2001년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2001.7.18-20

Newton 보외법에 의한 수요전력 예측 알고리즘

정 대 원
호남대학교 전기공학과

New Algorithm for Demand Power Prediction Using Newton Extrapolation Method

Dae-Won Chung
Electrical Engineering Dep't, Honam University

Abstract - 최대수요전력 제어기의 실시간 부하전력예측을 위하여 Newton 보외법을 적용하였다. 기존의 선형기법에 비하여 실제 데이터에 가까운 부하전력을 예측할 수 있었다. 이 새로운 알고리즘을 적용함으로써 부하예측을 보다 정확히 할 수 있어 빈번한 부하차단이나 우발적인 차단을 방지하여 설비 운용의 신뢰성을 높일 수 있다. 개선된 알고리즘은 마이컴으로 제어되는 실제 시스템에 적용하여 보다 나은 성능을 얻을 수 있었다.

1. 서 론

최근 경제적 여건과 문화수준 향상으로 전력수요는 급속도로 증가하고 있어, 정부는 전력설비확충을 위해 매우 고심하고 있다. 그러나, 전력설비확장은 대규모 사업비가 투자될 뿐만 아니라 건설기간도 장기간 걸려 단기간에 이를 해결하기는 매우 어려운 실정이다. 이런 까닭에 새로운 전원 개발에 힘쓰고 있으며, 단기적으로 전기에너지 절약운동을 하거나 에너지 절약형 기기를 개발하여 보급하고 지원하고 있어 괄목할만한 성과를 거두고 있다. 이런 목적을 위해 전력설비의 부하관리를 적절히 함으로써 에너지 절약과 전력계통운용에서 큰 효과를 얻을 수 있는 방안이 된다. 전력관리는 그 특성상 첨두부하의 수급조절이 매우 중요하며, 수용가 전력설비에서 최대부하를 집중 관리함으로써 효과적인 방안이 된다. 즉, 불요불급한 부하는 첨두부하가 예상될 때 일시적으로 차단하여 첨두부하에 도달하지 않도록 관리하고, 그 결과 수용가 전력요금부담을 줄일 수 있다. 왜냐하면, 한전 전력요금체계는 최대부하억제 방침에 따라 년간수요전력 중에서 최대수요전력량을 기준으로 기본요금이 부과되고 있기 때문이다.

이를 위해 최근 국내에서 최대수요전력 제어기가 개발되어 널리 보급되고 있다[1]. 이 최대수요전력 제어기의 기본원리는 일정시간 후에 사용될 전력량을 실시간으로 미리 예측하여 이 전력량이 미리 설정한 목표치에 도달할 것이 예상될 경우 잔여시간 내에 불요불급한 부하를 미리 차단하도록 함으로 최대목표치 이내로 유지할 수 있어, 첨두부하를 효과적으로 관리할 수 있다. 그러나, 전기부하는 가능한 사용자의 요구에 따라 언제든지 사용 가능하여 사용자의 불편을 최소화하여야 하므로 우발적이고 빈번히 부하를 차단하는 것이 방지되어야 한다. 이를 위해서는 무엇보다 일정시간 이후에 발생할 수요전력량을 정확히 예측할 수 있어야하고, 시시각각으로 변하는 부하전력을 어떻게 정확하게 예측하느냐가 매우 중요한 과제가 된다.

지금까지는 적용된 부하예측 알고리즘은 Lagrange 보간법[2,3]에 기초한 선형 보간법이 주로 적용되고 있다. 즉, 기준시점에서부터 계측된 전력량과 특정시간에서 계측된 전력량의 변화량인 기울기만을 고려하여 일정 시한에서 예상되는 전력량을 추정하는 2개의 노드에서 구한 일차 선형다항식의 선형 보간법의 원리를 적용하였다. 그러나, 시시각각으로 변하는 부하전력은 매우 비선형특성을 갖고 있어 특정한 시간에서 계측된 전력량의 기울기는 수분 후에 계측될 실제 수요전력량과는 매우 큰 오차를 유발한다. 이는 곧 예측된 부하전력량의 큰 오차를 뜻하고, 빈번한 부하차단이나 오동작을 일으키는 원인이 되고 있다[1]. 이러한 문제점을 개선하기 위해서 본 논문에서는 적합도가 매우 높은 회귀식인 뉴톤 보외법[2]을 적용하여 수요전력량을 예측하도록 하였다. 그 결과 보다 정확한 부하전력량을 예측할 수 있어 정확성을 높이도록 하였고, 마이컴에 의한 실시간으로 연산되어야 하는 점을 고려하여 연산시간을 크게 향상시켰다.

