

송변전 계획을 위한 지구별 수요예측 산법에 관한 연구

김진기\* · 황갑주  
울산대학교 전기전자 및 자동화 공학부

A Study on the Area Load Forecasting Algorithm for the Transmission Planning

Jin-Ki Kim · Kab-Ju Hwang  
Electrical Engineering

**Abstract** - 본 연구를 통하여 전력계통의 송변전 계획에 필요한 장기 지구별 수요예측 산법을 제안하였다. 소규모 지구의 수요예측을 위한 중회귀 모형 도입시 단순한 다항식 회귀모형만으로는 장기예측을 하는데 한계가 있으므로 다항회귀 과정을 변형하거나, 새로운 기능을 보완하여 예측정확도를 높히려는 시도가 수행 되어왔다. 본 논문에서는 장기 예측시 나타나는 미래의 예측 수요의 과도한 변화를 감소시켜 예측 정확도를 개선할 수 있는 수평년도수요를 도입하였으며, 종래 추세 분석에서 단점으로 지적되어 온 변전소의 신설 및 폐지에 따른 수요이전으로 야기되는 예측의 불안정성을 개선하였다. 제안한 산법을 검증하기 위하여 우리나라 실제통계에 적용하였다.

2. 본 론

2.1 중회귀 곡선맞춤을 이용한 추세분석법

추세분석법은 과거 연도별 최대수요실적값을 회귀분석하여 다항식 함수모형을 구성하고, 이 다항식 모형을 이용하여 미래의 최대 수요를 추정한다. 변전소 및 지구 n에 대한 수요  $L_n(t)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$L_n(t) = a_n + b_n t + c_n t^2 + d_n t^3 + \dots \quad (1)$$

단, n = 지구 및 변전소 인덱스

t = 연도

$a_n, b_n, c_n, d_n = n$ 지구 및 변전소의 회귀계수

본 논문에서는 전국을 지리적인 위치를 중심으로 나눈 지구(area)와 변전소(S/S)에 대해 중회귀 곡선맞춤하기 위해 지구 및 변전소 각각에 최근 7년간의 연최대수요실적을 분석한 회귀 다항식을 사용한다. 다음 식은 n의 과거 수요실적에 맞춘 계수  $a_n, b_n, c_n, d_n$ 를 구하는 행렬식과 식에 사용되는 행렬의 구조이다.

$$C_n = [P^T P]^{-1} \cdot P^T L_n \quad (2)$$

$$L_n = \begin{pmatrix} l_n(1) \\ l_n(2) \\ l_n(3) \\ l_n(4) \\ l_n(5) \\ l_n(6) \\ l_n(7) \end{pmatrix} \quad P = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 4 & 8 \\ 1 & 3 & 9 & 27 \\ 1 & 4 & 16 & 64 \\ 1 & 5 & 25 & 125 \\ 1 & 6 & 36 & 216 \\ 1 & 7 & 49 & 343 \end{pmatrix}$$

완성된  $L_n(t)$ 을 외삽함으로서 미래수요의 변화를 추정할 수 있다.

2.2 수평년도수요의 적용

추세분석은 변동이 심한 과거실적자료를 가지는 소규모 지역의 분석에 적용하면 곡선맞춤이 과도하게 변화하는 특성이 발생한다. 이를 해결하기 위해 '수평년도수요'를 도입하였다. 수평년도수요는 미래의 수요값을 미리 추정된 것으로서, 다항식 모형 생성과정에서 과거의 실적처럼 취급하여 다항식 계수 결정에 참여한다.

