

Short-Term Load Forecasting Exponential Smoothing
in Consideration of T

高 義 石*·李 泰 基**·金 炫 德**·李 忠 植**
(Hee-Soog Koh·Tae-Gi Lee·Hyun-Dook Kim·Chung-Sik Lee)

Abstract—The major advantage of the short-term load forecasting technique using general exponential smoothing is high accuracy and operational simplicity, but it makes large forecasting error when the load changes rapidly. The paper has presented new technique to improve those shortcomings, and according to forecasted the technique proved to be valid for two years. The structure of load model is time function which consists of daily-and temperature-deviation component. The average of standard percentage error in daily forecasting for two years was 2.02%, and this forecasting technique has improved standard error by 0.46%. As relative coefficient for daily and seasonal forecasting is 0.95 or more, this technique proved to be valid.

Key Words : Operational Simplicity, Daily-and Temperature Deviation Component, Relative Coefficient.

1. 서 론

전력은 생산과 소비가 동시에 일어나고 잉여 전력의 경제적인 저장이 곤란하며, 전력공급도 전력소비에 따라 시시각각으로 변하므로 전력 설비의 이용율이 낮게 된다.

전력계통의 이용효율을 높이기 위해서는 계통 부하를 정도가 높게 예측하여 예측부하에 준하는 발전기의 기동정지를 포함한 발전기 병렬운전대수를 결정한 다음 이들 발전기의 부하분담을 결정하는 순서로 이루어져야 한다. [1,2]

전력부하는 예측일의 기상요인과 계절, 요일, 경기변동, 산업구조 등의 사회적인 요인에 따라서 변화하고, 또한 예측수단도 전기공급자의 여건, 예측주기, 전력부하와 전력부하에 미치는 요인과의 관계에 따라 각각 고려하여야 할 사항이 다양하므로 예측정도가 높으면서 안정적인고 결정적인 예측기법을 구하기는 매우 어렵다.

그러나 주어진 계통과 이용할 수 있는 자료를 바탕으로 했을 경우의 허용정도 및 운용의 전산화 등 실제 적용면에서 최선의 예측기법을 생각할 수 있다.

단기부하를 예측하는데 다양한 기법이 개발되어 왔으나, 본 연구에서는 각종 지수평활법을 단기 부하예측에 이용하고 급격한 전력부하의 변화가 있을 때도 예측정도를 개선하기 위하여

- (1) 상태 추정기법으로 모든 계수를 추정하고
- (2) FFT로 분석한 스펙트럼 계산기법으로 고조파성분을 구하고
- (3) 전력부하와 기후 성분간의 선형모델을 추가하여

부하모델을 요일 변화성분과 기후 변화성분으로 구성하여 부하를 예측하였다. [3~7]

기술된 기법의 일반적인 형태는 R. G. Brown 등 [8~10]에 의해 제시된 각종 지수평활법을 이용하였으며, 이 기법은 예측정도가 높고, 계절의 변화나 공휴일에 관계없이 매시간의 부하변화에 자동적으로 계수가 추정되기 때문에 운전하기가 편리한 장점을 갖는다.

이 부하모델로 2년간 1주일일 주기로하여 매

*正 會 員 : 慶南大 工大 電氣工學科 教授·工博
 **正 會 員 : 慶南大 大學院 電氣工學科 博士課程
 接受日字 : 1993年 12月 1日
 1次修正 : 1994年 3月 14日

일 1시에서 24기까지 매시간 계산하는 방법으로 매일 부하예측과 계절별 부하예측을 하였으며, 오차는 표준오차율로 종래의 예측기법⁸⁾ 보다 0.46% 정도 개선되었고, 상관계수는 각각 0.95 이상인 높은 값이었으므로 본 연구에서 제시한 예측기법이 논리적으로 타당함을 알 수 있었다.

2. 예측모델의 구성

2.1 부하모델

본 연구에서는 매일 매시간 수요전력의 성분을 요일변화 성분과 기후변화 성분으로 구분한다. 기후성분 중에서 전력부하에 큰 영향을 미치는 온도변화 성분만을 고려하고, 종래의 시계열 해석법으로 단기 부하예측을 하였을 때 큰 오차가 발생하는 단점을 개선하기 위하여 부하모델을 다음과 같은 시간함수로 표시하였다.

$$x_{(t)} = \sum_{i=1}^n a_i f_i(t) + \sum_{j=1}^m b_j z_{(t)} + e_{(t)}$$

$$= \bar{a}' \bar{f}_{(t)} + \bar{b}' \bar{z}_{(t)} + e_{(t)} \quad (1)$$

여기서

\bar{a} : 전력수요의 요일변화 성분을 표시하는 함수의 $n \times 1$ 인 계수 열벡터

\bar{b} : 전력수요의 온도변화 성분을 표시하는 함수의 $m \times 1$ 인 계수 열벡터

$\bar{f}_{(t)}$: 전력수요의 요일변화 성분을 표시하는 $n \times 1$ 인 적정함수의 열벡터

$\bar{z}_{(t)}$: 전력수요의 온도변화 성분을 표시하는 $m \times 1$ 인 적정함수의 열벡터

$e_{(t)}$: 평균이 0인 오차

' : 전치행렬 표시

식 (1)에서 계수 \bar{a} 와 \bar{b} 는 점진적으로 변하지만 아주 느리게 변하기 때문에 최고 선행시간과 같거나 큰 시간대에서는 상수로 가정한다. 이러한 가정하에서 적정함수와 계수추정치 $\bar{a}_{(T)}$ 와 $\bar{b}_{(T)}$ 가 구해지면 외삽법으로 식 (1)의 예측치를 식 (2)와 같이 계산할 수 있다.