2. 수요예측과 뉴톤 보외법

2.1 수요예측의 원리

수용가 수요전력을 정확하게 예측하기 위해서는 디지털 전력량계를 이용하여 일정한 시간(수요시간)마다 수요전력을 정확히 계측해야 한다. 디지털 전력량계는 일정시간(주로 15분)동안 사용전력량을 계측하여 전력량에 비례한 펄스신호를 출력하고, 매 15분 간격으로 동기펄스를 동시에 내 보낸다. 그러므로 기준시점부터 임의 시간까지 사용한 전력량은 순시전력에 비례한 펄스신호 계수량과 계수한 시간의 곱으로 구할 수 있다. 그림 1과 같이 15분 동안에 계수된 펄스량과 60분/15분을 곱하면 1시간을 기준의 평균수요전력량을 구할 수 있다. 매 15분마다 얻어진 전력량을 1시간으로 환산하면, 평균수요전력이 구해지고, 이 수요전력량이 가장 큰 값으로 얻어진 전력이 최대수요전력량이 되고, 전력회사는 이 값을 기준으로 기본요금을 부과한다. 따라서, 이 최대전력을 일정치 이하가 되도록 관리함으로써 수용가 전력요금을 절약하고 하절기의 첨부두하를 낮추는 방안이 된다. 다시 말해 전력설비 사용 중에 목표치 최대전력수요가 예측될 때 15분 시한시간 이전에 불요불급한 부하를 적절히 차단하여 잔여시간동안에 목표치의 최대전력량에 도달하지 않도록 관리한다.

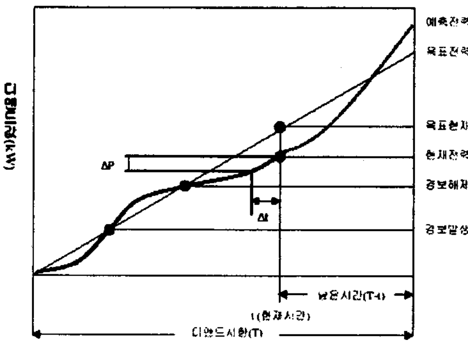


그림 1. 수요예측의 원리

그러나, 시시각각으로 변하는 수용가 전력설비의 수요를 어떻게 정확하게 예측하느냐가 중요한 문제이다. 즉, 불필요한 오동작이나 빈번한 부하차단을 방지하여 전기사용자의 불편을 가능한 줄이면서 경제적인 이득을 극대화하도록 해야하기 때문이다.

2.2 뉴톤 보외법

보외법(Extrapolation)이란 주어진 마디점(node point)의 측정된 데이터를 만족하는 미지의 함수를 찾아내는 방법으로 앞으로 측정될 데이터를 미리 예측하는데 활용될 수 있다. 즉, 일정한 등간격으로 계측된 전력량의 데이터로부터 시한시점에서 얻어질 수요전력을 보다 정확하게 예측할 수 있다. 이 보외법은 일반적으로 알려진 n차 다항 보간식(Interpolation)을 확장하여 같은 이론에 근거하여 근사함수를 추정할 수 있다. 가능한 찾고자하는 노드지점이 마지막 노드구간에 가까워질수록 보다 정확한 함수를 구할 수 있다. 따라서, 본 논문에서도 이미 알려져 있는 보간법을 적용한다. $(n+1)$ 개의 노드 $(t_i, f(t_i))$, $(i=0,1,2,\cdots,n)$를 지나는 Lagrange 보간 다항식 (1)과 같이 표현된다[3].