수평년도를 적용한 다항식 모형을 만들기 위해 행렬 P와  $L_n$ 의 과거실적자료에 새로운 자료  $l_n(22), l_n(25)$ 를 추가한다.

$$L_n = \begin{pmatrix} l_n(1) \\ l_n(2) \\ l_n(3) \\ l_n(4) \\ l_n(5) \\ l_n(6) \\ l_n(7) \\ l_n(22) \\ l_n(25) \end{pmatrix} \quad P = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 4 & 8 \\ 1 & 3 & 9 & 27 \\ 1 & 4 & 16 & 64 \\ 1 & 5 & 25 & 125 \\ 1 & 6 & 36 & 216 \\ 1 & 7 & 49 & 343 \\ 1 & 22 & 484 & 10648 \\ 1 & 25 & 625 & 15625 \end{pmatrix}$$

1. 서 론

소규모 지구의 수요예측은 미래 전력수요성장에 대한 지리적 위치와 전력량에 대한 예측을 포함하며, 장기적인 수요의 예측값은 전력계통 계획이나 송변전설비 투자 및 비용의 합리적인 분석을 위해 가장 기본적으로 필요한 자료이다. 지역이나 지구의 장기수요예측에 널리 쓰이는 예측모형으로는 지역별 경제 사회 지표를 분석하는 계량경제모형과 대상지역의 실적수요를 분석하는 추세분석모형을 들 수 있다[1][2].

계량경제모형은 먼 미래의 수요예측에 정확도가 높지만 신뢰성 있는 미래의 지표를 구하기 어렵다. 반면 추세분석모형은 과거의 실적수요 시계열을 이용함으로써 자료의 확보가 용이하나 먼 미래의 예측 정확도가 낮은 단점이 있다[3]. 본 연구에서는 에너지 관리 시스템(EMS)에서 자동으로 취득되는 변전소 실적수요를 이용하여 추세분석모형을 구성하였으며, 먼 미래의 예측정확도를 개선하기 위한 몇 가지 방안을 제시하였다.

중회귀 모형을 이용한 추세분석법은 과거의 수요실적 자료를 다항식 형태의 회귀식으로 표현하고, 이 다항식을 미래에 외삽함으로서 미래의 수요를 예측한다. 추세분석법은 과거의 수요실적이 미래에 반영되므로 자료의 변동이 심한 소규모 지구의 분석시 문제점이 도출되고 있으며, 이에 대한 개선방안의 연구가 요청되고 있다[4]. 본 연구에서는 미래의 수요가 과도하게 변화하는 특성을 개선하기 위해 미래 10년 이상의 수요를 추정한 수평년도수요를 다항식 모형의 계수 설정에 참여시키도록 하였으며, 미래수요의 성장이 예상되는 수요가 없는 지구나 미래에 신설될 변전소의 수요예측시 발생하는 곡선의 급성장 문제를 해결하기 위해 무수요지구 추론 기법을 도입하였다. 또한 변전소의 신설 및 폐지로 인한 지구수요실적의 불균형과 변전소간의 수요 전이에 의한 과거 수요실적의 돌출적인 변화로 발생하는 회귀과정의 과동응답을 방지하기 위해 수요전달결합 과정을 제안하였다.

제안한 산법을 검증하기 위하여 문헌[5]의 우리나라 실제통계(85[개]의 지구와 761[개]의 변전소)에 적용하여 그 효용성을 검증하였다.

전체적인 계통성장이 클 경우나 대상지역이 매우 작은 경우는 몇 개의 수평년도수요를 서로 다른 연도에 대입함으로써 예측 정확도를 개선할 수 있다. 그림 1에서처럼 수평년도수요를 도입하지 않은 곡선맞춤의 경우 수요가 급격히 성장하며, 수평년도수요를 도입할 경우 곡선의 변화가 수평년도수요를 향하는 것을 볼 수 있다.