$$\hat{x}_{(t+\tau)} = \bar{a}_{(T)}' \bar{f}_{(t+\tau)} + \bar{b}_{(T)}' \bar{z}_{(t+\tau)} \quad (2)$$

식 (2)와 같은 방법으로 부하의 예측치를 계산하기 위해서는 적당한 적정함수의 셋트가 필요하고, 실적부하와 온도자료로부터 계수를 추정하

는 방법이 필요하다. 요일변화 성분과 온도변화 성분에 대한 각각의 적정함수는 전력부하자료와 기상자료 분석에서 결정된다. 적정함수들은 일차 독립이 되어야 하고 적정함수의 계수들의 추정치는 시간적으로 수정되지만 적정함수는 고정적이어야 한다

2.2 계수추정

계수들의 추정은 가중 최소자승법을 이용하여 계산한다. 즉 평활상수 β 값($0 < \beta < 1$)이 결정되면 오차의 가중자승의 합이 최소가 될 때 계수 추정치 $a_{(T)} b_{(T)}$ 를 결정하였으며 오차의 가중자승 합은 식 (3)으로 표시된다.

$$S_{E0} = \sum_{i=0}^{T-1} [w x_{(i)} - w \hat{x}_{(i)}]^2$$

$$= \sum_{i=0}^{T-1} \beta^i [x_{(T-i)} - \bar{a}_{(T)}' \bar{f}_{(T-i)} - \bar{b}_{(T)}' \bar{z}_{(T-i)}]^2 \quad (3)$$

여기서 w 는 가중치, β 는 평활상수이고 $w^2 = \beta^i$ 로 둔다.

실측치 $x = x_1, x_2 \dots x_T$ 인 T 개의 유한계수이면 X 와 $e_{(t)}$ 는 $T \times 1$ 인 열벡터이고 F 와 Z 가 i 번째 요소 $F_{i(t)}$ 와 $z_{i(t)}$ 를 갖는 $n \times T$ 및 $m \times T$ 인 행렬이라 하면 가중오차의 자승의 합은 다음과 같은 행렬로 표시할 수 있다.

$$S_{E0} = (We) \cdot (We)' = eW^2 e' \quad (4)$$

여기서 W 는 $T \times T$ 인 대각요소를 갖는 가중행렬이다. S_{E0} 가 최소가 되기 위해서는 다음 조건이 만족되어야 한다.

$$\frac{\partial S_{E0}}{\partial \bar{a}_{(T)}} \Big|_{\bar{a}_{(T)}, \bar{b}_{(T)}} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial S_{E0}}{\partial \bar{b}_{(T)}} \Big|_{\bar{a}_{(T)}, \bar{a}_{(T)}} = 0 \quad (6)$$

식 (5), 식 (6)에서 계수 추정치는 다음과 같이 구해진다.

$$\bar{a}_{(T)} = L_1' \bar{a}_{(T-1)} + \bar{h}_1 e_{(t)} \quad (7)$$

$$\bar{b}_{(T)} = L_2' \bar{b}_{(T-1)} + \bar{h}_2 e_{(t)} \quad (8)$$

여기서

\bar{h}_1, \bar{h}_2 는 각각 $n \times 1, m \times 1$ 인 평활 열벡터이다.

3. 자료분석

자료분석의 목적은 요일변화 성분과 온도변화 성분으로 표시한 모델에서 각 성분에 대한 적정 함수를 선택하고 적당한 평활상수를 제시하는데 있다.

3.1 전력부하 자료분석

2년간(1991~1992) 우리나라의 주간별 평균부

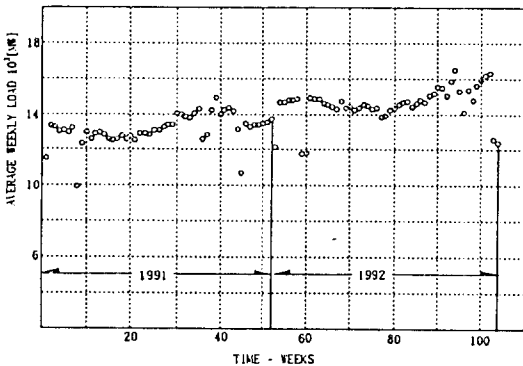


그림 1 1991-1992년 주간 평균전력
Fig. 1 Average weekly load for 1991-1992

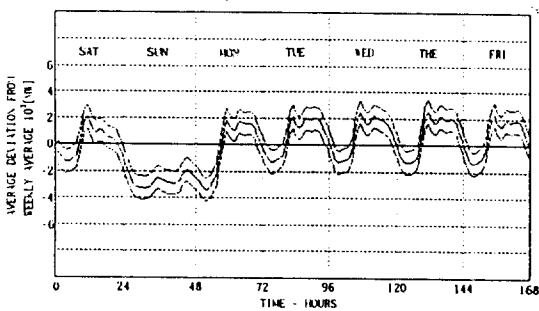


그림 2 시간별 부하로 표시한 평균 주간편차
Fig. 2 Average weekly variation in hourly load

하를 그림 1에 표시하였다.

