

주상변압기 최대부하 추정을 위한 수용가 사용전력량 예측

박창호, 조성수, 김재철, 김두봉, 윤상윤, 이동준

Working Electrical Energy Forecasting for Peak Load Estimation of Distribution Transformer

Park Chang-ho*, Cho Seong-soo*, Kim Du-bong**, Yun sang-yun**, Lee Dong-jun**, Kim Jae-c
*Korea Electric Power Research Institute, **Dept. of Elec. Eng., Soongsil. Univ.

Abstract - This paper describes the peak load forecasting technique of distribution transformers with correlation equation. While customers are demanding safe energy supply, conventional correlation equation that is used for load management of distribution transformers in domestic has some problems.

To get accurate correlation equation, se correlation equation were examined using new collected using the measuring instrument dev for this study. It was recognized that the qua equation was the most accurate for peak forecasting from working electrical energy.

2. 상관식

주상변압기의 최대부하를 정확하게 예측하기 위해서는 첫째 정확한 자료의 수집이 필수 조건이고, 둘째, 좀더 정확한 부하상관계수의 산정이 이루어져야 한다. 변압기로부터 정확한 자료의 수집과 현재사용중인 상관식보다 좀더 정확한 상관식을 얻기 위하여 적산적력량과 적산기간의 최대부하전류 및 발생시간을 동시에 측정하여 부하의 상관계수를 실측할 수 있는 주상변압기 부하관리기를 이용하여 정확한 데이터를 분석하였다. 이를 위한 임의의 데이터에 대한 상관식을 찾는 방법은 데이터의 관측치에 함수를 적합시키는 것으로 현재 부하관리에 이용되고 있는 상관식은 단순한 1차식의 함수를 사용하고 있다. 이에 대한 일반적인 수학적 표현은 다음과 같다.

1. 서 론

최근의 전력계통은 전력수요의 증가와 더불어 수용가로부터의 서비스 향상에 대한 요구가 증대되고 있으며 도시의 과밀화 현상 및 전력소비 경향의 급속한 증가로 과부하에 의한 변압기 소손 사고 역시 증가하고 있는 실정이다. 이에 따라 수용가측에 대한 서비스향상 및 과부하에 의한 변압기 소손 사고 방지를 위해 부하관리문제가 크게 대두되었으며 이를 위해서는 변압기에서 공급하는 부하의 크기를 정확히 파악하여야 한다. 그러나 배전 시스템에 있어서의 말단에 위치한 일반저압 수용가의 전원은 주로 소용량의 주상변압기를 통하여 공급되고 있으며, 그 수량이 전국에 약 100만 여대가 산재해 있어 현실적으로 부하관리 및 최대부하 추정이 어려운 실정이다 [1-3].

$$y_i(x_i) = a_0 + a_1x_i + e_i \tag{1}$$

여기서, a_0 는 절편, a_1 은 기울기, e_i 는 관측치와 상관식의 오차이다.

본 논문에서는 사용한 데이터 중 일부 실험오차가 존재한다고 가정하고 실험오차에 해당하는 부분을 삭제하여 가장 적합한 회귀식을 구하였다. 먼저, 각 회귀식과 회귀식에 따른 분산값을 이용하여 표준 정규분포로 데이터를 형성하였다. 이때 데이터의 정규분포분석에 사용된 일반식을 아래 식(2)에 나타내었다. 정규분포식에 의해서 신뢰도 범위 95% 이상인 $\pm 3\sigma$ 를 벗어나는 데이터를 조사해서 이를 제거한 후 나머지 데이터들을 가지고 부하상관계수를 산출하였다[6].

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \tag{2}$$

여기서, Z : 표준정규 분포, X : 입력 값
 μ : 평균값, σ : 표준편차

또한, 식 (1)과 같은 단순한 1차식의 함수 외에 비선형 함수인 2차함수, 지수함수, 로그함수, x누승함수를 적합도를 통해서 비교 검토하였다. 또한, 예측된 상관식이 어느 정도의 설득력을 갖는가를 가장 잘 나타내주는 표준결정계수의 값을 검토하기 위해서 아래의 식 (3)을 이용하였다[6].

$$r^2 = \frac{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \tag{3}$$

여기서, r^2 : 결정계수, \hat{y}_i : 추정값, \bar{y} : 평균값 ($0 \leq r^2 \leq 1$)

현재 국내의 주상변압기 부하추정 방식은 수용가의 월간 사용전력량[kWh]을 집계하여 1차식의 부하상관계수에 의해 최대부하를 추정하는 방법을 사용하고 있으며, 이 방법은 최대부하를 추정하기 위해 하절기와 동절기의 전기사용요금을 이용해서 최대사용전력을 추정한 다음 최대부하를 예측하고 있으므로 데이터의 신뢰성과 예측결과의 정확성이 문제가 되고 있다. 또한 이용된 데이터의 취득시기가 오래되어 급변하는 부하증가에 대한 현실적 경향을 찾기가 어려운 실정이다[1-3].

