



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권으로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士 學位論文

전력수요 경향과 지수평활법을 이용한
첨두부하 예측에 관한 연구



2007年 2月

釜慶大學校 産業大學院

電氣工學科

趙 旭 濟

工學碩士 學位論文

전력수요 경향과 지수평활법을 이용한
침두부하 예측에 관한 연구

指導教授 裴 鍾 一

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함

2007年 2月

釜慶大學校 産業大學院

電 氣 工 學 科

趙 旭 濟

趙旭濟의 工學碩士 學位論文을 認准함

2006年 12月

主審 工學博士 李 東 喆 (印)

委員 工學博士 洪 淳 一 (印)

委員 工學博士 裴 鍾 一 (印)

목 차

그림 목차	ii
표 목차	iii
Abstract	iv
제1장 서 론	1
1.1 연구목적과 배경	1
1.2 연구의 방법 및 내용	3
제2장 자료분석과 부하모델의 적정함수	5
2.1 전력자료 분석	5
2.2 수요경향	6
2.3 수요경향의 적정함수	9
제3장 이론 전개	14
3.1 지수평활(Exponential Smoothing)	14
3.2 다중 지수평활(High order Exponential Smoothing)	16
제4장 결과 및 검토	21
4.1 시뮬레이션	21
4.2 고찰	24
제5장 결 론	32
참고문헌	33

그림 목차

Fig. 2.1 Daily peak load for 2003	5
Fig. 2.2 Power load for 2003 April	6
Fig. 2.3 Transition of peak load for 2003–2005	8
Fig. 2.4 Transition of load ratio for 2003–2005	8
(a) Spring	10
(b) Summer	11
(c) Autumn	11
(d) Winter	12
Fig. 2.5 Load transition for four season of 2003–2005	12
Fig. 3.1 Weighting data in a moving average	15
Fig. 4.1 Flow-chart of smoothing exponential forecasting	23
Fig. 4.2 Comparision real value and forecasting data	26

표 목차

Table 1. Sums $\sum_{j=0}^{\infty} \beta^j$ and Matrix M for $k=3, \quad \phi=3$	19
Table 2. The forecasting error for smoothing constants.	21
Table 3. Coefficient value in case of smoothing constant $\alpha=0.99$	22
Table 4. Comparison real value and forecasting data.	27



A Study on Peak Load Forecasting Using Power Load Trend and Exponential Smoothing Method

wook Jea Cho

*Dept. of Electrical Eng., Graduate School of Industrial Technology
Pukyong National University*

Abstract

Since daily peak load forecasted data are essential to the economic power plant operation, especially DSS of thermal power plant, the technique of accurate forecasting is needed.

The chief advantage of load forecasting technique using exponential smoothing is high accuracy and operational implicity.

This paper has presented forecasting technique using load trend and exponential smoothing, and forecasting technique proved to be valid by forecasting results for one year.

The studied contents are follows

1. The structure of load model is time function which consist of daily load trend.
2. The estimator of coefficient is found by state-estimation technique that minimize the weighted sum of square of error.
3. As the relative coefficient for daily peak load forecasting is 0.98 or more and forecasting error is about 1%, this forecasting technique proved to be valid.

제 1 장 서 론

1.1 연구목적과 배경

전력은 대부분 생산과 소비가 동시에 일어나고 잉여전력의 경제적인 저장도 힘들고 전력공급도 전력소비에 따라 시시각각으로 변하므로 전력설비의 이용률은 매우 낮다.

또한 경제성장과 문화생활의 변화에 따라 전력설비의 증가는 필수적이거나 전력설비의 건설은 다른 생산설비의 건설보다 공사기간이 길고 공사비가 많으므로 적절하고 정확한 전력설비의 건설계획이 필요하다

우리나라의 전원설비는 1980년 중반까지만 하여도 최대수요전력보다 상당한 여유가 있었으나 1980년 후반부터는 국내 경제가 활성화 되고 각종 사무자동화의 증가와 국민 소비수준의 향상으로 전력 부족현상을 우려하게 되었다

전력계통의 이용률을 높이기 위해서는 전력계통의 수급계획이나 운용에 있어서 전력공급력과 적절한 예비전력의 확보가 대단히 중요하고 발전계획이나 용통계획 등의 수급계획은 수요 예측을 근거로 하여 입안되고 있다

전력수요 예측은 예측목적에 따라 대개 장기, 단기 및 순시부하 예측 등으로 분류된다.

장기부하 예측은 몇년 또는 십수년 후의 전력부하를 예측하는 기법으로 전기에너지의 개발, 발전 및 송배전 등 미래 전기설비의 확장계획을 결정하는 자료로 이용되고, 순시부하 예측은 전력의 주파수 제어자료로 사용하고 있다

단기부하 예측은 1시간에서 1주일(168시간) 후의 전력부하를 예측하는 것으로 전력계통의 부하 예측자료는 발전소간의 경제적 전력분담 특히

화력기에서 수시간 앞선 부하예측은 여러 발전소의 효율적인 기동, 정지에 필요한 자료이며 모선부하 예측자료는 모선부하의 경제적 배분, 계통운용의 감시, 위험한 운전조건의 발견 및 계통의 돌발사고 분석 등 계통안정도 문제에 관련된 참고 자료로 이용하고 있다

첨두부하(최대전력부하)예측은 알종의 단기부하 예측이며 1일 첨두부하 예측자료는 적절한 예비전력 확보에 중요한 자료이므로 예측기법 중에서 가장 중요한 지침이 되기 때문에 첨두부하 수요를 예측하는 예측기법에 큰 관심을 두고 있다 첨두부하 수요는 예측일의 온도, 습도, 조도 등 기상요인과 계절, 요일, 경기변동, 산업구조 등의 사회적 요인에 따라서 변화하고, 또한 예측수단도 전력공급자의 여건, 예측주기, 전력부하와 전력부하에 미치는 요인과의 관계에 따라 각각 고려 하여야 할 사항이 다양하므로 예측정도(精度)가 높으면서 안정적인 결정적인 예측기법을 찾는 것은 매우 어렵다¹⁻²⁾

그러나 주어진 계통과 이용할 수 있는 자료를 바탕으로 했을 경우의 허용 정도 및 운용의 전산화 등 실제 적용면에서 최선의 예측기법을 강구해야 한다.

단기부하를 예측하는데 다양한 예측기법이 개발되어 있으며 그 배경을 대략 요약하면 다음과 같다

N. Winer, R.G. Brown³⁻⁴⁾ 등은 주중과 주말의 부하를 구분하지 않고 1주일을 주기로 하여 부하모델을 시간함수로한 지수평활법에 의한 예측기법을 제시하였으며, 특히 Winer 는 정지 시계열의 필터링 예측에서 최적 선형계열의 설계를 위한 확률적 시계열 수렴기법을 제안했다 또한 W.R.christiaance⁵⁾ 는 Brown의 지수평활법에서 예측정도가 평활상수에 크게 의존하는 결점을 개선하기 위하여 적정함수와 평활상수를 결정하는 광범위한 해석법과 예측정도를 향상시키는 방법을 제시하였다. M.S. Sarcheler⁶⁾ 는 자기 회귀모델로 지수평활법을 사용한 on-line 기법을 제

시하였다. 또 D.T.phi은 Christiaance[6]가 제안한 기법을 168시간의 미래시간까지 매시간 부하를 예측하기 위하여 사용하기도 하였다.

E. D. Farmer등 8은 전력수요에 대한 과거의 실적자료를 분석하여 미래에도 그러한 경향이 계속될 것이라고 예상하고, 과거의 수요경향과 일치하는 수학적 모델을 구하여 미래의 전력수요를 예측하는 시계열 해석기법을 제시하였다. 이는 시간에 따른 전력수요 형태를 체계적이고 순환적으로 분석함으로써 운용이 편리하기 때문에 가장 많이 사용되는 예측기법으로 생각된다. 특히 Farmer는 주간 전력수요를 장기경향 성분과 주간의 요일성분 및 잡음요소 성분으로 나누어 스펙트럴 분석법으로 수요를 예측하였다.

S.Ramlan[8]등은 전문가의 경험과 지식에 바탕을 둔 전문가시스템을 이용한 예측기법을 제시했으나 전문가의 적절한 규칙을 추적하기 어렵기 때문에 신뢰도가 낮은 결과를 나타냈다.

또한 D.C Part[9]등은 최근 신경회로망을 이용한 시계열 해석기법과 회기분석법을 결합하여 수요예측 기법을 제안하였다.

1.2 연구의 방법 및 내용

본 논문에서는 시계열 해석기법의 일종인 가중지수평활법을 1일 첨두부하 예측에 이용하고 급격한 전력부하의 변화가 있을 때 예측정도를 개선하기 위하여 다음과 같이 한다.