그림1에서

1) 연간 11.03%의 평균전력부하가 증가하였다.

2) 계절적으로 전력부하가 뚜렷하게 변하였다.

3) 1주일을 주기로 하여 전력부하가 변하였다.

그림 1에서 연간 전력부하의 증가와 계절적으로 전력부하가 변하는 모양은 개략적으로 알 수 있으나 주일의 구체적인 전력부하 패턴을 알 수

없다.

1주일의 전력부하 패턴을 알기 위해서 그림 2에 주간 전력부하를 표시하였다.

그림 2에 표시한 자료는 1주일의 부하패턴을 평활하게 하기 위하여 매시간 실측부하자료를 3점 평균 이동한 값으로 일주일의 전체시간(168시간)에 대해서 계산하였다.

그림 1에서 주간 평균부하 증가율이 0.21%로 매우 작기 때문에 그림 2의 주간평균전력은 일정한 것으로 하였다. 그림 2에서 중앙곡선은 3점 평균이동한 값을 표시하는 곡선이고 상하곡선은 3점 평균이동한 값에 각각 표준편차를 가감한 곡선이다.

정규 분포로 가정하면 실측치의 95%가 이 범위 내에 들어 있으므로 주간의 요일변화 성분모델은 그림 2과 같이 주기적으로 변화된다는 것을 알 수 있다.

그림 2와 같이 주기적으로 변화하는 곡선은 푸리에급수가 가장 적당한 모델함수이며, 식 (9)와 같이 상수 c 와 m 개의 주파수를 갖는 시간함수인 주기함수로 표시할 수 있다.

$$f(t) = c + \sum_{i=1}^m (a_i \sin \omega_i t + b_i \cos \omega_i t) \quad (9)$$

1주일을 주기로 하였으므로 ω_i 는 다음과 같은 형태를 갖는다.

$$\omega_i = \frac{2\pi}{168} K_i$$

여기서 K_i 는 84보다 적은 양의 정수이므로 요일변화 성분모델의 적정함수는

$$f_{(t)} = \begin{bmatrix} 1 \\ \sin \omega_1 t \\ \cos \omega_1 t \\ \sin \omega_2 t \\ \cos \omega_2 t \\ \vdots \\ \sin \omega_m t \\ \cos \omega_m t \end{bmatrix} \quad (10)$$

가 되므로 $f_{(t)}$ 의 천이행렬은 다음과 같다.

$$L_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ \cos\omega_1 \sin\omega_1 \\ -\sin\omega_1 \cos\omega_1 \\ \cos\omega_2 \sin\omega_2 \\ -\sin\omega_2 \cos\omega_2 \\ \vdots \\ \cos\omega_m \sin\omega_m \\ -\sin\omega_m \cos\omega_m \end{bmatrix} \quad (11)$$

식 (9)의 계수 $c, a, b, (\text{벡터 } \bar{a})$ 는 식 (7)에서 가장 최소자승의 기준에 따라 매시간 수정되지만 주파수는 시불변이므로, 예측 알고리즘을 수행하기 전에 지정되어야 한다.

요일변화 성분모델인 푸리에급수 내에 불필요한 고조파가 포함되면 계수추정시에 부가적인 잡음이 발생하므로 부하예측의 정도가 떨어진다. 부하예측 정도를 높이기 위해서는 적절한 수의 고조파를 선정하여야 한다.

그림 2에 표시된 파형의 고조파 성분은 계절별로 1주일의 실부하자료에 대해 FFT(Fast Fourier Transformation)로 분석한 파워스펙트럼을 계산하여 결정하였다. ^{11) 12)}

그림 3에 주간 전력변화 많은 주에서 계산한 파워스펙트럼을 표시하였다.

이들 고조파를 요일변화 성분모델에 포함시키는 여부의 최종 결정은 계수추정을 위한 시불레이션 결과에 바탕을 둔다.

3.2 온도변화의 전력

지금까지 부하예측에 사용한 기상자료는 지역 기상자료를 사용하는 방법, 수일전의 기상조건을 기상자료로 효율적으로 삽입하는 방식, 요일 간의 전력수요 차이를 기후변수로 변환하여 사용

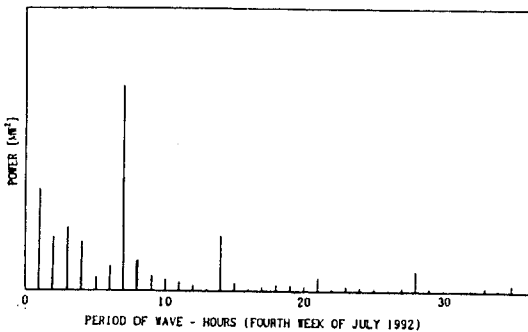


그림 3 시간별 편차에 대한 전력 스펙트럼
Fig. 3 Power spectrum for hourly deviation

하는 방법 등이 있다.