따라서 본 논문에서는 정확한 부하상관식을 도출하여 최대부하추정의 정확성을 향상시키기 위해 수용가 특성을 고려하여 부하관리장치를 설치한 후 사용전력량과 최대사용전력 데이터를 취득하였다[3-5]. 이를 이용하여 수용가 특성별로 최대부하추정을 위한 상관식을 추정하기 위해 분산장을 이용하여 에러를 최소화하고 다양한 회귀식을 적용하여 가장 적합도가 높은 회귀식을 산정하였다. 또한 최대부하를 추정하기 위해서 수용가 특성중 주택가 중형의 96년 1월~98년 2월 사이의 전기사용요금을 이용하여 하절기의 사용전력량을 예측하였다.

사용전력량의 예측에는 윈터의 3모수 지수평활법을 이용하였으며, 이를 실측된 데이터와 비교를 통해 검증하였다.

그림 1은 1998년 2월의 데이터 중 각 함수별로 회귀모형을 나타낸 것이다. 그림 1에서 보듯이 $\pm 3\sigma$ 를 벗어나는 데이터를 제거함으로써 상관정도를 높일 수 있었다.

표 1은 식(2)의 분산창을 적용한 후 상관계수를 산출한 '98년도 2월의 상관계수를 나타낸 것이다. 표 1의 결과로부터 주책가 중형의 최대사용전력과 사용전력량 사이의 부하상관계수를 위한 모델은 적합도를 고려한 결과 기존에 사용하던 방식인 1차함수 보다는 2차함수가 더 적합함을 알 수 있었다.

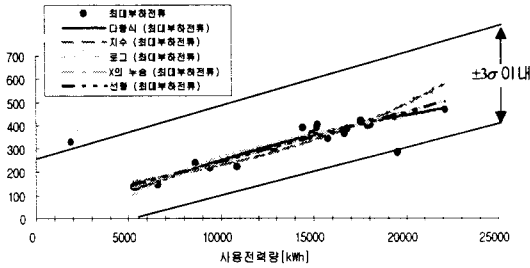


그림 1. 분산창을 적용한 후 산정된 회귀모형

표1. 함수모델에 따른 상관계수

	1차함수 Y=ax+b	2차함수 Y=ax ² +bx+c	X축함수 Y=bx ^c	로그함수 Y=bLog(x)+c	지수함수 Y=be ^{cx}
a	0.0213	-5*10 ⁻⁷	-	-	-
b	31.53	0.0349	0.047	250.86	106.15
c	-	-47.134	0.9279	-2048.3	8*10 ⁻⁷
R ² (적합도)	92[%]	94[%]	93[%]	92[%]	89[%]

3. 최대부하예측방법

최대부하를 예측하는 방법은 최대사용전력에 의해 최대부하를 예측하는 방법과 사용전력량예측에 의한 최대부하를 추정하는 방법 두 가지가 있다.

3.1 최대사용전력에 의한 최대부하예측 방법

현행 한국전력에서 사용하는 변압기부하예측 방법은 사용전력량을 부하상관계수값에 의해서 최대전류를 추정 한 후 부하용량을 계산하며, 이를 다시 부하증가율을 고려하여 최대부하를 예측하는 기법을 이용하고 있는데, 현재 사용하고있는 부하상관계수는 89년도에 산출한 상관계수이며, 부하의 예측은 연중 최대부하가 발생하는 하절기와 동절기의 양절기로 나누어서 예측하고 있다 [1-5]. 먼저 부하용량계산은 아래의 식과 같다.

부하용량 및 부하증가율 계산

$$kW_{Lamp,i} = V \times I_i \times 10^{-3} \quad (4)$$

$$kW_{Lamp-c,i} = \frac{kW_{Lamp,i}}{N_{Lamp,i}} \quad (5)$$

$$R = 1 + \frac{1}{3} \left(\frac{kW_{Lamp-c,2}}{kW_{Lamp-c,0}} - 1 \right) + \frac{2}{3} \left(\frac{kW_{Lamp-c,4}}{kW_{Lamp-c,2}} - 1 \right) \quad (6)$$

여기서, kW_{Lamp,i} : 주상변압기의 전등 부하[kVA]
 kW_{Lamp-c,i} : 주상변압기의 호당 전등부하
 N_{Lamp,i} : 주상변압기 수용호수
 I_i : 변압기의 전등전류[A]
 V : 115[V]
 R : 부하증가율

식 (4)~(6)의 i는 현재를 기준으로 해서 6개월 전후의 시기이며, 예를 들어 i=0은 4기전, i=4는 당기, i=6은 2

기후를 나타낸다.