- 1) 전력수요경향을 분석하여 수학적 모델을 구하고
- 2) 상태 추정기법과 적절한 평활상수를 구하여 모든 계수를 추정하여 1일 첨두부하를 예측하였다.

기술적 기법의 일반적인 형태는 R. G. Brown이 제시한 가중 지수평활법을 이용하였으며, 이 기법은 예측정도가 높고 계절의 변화에 관계없이 매시간 부하변동에 자동적으로 계수가 추정되기 때문에 운전하기 편리한 점이 있다.

이 기법에 의한 부하모델의 개발은 2년간 (2003~2004) 우리나라의 시간별 전력부하 자료의 분석으로 1일 변화성분 모델을 구하였다.

이 부하모델로 2년간 계절별 1주일을 주기로 하여 1개월간 첨두부하가 발생하는 시간까지 매시간 수요경향을 계산하는 방법으로 계절별 1일 첨두부하를 예측하였다.

계절별 1개월간 1일 첨두부하 예측에서 오차는 표준오차로 1주일의 평균오차는 0.9[%]이고 특히 첨두부하의 변화가 급격한 여름철의 오차도는 1[%] 이다.

계절별 1개월간 1일 첨두부하 예측에서 상관계수는 0.98 이상인 높은 값이므로 본 논문에서 제시한 예측기법이 논리적으로 타당함을 알 수 있다.

본 논문의 내용은 제 2장에서 2년간 자료 분석으로 부하모델의 적정함수를 구하였다.

제 3장에서는 가중지수 평활함수를 이론적으로 전개하였고, 평활상수값과 다중평활함수의 관계를 나타내었다.

제 4장에서는 2년간(2003~2004)의 전력부하자료로 계수추정을 위한 시뮬레이션을 하여 2005년도의 계절별 1개월간 1일 첨두부하를 예측하였다.

제 2 장 자료분석과 부하모델의 적정함수

자료분석에 사용된 자료는 최근 3년간(2003-2005) 우리나라의 시간별 전력부하 자료이다.

자료분석의 목적은 전력부하의 시간별 변화 성분으로 표시된 모델에서 전력부하의 변화성분에 대한 적정함수를 구하고 적당한 평활 상수를 제시하는데 있다.

2.1 전력 자료분석

1년간 첨두부하(최대 전력 부하)의 변화를 알기 위해서 2003년도 매일 첨두부하를 Fig. 2.1에 나타내었다.

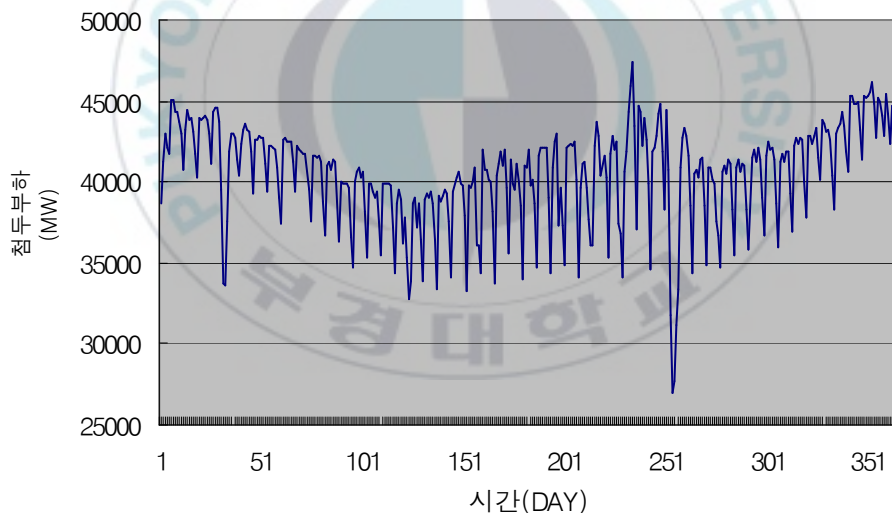


Fig. 2.1 Daily peak load for 2003.

Fig. 2.1에서 첨두부하를 분석한 결과는 다음과 같다.

- 1) 연간 6.786[%]의 평균 최대전력 부하가 증가했다.
- 2) 계절적으로 전력부하가 뚜렷하게 변화하였다.

3) 1주일을 주기로 하여 전력부하가 변화하였다.

년간 첨두부하의 전력량과 계절적으로 변화하는 모양은 알 수 있으나 1주일의 구체적인 전력부하 패턴은 알 수 없었다.

1주일 전력부하 패턴을 Fig. 2.2에 봄철(4월)의 1개월 동안 전력부하를 표시하였다.

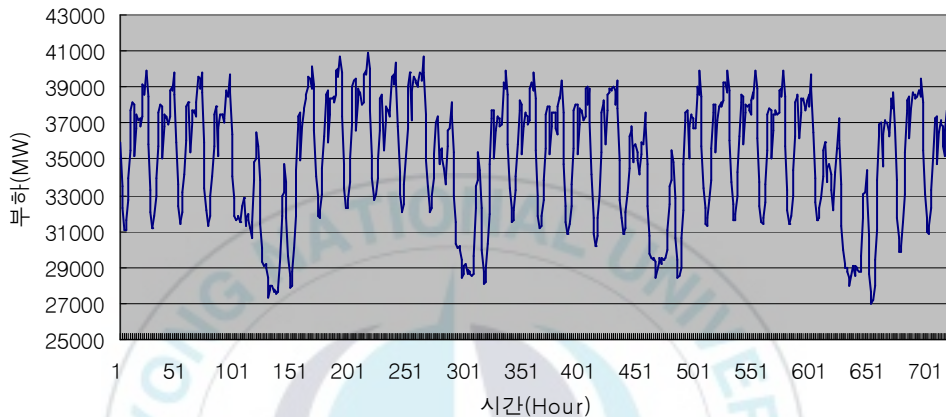


Fig. 2.2 Power load for 2003 April

Fig. 2.2의 1개월의 전력 부하패턴에서 전력부하는 1주일을 주기로 반복되는 특성을 가지고 있으며, 특수일을 제외하고는 계절에 관계없이 거의 비슷한 패턴을 나타내는 것을 알 수 있다. 2003년 4월의 주간 평균전력의 증가율은 0.145[%]의 매우 적은 값으로 나타나서 주간 평균전력부하는 일정한 것으로 하였다.

2.2 수요 경향

Fig. 2.2에서 각주의 같은 요일의 전력부하 패턴은 거의 비슷하므로 유사성의 기초로 할 수 있다.

유사성에 기초를 둔 1일 첨두부하 수요 예측은 수요비를 이용하여 예측

치를 구할 수 있다.

이 때 수요비는 8시를 전후한 오전 전력부하와 같은날의 첨두부하 전력과의 비를 가르킨다.

1일 첨두부하를 예측할 때는 수요비를 구한 요일과 유사한 일(또는 같은 요일) 오전 8시 부하전력에 수요비를 곱하면 예측치를 구할 수 있다.¹⁰⁾

$$R_p = \frac{P_p}{R_{8p}} \quad (2.1)$$

$$P_{1m} = R_p P_8 \quad (2.2)$$

P_p : 과거 유사일의 첨두부하
 P_{8p} : 과거 유사일의 첨두부하
 P_{1m} : 예측일의 1일 첨두부하
 P_8 : 예측일의 오전 8시 전력부하
 R_p : 과거 유사일의 수요비

식(2.1)에 의해 계산된 과거 유사일의 수요비를 예측일의 수요비로 하여 식(2.2)로 1일 첨두부하를 예측할 때는 편리하나 1주일을 주기로 매일의 첨두부하를 예측할 때는 요일에 따라 수요비가 다르고 또 기상조건을 고려하지 않았으므로 기상상태의 변화가 있을 때는 예측오차가 크게 발생한다.

따라서 본 논문에서는 전력수요의 경향곡선을 이용하여 적정함수를 구하여 지수평활법으로 매일 첨두부하를 예측하고자 3년간(2003-2005)의 1일 첨두부하의 추이와 수요비의 추이를 Fig. 2.3 및 Fig. 2.4에 표시하였다.

