

NLRE 곡선을 이용한 주상 변압기 월간 사용전력량 추정에 관한 연구

임진순*, 윤상윤, 김재철
 송실대학교 전기공학과

A Study on Monthly Electric Energy Estimation of Pole-Transformer Using NLRE Curve

Im Jin Soon*, Yun Sang Yun, Kim Jae Chul
 Department of Electrical Engineering, Soongsil University.

Abstract - In this paper, we present an estimation method of electric energy(kWh) for load management of pole-transformer. For the electric energy estimation, we use the nonlinear load research based estimation(NLRE) algorithm. The NLRE curve is the normalized annual cumulative energy consumption for a particular day in a year. And, it is used for the coefficient estimation. Estimation method of suggested electric energy of pole-transformer used billing cycle electric energy estimation equation is verified as comparison billing cycle electric energy and estimated electric energy. We can reduce the error of peak load estimation by suggested method than the conventional method in domestic.

1. 서 론

전력계통은 전력수요의 증가와 더불어 수용가로부터의 서비스 향상에 대한 요구가 증대되고 있으며 도시의 과밀화 현상 및 전력소비 경향의 급속한 증가로 인한 변압기 소손 사고 역시 증가하고 있는 실정이다. 이에 따른 변압기 소손 사고 방지를 위한 부하관리 문제가 크게 대두되고 있다. 일본 동경전력 부하관리시 최대부하는 주간시간 때의 온도와 습도 같은 날씨의 요소에 큰 영향을 받기 때문에 이러한 특징을 이용하여 최대 부하와 날씨와의 상관관계를 이용한 다중회귀분석을 이용하고 있다[1]. 미국의 알칸사스 전력회사는 부하관리시 최대 부하를 추정하기 위해 각 수용가에 청구되는 전기요금에 대한 사용전력량(kWh)을 이용하여 한달(1~30,31)의 사용전력량을 추정하고 있다. 이 추정된 사용전력량과 부등률(diversity factors), 사용전력량 대 최대부하 전환요소(conversion factors)를 수식화하여 부하관리에 사용하고 있다[2,3]. 그리고 다른 여러 전력회사에서도 사용전력량 대 최대부하 전환요소를 기초로 한 배전용 변압기 최대부하 추정을 하고 있다. 현재 우리 나라에서도 사용전력량 대 최대부하와의 상관관계를 이용한 회귀분석을 이용하여 최대부하를 추정하고 있다[4,5]. 최대 부하 추정 시 사용된 사용전력량은 변압기의 각 수용가에 청구되는 전기요금에 대한 한달 사용전력량 값을 합하여 사용하고 있다. 그러나 이 값은 수용가마다 서로 다른 기간에 측정된 값이므로 동일 달의 실측값과는 오차를 가지고 있다. 그러므로 주상 변압기의 각 달 최대 부하 추정에 적용하기 위해서는 각 수용가 사용전력량의 추정이 같은 한달(1~30,31)에 이루어진 자료가 필요하다.

본 논문에서는 주상 변압기 부하관리를 위해서 주상 변압기 최대부하와 큰 상관관계를 가지고 있는 사용전력량을 한달간(1~30,31)으로 추정하여 부하관리시 이상값들을 반영하였다. 부하 연구 데이터 분석을 통해 주상 변압기의 정규화된 각 일(day)에 대한 누적 사용전력량

을 가지고 주택지역의 NLRE(nonlinear load research based estimation) 곡선을 구현하였다. 제안한 사용전력량 추정 방법은 NLRE 곡선을 이용한 추정 계수와 기간이 서로 다른 전기요금에 대한 사용전력량 값을 이용한 각 한달(1~30,31)의 추정 방법인 NLRE 알고리즘을 이용하였다. 이 추정된 사용전력량 값으로 최대부하 추정을 위한 회귀식의 함수로 사용하여 각기 다른 기간의 전기요금에 대한 사용전력량 값보다 최대부하 오차값을 줄일 수 있었다.

