

최대수요전력 관리 장치의 최대수요전력 예측 방법에 관한 연구

권용훈 · 김호진 · 공인엽

금오공과대학교

Method of Demand Forecasting for Demand Controller

Yong-Hun Kwon · Ho-Jin Kim · In-Yeup Kong

Kumoh National Institute of Technology

E-mail : yhkwon2310@gmail.com

요 약

최대수요전력 관리 장치는 현재 사용전력을 모니터링하여 예측 전력을 계산해 수용가에서 설정한 목표전력을 초과하지 않게 부하를 제어하는 장치이다. 부하의 제어는 예측된 최대수요전력이 목표전력을 초과할 경우 경보를 발생하고 부하를 차단하는 방식을 사용하기 때문에 최대수요전력에 대한 정확한 예측이 중요하다. 전력 변동이 심한 수용가에서는 기존의 예측 방법을 사용할 경우 최대수요 전력 관리가 안정적이지 못하다는 단점이 있다. 본 논문에서는 기존의 최대수요전력 예측 방법 및 지수평활방법을 살펴보고 칼만 필터를 사용한 예측 방법을 제안한다.

ABSTRACT

Demand Controller is a load control device that monitor the current power consumption and calculate the forecast power to not exceed the power set by consumer. Accurate demand forecasting is important because of controlling the load use the way that sound a warning and then blocking the load when if forecasted demand exceed the power set by consumer. When if consumer with fluctuating power consumption use the existing forecasting method, management of demand control has the disadvantage of not stable. In this paper, examine the existing forecasting method and the exponential smoothing method, and then propose the forecasting method using Kalman Filter algorithm.

키워드

최대수요전력, 최대수요전력 관리 장치, 디맨드 컨트롤러, 최대수요전력 예측, 칼만 필터

I. 서 론

수요전력은 우리나라 기준으로 수요시한 15분 동안 측정된 전력의 평균값을 의미하며 최대수요 전력은 전력량계에 기록되는 전력으로 수요전력 측정시간 동안 발생한 수요전력의 최대값을 말한다. 수용가에서 사용하는 전력요금은 최대수요전력을 기준으로 산정된다. 따라서 부하의 변동을 예측하여 효율적으로 전력을 사용할 필요가 있다. 최대수요전력 관리 장치는 이러한 목적을 위해 개발된 장치이며 그림 1은 최대전력수요 관리 장치를 이용한 최대전력 관리 시스템을 보여 준다 [1]. 최대수요전력 관리 장치의 원리는 수요시한 동안 순간적으로 많은 전력을 소비하여도 그 수

요시한의 나머지 시간에는 미리 선정된 부하의 전력을 차단하여 부하의 소비전력을 목표전력 값에 맞추게 하는 것이다[2]. 정확하지 못한 예측값으로 인해 부하의 제어 시점이 빠르거나 느려지면 목표전력량을 초과하거나 불필요한 부하의 차단으로 전력 사용 효율이 떨어지게 된다. 본 논문에서는 최대수요전력 예측 방법들을 살펴보고 칼만 필터를 적용한 예측 방법을 제안한다.

II. 최대수요전력 예측 방법

기존의 보편적인 예측 방법은 수요시한 내에서

의 샘플링 시간동안의 전력량 증가로부터 시한종료시의 최대수요전력을 예측하는 방법이다[3]. 샘플링 시간에 얻은 현재의 부하전력이 계속 유지될 경우 현시점까지의 소비전력량과 앞으로 시한이 종료되기까지 소비할 전력량을 계산하여 더하는 원리이며 이것을 식으로 나타내면 식 (1)과 같다. Q_f 는 예측전력량, Q_t 는 현재전력량, Δt 는 샘플링시간을 나타내고 그 시간 동안의 전력증분을 ΔQ 로 나타낸다. 그리고 잔여시간은 수요시한 T 와 현재시점 t 와의 차로 나타낼 수 있다. 그림 2는 기존 예측 방법의 원리를 그래프로 나타내고 있다. 이러한 예측 방법은 간단하다는 장점이 있다. 하지만 단순히 현재 사용 전력량만을 가지고 예측전력을 계산하기 때문에 전력의 변동이 심한 곳에서는 안정적이지 못한 예측값을 유도해 낼 수 있다는 단점이 있다[4].