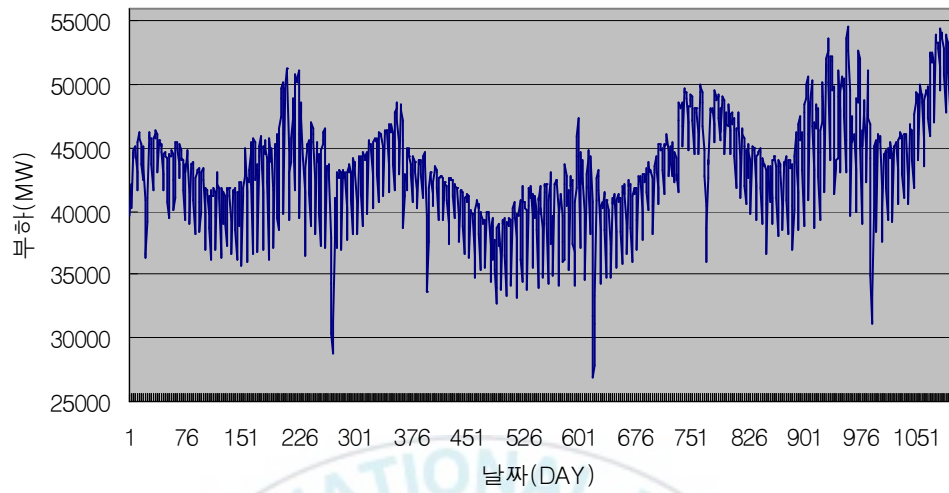


Fig. 2.3 Transition of peak load for 2003-2005.

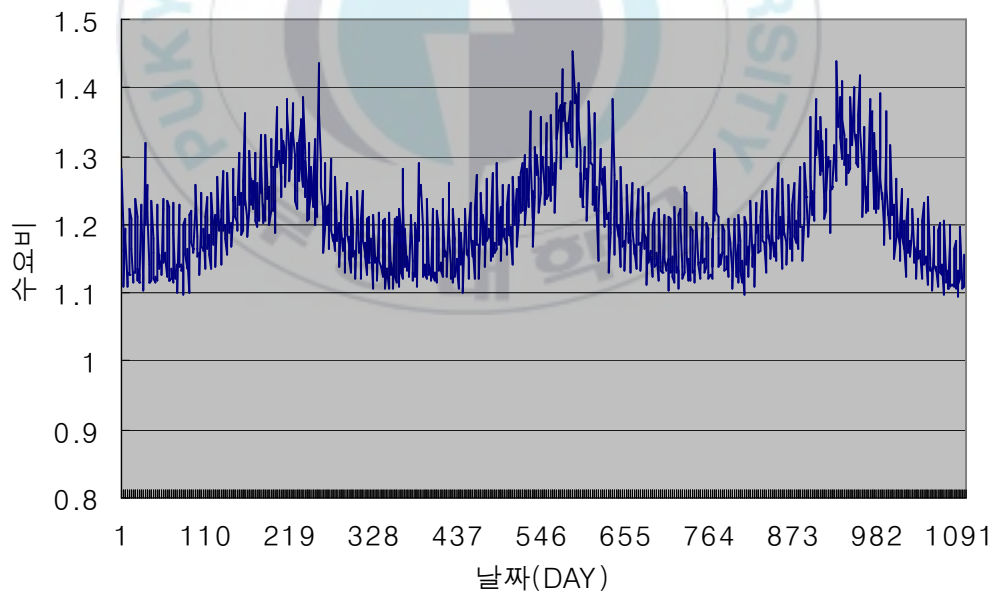


Fig. 2.4 Transition of load ratio for 2003-2005.

Fig. 2.3 및 Fig. 2.4에서 첨두부하는 요일이나 계절에 따라 변화가 많았고 경년적 변화도 많았다.

수요비는 요일이나 계절에 따라 변화는 있으나 경년적 변화비는 매우 적어서 수요비의 변화는 거의 무시할 수 있다.

그러므로 수요비를 이용하면 유사일의 검색범위로서 과거의 데이터를 직접적으로 이용할 수 있고 충분한 데이터를 확보할 수 있는 장점이 있다. 또한 수요비를 이용하면 수요경향의 적정함수를 결정하는데도 도움이 된다.

2.3 수요경향의 적정함수

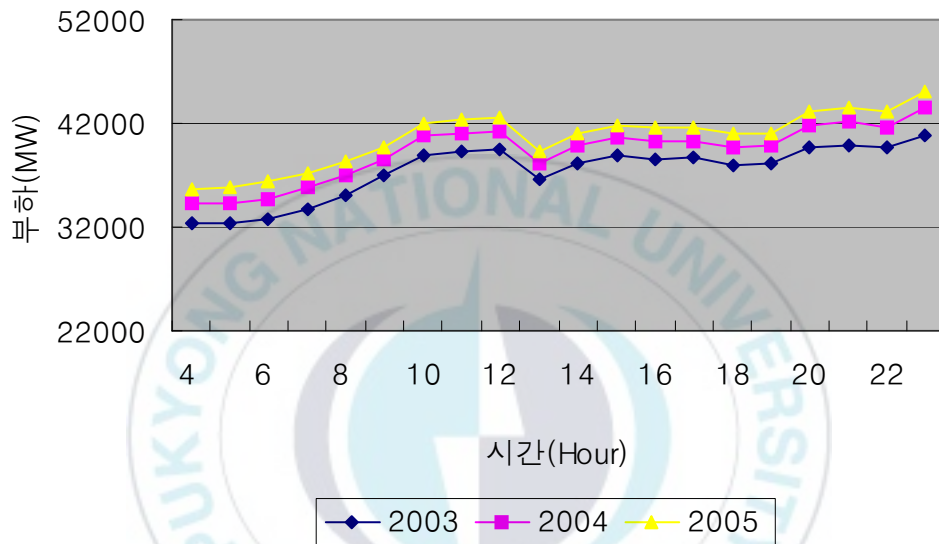
일반적으로 시계열 해석기법을 이용하여 1주일 동안 변동이 있는 부하를 예측할 때는 주말과 공휴일을 평일과 분리하거나 주말과 공휴일 부하를 평일부하로 환산하여 예측한다.

주말과 공휴일을 평일과 분리하면 불연속적이고 운전상의 복잡성이 있기 때문에 이를 피하기 위하여 1주일을 주기로 하여 전력부하가 첨두부하시점까지 시간별 전력부하 변화성분에 대한 모델을 개발하는 방법이 최선의 접근방법인 것으로 생각되기 때문에 주간 전력부하를 모델로 택하였다.

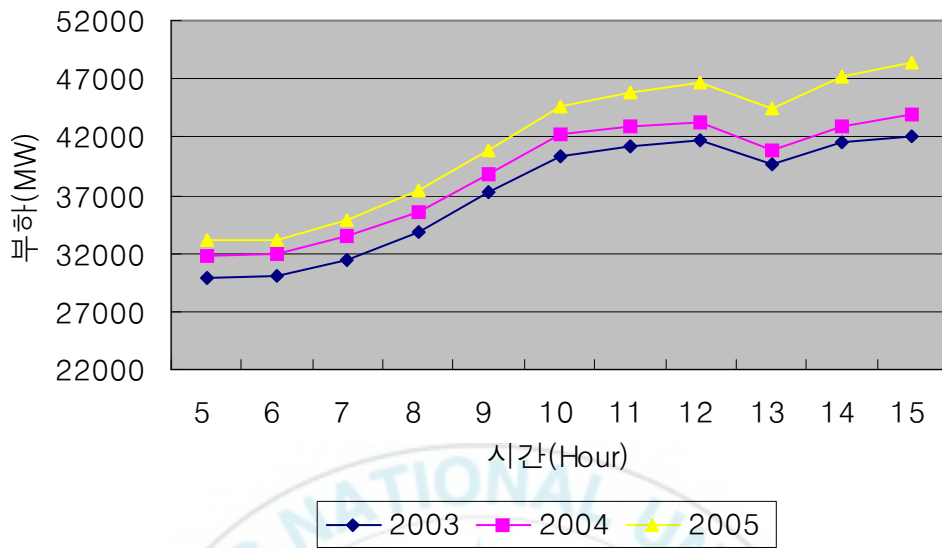
우리나라는 4계절의 기후 변화가 뚜렷하여 계절별 부하 패턴도 뚜렷하지만 전력공급 지역이 남북으로 확장되어 지고 있고, 전력공급 지역의 넓이에 비하여 계절별 전력부하의 변화가 심하고 전력부하 자료가 전등 및 일반전력과 대구전력으로 구분되어 있고, 지역별로 구분된 전력부하 자료가 있으면 각 영역별로 매일의 첨두부하를 예측하여 총합하는 것이 이상적이나 그러한 자료 추출이 어려워 본 논문에서는 전국적인 전력부하 자료만 부하예측에 사용하였다.

시계열 해석기법에서는 데이터 수가 6개 이상 이어야 하나 계수추정이 용이하여 예측 정도가 높게된다.