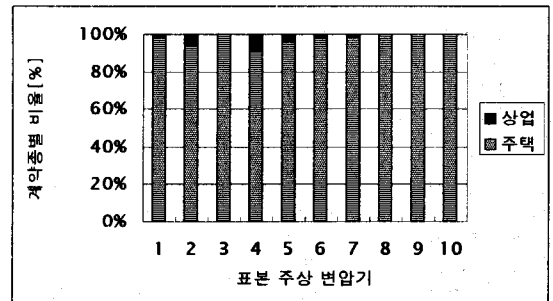
사례연구는 부하관리기에서 취득된 실측 사용전력량 데이터와 한국전력공사의 전기요금시스템에 대한 사용전력량 데이터가 사례연구를 위해 사용되었다.

2. 본 론

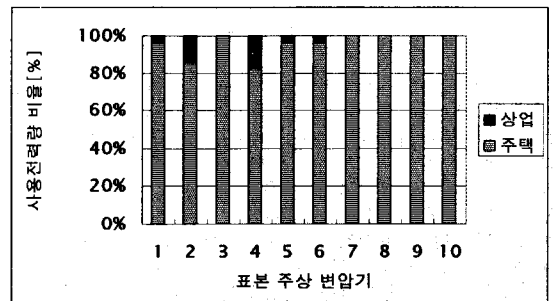
2.1 주상 변압기의 사용전력량 추정

본 논문에서는 주택지역 수용가의 구분을 위해 계약종별 90[%]이상인 것과 사용전력량의 비율이 80[%]이상인 주상 변압기를 주택용 주상 변압기로 간주 하였다.

그림1은 표본으로 선정된 주상 변압기의 수용가를 구분하는 계약종별과 사용전력량의 주택과 상업의 비율을 나타낸 것이다.



(a) 수용가 계약종별 비율



(b) 수용가 사용전력량 비율

그림 1. 주상 변압기의 수용가 계약종별 및 사용전력량 비율

주택지역 주상 변압기 전기요금에 대한 사용전력량의 값을 추정하기 위해 미국 알칸사스 전력회사에서 시행하고 있는 사용전력량 추정 방법인 NLRE 곡선과 NLRE 알고리즘을 이용하였다[3].

2.1.1 NLRE 곡선

NLRE 곡선은 1년(365일)동안 누적된 사용전력량 값과 년 중 하루 하루 누적된 사용전력량 값을 이용하여 정규화 된 1년의 각 일에 대한 누적 사용전력량을 이용하여 작성하였다. 식(1)은 하루하루 누적된 사용전력량 값을 표현하였고 식(2)는 누적 사용전력량과 1년(365일)동안 누적된 사용전력량 값과의 비를 나타내었다.

$$\bar{E}_{acc}(r, d) = \sum_{i=1}^d \bar{E}(r, i) \quad (1)$$

$$\bar{N}_{acc}(r, d) = \frac{\bar{E}_{acc}(r, d)}{\bar{E}_{acc}(r, 365)} \quad (2)$$

여기서,

r : 주택지역(residential area)

d : (1일 ≤ d ≤ 365일)

$\bar{E}(r, i)$: i일 주택지역 표본 주상 변압기의 평균 사용전력량

$\bar{E}_{acc}(r, d)$: 1일부터 d일까지 주택지역 표본 주상 변압기의 누적된 평균 사용전력량

$\bar{N}_{acc}(r, d)$: 정규화 된 1년의 각 일에 대한 누적 사용전력량

식(2)를 이용하여 주택지역 표본 주상 변압기의 NLRE 곡선을 구현하였다. 그림 2는 주택지역 수용가를 위한 년 중 각 일의 정규화 된 누적 사용전력량을 표현한 NLRE 곡선이다.

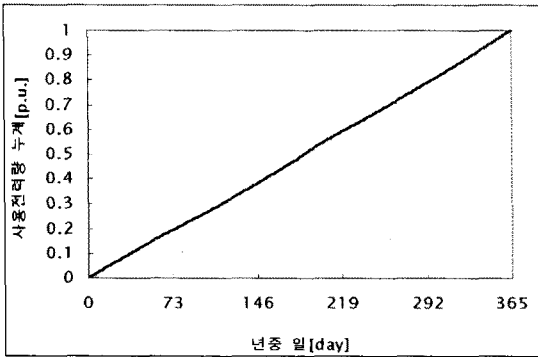


그림 2. 주택지역 수용가를 위한 정규화 된 누적 사용전력량을 표현한 NLRE curve

2.1.2 NLRE 알고리즘 분석

본 논문에서 제안한 사용전력량 추정 방법은 NLRE 곡선을 이용하여 추정계수를 구하고 이 추정계수와 기간이 다른 수용가의 사용전력량 값을 이용한 NLRE 알고리즘으로 한 달(1~30,31)의 사용전력량을 추정하였다. 식(3)과(4)는 추정계수 F1과 F2를 표현하였다.