부하예측에 이용하는 온도자료는 각 지역마다 온도가 다르기 때문에 지형 및 지역별 전력밀도를 고려하여 전국을 5개 지역(경인, 경남, 경북, 영동, 호남)으로 나누고 각 지역 지점(서울, 부산, 대구, 대전, 광주)의 온도 실측치에 지역별 온도합성비를 둔 것으로서 다음 식을 이용하여 계산된 자료이다. ¹³⁾

$$T_{(i)}' = \sum_{i=1}^m L_i(T_i, t) \quad (12)$$

여기서

(T_i, t) : i 지점의 t 일의 온도

i : 중요 공급지역의 지점

m : 지점수

L_i : 온도 합성비(예측년도의 각 지점의 전력량과 전국 전력량의 비)

우리 나라의 전력 부하자료와 온도자료 분석에서 여름철을 제외하고는 최대전력수요가 발생하는 시간과 최고온도(최저온도)가 되는 시점이 다르므로 여름철의 온도와 전력수요 관계만을 가지고 매일의 전력부하에 미치는 온도변화 성분으로 해석할 수 없으므로 1992년의 계절별로 2주간의 같은 요일의 시간별 평균전력을 그림 4에 표시하였다.

그림 4에서 1일 중에 계절에 따라 최대전력수요가 발생하는 시간대가 있음을 알 수 있다. 이와 같이 각 시간 대에 걸쳐서 최대전력수요가 발생하는 요인은 각각 특유한 수요특성에 기인한다.

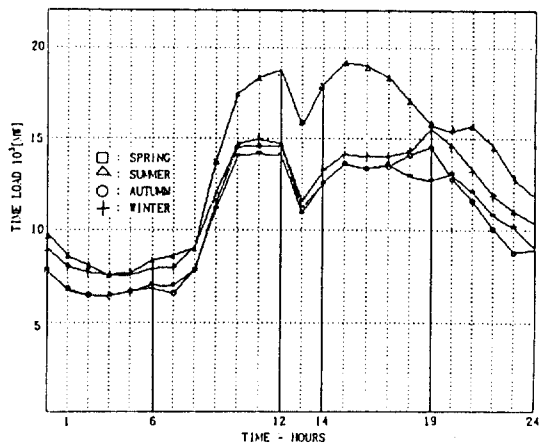


그림 4 일별 시간별 부하
Fig. 4 Hourly load for one day

표 1 부하와 온도비의 비교

Table 1 Comparison of ratio for load and temperature

	6-12시	14-19시	20-익일5시
겨울	39.3	18.6	-22.4
봄	26.2	-0.09	-14.7
여름	31.4	-12.3	-17.2
가을	23.6	-7.1	-31.5

최대전력 수요가 발생하는 시간이나 시간대를 고려하여 각 시간대별로 수요특성에 맞는 예측 모델을 구하여야 하므로 1일을 몇개의 시간대로 구분하고, 식 (12)를 이용하여 각 시간대에서 2주간의 평일에 대한 시간별 전력부하와 온도비의 차를 평균한 값(MW/°C hour)을 표 1에 표시하였다.

그림 4와 표 1에서

- (1) 부하와 온도요인 관계는 시간적으로 일정치 않고 정상치가 아닌 경우가 있었으나,
- (2) 봄철의 14-19시의 시간대를 제외하고는 각 시간대에서 전력부하와 온도비의 차는 시간에 따라 증가하거나 감소하였고,
- (3) 각 시간대에서 온도변화 성분의 모델함수는 시간에 따라 직선으로 증가하거나 감소하는 일차함수로 하였다.

$$Z_{(t)} = b_0 + b_1 t \tag{13}$$

따라서 온도변화 성분의 모델함수의 적정함수와 천이행렬은 다음과 같다.

$$\bar{Z}_{(t)} = \begin{bmatrix} 1 \\ t \end{bmatrix} \tag{14}$$

$$L_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \tag{15}$$

식 (13)에서 계수 b_0, b_1 (벡터 \bar{b})는 계수벡터 (\bar{a}) 와 같이 매시간 수정되므로 b_1 의 부호는 특별히 구별할 필요가 없고, 적정함수 $\bar{Z}_{(t)}$ 는 고정적이어야 한다.