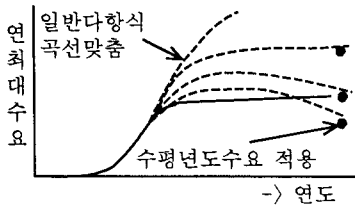


그림 1. 수평년도수요의 도입

### 2.3 무수요 변전소의 수요예측

과거의 실적자료가 없는 변전소에서 성장에 예상될 경우 수요실적의 할당이 필요하며 이를 위해 수평년도수요를 과거의 실적처럼 대상 변전소에 할당하면 된다. 그 결과는 예측년도 첫 해부터 곡선이 급성장하여 예측값은 수평년도 수요값의 함수로 되는 경향이 있다[3]. 이 문제를 해결하기 위해 '무수요지구 추론' 기법을 도입하였다. 다음은 무수요지구 추론기법의 절차이다.

- ① 1개의 지구에 일반적으로 8~12개의 변전소가 속하며, 그 중 하나의 변전소가 무수요 변전소일 경우를 가정한다.
- ② 수평년도수요를 이용한 추세기법으로 과거실적이 있는 나머지 변전소의 수요를 예측한다.
- ③ 각 변전소 과거실적의 합이 지구의 과거실적과 동일하므로 수평년도수요에 의한 추세기법으로 지구의 수요를 예측한다.
- ④ 지구의 예측 수요에서 기예측된 변전소들의 수요를 제하여 무수요 변전소의 수요로 정한다.

이러한 접근을 계층 하향식(Top-Down)이라 하며, 전체공급지구의 수요를 예측하고 그 값을 하위규모의 실적에 더한 후 합을 외삽하는 접근방법이다.

그림 2는 무수요 변전소에 수평년도수요를 할당한 후 지구의 수요를 예측한 곡선과 무수요 변전소의 실적을 '0'으로 두었을 때의 수요예측을 동시에 나타낸 것으로, 두 곡선의 차가 무수요 변전소의 실적이다.

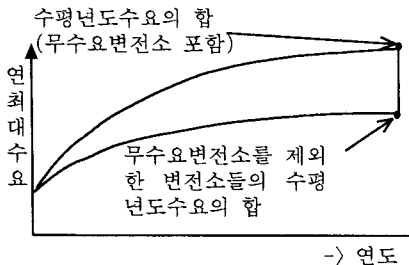


그림 2. 무수요 변전소의 추론 개념

### 2.4 수요전이를 고려한 수요예측

변전소의 수요처럼 그 양이 적고 불규칙적인 실적수요로 추세분석을 하면 좋은 결과를 기대하기 어렵다. 변전소간의 수요전달 또는 변전소의 신설 및 폐지는 수요실적을 불규칙하게 만들어 지구와 변전소의 수요예측에 큰 영향을 미친다. 그러나 수요전이의 유무에 대한 자료수집은 정확한 정보가 없을 뿐더러 자료취득이 어려운 경우가 많다.

'수요전달결합' 회귀과정은 이처럼 수요 이전의 방향이나 전이된 전력량을 알 수 없을 때 도입된다.

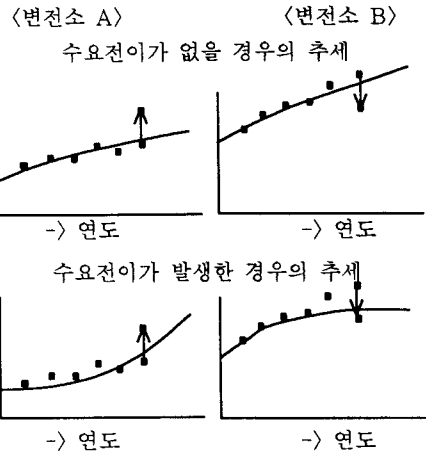


그림 3. 변전소간의 수요이전

그림 3에 나타나는 것처럼 수요이전이 생기면 적어도 2개의 변전소 수요가 변하게 되고 추세분석에 의한 예측은 불안정해지므로 수요이전이 발생한 변전소를 동시에 곡선맞춤해야 한다.