$$F1 = \frac{[\bar{N}_{(b)} - \bar{N}_{(s)}]}{[\bar{N}_{(b)} - \bar{N}_{(a)}]} \quad (3)$$

$$F2 = \frac{[\bar{N}_{(f)} - \bar{N}_{(b)}]}{[\bar{N}_{(c)} - \bar{N}_{(b)}]} \quad (4)$$

여기서,

s : 어떠한 달의 1일

f : 어떠한 달의 마지막일 30일, 31일

a ≤ s ≤ b ≤ f ≤ c

추정계수 F1은 a~b까지의 정규화 된 누적 사용전력량에 대한 b~s까지의 정규화 된 누적 사용전력량의 비가 되고 F2는 b~c까지의 정규화 된 누적 사용전력량에 대한 b~f까지의 정규화 된 누적 사용전력량의 비가 된다. 즉 s~b까지와 b~f까지의 누적 사용전력량의 증분 비를 의미한다. NLRE 알고리즘 계산은 수용가의 전기요금에 대한 사용전력량 값과 누적 사용전력량에 의한 NLRE curve에 기초를 두고 있다. 주상 변압기 사용전력량 추정에 관한 모델은 식(5)에 나타내었다.

$$E_e(r, m) = F1 \times E_{ms}(r, m, d_m) + F2 \times E_{ms}(r, m+1, d_{m+1}) \quad (5)$$

여기서,

r : 주택지역(residential area)

m : 월(month)

d_m : 월에 대한 사용전력량 측정일

E_e : 추정된 한달 사용전력량

E_{ms} : 전기요금에 대한 한 달 측정 사용전력량

2.2 최대부하 추정 모델

주상 변압기 부하관리에 있어 최대부하 추정은 중요한 역할을 차지하고 있다. 본 논문에서는 최대부하 추정 시 회귀식의 정확도를 측정하는 척도로서 표본 결정계수(적합도, r²)가 높은 2차 회귀식을 이용하였다[4,5,6]. 또한 NLRE 알고리즘으로 추정된 사용전력량 값을 회귀식의 함수로 이용하였다. 식(6)은 최대부하 추정을 위한 부하 회귀식을 표현하였다.

$$\hat{I} = a_0 + a_1 E_e + a_2 E_e^2 \quad (6)$$

여기서,

\hat{I} : 최대부하[A]

E_e : 추정된 한달 사용전력량(kWh)

a₀, a₁, a₂ : 부하 회귀식의 계수

2.3 사례연구

본 논문에서는 주택지역의 주상 변압기를 선정하여 사례연구에 사용하였다. 부하관리기에서의 실측한 사용전력량, NLRE 알고리즘으로 추정한 사용전력량과 취득일이 다른 수용가의 전기요금에 대한 사용전력량을 비교하여 서로간의 오차를 알아보았다. 식(7)은 오차를 구하는 식이다.

$$\varepsilon_i = \left| \frac{I_i - \hat{I}_i}{I_i} \right| \times 100 \quad (7)$$

여기서,

i : 표본 주상 변압기

ε : 오차(%)

I_i : 실제 최대부하[A]

\hat{I}_i : 추정 최대부하[A]

또한 추정된 사용전력량으로 최대부하를 추정하여 기존의 전기요금에 대한 사용전력량을 이용한 최대부하 추정과 비교하였다. 사례연구에 사용된 데이터는 정확성과 신뢰도를 높이기 위해 부하관리기에서 취득된 실측데이터(1999~2000년)와 주택지역 수용가들의 정보데이터(1998~1999년)를 사용하였다.