$$g(t) = f_0 L_0(t) + f_1 L_1(t) + \cdots + f_n L_n(t) \qquad (1)$$

여기서, $g(t_i) = f_i$

$$L_i(t) = \frac{(t-t_0)\cdots(t-t_{i-1})(t-t_{i+1})\cdots(t-t_n)}{(t_i-t_0)\cdots(t_i-t_{i-1})(t_i-t_{i+1})\cdots(t_i-t_n)}$$

다항식 차수 n가 증가할수록 $f(t)$로부터 얻는 $g(t_i)$ 함수근사화의 정확도는 증가하나 연산과정에서 몇 가지 문제점이 존재한다. 우선 단 한번의 보간을 위해서 요구되는 계산량이 너무 많다는 점이다. 또한, 본 알고리즘에서는 이전에 계산한 값을 그대로 이용할 수 없기 때문에 많은 양의 계산이 반복적으로 수행되어야 하므로 많은 메모리를 차지한다. 그밖에 측정된 데이터의 개수가 증가 혹은 감소할 때 이전에 계산한 데이터를 전혀 활용할 수 없기 때문에 정확도는 증가하지만 실시간 연산을 위해서는 매우 부적절하다. 따라서, 본 논문에서는 이 점을 개선하여 등간격을 갖는 뉴턴 보간법을 적용하여 정확도를 높이면서 계산량도 동시에 줄여서 실시간 연산에서 매우 효과적으로 적용할 수 있도록 하였다.

측정구간 $[a, b]$에서 횡축을 $t_i = t_0 + ih$, $(0 \le i \le n)$이 되는 등간격으로 분할하고, 각 좌표를 $[t_i, f(t_i)]$라 한다. 이때 주어진 함수 $f(t)$에 대하여 등간격의 1차 분할차를 식 (2)와 같이 정의한다.

$$\Delta^0 f(t_i) = f(t_i) \qquad \text{(0차 분할차)} \qquad (2)$$
$$\Delta^1 f(t_i) = f(t_{i+1}) - f(t_i) \qquad \text{(1차 분할차)}$$
$$\vdots$$
$$\Delta^k f(t_i) = \Delta^{k-1} f(t_{i+1}) - \Delta^{k-1} f(t_i) \qquad (k\text{차 분할 차})$$

식 (2)의 분할차는 이동 연산자를 사용함으로써 높은 차수의 차분을 쉽게 유도할 수 있고, 등간격을 갖는 3차 노드에 대한 차분을 표 1에서 정리하였다. 여기서 전향차 k의 차수가 증가할수록 차분 값은 점차적으로 0으로 수렴해간다는 것에 주목할 필요가 있다. 이때 $[t_i, f(t_i)]$의 좌표를 지나는 함수는 다음과 같이 얻어진다.

$$g(t_i) = g(t_0 + sh) = \sum_{n=0}^{k} \binom{s}{n} \Delta^n f(t_0) \qquad (3)$$

여기서, $s = \dfrac{t - t_0}{h}$는 국소 좌표를 나타내고,

$\binom{s}{n} = \dfrac{1}{n!} s(s_1)(s-2)\cdots(s-n+1)$는 이항계수 형태를 뜻한다.

표 1. 3차 노드에 대한 전향차

노드점	함수값	차수별 전향차		
t	$f(t)$			
		$\Delta f(t)$		
$t+h$	$f(t+h)$		$\Delta^2 f(t)$	
		$\Delta f(t+h)$		$\Delta^3 f(t)$
$t+2h$	$f(t+2h)$		$\Delta^2 f(t+h)$	
		$\Delta f(t+2h)$		
$t+3h$	$f(t+3h)$			