접근방법은 두 변전소의 계수를 각각 구할 때의 행렬을 조합하여 하나의 행렬로 구성한 다음, 실적수요의 이전을 반영하기 위해 결합행렬  $R$ 을 추가하도록 한다.  $N$  [개] 변전소를 조합할 경우 식(2)의 행렬  $L_m$ 과  $P$ 를 행렬  $L_m$ ,  $P_m$ 으로 구성한다.

$$L_m = \begin{vmatrix} L_1 & & & \\ & L_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & L_n \end{vmatrix}$$

$$P_m = \begin{vmatrix} P & & & \\ & P & & \\ & & \ddots & \\ & & & P \end{vmatrix}$$

결합행렬  $R$ 이 추가된 식은 다음과 같다.

$$C_{mm} = [P_m^T R P_m]^{-1} \cdot P_m^T R L_m \quad (3)$$

$R$ 이 단위행렬이면 결합력이 없으므로 식(2)에서 구해진 결과와 같아진다. 그림 4에서처럼 비대각요소의 값을 '1'로 두면 양 변전소간의 수요전이에 대해 덜 민감한 결과를 주게 된다. 즉, 두 변전소간에 크기는 같으나 부호가 다른 수요전이가 일어나지만 추세에 반영되지는 않는다.

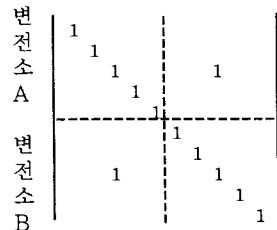


그림 4. 결합행렬 R

$R$  행렬을 수작업으로 구성하는 것은 불가능하므로, 변전소들의 수요실적만으로 수요전이 유무를 판단할 수 있는 자동 수요전달결합을 도입하였다. 다음은 자동 수요전달결합의 절차이다.

- ① 임의의 점검값을 설정한다. 일반적으로 상한은 20~30[%]이고, 점검값은 7~20[%]이다.
- ② 각 지구에 대해 수평년도수요를 적용한 다항식 곡선맞춤을 하고, 잔차(과거실적수요-곡선의 값)를 구한다.
- ③ 지구를 하나의 블록으로 하는 R행렬을 구성한다.
  - ⓐ 지구에 포함된 변전소들의 잔차를 비교한다.
  - ⓑ 특정연도에 대해 변전소들의 잔차가 부호가 반대이고 크기가 점검값내에 있으면 R 행렬의 해당 위치에 '1'을 첨가한다.
- ④ R 행렬을 사용해 변전소 각각에 대한 곡선맞춤을 수행한다.
- ⑤ 수요이전이 있는 변전소를 포함하는 지구들에 대해 위의 수행을 반복한다.

### 3. 사례연구

#### 3.1 수평년도수요의 도입

그림 5는 운니변전소에 수평년도수요를 도입하여 수요예측을 수행한 결과이다. 불규칙하게 진동하는 수요실적으로 미래수요가 급격하게 증가하지만, 2[개]의 수평년도수요의 도입으로 안정된 곡선을 얻을 수 있었다.

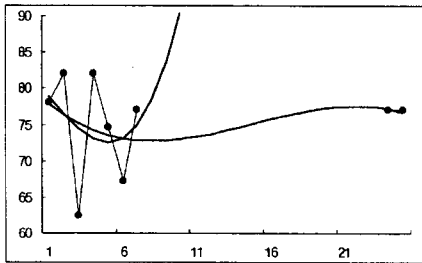


그림 5. 운니변전소에 수평년도수요를 도입한 결과

#### 3.2 무수요지구 추론의 도입

그림 6은 무수요지구 추론을 도입함으로써 서울 동부 지구에 속한 무수요변전소의 미래수요를 예측한 그림이다.