표 1은 주택지역 표본 주상 변압기의 3월부터 10월까지 부하관리기에서 취득된 실측 사용전력량 값과 각 수용가에 전기요금이 청구되는 사용전력량 값의 합 그리고 NLRE 곡선을 통한 추정계수와 청구되는 전기요금에 대한 사용전력량 값을 NLRE 알고리즘에 적용한 추정된 사용전력량 값과의 비교를 나타내었다.

표 1. 주택지역 표본 주상 변압기1의 매월 실측값, 전기요금에 대한 측정값, 추정된 값

월	취득일	실측 kWh	전기요금 kWh	추정 kWh	전기요금 오차%	추정 오차%
3월	5.11 일	16430	18577	18343	13.068	11.643
4월		14199	18683	16310	31.58	14.87
5월		16184	16782	16781	3.695	3.6894
6월		16711	17296	15924	3.5007	4.7119
7월		18502	16714	17205	9.6638	7.0095
8월		18906	17617	18624	6.8179	1.4916
9월		16586	18626	17281	12.3	4.1903

추정된 사용전력량을 가지고 하절기 최대부하를 추정하였다. 표2는 주택지역의 주상 변압기의 전기요금에 대한 사용전력량과 추정된 사용전력량의 최대부하 추정값의 비교를 나타내었다.

표 2. 전기요금에 대한 사용전력량과 추정 사용전력량의 최대부하 추정값

변대주 번호	실측한 하절기 최대부 하[A]	사용전력 량 취득일	전기요금kWh		추정kWh	
			최대부 하추정 [A]	오차 [%]	최대부 하추정 [A]	오차 [%]
9822D54 11	315	5.17.22 일	300.1	4.725	334.6	6.241
9822D45 11	249	17일	182.4	26.711	188.6	24.248
9822D43 21	593	5.11일	454.3	23.381	531.7	10.336
9721C85 41	732	3.21일	642.2	12.255	642.9	12.159
9721B88 21	261	7.10.13 일	247.3	5.239	259.3	0.616
9721B10 11	651	11일	471.1	27.628	548.7	15.704
9822D63 11	543	5일	436.7	19.562	469.8	13.471
9721C63 21	402	21일	362.1	9.914	384.7	4.280

3. 결 론

본 논문에서는 주상 변압기 부하관리에 필요한 최대부하 추정을 위해서 사용전력량 추정방법을 제안하였다. 주상 변압기의 정규화 된 각 일에 대한 누적 사용전력량으로 사용전력량 추정 위한 주택지역 NLRE curve를 구현하였다. NLRE curve를 이용하여 추정 시 필요한 추정계수와 NLRE 추정 알고리즘을 사용하여 한달(1~30.31)의 사용전력량을 추정하였다. 제안한 방법에 의한 사용전력량 추정의 결과로써 동일 달의 실측 사용전력량과 서로 다른 기간에 측정된 전기 요금에 대한 사용전력량의 오차를 줄일 수 있었다. 이 추정된 사용전력량 값을 이용하여 최대 부하 추정을 위한 회귀식의 함수로 사용하여 각기 다른 기간의 전기요금에 대한 사용전력량 값 보다 최대부하 오차 값을 줄일 수 있었다.

(참 고 문 헌)

- [1] T. Haida, S. Muto, "Regression based peak load forecasting using a transformation technique," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 9, no. 4, pp. 1788-1794, November 1994.
- [2] A. Sargent, R. Broadwater, J. Thompson, and J. Nazarko, "Estimation of diversity and kWh-to-peak-kW factors from load research data," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 9, no. 3, pp. 1450-1456, August 1994.
- [3] R. P. Broadwater et al., "Estimating substation peaks from load research data," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 12, no. 1, pp. 451-456, January 1997.
- [4] 김재철 외, "주상 변압기 부하 상관식 조정에 관한 실증 연구," *한국 조명·전기설비학회 논문집*, vol. 14, no. 1, pp. 102-108, 2000년 1월.
- [5] 한국전력공사전력연구원, *주상 변압기 부하관리 개선에 관한 연구*(TR.96ES15), 한국전력공사, 1998년 8월
- [6] A. D. Papalexopoulos, T. C. Hesterberg, "A regression-based approach to short-term system load forecasting," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 5, no. 4, pp. 1535-1547, November 1990.