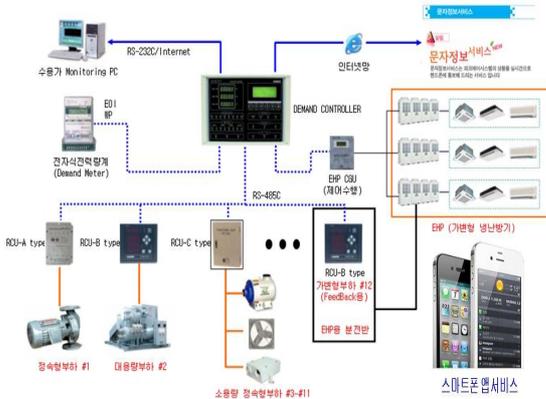


그림 1. 최대전력 관리 시스템

$$Q_f = Q_t + \frac{\Delta Q}{\Delta t} (T - t) \quad (1)$$

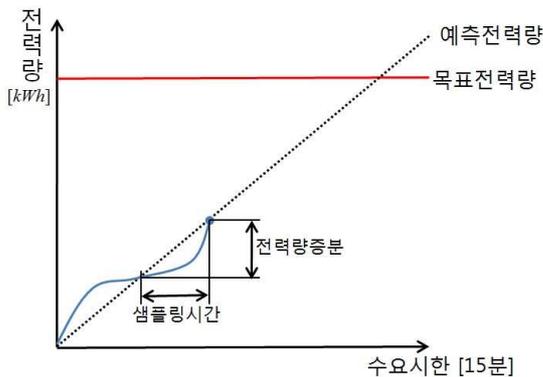


그림 2. 기존 예측 방법

다른 예측 방법으로 지수평활방법이 있다. 지수평활방법은 이미 얻어진 관측값들에 대해 지수적으로 감소하는 가중치를 부여하는 방법이다. 즉 오래된 관측값 일수록 작은 가중치를 가지게 된다. 지수평활방법은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다[5].

$$f_{t+1} = \alpha y_t + (1 - \alpha) f_t, \quad (0 \leq \alpha \leq 1) \quad (2)$$

식(2)에서 예측시점 t 에서의 실제값은 y_t , 예측값은 f_t 이며 f_{t+1} 은 시점 $t+1$ 에서의 예측값이다. α 는 평활계수를 나타낸다. 식 (2)를 식 (3)과 같이 나타내었을 때 α 값이 1에 가까울수록 예측 오차가 많이 반영되는 예측값을 얻게 되고 α 가 0에 가까운 값이면 이전 시점의 예측값과 비슷한 예측값을 가지게 됨을 알 수 있다. 지수평활방법은 기존의 예측 방법과는 달리 과거의 데이터를 포함하며 데이터에 가중치를 부여한다. 하지만 평활계수 α 값을 결정할 때 여러 가지 정확도의 척도를 만족시키는 값을 구하기가 쉽지 않으며 시행착오를 거쳐야 한다는 단점이 있다[5].