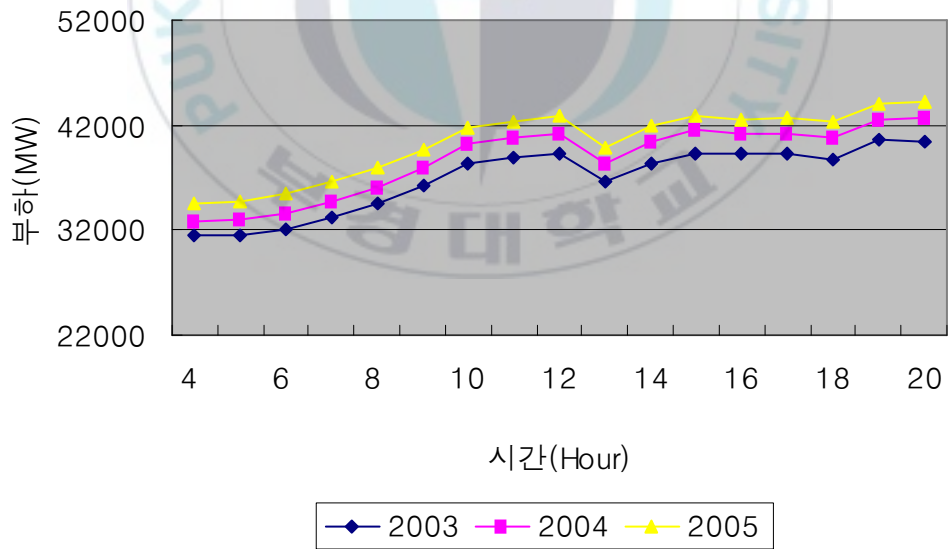
따라서, 본 논문에서는 1일 첨두부하 예측이 연구목적이므로 전력수요가 최소가 되는 시간에서 최대 시간까지 식(2.1) 및 식(2.2)를 이용하여 3년간 계절별로 수요경향을 Fig. 2.5에 표시하였다.



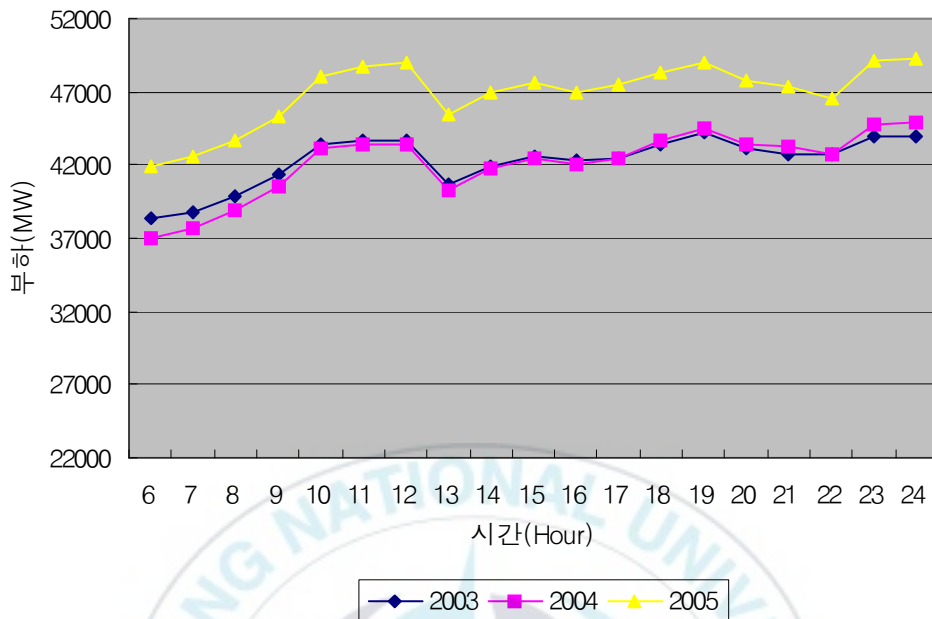
(a) Spring



(b) Summer



(c) Autumn



(d) Winter

Fig. 2.5 Load transition of four season for 2003-2005.

Fig. 2.5에서 1주일 중에 봄철은 오전에 여름철은 오후에 가을과 겨울철은 저녁시간에 첨두부하 수요의 발생이 많았으므로 계절에 따라 첨두부하가 발생하는 시간대가 있음을 알 수 있다.

이와 같이 각 시간대에 걸쳐서 첨두부하가 발생하는 요인은 각각 특유한 수요 특성에 기인한다.

예를 들면 여름철의 첨두부하 수요는 기온이 최고로 상승하는 오후 2시경에 냉방설비로 인해 발생하였고, 가을철과 겨울철은 일조시간이 짧고 기온이 강하하여 사회활동이 단축되므로 저녁시간대의 가정의 전등 및 가전기구와 일부 난방수요가 증가하는 19시경이 최대이고, 봄철과 겨울의 오전 첨두부하 수요는 일부 난방수요의 원인으로 생각된다.

Fig. 2.5의 a,b,c 및 d에서 침투부하 발생 시간까지의 부하 경향곡선은 2차 방식의 곡선과 거의 유사하므로 부하모델의 적정함수는 다음과 같이 2차 방정식으로 표시 하면 식(2.3)과 같다.

$$P=A+Bt+\frac{1}{2} Ct^2 \quad (2.3)$$



제 3 장 이론 전개

3.1 지수평활

시계열 데이터 $X_1, X_2, \dots, X_n$ 이라 하면 평활함수는 식(3.1)과 같이 정의된다¹¹⁾.

$$\begin{aligned} S_t(x) &= \alpha X_t + (1-\alpha)S_{t-1}(x) \\ &= S_{t-1}(x) + \alpha [X_t - S_{t-1}(x)] \end{aligned} \quad (3.1)$$

여기서,

α : 평활상수 ($0 \leq \alpha \leq 1$)

$S_t(x)$: 시간 t 의 평활치

처음 실적치를 X_0 라 하면 $S_0(x) = X_0$ 가 되고 식(3.1)을 순차적으로 다시 쓰면, 식(3.2)와 같다.

$$\begin{aligned} S_t(x) &= \alpha X_t + \alpha(1-\alpha)X_{t-1} + \alpha(1-\alpha)^2 X_{t-2} + \dots \\ &= \alpha \sum_{k=0}^{t-1} (1-\alpha)^k X_{t-k} + (1-\alpha)^t X_0 \end{aligned} \quad (3.2)$$

로 되어 t 에서 평활치 $S_t(x)$ 는 과거의 데이터와 선형결합이고 평활화 계수는 과거로 거슬러 올라 갈수록 지수적으로 감소하므로 지수평활이라고 한다.

평활상수 α 는 1.0에 가까운 값으로 하면 평활치 $S_t(x)$ 는 과거의 데이터 보다는 최근 데이터에 큰 비중을 둔 것이며, α 를 0.0에 가까운 값으로

하면 최근 데이터보다는 과거 데이터에 큰 비중을 둔 것으로 이동평균 기간이 긴 것이 된다.

Fig. 3.1은 이동평균 $N=6$ 과 평활 상수 $\alpha=0.3$ 에 대하여 과거 데이터의 가중을 비교한 것이다.

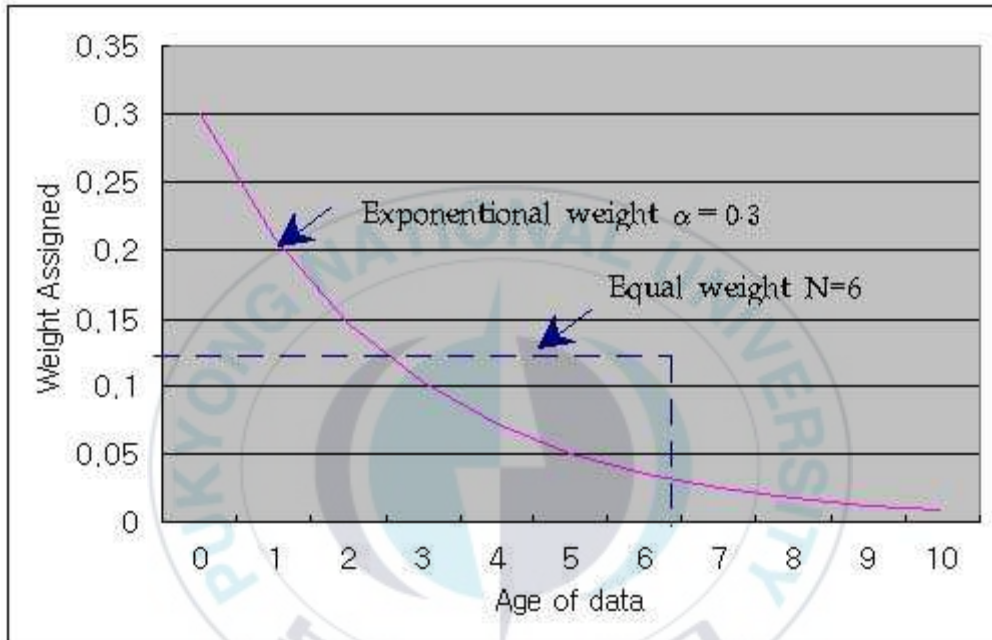


Fig. 3.1 Weighting data in a moving average.