4. 예측결과 및 검토

4.1 예측 시뮬레이션

예측 시뮬레이션의 목적은

- (1) 부하모델의 적정함수 중에서 주기함수로

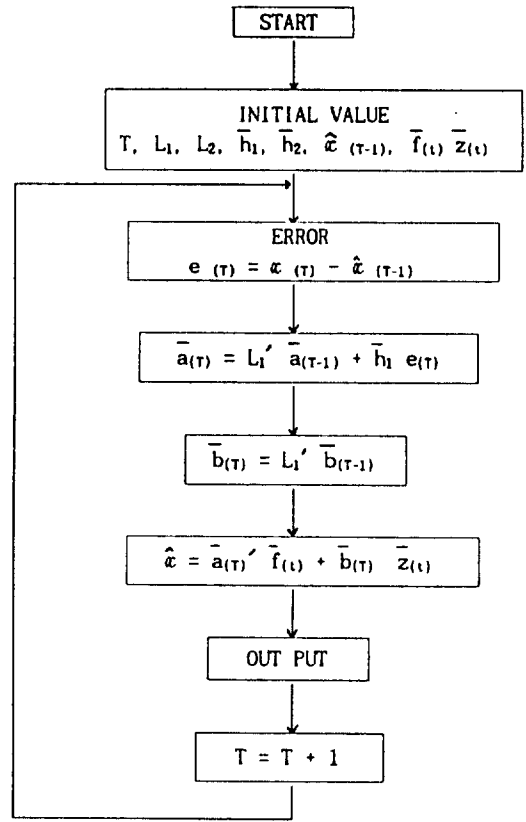


그림 5 부하예측 흐름도

Fig. 5 Flow chart of load forecasting

표시된 요일변화 성분함수의 주파수를 최종적으로 선택하고

- (2) 적정함수의 계수들을 추정하기 위한 평활상수를 결정하는데 있다.

서로 다른 주파수와 평활상수(β)로 4개의 모델을 구성하여 2년간(1991-1991)수집된 전력부하 자료를 사용하여 각 모델에 대해서 2년간에 걸쳐서 시뮬레이션을 하였다. 각 24시간의 선행시간을 가지고 시뮬레이션한 추정치에 대한 표준오차가 제일 적게 나타나는 모델을 최적모델로 사용하여 부하를 예측하였다.

2년 중에서 1~4월 까지의 초기부하 자료는 계수를 추정하는 시뮬레이션에 사용하였으며, 나머지 기간에 걸쳐서는 식 (2)에 따라 부하를 예측하였고, 예측에 사용한 흐름도는 그림 5와 같다.

초기 부하자료를 사용한 시뮬레이션 결과를 표 2에 표시하였으며, 표시된 오차는 MW 단위로 표시한 것이다.

표 2 주파수와 평활상수에 대한 오차
Table 2 The forecasting error for frequency and smoothing constant

Model	Harmonics	Smoothing Constant				
		0.999	0.997	0.994	0.985	0.980
1	1.2.3.4.5.6.7.8.14.21.28	347	308	299	308	366
2	1.2.3.4.5.6.7.8.9.14.28	331	294	276	284	354
3	1.2.3.4.5.6.7.9.14.28	342	287	302	296	343
4	1.2.3.4.5.6.7.14.28	350	321	328	314	371

표 2에서 평활상수 $\beta=0.994$ 인 모델 2와 평활상수 $\beta=0.997$ 인 모델 3의 예측 오차값을 실측치와 비교하면 통계학적으로는 그렇게 중요시되지 않고 모델 2는 11개의 주파수, 모델 3은 10개의 주파수를 포함하고 있으므로 모델 3을 이용하여 부하를 예측하면 실행시간이 단축되어 운전하기가 편리할 것으로 생각되었으나 실제 부하예측에서 평활상수 $\beta=0.997$ 로 변동이 급격한 부하를 예측할 때는 상태추정이 늦어 예측오차가 크게 되었고, 모델 2나 모델 3을 사용하여 부하를 예측하여도 운용시간이 차이는 없었기 때문에 평활상수 $\beta=0.994$ 인 모델 2를 최종적인 주파수와 평활상수로 선정하여 부하를 예측하였다.

모델 2의 주파수에는 파워스펙트럼에서 계산된 에너지 밀도가 높은 주파수들이 포함되어 있음을 알 수 있고, 0.985에서 0.997까지 범위내에서 평활상수값을 사용하여 부하를 예측하면 오차가 크게 변하지 않는다는 것을 알 수 있다.

평활상수값이 0.985보다 적을 때는 오차의 가중치가 너무 빠르게 감소하므로 오차가 크게 되고 평활상수값이 0.999보다 크게 되면 모델함수의 계수추정치가 거의 일정하게 되어 급속한 부하변화에 따른 상태추정이 되지 않으므로 큰 오차가 발생한다.

표 2에 표시된 평활상수의 지수가중함수를 그림 6에 표시하였다.

그림 6에서도 평활상수값이 0.985보다 적을 때는 가중함수가 급속히 감소되고 평활상수값이 0.999보다 클 때는 가중함수의 감소가 적어 가중효과가 적음을 알 수 있고, 평활상수값이 0.985와 0.997의 범위일 때는 가중함수의 급속한 가중이 없음을 알 수 있다.

표 2의 주파수에는 파워스펙트럼 분석에서 계산된 주파수가 포함되어 있고, 표 2의 평활상수와 그림 6에서 가중함수의 평활상수의 범위가 같으므로 시뮬레이션결과와 일치한다.