$$f_{t+1} = f_t + \alpha(y_t - f_t), \quad (0 \leq \alpha \leq 1) \quad (3)$$

III. 칼만 필터를 이용한 최대수요전력 예측

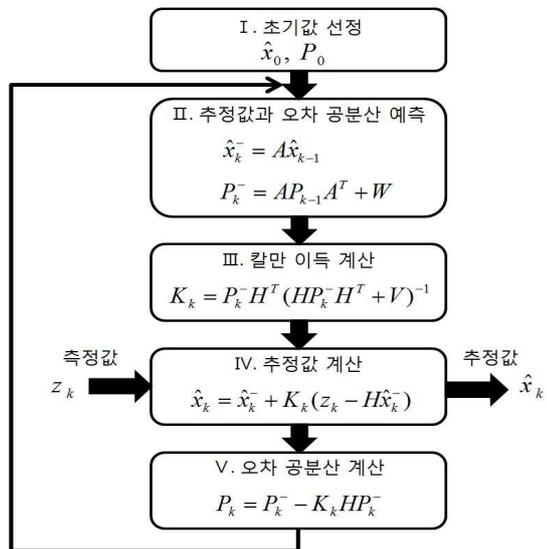


그림3. 칼만 필터 알고리즘

칼만 필터는 제어분야 및 시계열 데이터를 다루는 여러 분야에서 활용되어 온 기법으로 시계열 데이터를 상태 공간 모델로 표현한 후 측정값

(관측값)을 통해 우리가 원하는 최상의 추정량을 얻는데 이용된다[6]. 먼저 상태 공간 모델은 상태 방정식 식 (4)와 측정 방정식 식 (5)로 표현된다.

$$x_{k+1} = Ax_k + w_k \quad (4)$$

$$z_k = Hx_k + v_k \quad (5)$$

식 (4)와 식 (5)에서 x_k 는 상태 변수, z_k 는 측정값을 나타내며 w_k 는 시스템에 유입되는 잡음, v_k 는 측정 시 발생하는 잡음이다. 칼만 필터를 사용할 때는 이러한 잡음들을 백색잡음으로 가정한다. 칼만 필터의 알고리즘은 그림 3과 같다[7].

칼만 필터 알고리즘에 사용된 변수들을 정리하면 표 1과 같다. A , H , W , V 는 칼만 필터를 사용하기 전 상태 공간 모델에서 결정되며 칼만 필터의 성능에 중요한 영향을 미치는 값이다.

표 1. 칼만 필터 알고리즘의 변수

\hat{x}_0	사전 예측 초기값	z_k	측정값 (관측값)
P_0	초기 오차 공분산	P_k	오차 공분산
\hat{x}_k	예측된 추정값	A	상태전이행렬
P_k^-	예측된 오차 공분산	H	출력행렬
K_k	칼만 이득	W	시스템 잡음의 공분산 행렬
\hat{x}_k	추정값	V	측정 잡음의 공분산 행렬

예측전력량을 초 단위로 구하기 위해서 상태 공간 모델의 상태 변수 x_k 를 다음과 같이 정의한다.

$$x_k = \begin{bmatrix} Q_k \\ P_{L_k} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$P_L = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (7)$$

Q 는 진행전력량, ΔQ 는 전력증분, Δt 는 샘플링 시간, P_L 은 샘플링 시간동안의 부하 전력을 나타낸다. 그리고 측정값 z_k 를 진행전력량으로 하면 상태전이행렬 A 와 출력행렬 H 는 다음과

같이 나타낼 수 있다.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad H = [1 \quad 0] \quad (8)$$

위의 식들로부터 상태 공간 모델의 상태방정식과 측정방정식을 나타내면 각각 식 (9)와 식 (10)과 같다.

$$\begin{bmatrix} Q_{k+1} \\ P_{L_{k+1}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_k \\ P_{L_k} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ w_k \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$Q_k = [1 \quad 0] \begin{bmatrix} Q_k \\ P_{L_k} \end{bmatrix} + v_k \quad (10)$$

식 (9)에서 $k+1$ 시점에서의 진행전력량은 k 시점에서의 진행전력량과 전력증분의 합으로 표현할 수 있음을 나타낸다. 그리고 부하전력은 시스템 잡음이 있는 것으로 간주하였다. 식 (10)은 진행전력량 측정 시 측정 잡음이 존재함을 나타낸다. 시스템 잡음과 측정 잡음의 공분산 행렬 W 와 V 는 해석적 방법 또는 실험으로 결정할 수 있다[7].

알고리즘은 초기값을 바탕으로 먼저 예측전력량의 추정값과 추정값에 대한 오차 공분산을 예측한다.

