 Fuzzy 집합 표현으로 부하에 미치는 여러 요인을 표현하였다. membership 1.0은 가장 영향을 많이 미치는 것을 선택하였다. 즉 공휴일의 경우엔 근로자의 날이 부하 감소가 가장 크므로 membership을 1.0으로 하고, 이와 비교하여 다른 공휴일의 경우도 Fuzzy membership을 결정하였다.

2.3.2 Fuzzy decision making

특수일에 미치는 요인의 우선 순위를 결정하고, 사용여부, 사용정도 등을 결정하기 위하여 utility matrix를 구성한다.

고려해야 할 요인의 수가 n개라 하고 그 집합을 X라 한다.

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n\} \quad (6)$$

부하가 요인에 미치는 영향중에서 서로 독립적인 영향들이 m개가 있고 그 집합을 A라 한다.

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_m\} \quad (7)$$

x_j 의 요인이 a_i 에 미치는 영향을 U_{ij} 라 한다면 다음과 같은 $m \times n$ matrix U가 만들어진다.

$$U = \begin{bmatrix} U_{11} & \dots & U_{1n} \\ \vdots & U_{ij} & \vdots \\ U_{m1} & \dots & U_{mn} \end{bmatrix} \quad (8)$$

만일 $x_k \in X, x_i \in X$ 가 요인으로 주어지면 각각의 a_i ($i=1, \dots, m$)에 대해

$$U_{\max} = \text{Max}(U_{ik}, U_{ii}) \quad (9)$$

인 U_{\max} 에 대응하는 x_j 가 a_i 에 우선적으로 영향을 미치는 요인이라 할 수 있다. 그러나 여기에서 x_j 가 1이나 0이 아니고 fuzzy 변수이므로 U_{ij} 가 크다 할지라도 fuzzy membership이 작다면 x_j 가 우선적으로 영향을 미치는 요인이라 할 수 없다. 따라서 우선순위를 결정하기 위해선 membership과 utility를 함께 고려하여야 하며 다음과 같은 방법을 사용한다.

집합 Y는 주어진 fuzzy state에 대응하는 모든 utility의 합집합이다.

$$Y_i = \bigcup_{j=1}^m U_{ij} \quad (10)$$

여기에서 부터 a_i 에 대한 maximizing set을 구성한다.

$$U_{im}^f = \{f_{u_{im}}(U_k), U_k\} \quad (11)$$

$$f_{u_{im}}(U_k) = [u_k/u_{i\max}] \quad (12)$$

$$U_{i\max} = \text{Max}_j U_{ij} \quad (13)$$

U_{im}^f 와 U_i^f 로부터 U_{io}^f 를 구한다.

$$f_{u_{io}}(U_k) = \text{Min}(f_{u_{im}}(U_k), f_{u_i}(U_k)) \quad (14)$$

이렇게 얻어진 $f_{u_{io}}(U_k)$ 는 membership과 utility를 함께 고려한 값이 된다.

따라서 a_i 에 대해 가장 우선적으로 작용하는 요인은 $f_{u_{io}}(U_k)$ 중 가장 큰 값을 갖는 요인이 된다.

$$[\text{Max}_k f_{u_{io}}(U_k), x_k] \quad (15)$$

위와 같이하여 a_i 에 두번째, 세번째 등으로 작용하는 우선순위를 구한다. 요인 x_j 의 fuzzy value가 1.0일 때 a_i 에

대해 독립적으로 작용하는 값을 v_{ij} 라 할 때, fuzzy value가 F 이며 a_i 에 대한 우선순위가 P 라면 작용하는 값은 다음과 같다.

$$v_{ij0} = iP^r Fv_{ij} \quad (16)$$

(i, r 은 상수)

위와 같은 방법을 사용하여 특수일에 미치는 요인의 영향을 고려해 준다. 본 연구에서 사용한 a 와 x 는 다음과 같다.

$$A = \{a_1, a_2, a_3, a_4\}$$

- a_1 = 오전부하 증가
- a_2 = 오전부하 감소
- a_3 = 오후부하 증가
- a_4 = 오후부하 감소

$$X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}\}$$

- x_1 = 특수일 (신정, 구정, 추석 전후)
- x_2 = 일요일
- x_3 = 토요일
- x_4 = 월요일
- x_5 = 공휴일 (국경일, 임시공휴일 등)
- x_6 = 더운 날씨
- x_7 = 비 (여름철)
- x_8 = 전일(preceding day)이 휴일
- x_9 = 전일이 더운 날씨
- x_{10} = 전일 비
- x_{11} = 후일(following day)이 휴일
- x_{12} = TV 시청률

A와 X로 부터 구한 utility matrix는 다음과 같다.