또, 평활함수의 기대치는 식(3.3)과 같다.

$$E[S_t(x)] = \alpha \sum_{k=0}^{\infty} \beta^k E[X_{t-k}] = \alpha \frac{1}{1-\beta} E[X] \quad (3.3)$$

이고, 여기서 $\beta = 1 - \alpha$ 이며, 평활함수의 기대치는 데이터의 기대치와 같으므로 지수평활법은 특수한 가중 이동평균법이라 할 수 있다.

3.2 다중 지수평활 (High order Exponential Smoothing)

일련의 관측치가 식(3.4)와 같은 n 차 다항식 Model로 표시된다고 가정하자.

$$f(t) = a_0 + a_1 t + \frac{1}{2!} a_2 t^2 + \dots + \frac{1}{n!} a_n t^n \quad (3.4)$$

미래관측의 예측은 n 번째까지 실적치 (데이터)를 관찰하면 *Taylor* 급수로 식(3.5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$X_{t+1} = \hat{X}_t^{(0)} + \gamma \hat{X}_t^{(1)} + \frac{1}{2!} \gamma^2 \hat{X}_t^{(2)} + \dots + \frac{1}{n!} \gamma^n \hat{X}_t^{(n)} \quad (3.5)$$

여기서

$$\hat{X}_t = \left. \frac{d^k(x)}{dt^k} \right|_t \quad (3.6)$$

그러므로 현재까지의 *Model* 추정에 의해 미래의 예측이 가능하므로 식(3.7)과 같이 쓸 수 있다.

$$X_{t+r} = \sum_{k=0}^n \frac{1}{k!} \gamma^k X_t^{(k)} = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k!} a_k t^k \quad (3.7)$$

단순평활은 식(3.1)과 같이 표시되나 k 차인 다중평활은 식(3.8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_t^{(k)}(x) = \alpha S_t^{(k-1)}(x) + (1-\alpha)S_{t-1}(x) \quad (3.8)$$

즉, k차 평활은 데이터에서와 같이 (k-1)차 평활의 결과에 적용한 단순 지수평활이다.

여기서, 3중 지수평활까지만 생각하면 식(3.9)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} S_t^{(1)}(x) &= \alpha X_t(x) + (1-\alpha)S_{t-1}^{(1)}(x) = \alpha X_t(x) + \beta^1 S_{t-1}^{(1)}(x) \\ S_t^{(2)}(x) &= \alpha S_t^{(1)}(x) + (1-\alpha)S_{t-1}^{(2)}(x) = \alpha S_t^{(1)}(x) + \beta^2 S_{t-1}^{(2)}(x) \\ S_t^{(3)}(x) &= \alpha S_t^{(2)}(x) + (1-\alpha)S_{t-1}^{(3)}(x) = \alpha S_t^{(2)}(x) + \beta^3 S_{t-1}^{(3)}(x) \end{aligned} \quad (3.9)$$

$S_{t-1}(x)$ 는 초기치로서 대개 처음 몇개 데이터의 평균치이다.

만약 관측치 $\hat{x}_t$ 를 식(3.6)의 Model로 나타낸다면 추정치는 식(3.10)과 같다.

$$\hat{X}_{t+r} = \sum_{k=0}^n \frac{1}{k!} \gamma^k X_t^{(k)} \quad (3.10)$$

P차 평활치는 식(3.11)과 같다.

$$S_t^{(p)}(x) = \sum_{k=0}^n (1-n)^{(k)} \frac{1}{k!} X_t^{(k)} \frac{\alpha^p}{(p-1)!} \sum_{j=0}^{\infty} j^k \beta^j \frac{(p-1+j)!}{j!} \quad (3.11)$$

(n+1)개의 연립 방정식이 존재한다.

3중 평활이면 식(3.12)와 같다.

$$\begin{aligned}
S_t^{(1)}(x) &= \sum_{k=0}^n (-1)^k \frac{1}{k!} \hat{X}^{(k)} \alpha \sum_{j=0}^{\infty} j^k \beta^j \\
S_t^{(2)}(x) &= \sum_{k=0}^n (-1)^k \frac{1}{k!} \hat{X}^{(k)} \alpha^2 \sum_{j=0}^{\infty} j^k (j+1) \beta^j \\
S_t^{(3)}(x) &= \sum_{k=0}^n (-1)^k \frac{1}{k!} \hat{X}^{(k)} \frac{\alpha^3}{2} \sum_{j=0}^{\infty} j^k (j+1)(j+2) \beta^j
\end{aligned} \tag{3.12}$$

가 된다

벡터 $S_t A$ 는 식(3.13)과 같다.

$$S_t(x) = \begin{bmatrix} S_t^{(1)}(x) \\ S_t^{(2)}(x) \\ S_t^{(3)}(x) \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} \alpha_0(t) \\ \alpha_1(t) \\ \alpha_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{X_t^{(0)}}{0!} \\ \frac{X_t^{(1)}}{1!} \\ \frac{X_t^{(2)}}{2!} \end{bmatrix}$$

라 하면 , 식 (11) 은

$$S_t(x) = MA \tag{3.13}$$

여기서 $S_t(x)$ 는 식(3.1)에 표시된 평활함수 $S_t(x)$ 와는 다르며 M은 평활 상수를 포함하고 식(3.14)와 같은 요소를 가진 $n \times p$ 행렬이다.

$$M_{pk} = \frac{\alpha^p}{(p-1)!} \sum_{j=0}^{\infty} j^k \beta^j \frac{(p-1+j)!}{j!} \tag{3.14}$$

Table 1. Sum $\sum_{j=0}^{\infty} j^k \beta^j$ and Matrix m for $k=3, p=3$

	k	From	Sum
$\sum_{j=0}^{\infty} j^k \beta^j$	0	$\sum \beta^j$	
	1	$\sum j \beta^j$	
	2	$\sum j^2 \beta^j$	$\frac{\beta(1+\beta)}{(1-\beta)^3}$
Matrix M	$M = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{\beta}{\alpha} & \frac{\beta(1+\beta)}{2\alpha^2} \\ 1 & -\frac{2\beta}{\alpha} & \frac{2\beta(1+2\beta)}{2\alpha^2} \\ 1 & -\frac{3\beta}{\alpha} & \frac{3\beta(1+3\beta)}{2\alpha^2} \end{bmatrix}$		

3중 지수평활일 때 식(3.14)에서 무한합 $\sum_{j=0}^{\infty} j^k \beta^j$ 와 $M_{(3,3)}$ 행렬은 표 1과 같다.

따라서 시계열 데이터가 식(3.15)와 같다.

$$X_t = A + B_t + \frac{1}{2} C t^2 \quad (3.15)$$

2차 함수 Model인 경우 지수평활치는 식(3.16)과 같다.

$$\begin{aligned}
 S_t^{(1)}(x) &= \hat{X}_t^{(0)} - \frac{\beta}{\alpha} \hat{X}_t^{(1)} + \frac{\beta(2-\alpha)}{2\alpha^2} \hat{X}_t^{(2)} \\
 S_t^{(2)}(x) &= \hat{X}_t^{(0)} - \frac{\beta}{\alpha} \hat{X}_t^{(1)} + \frac{2\beta(3-2\alpha)}{2\alpha^2} \hat{X}_t^{(2)} \\
 S_t^{(3)}(x) &= \hat{X}_t^{(0)} - \frac{3\beta}{\alpha} \hat{X}_t^{(1)} + \frac{3\beta(4-3\alpha)}{2\alpha^2} \hat{X}_t^{(2)}
 \end{aligned} \quad (3.16)$$

$A = M^{-1}S(x)$ 에서 식(3.17)과 같다.

$$\begin{aligned} A_0^{(t)} &= \hat{X}_t^{(0)} = 3S_t^{(1)}(x) - 3S_t^{(2)}(x) + S_t^{(3)}(x) \\ A_1^{(t)} &= \hat{X}_t^{(1)} = \frac{\alpha}{2\beta^2} [(6-5\alpha)S_t^{(1)}(x) - 2(5-4\alpha)S_t^{(2)}(x) + (4-3\alpha)S_t^{(3)}(x)] \\ A_2^{(t)} &= \hat{X}_t^{(2)} = \frac{\alpha^2}{\beta^2} [S_t^{(1)}(x) - 2S_t^{(2)}(x) + S_t^{(3)}(x)] \end{aligned} \quad (3.17)$$

이 되고 평활된 데이터 $\hat{X}_t$ 는 식(3.18)과 같이 된다.

$$\hat{X}_t = 3S_t^{(1)}(x) - 3S_t^{(2)}(x) + S_t^{(3)}(x) \quad (3.18)$$

예측치(n시점보다 τ 기 앞선 시점)는 식(3.19)와 같다.

$$\hat{X}_{t+\tau} = \hat{X}_n + B_n\tau + \frac{1}{2}C_n\tau^2 = A_n + B_n\tau + \frac{1}{2}C_n\tau^2 \quad (3.19)$$

제 4 장 결과 및 검토

4.1 시뮬레이션

부하예측 시뮬레이션의 목적은 부하모델의 적정함수 식(3.19)으로 첨두 부하를 예측할 때, 예측오차가 최소가 되도록 적정함수의 계수를 추정하기 위한 평활상수를 결정하는데 있다.