그 다음 예측된 오차 공분산을 바탕으로 칼만 이득을 계산하게 되는데 칼만 필터에서는 알고리즘을 반복하면서 가중치에 해당하는 칼만 이득 K_k 를 매번 수정하게 된다. 그림 3의 네 번째 단계에서 칼만 이득은 식 (11)과 같이 추정값과 예측값의 오차를 보정하는 역할을 하며 보정된 값이 예측값에 더해져서 최종 추정값이 나오게 된다.

$$z_k - H\hat{x}_k \quad (11)$$

최종 추정값은 진행전력량과 부하 전력이 되며 추정된 진행전력량은 바로 다음 시점의 예측전력량이 된다.

지수평활방법은 단순히 과거의 데이터일수록 지수적으로 감소하는 가중치를 부여하지만 칼만 필터 알고리즘의 반복적인 수행은 추정값과 측정값의 오차를 점점 줄여나가는 효과를 가져오며 오차에 따라 매번 수정되는 칼만 이득이 가중치로 사용되면서 더욱 정확한 예측이 가능하다.

IV. 결론 및 향후과제

칼만 필터 알고리즘은 제어분야 뿐만 아니라 시계열 데이터를 다루는 분야에서도 활용된다. 경

로 통행시간[8], 생산-재고 시스템의 최적제어[9], 상수도 시스템의 수요예측 모델[10] 등 다양한 분야에서 적용되었으며 그 성능이 검증되었다.

최대수요전력을 초과하지 않기 위해서는 수요시한 내에서 초 단위의 정확한 예측이 필요하다. 이에 본 논문에서는 최대전력관리 장치에서 사용되고 있는 최대수요전력 예측 방법과 지수평활방법에 대해 살펴보고 칼만 필터 알고리즘 적용을 제안하였다. 이는 수요시한 내에서의 정확한 예측을 가능하게 하고 실제 최대수요전력 관리 장치에 적용함으로써 전력 절감 방안에 도움이 될 것으로 생각된다.

향후과제로 칼만 필터 알고리즘에 실제 수용가에서 사용하는 전력량의 데이터를 활용하여 시뮬레이션하고 다른 예측 방법들과 비교 분석할 예정이다.

참고문헌

- [1] 전력거래소, <http://www.kpx.or.kr/>.
- [2] 김병진, 정을기, 한운동, 전희중, “지능형 최대수요전력 관리 장치의 개발”, 조명·전기설비학회논문지, Vol.14 No.5, pp. 50~55, 2000.
- [3] 조성원, “신경망과 퍼지논리를 이용한 최대수요전력 제어시스템에 관한 연구”, 한국 퍼지 및 지능시스템학회 논문지, Vol.9 No.4, pp. 420~425, 1999.
- [4] 김창일, 성기철, 유인근, “복합 퍼지모델을 이용한 디맨드 예측 제어에 관한 연구”, 대한전기학회, Vol.51 No.9, pp. 417~424, 2002.
- [5] 이원우, 시계열 자료분석 예측을 위한 통계적 기법, 자유아카데미, 2009.
- [6] 김항주, 최혜원, 홍승표, “칼만필터 알고리즘을 이용한 단속류 통행시간 예측 연구”, 유신기술회보, 제18호, pp. 78~89, 2012.
- [7] 김성필, MATLAB 활용 칼만필터의 이해, 도서출판 아진, 2010.
- [8] 이정대, 류승기, 신재명, “구간검지자료를 이용한 구간통행시간 예측에 관한 연구”, 대한토목학회 학술저널, Vol.2005 No.10, 2005.
- [9] 김종목, “생산-재고 시스템의 최적제어”, 연세대학교 경영학과 대학원 석사 학위논문, 2011.
- [10] 한태환, 남의석, “칼만필터의 적응형모델 기법을 이용한 광역상수도 시스템의 수요 예측 모델 개발”, 조명·전기설비학회 논문지, Vol.15 No.2, pp. 38~48, 2001.