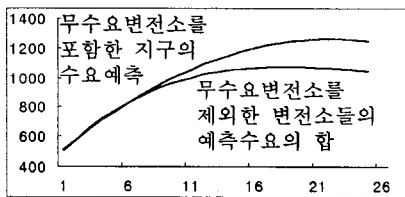


그림 6(a). 서울 동부지구의 무수요추론 결과

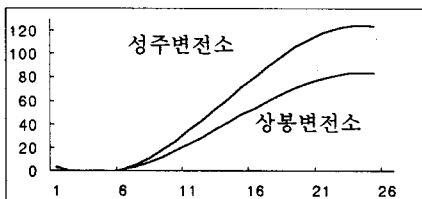


그림 6(b). 무수요변전소의 수요예측 결과

그림 6(a)는 서울 동부지구의 수평년도수요를 사용한 수요예측곡선과 지구에 포함된 변전소들의 예측수요의 합을 나타내었다. 그림 6(b)는 그림 6(a)의 두 곡선의 차를 두 무수요변전소의 예측 수요로 할당된 그림이다.

#### 3.3 자동 수요전달결합의 도입

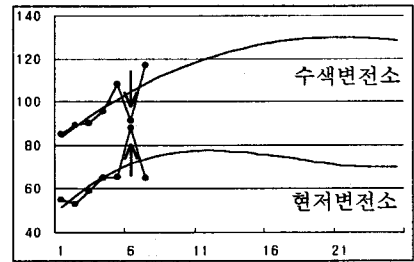


그림 7(a). 서울 서부지구의 다항식 곡선맞춤 결과

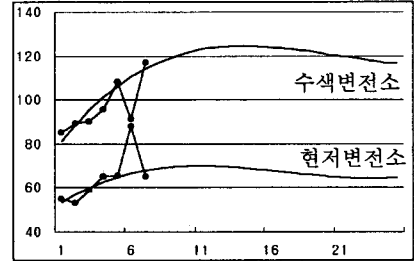


그림 7(b). 서울 서부지구의 수요전달결합 결과

그림 7(a)는 1996[년]에 수요이전이 발생한 서울 서부지구의 수색변전소와 현저변전소를 일반적인 다항식 곡선맞춤한 결과이고, 그림 7(b)는 자동 수요전달결합을 통해 나타난 결과이다. 수요이전이 발생한 6번째 실적이 다항식모형 설정에서 제외됨으로서 7번째 실적과 곡선의 값이 일치함을 확인할 수 있다(그림 7(b)).

### 4. 결 론

전력제통의 송변전계획에 필수적인 장기(10년~15년) 수요예측을 위하여 중회귀 분석산법을 개발하고 실제통 적용이 가능하도록 개선하였다. 주요 개선방안을 요약하였다.

- 1) 예측된 지구수요의 변화를 S형 성장패턴에 가깝도록 하기 위하여 수평년도수요를 도입하였다.
- 2) 과거 실적자료가 없는 무수요지구의 수요를 예측하기 위하여 계층 하향식 추론기법을 제안하였다.
- 3) 변전소의 신설 및 폐지에 따른 수요의 불규칙한 변동을 배제하기 위하여 수요이전결합과정을 포함하였다.

제안한 산법을 우리나라 실제통에 적용함으로써 보다 안정된 예측 결과를 얻을 수 있었다. 그러나, 과거실적의 수가 작은 대상지역에 수요전달결합이 도입될 경우 예측의 정확도가 낮아지는 문제는 개선할 필요가 있다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] Palo Alto, "Research into Load Forecasting and Distribution Planning", EPRI EL, pp. 1198, 1979
- [2] H. L. Willis, R. W. Powel, "Load Transfer Coupling Regression Curve Fitting for Distribution Load Forecasting", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, pp. 1070, May 1984
- [3] H. L. Willis, J. E. D. Northcote-Green, "A Hierarchical Recursive Method for Substantially Improving Trending of Small Area Load Forecasts", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, pp. 1776, June 1982
- [4] E. E. Menge, "Electrical Loads Can Be Forecasted for Distribution Planning", Proc. American Power Conference, April 1977
- [5] 한국전기연구소, "지구별 수요 및 부하특성 예측기법 개선에 관한 연구", 한국전력공사, 전원계획처, June 1998