평활상수 α 로 4개의 모델을 구성하여 2년간(2003~2004)의 전력부하 자료를 이용하여 각 모델에 대해 2년간에 걸쳐서 계절별 1주일씩 시뮬레이션 하였다.

이때, 적정함수에 계수 A_n , B_n , C_n 을 식(3.9), 식(3.16), 식(3.17)로 구해지고 초기자료를 사용한 시뮬레이션 결과를 표 2에 나타냈다.

표시된 오차는 평활상수가 각각 다른 모델로 첨두부하가 발생하는 시점에 대한 예측치의 표준오차를 MW 단위로 표시한 것이다.

Table 2. The forecasting error for smoothing constants.

계절		실측치	평활계수			
			0.93	0.95	0.97	0.99
2003	겨울	44293	2856	2084	1277	434
	봄	40882	2622	1913	1172	399
	여름	42071	2720	1984	1216	414
	가을	40573	2583	1885	1155	393
2004	겨울	44876	2919	2130	1305	444
	봄	43447	2768	2020	1238	421
	여름	43965	2828	2064	1264	430
	가을	42687	2772	2023	1239	422

표 2에서 평활상수 $\alpha=0.93$ 인 모델1과 평활상수 0.95 인 모델2의 예측오차를 실측치와 비교하면 큰 차이는 보이지 않아 통계학적으로는 그렇게 중요시 되지 않는다.

$\alpha=0.99$ 인 모델4로 예측하였을 때는 첨두부하의 크기에 관계없이 예측오차가 적고 오차의 크기도 차이가 없어서 모델4의 평활상수 $\alpha=0.99$ 의 값으로 계절별 적정 함수의 계수 값을 평일의 유사일(같은 요일)의 대표값으로 하여 표 4.2에 나타냈다.

표 3의 적정함수 계수로 나머지 기간(2005)의 첨두 부하를 식(3.19)에 따라 계절별로 1개월씩 매일의 첨두부하를 예측하였고 예측에 사용한 흐름도는 Fig. 4.1과 같다.

Table 3. Coefficient value in case of smoothing constant ($\alpha = 0.99$)

계절	계수	계수값	비고
봄	A_n	45179.63	4월
	B_n	44962.12	
	C_n	2104.58	
여름	A_n	50663.57	7월
	B_n	50904.05	
	C_n	3273.79	
가을	A_n	41505.05	10월
	B_n	41110.25	
	C_n	1565.58	
겨울	A_n	47422.24	1월
	B_n	47053.43	
	C_n	1943.99	

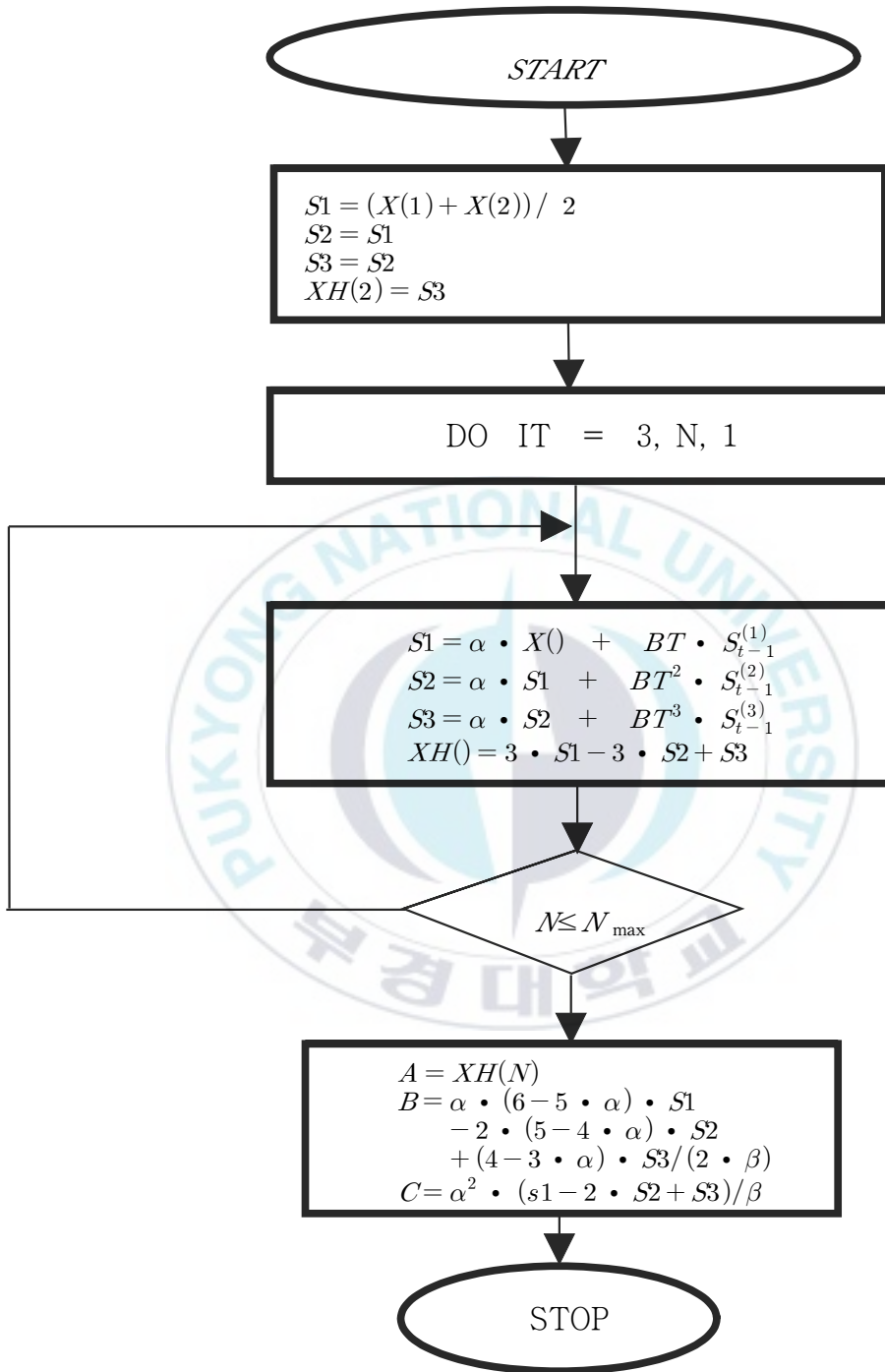


Fig. 4.1 Flow-chart of smoothing exponential forecasting.

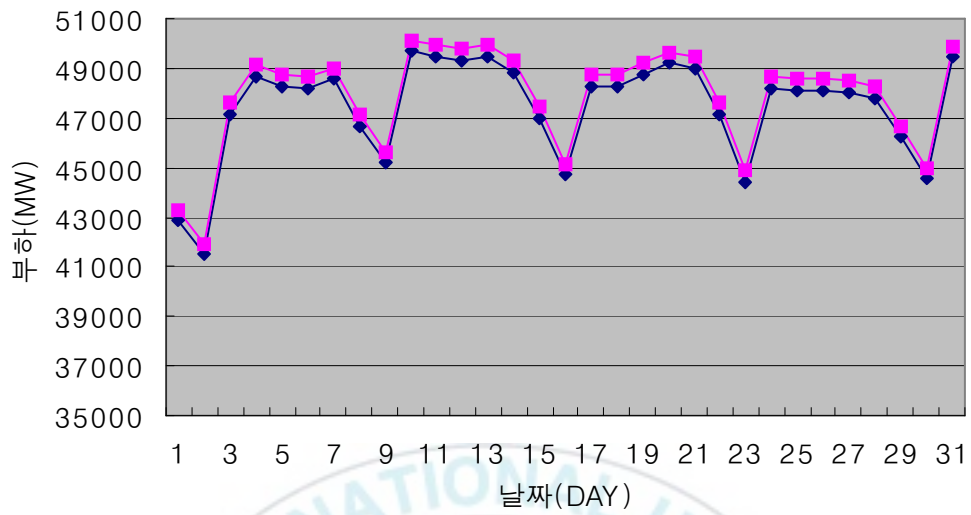
4.2 고 찰

일반적으로 시계열 해석기법으로 부하를 예측하였을 때는 전력부하가 큰 첨두부하일 때 예측오차가 크게 나타난다.