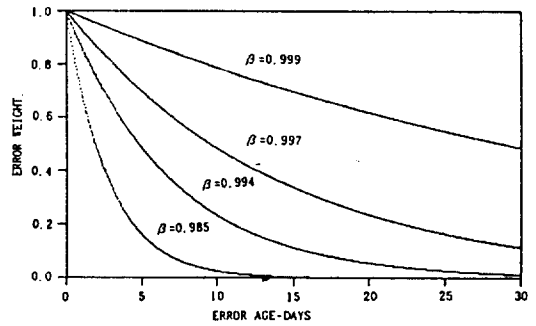


그림 6 대표적인 지수 가중 함수
Fig. 6 Alternating exponential weighting function

4.2 결과 및 고찰

부하예측은 식 (2)에 따라 2년간(1991-1992)에 걸쳐서 주일, 계절, 연간 기간으로 실행하였다.

본 연구에서 제안한 예측기법(이하는 본 예측기법이라 함)을 이용하여 단기부하를 예측하였을 때 예측결과와 온도보상을 하지 않은 종래의 예측기법⁵⁾으로 부하를 예측하였을 때의 예측결과를 비교하여 본 예측기법의 장점과 논리적 타당성을 입증하기 위하여 두 경우를 같은 기간별로 부하를 예측하였다.

이때 부하모델은 1주일을 주기로 하였으므로 모든 기간에 대한 예측실행은 1주일 단위로 하였으며, 예측실행에 사용된 컴퓨터의 기종은 P.C (486-DX-2-66DR CAD SYSTEM)이고, 이 기종의 컴퓨터를 사용하여 부하예측을 실행하였을 때는 예측기법이나 표 2의 모델의 종류에는 관계없이 소요시간의 차이는 거의 없었다.

본 예측기법과 종래의 예측기법⁵⁾을 이용하여 2년동안의 장기운전을 한 두 기법의 정확도는 표준오차와 오차율로 표 3과 표 4 및 표 5에, 두 기법의 오차율 비교는 그림 7에 표시하였다.

표 3에서 본 예측기법으로 예측한 결과는 종래의 기법으로 예측한 결과보다 평균 오차와 오차율은 24시간의 선행시간에 대해 각각 72MW와 0.4%가 개선되었음을 알 수 있다.

또 종래의 기법으로 부하를 예측하였을 때 오차율 변동폭은 4.06%이나 본 예측기법으로 부하를 예측하였을 때는 오차율 변동폭은 2.5%로 종래의 예측기법 보다 오차 변동폭은 1.49%가 개선되었고, 일반적으로 예측방법 수행에서 가장 중요한 지침이 되는 첨두부하 예측에서 오차율

은 종래의 기법보다 1.61%가 개선된 점이 특이하다. 이는 급격한 부하변동이 있을 때도 종래의 예측기법에 비하여 상태추정이 뒤지지 않음을 알 수 있다.

공휴일을 평일에서 분리하여 부하를 예측하였을 때 종래 기법으로는 오차율이 0.56% 감소되었으나 본 예측기법을 사용했을 때는 오차율이 0.16% 밖에 감소되지 않아 다음날 평일에 큰 오차를 발생시키는 영향이 적어서 공휴일과 평일을 구분하지 않고 부하를 예측할 수 있다는 점이 개선되었다.

표 4, 표 5에서 본 예측기법을 이용하여 계절별 부하를 예측하였을 때는 종래의 기법을 이용하였을 때 보다 0.41~0.48% 개선되었고, 개선된 오차율은 1년 평균 개선오차율과 거의 같으므로 계절변동성분이 크게 작용하지 않는다는 것을 알 수 있다.

온도 성분모델은 1일의 시간대별 온도 성분모

표 3 예측결과 비교

Table 3 Comparison of forecasting results

T I M E	DAIL-AND TEMPERATURE LOAD MODEL		DAILY LOAD MODEL	
	STANDARD ERROR	% ERROR	STANDARD ERROR	% ERROR
1	119	0.84	194	1.38
2	104	0.75	192	1.39
3	344	2.54	344	2.55
4	224	1.67	259	1.92
5	350	2.61	377	2.91
6	221	1.62	218	1.59
7	343	2.49	356	2.60
8	229	1.62	515	3.64
9	109	0.68	153	0.95
10	360	2.06	632	3.62
11	567	3.20	592	3.34
12	560	3.15	841	4.76
13	325	1.97	318	1.95
14	503	2.92	501	2.96
15	265	1.47	479	2.65
16	586	3.34	594	3.41
17	409	2.30	484	2.69
18	579	3.34	577	3.32
19	406	2.31	524	2.97
20	505	2.94	533	3.12
21	245	1.46	315	1.86
22	260	1.61	238	1.46
23	121	0.78	110	0.71
24	156	1.03	281	1.86
평균	328.7	2.02	401.1	2.48