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}
a_1						2			1			
a_2	40	9		8	12		1.5	2		1.5		
a_3						3			2			1
a_4	40	16	2	1	23		3				2	

Utility matrix U_{ij} 는 x_i 가 독립적으로 존재하며 fuzzy value=1.0일 때 a_j 에 미치는 영향이며, 이것은 단순이동 평균법으로 예측할 때로부터의 오차이다.

$$U_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \left(\frac{Load_n(x_i, a_j)}{M(a_j)} \right) \times 100 \quad (17)$$

$M(a_j)$ 는 이동평균법으로 예측한 값이며 $Load(x_i, a_j)$ 는 x_i 가 존재시 실제의 값, N 은 data로 사용한 날 수이다.

여기에서 a_j 는 서로 독립적으로 취급하였다.

2.4 결 과

2.4.1 평일부하

이동평균 $M_T = M_{T-1} + \frac{(y_T - y_{T-N})}{N}$ 에서 $T=3$ 으로 하여 87년의 평일에 적용하였을 때 그림 1과 같은 예측오차를 나타냈으며 오차의 평균은 1.32%이었다.

Percentage Error of Ordinary Days('87)

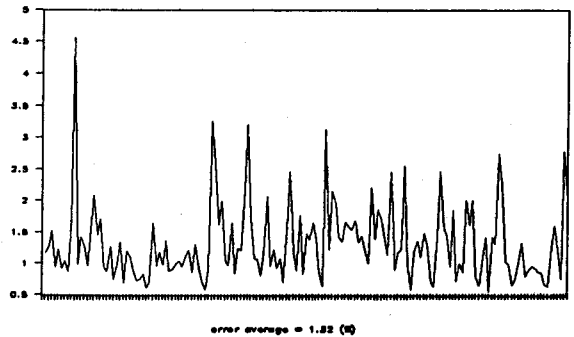


그림 1.

2.4.2 특수일 부하

Fuzzy decision을 사용하여 87년의 공휴일에 적용한 결과 예측오차는 그림 2와 같으며 오차의 평균은 2.35%이다. 또한 일요일에 적용한 경우는 그림 3과 같으며 오차의 평균은 2.56%이다.

Percentage Error of National Holidays ('87)

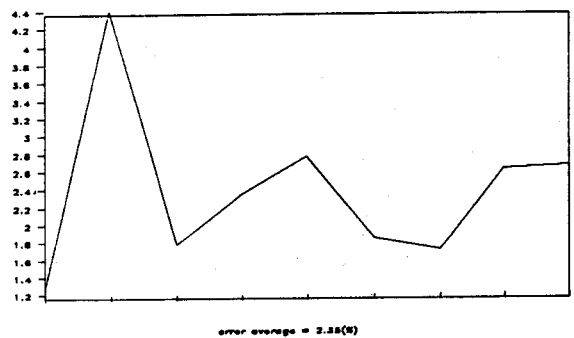


그림 2.

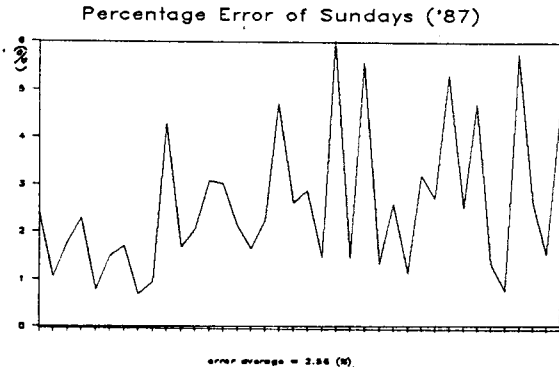


그림 3.

3. 결 론

본 연구에서는 전문가가 부하예측을 할 때의 지식을 사용할 수 있는 전문가 시스템을 제안하였다. 이 시스템의 특징은 다음과 같다.

- 수학적 접근이 아닌 지식적, 경험적 접근을 시도하였다.
- 전문가가 부하를 예측할 때 여러 환경적 요인이 함께 존재시의 판단의 복잡함을 fuzzy decision을 사용하여 해결하였다.
- 평일과 특수일을 완전히 분리해 냄으로써 평일의 예측을 계산량이 적은 간단한 방법으로 가능토록 하였다.
- Rule을 쉽게 첨가할 수 있으며 어떠한 특징요인이 부하에 미치는 영향이 달라질 때 utility matrix만 새로 구성함으로써 쉽게 적용이 가능하다.

4. 참고문헌

- [1] "Decisionmaking in the Presence of Fuzzy Variables", RAMESH JAIN, IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics, october 1976
- [2] "단기전력부하의 적응예측에 관한 연구", 박준호, 서울대학교 1986
- [3] 지식의 표현과 이용, 상야청수, 석충만 오음사, 1987
- [4] "A Fuzzy K-Nearest Neighbor Algorithm", JAMES M. KELLER, MICHAEL R. GRAY and JAMES A. GIVENS, JR., IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics, July/August 1985
- [5] Introduction to Fuzzy Arithmetic Arnold Kaufmann, Madan M. Gupta VAN NOSTRAND REINHOLD COMPANY