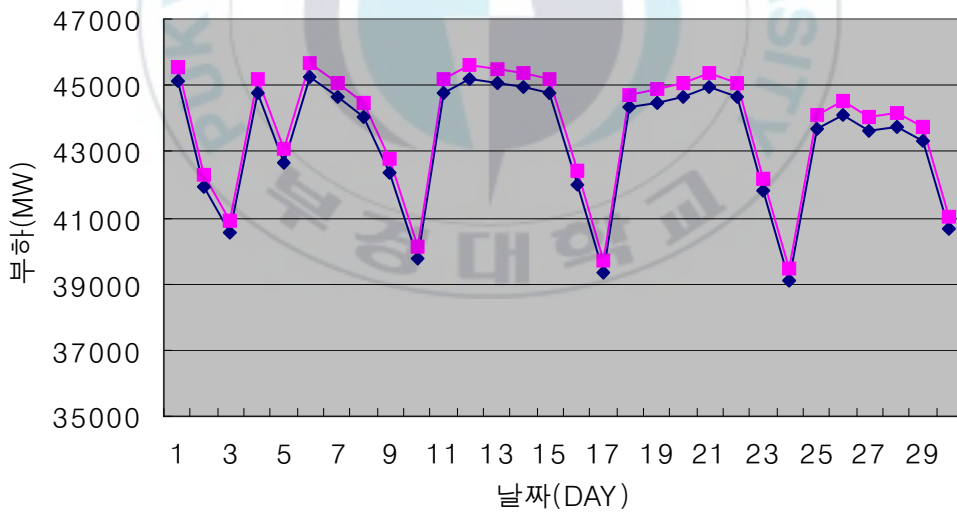
첨두부하 예측은 2005년도 자료 중에서 비교적 전력소비가 많은 달 봄은 4월, 여름은 7월, 가을은 10월, 겨울은 1월의 전력부하자료를 이용하여 1년 기간으로 한 장기운전, 계절별로는 1개월을 기간으로 한 중기운전, 공휴일과 일요일을 분리하지 않고 일주일을 기간으로 한 단기운전으로 하여 표 4.2의 계수 값을 이용하여 식(3.19)에 따라 실행 하였다.

본 논문에서 제안한 예측기법(이하는 본 예측기법이라 함)은 주간 부하 모델을 부하변화 성분모델로 구성하고, 시간함수로 표시하여 상태추정기법으로 모델의 계수들을 추정하여 첨두부하를 예측하는 기법이므로 운용에 일관성이 있었다.

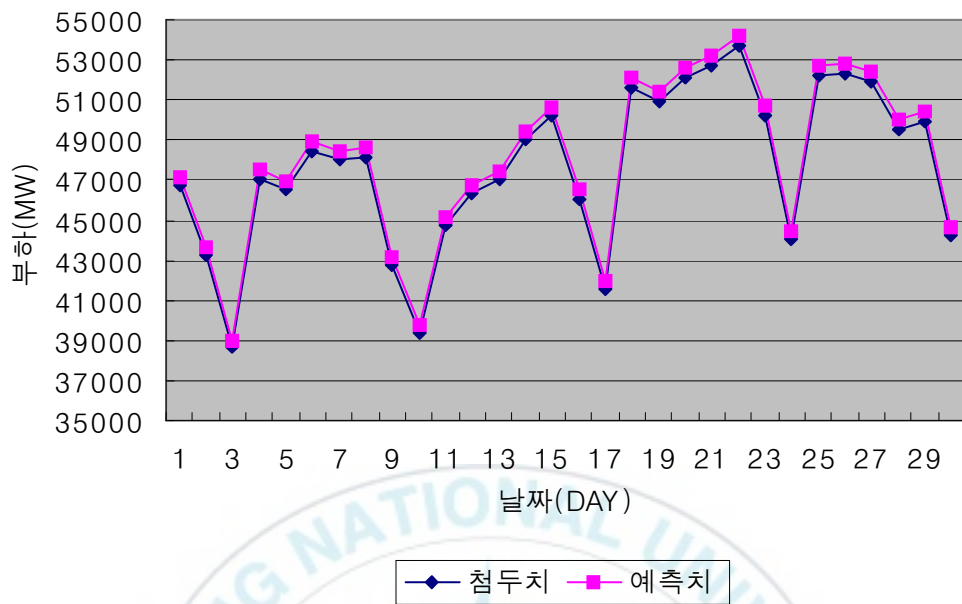
본 예측기법을 이용하여 2005년 계절별 1개월간 1일, 첨두부하를 예측하였을 때 실측치와 예측치를 비교한 결과는 Fig. 4.2에 나타내었으며, 정확도는 표준오차와 오차율로 표 4.3에 나타냈다.



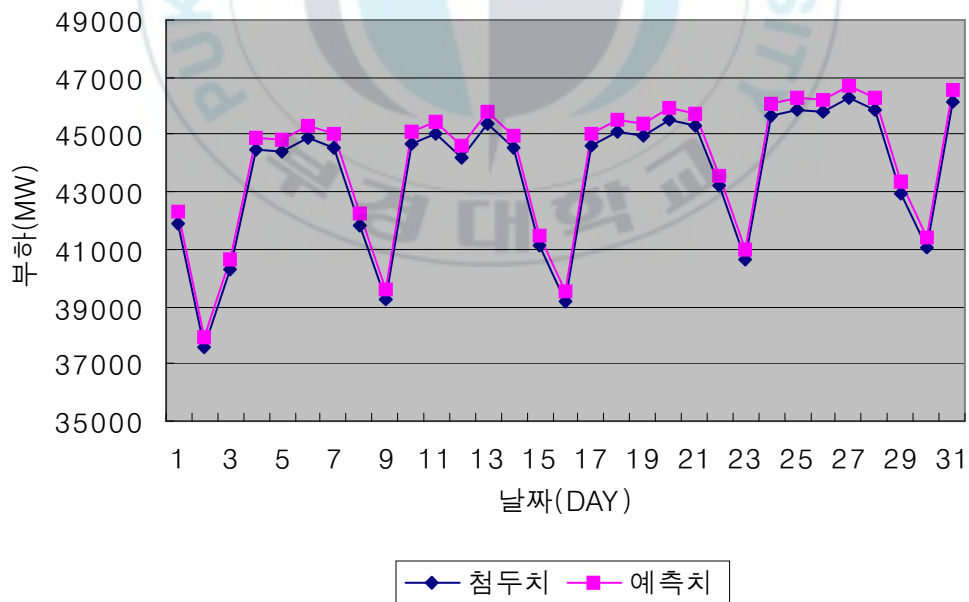
(a) Winter.



(b) Spring.



(c) Summer.



(d) Autumn.

Fig. 4.2 Comparison real value and forecasting data.

Table 4 Comparision real value and forecasting data.

봄				
날짜	실측치	예측치	표준오차	오차율(%)
1	45123	45548	425	0.942429
2	41926	42324	398	0.950208
3	40539	40910	371	0.916156
4	44798	45214	416	0.929409
5	42685	43084	399	0.934412
6	45265	45689	424	0.937755
7	44676	45098	422	0.944646
8	44041	44457	416	0.94388
9	42386	42785	399	0.942523
10	39765	40132	367	0.923035
11	44792	45207	415	0.92551
12	45186	45610	424	0.938573
13	45044	45467	423	0.939378
14	44921	45344	423	0.941565
15	44758	45180	422	0.942019
16	42000	42397	397	0.944314
17	39316	39678	362	0.921804
18	44324	44735	411	0.926885
19	44446	44864	418	0.940569
20	44675	45094	419	0.938872
21	44922	45344	422	0.938359
22	44630	45051	421	0.942935
23	41787	42181	394	0.943809
24	39081	39442	361	0.924396
25	43672	44077	405	0.928119
26	44121	44535	414	0.939374
27	43615	44027	412	0.945086
28	43750	44163	413	0.944897
29	43318	43729	411	0.94823
30	40655	41042	387	0.952532