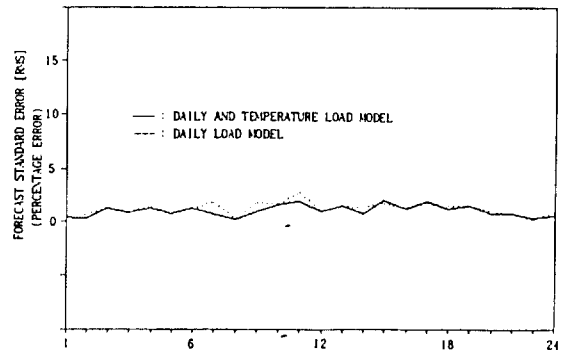


그림 7 1992년의 예측 시물레이션한 표준오차

Fig. 7 Standard error of simulated forecasts for 1992

표 4 계절별 예측결과

(요일 및 온도부하 모델)

Table 4 Seasonal forecasting results

(Daily-and temperature load model)

T I M E	WINTER		SPRING		SUMMER		AUTUMN	
	S.E.	% E.	S.E.	% E.	S.E.	% E.	S.E.	% E.
1	105	0.75	124	0.91	145	0.97	102	0.73
2	66	0.49	64	0.49	187	1.31	97	0.71
3	283	2.12	341	2.61	412	2.93	339	2.52
4	193	1.45	173	1.33	325	2.35	206	1.54
5	307	2.31	312	2.38	418	3.05	364	2.71
6	208	1.55	135	1.01	323	2.33	218	1.59
7	343	2.57	270	1.99	470	3.37	287	2.03
8	227	1.64	154	1.12	401	2.79	135	0.94
9	105	0.66	71	0.46	173	1.04	88	0.55
10	386	2.24	356	2.12	336	1.78	360	2.09
11	560	3.24	504	3.00	675	3.51	530	3.07
12	562	3.26	544	3.24	679	3.49	454	2.62
13	282	1.81	238	1.57	535	2.94	247	1.57
14	433	2.66	433	2.70	705	3.68	440	2.65
15	192	1.14	193	1.16	467	2.36	207	1.21
16	572	3.43	514	3.12	762	3.91	495	2.90
17	326	1.94	337	2.04	658	3.39	316	1.85
18	586	3.42	552	3.39	649	3.48	529	3.06
19	478	2.74	277	1.70	404	2.22	464	2.58
20	539	3.22	459	2.77	412	2.28	612	3.49
21	203	1.27	211	1.30	229	1.24	337	2.01
22	129	0.85	322	2.09	311	1.77	278	1.74
23	88	0.60	76	0.51	189	1.14	132	0.85
24	83	0.56	206	1.41	167	1.03	170	1.12
평균	298.0	1.91	286.0	1.85	418.0	2.41	308.6	1.92

델이므로 부하를 예측할 때 요일변화 성분모델에서 발생하는 오차는 온도변화 성분모델의 계수추정에서 시간대별로 보상되므로 공휴일이나 계절변동에 관계없이 표준오차와 오차율 변동폭이 개선되어 단일모델로 취급할 수 있다.

매일 부하예측과 계절별 부하예측에서 상관계수는 0.95이상인 높은 값으로 나타났으므로 본 예측기법의 논리적 타당성이 입증되었다.

5. 결 론

비교적 예측정도가 높고, 취급하기 편리한 장점 때문에 지수평활을 이용한 부하예측기법이 많이 사용되었다. 그러나 지금까지 발표된 지수평활을 이용한 부하예측기법은 기후변화 성분을 예측모델에 고려하지 않았기 때문에 부하가 크게 변하지 않을 때는 예측정도가 높으나 부하변

표 5 계절별 예측오차(요일부하 모델)
Table 5 Seasonal forecasting results
(Daily load model)

T I M E	WINTER		SPRING		SUMMER		AUTUMN	
	S.E.	% E.	S.E.	% E.	S.E.	% E.	S.E.	% E.
1	166	1.19	210	1.53	157	1.06	244	1.74
2	139	1.03	136	1.03	337	2.35	153	1.13
3	300	2.25	355	2.72	363	2.58	359	2.66
4	206	1.55	207	1.60	397	2.86	225	1.68
5	332	2.49	353	2.70	393	2.87	429	3.19
6	166	1.24	116	0.87	360	2.59	229	1.67
7	453	3.40	281	2.08	436	3.12	253	1.78
8	538	3.89	446	3.24	705	4.89	370	2.56
9	152	0.97	100	0.65	256	1.55	102	0.64
10	646	3.76	646	3.85	611	3.24	625	3.63
11	587	3.40	533	3.17	712	3.70	535	3.10
12	829	4.81	814	4.85	874	4.48	847	4.90
13	217	1.39	302	2.00	457	2.50	298	1.90
14	472	2.90	510	3.18	495	2.59	528	3.18
15	330	1.96	337	2.03	918	4.68	332	1.94
16	529	3.17	596	3.62	639	3.26	612	3.59
17	289	1.71	408	2.47	949	4.91	289	1.68
18	632	3.69	522	3.21	633	3.37	522	3.01
19	705	4.04	190	1.16	502	2.77	701	3.89
20	541	3.24	611	3.69	296	1.65	682	3.89
21	212	1.33	292	1.81	426	2.34	332	1.98
22	93	0.61	272	1.77	347	1.97	241	1.50
23	128	0.94	78	0.52	153	0.92	72	0.47
24	215	1.46	330	2.26	236	1.48	341	2.25
평균	370.2	2.35	360.2	2.33	285.5	2.62	388.3	2.42

동이 급하게 변할 때는 예측오차가 크게 발생하는 단점이 있다.