2.3 뉴턴 보외법 알고리즘의 정리

전력수요량을 예측하기 위해서 사용될 보외법 알고리즘은 뉴톤 보간법의 알고리즘을 확장하여 적용함으로써 효과적으로 적용할 수 있다. 이때 데이터 샘플링시간이 짧을수록 보다 정확한 함수를 유도할 수 있다. 그러나, 샘플링 데이터가 많을수록 연산시간이 증가하여 실시간에 이용하기에는 다소의 제약이 따른다. 따라서, 평균수요전력을 얻기 위해 데이터 측정주기 시한인 매15분 범위 내에서 [0분, 3분, 6분, 9분, 12분]의 분할시점에서 측정된 전력량의 데이터를 이용하여 3분과 6분 후인 종료시점인 15분에서 각각 얻어질 전력량을 예측한다. 각 측정 주기간에 측정한 데이터를 이용한 분할차의 차분값을 계산하고, 이 차분값을 이용하여 식 (3)의 근사함수를 구한다. 이때 각 분할 시점에서 증감된 전력량의 변화는 차분할 값을 구함으로써 효과적으로 활용한다. 결국 측정구간 밖에서 구해질 예측데이터를 이 근사화 함수를 이용하여 구할 수 있다. 본 알고리즘의 흐름도는 그림 2과 같다.

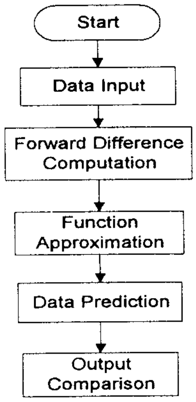
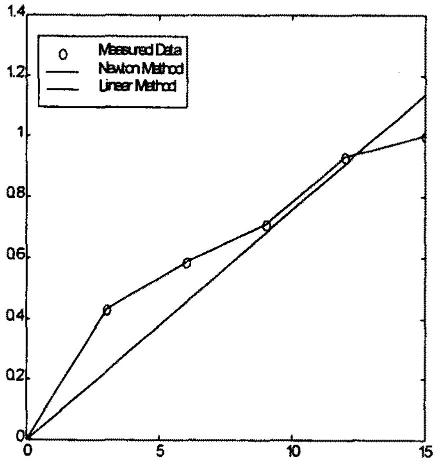


그림 2. Newton 근사화 알고리즘의 흐름도

2.4 사례연구 결과

뉴톤 보간법 알고리즘의 효용성을 검증하기 위하여 모의실험에 의한 연산을 수행하였다. 모의실험에서 기존의 알고리즘과 비교하여 연산결과를 분석하였다. 즉, 시한시간 내에서 sine 함수형태로 증가하는 경우에 대하여 구간별로 선형화한 기존의 선형화 기법과 뉴톤 보외법을 적용한 알고리즘에 대하여 비교 적용하였다. 결과적으로 기존의 방법에 사용되었던 측정비교 시점에서의 선형보간법을 적용한 경우에 비하여 보다 정확한 데이터를 예측할 수 있었다. 여기에 사용된 데이터는 실제 시스템에서 적용될 조건을 고려하여, x-축 시간좌표는 기준시간인 0분부터 15분 동안을 일정간격으로 시분할 하였고, y-좌표는 기준 수요전력량을 기준으로 백분율로 환산한 데이터를 사용하였다. 데이터 취득시간을 0분, 3분, 6분, 9분으로 4등분 간격으로 데이터를 취득하였고, 이 데이터를 기준으로 시한 종료시점인 15분에서의 수요전력량

을 예측하였다. 그 결과 기존이 방법에 비해서 정확도가 매우 향상되었음을 확인하였고, 연산속도는 기존이 방법에 비해 다소 늦음을 알 수 있었다. 표 2에서 가상한 각 노드별 수요전력량을 보이고 있다.



3. 결 론

최대수요전력제어기의 부하전력예측을 위하여 Newton 보외법을 적용하였다. 기존의 선형기법에 비하여 실제 데이터에 가까운 부하전력을 예측할 수 있었다. 부하예측을 보다 정확히 함으로써 빈번한 부하차단이나 우발적인 차단을 방지하여 설비 운용의 신뢰성을 높일 수 있다. 이 새로운 알고리즘은 실제 시스템에 적용하여 보다 나은 성능을 얻을 수 있다. 관련 산업계도 향후 새로운 알고리즘을 적용함으로써 많은 경제적 이득과 설비운용의 신뢰성을 높일 수 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

[1] LG산전, 최대수요전력제어기 매뉴얼, 2000년.
(2) 이형열, 박정희, Applied Numerical Method in C, 대영사,1997년
(3) 김창근, 수치해석, 교우사, 1997년