여름				
날짜	실측치	예측치	표준오차	오차율(%)
1	46720	47158	438	0.936786
2	43218	43626	408	0.944387
3	38646	39009	363	0.940451
4	47063	47496	433	0.919166
5	46511	46946	435	0.935802
6	48473	48921	448	0.924985
7	48010	48456	446	0.928142
8	48156	48603	447	0.929029
9	42719	43123	404	0.946045
10	39361	39730	369	0.93705
11	44711	45127	416	0.931184
12	46354	46788	434	0.935683
13	47016	47455	439	0.932983
14	49010	49464	454	0.92601
15	50200	50664	464	0.923454
16	46072	46502	430	0.934362
17	41595	41982	387	0.929956
18	51624	52092	468	0.907166
19	50965	51436	471	0.924861
20	52112	52592	480	0.920319
21	52725	53210	485	0.919768
22	53712	54205	493	0.918635
23	50239	50704	465	0.924669
24	44052	44464	412	0.934968
25	52230	52707	477	0.913605
26	52288	52770	482	0.921785
27	51903	52382	479	0.922614
28	49576	50037	461	0.929117
29	49939	50400	461	0.924118
30	44218	44632	414	0.936552
31	41304	41687	383	0.927244

가을				
날짜	실측치	예측치	표준오차	오차율(%)
1	41891	42291	400	0.955611
2	37558	37913	355	0.945883
3	40272	40646	374	0.929926
4	44466	44880	414	0.930059
5	44433	44852	419	0.94315
6	44901	45324	423	0.941411
7	44575	44998	423	0.947908
8	41828	42225	397	0.949878
9	39262	39628	366	0.933449
10	44716	45131	415	0.928036
11	45034	45458	424	0.941291
12	44183	44601	418	0.947042
13	45395	45820	425	0.93652
14	44536	44956	420	0.944036
15	41114	41505	391	0.951144
16	39174	39538	364	0.929582
17	44638	45053	415	0.930323
18	45096	45521	425	0.94295
19	44963	45388	425	0.945761
20	45531	45960	429	0.941931
21	45289	45717	428	0.945271
22	43191	43598	407	0.943236
23	40636	41014	378	0.930768
24	45656	46082	426	0.932478
25	45859	46292	433	0.943711
26	45782	46216	434	0.947158
27	46267	46703	436	0.941926
28	45867	46301	434	0.946115
29	42952	43359	407	0.947125
30	41053	41433	380	0.926486
31	46111	46541	430	0.933357

겨 울				
날짜	실측치	예측치	표준오차	오차율(%)
1	42897	43282	385	0.898104
2	41507	41886	379	0.912738
3	47151	47594	443	0.940570
4	48671	49135	464	0.952915
5	48249	48713	464	0.962687
6	48187	48649	462	0.959570
7	48554	49017	463	0.954304
8	46689	47133	444	0.951670
9	45202	45619	417	0.921528
10	49683	50153	470	0.945679
11	49457	49932	475	0.959901
12	49337	49811	474	0.960390
13	49444	49919	475	0.959883
14	48843	49313	470	0.962705
15	46977	47422	445	0.947774
16	44757	45167	410	0.916191
17	48285	48742	457	0.945934
18	48280	48742	462	0.957342
19	48787	49254	467	0.956535
20	49201	49672	471	0.957722
21	49023	49494	471	0.960573
22	47155	47602	447	0.947524
23	44446	44854	408	0.918214
24	48192	48647	455	0.943959
25	48099	48561	462	0.959627
26	48104	48563	459	0.953754
27	48056	48514	458	0.953564
28	47775	48231	456	0.955484
29	46257	46697	440	0.950188
30	44556	44969	413	0.926213
31	49441	49908	467	0.945492

계절별 전력 수요가 최대가 되는 시점에서 첨두부하가 발생하는 시점까지의 데이터 계수 봄, 여름, 가을, 겨울은 각각 20, 11, 9, 19개로 이는 특유한 수요 특성에 관계되나, 본 예측기법으로 첨두부하를 예측하였을 때 오차는 데이터의 수와 무관하게 매우 낮았으며, 실측 오차가 부(-)로 나타난 것은 첨두부하가 발생하는 시점에서 전력부하가 급히 변하거나 첨두부하 부근 시간에서 변곡점이 있어 과추정의 결과로 생각된다.

첨두부하 예측은 예측기법 중에서 가장 중요한 지침이 되기 때문에 첨두부하를 예측하는 기법으로 평가하는데에 관심을 두고 있으며 본 예측기법을 이용하여 첨두부하를 예측 했을 때 계절에 무관하게 예측오차가 1%내외로 예측정도가 매우 높고 상관계수도 0.98인 높은 값으로 나타났으므로 본 예측기법의 논리적 타당성이 입증되었다.

제 5 장 결 론

비교적 예측정도가 높고 운전하기 편리한 장점 때문에 지수 평활을 이용한 예측기법이 많이 사용된다.

우리나라는 원자력 발전 등의 경직성 전원설비가 증가하고 심야 부하율의 감소로 양수기나 화력기의 DSS(Daily Start-Stop)운전이 불가피하다. 특히 예비전력 확보면에서 화력기의 DSS운전이나 양수발전은 필수적이다. 이는 첨두부하의 예측자료를 이용하여 운전되므로 예측정도가 높은 첨두부하 예측기법이 필요하다.

본 논문에서는 지수평활을 이용한 1일 첨두부하 예측기법을 제시하였고, 2005년 계절별 1개월간의 기간으로 한 첨두부하 예측결과에서 본 기법의 논리적 타당성이 입증 되었다.

본 예측기법의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 3년간 (2003~2005)전력부하 자료 분석에서 유사일의 부하 경양 성분으로 적정함수를 구하고 이를 시간함수로 표시했다.
- (2) 상태추정기법을 예측모델에 적용하여 가중오차 자승의 합이 최소가 되는 계수 추정치를 구하였다.
- (3) 계절별 1일의 첨두부하를 예측하였을 때 데이터의 수나 수요특성에 관계없이 예측 정도와 상관계수가 높아 본 예측기법에 논리적 타당성이 입증되었다.

참고문헌

- [1] 이태기, 고희석, “지수평화에 의한 장기 최대 전력 수요예측에 관한 연구” 한국조명전기학회지 제 6 권 제 3 호 p.43~48, 1992
- [2] 이태기, 손광명, 최낙훈, “수요경향과 온도를 고려한 1일 최대 전력 수요예측”, 한국조명전기설비학회, 제 15권 제 6 호, p.35~42, 2001.11.
- [3] N. winer, "Extrapolation Interpolation and Smoothing of Stationary Time Series, New York, wilsely, 1949.
- [4] R.G. Brown " Smoothing, Forecasting and Prediction of Discreatetime Series: "Englewood cliffs, NJ., prentice-hall Inc., 1965.
- [5] W.R. christiance, "Short-term Lood Forecasting using Generalerpomential Smoothing", mental smoothing " IEEE Trans Power APP. Sgst, Vol, PAS-90, No2, pp.900~918, 1971.
- [6] M.S Sachdev and S.A. Ihrahim, " Short-term On-line Load Forecasting", IEEE Power Heating, paper NO. c7245-9, 1972.
- [7] E.D, Harmer and M.J. Potton, "The Predition of Load and Power System", Proc 3rd Triennial World IFAC congeress. p.21, 1996.
- [8] J. Rahmen and R. Bhatanger, "An Expert System Basecl Algorithm for Short-term Load Forecasting", IEEE Trans. power APP. Syst vol. pas-94 pp.322-339, 1998.
- [9] D. C. park, H. A. Shakawi, R. J. Maks, H.L.E, Atlas and M. J. Danbog, "Electric Load-Forecasting using an Artificial Meural Network", IEEE Trans power Syst vol6. pp.442-449, 1991.
- [10] 小林至, 武藤昭一, 高橋芳雄, 粕川正克, 石井康貴, “類似性に基づく 需要豫測方式”, 電氣學會研究資料, PE-95-44, pp. 117-124, 1997.
- [11] Smoothing Forecasting and Prediction of Screrate Time Series, Robert Goodell Brown, Prentice-Hall 1962, 1963

감사의 글

본 논문이 완성되기까지 많은 격려와 세심한 지도를 해주신 지도교수
배종일 교수님께 진심으로 감사드립니다.

또한 본 논문을 차근차근 살펴보시고 알찬 내용이 되도록 조언과 심사
를 해주신 이동철 교수님, 홍순일 교수님께 감사드립니다.

그리고 바쁘신 와중에도 본 논문의 완성에 물심양면으로 도움을 주신
이태기 교수님과 이오걸 교수님께도 깊은 감사를 드립니다.

만학의 기쁨과 공부하는 동안 같이 어려움을 이야기하고 친숙하게 지내
온 이찬민, 백병화, 김영곤 동료 원우들과의 시간이 좋았던것 같습니다.

오늘이 있기까지 낳아주시고 길러주신 부모님과 사랑하는 아내 정숙이,
우리공주 혜리, 혜진이에게도 항상 건강하기를 바라며 고마움과 기쁨을
함께 하고 싶습니다.

2006년 12월

조 욱 제