본 연구에서는 이러한 단점을 개선하는 예측기법을 제시하였고, 2년간(1991~1992)의 부하 예측 결과로, 본 예측기법의 논리적인 타당성을 입증하였다.

제시한 예측기법에 대한 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 기후보상모델을 부하모델에 포함시켜 부하모델을 요일변화 성분과 온도변화 성분으로 구성하여 시간함수로 표시하였다.

(2) 예측기법의 대체적인 접근방식으로는 상태추정기법과 파워스펙트럼 분석기법을 예측모델에 적용시켜 가중오차 자승의 합이 최소가 되는 계수추정장치를 구하였다.

(3) 본 예측기법을 이용하여 24시간의 선행시간에 대한 부하예측에서 평균 표준오차율은 2.02%이고, 온도보상 모델을 고려하지 않았을 때 보다 0.46%의 오차율이 개선되었다. 특히 부하예측에서 가장 중요한 지침이 되는 첨두부하시에는 예측 표준오차율이 1.61%의 큰 폭으로 개선되었다.

(4) 부하예측에서 본 예측기법의 상관계수가 0.95이상이므로 논리적 타당성이 입증되었다.

(5) 지수평활을 이용한 단기 부하예측기법으로는 만족할만한 결과이나 장차 실제통에 적용시키기 위해서 예측정도가 보다 높고 사용하기가 편리한 기법이 계속 연구되어야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] 고희석, 이태기, "지수평활에 의한 장기 최대 전력 수요 예측에 관한 연구," 한국조명·전기설비학회지, 제6권, 3호, PP. 43-48, 1992.

[2] 日本電氣學會技術報(2部 第302號) PP. 20-22, 1989.

[3] D. W. Bunn, E. d. Farmer, "Comparative Models for Electrical Load Forecasting," John Wiley & Sons, 1985, PP. 43-56.

[4] G. T. Heineman, D.A.Nordman, and E. C. Plant. "The relationship between summer load-A regression analysis," IEEE Trans. Power App. Syst, Vol. PAS-85, NO.2, PP. 1144-1154, 1966.

- [5] S. L. Corpening, N. D. Reppen, and R. J. Ringlee, "Experience with weather sensitive load models for short- and long-term forecasting," IEEE Trans. Power App. Syst., Vol. PAS-92, PP. 1966-1972, 1973.
- [6] 田中 英一, 林敦, 長谷川淳 "重回歸分析に基づく翌日需要豫測手法に關する諸檢討," 日本電氣學會研究會料. PE. 91-44, PP. 127-136, 1993.
- [7] D. P. Lijessen, and J. Rosing, "Adaptive forecasting of hourly loads based on load measurement and weather information," IEEE Trans. Power App. Syst. Vol. PAS-90, No. 4. PP. 1757-1767, 1971.
- [8] W. R. Christiaanse, "Short-term load forecasting, usneral exponential smoothing," IEEE Trans. Power App. Syst. Vol. PAS-90, No. 2. PP. 900-910, 1971.
- [9] H. P. Van Meeteren, and P. J. M. Van Son, "Short-term load prediction with a combination of different models," in Proc. PICA, 1979, PP. 192-197.
- [10] R. G. Brown, "Smoothing forecasting and prediction of discrete time seties," Prentice-Hall, 1963, PP. 174-198.
- [11] 고희석, 정형한, 이태기, "지수평활을 이용한 단기 부하 예측," 93년 대한전기학회 하계 학술대회 논문집(A), PP.29-32, 1993.
- [12] Samuel D. Stearns, Don R. Hush, "Digital signal analysis," prentice-Hall 1990, PP. 59-119.
- [13] 灰田武史, 武藤昭一, 中村桂一, 川田一雄, 石井康貴, "時間別別モデルをいた 最大需要豫測について," 日本電氣學會研究資料, PE. 92-168, PP. 79-87, 1992.

저자 소개



고희석(高羲石)

1942년 8월 21일생. 1966년 부산대학교 전기공학과 졸업 1979년 동아대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1985년 중앙대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재. 경남대학교 전기공학과 교수. 경남대학교 대학원장. 대한전기학회 학술이사 및 평의원



이태기(李泰基)

1938년 4월 19일생. 1963년 한양대학교 원자력공학과 졸업. 1980년 동아대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년 경남대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재. 동의대학교 전기공학과 교수



김현덕(金炫惠)

1950년 1월 25일생. 1976년 동아대학교 전자공학과 졸업. 1985년 동아대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 현재. 경남대학교 대학원 전기공학과 박사과정. 진주산업대학교 전자공학과 조교수



이충식(李忠植)

1966년 3월 21일생. 1991년 경남대학교 전기공학과 졸업. 1993년 경남대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재. 경남대학교 대학원 전기공학과 박사과정