부하예측

$$kW_{Lamp,6} = kW_{Lamp,4} \times R \quad (7)$$

$$kW_{Lamp,5} = kW_{Lamp,4} \times R'^2 \times \frac{N_{Lamp,4}}{N_{Lamp,3}} \quad (8)$$

$$\text{여기서, } R' = 1 + \frac{1}{3} \left(\frac{kW_{Lamp,4}}{kW_{Lamp,3}} - 1 \right)$$

위의 식 (4) ~ (8)을 이용해서 현행부하관리를 위해 최대부하전류를 예측하고있지만, 부하상관계수가 정확하지 않고 또한, 부하증가율이 적절하지 못할 경우 점점 큰 오차를 가지게된다. 현재 사용되고 있는 부하증가율은 단순한 통계적인 기법을 이용하고 있으므로 이를 적절하게 보상하기 위해서는 당기, 1기전, 2기전 등의 부하추세를 회귀식 등에 의한 방법과 온도, 불쾌지수 등을 고려한 다변량분석법 또는 경제지수, 사회지표, 연간 부하증가율 등을 고려해서 예측하고자 하는 변수의 설명정도를 높일 수 있는 기법을 적용해야 한다. 그러나 이들 방법을 사용하기에는 데이터의 양이 적기 때문에 위에서 설명한 예측기법을 사용하기에는 어려운 점이 많다.

3.2 사용전력량에 의한 최대부하추정방법

사용전력량에 의한 방법은 관심 있는 월의 사용전력량을 예측한 후 미리 구한 부하상관식에 의해 최대부하를 추정하는 기법이다. 이 방법은 수용가의 월별 사용전력량을 수집할 수 있기 때문에 부하추정에 의한 방법보다 많은 데이터의 양으로 시계열 예측법, 뉴럴네트워크, 온도나 불쾌지수 등을 고려하는 방법인 다변량분석법 등의 예측법을 이용하기에 적합하다. 그러나 동력부하는 전등 부하에 비해 그 부하형태는 수용성질에 따라 다양성을 띠고 있기 때문에 등·동 공용변압기의 경우 이 방법을 통한 최대부하추정은 상당한 편차가 발생하는 문제점을 가지고 있어 이를 보완하는 연구를 계속해서 진행하여야 하며 본 논문에서는 전등부하만을 대상으로 하여 사용전력량에 의한 최대부하추정을 사례연구로 들었다.

또한, 본 논문에서는 사례연구에 앞서 여러 가지 예측 기법 중 가장 일반적이며 부하의 특성과 외부의 요소를 표현하기에 편리한 예측기법을 두 가지 소개하고자 한다.

평활화 시계열법

과거의 데이터를 평활화 시킴으로써 예측하는 기법으로

$$y_{t+1}(x_t) = \alpha x_t + (1-\alpha)y_t(x_t) \quad (9)$$

여기서, α: 평활화 계수

평활화 계수 α와 최근의 관측치에 의해서 사용전력량을 예측할 수 있다. 기법이 단순하고 예측효율이 높은 반면 예측의 정확도를 높일 수 있는 α를 어떻게 산정해야 될 것인가 하는 단점이 있다[6-7].

다중회귀모델

부하에 영향을 미치는 정보를 나타내는 비부하 설명변수를 이용하여 부하를 나타낸다[6-7].

$$y_t(x_t) = F(x_t) + \varepsilon_t \quad (11)$$

여기서, x_t : 설명변수로서, 사회경제활동지표, 산업활동, 인구성장률, 수용가수, 전기요금, 가전제품, 온도, 습도 등.

$F(x_t)$: 추정된 모수에 대해 선형인 선형다중회귀식

4. 사례연구 결과

일반적으로 주상변압기의 최대부하하는 하절기에 나타나기 때문에 하절기가 되기 전에 변압기에 걸리는 최대부하를 추정하고 하절기가 시작되기 전인 6월까지 주상변압기를 보수 및 교체를 해야한다. 이를 위해서는 4월까지의 사용전력량을 가지고 8, 9월의 최대부하를 추정해야 한다. 본 논문에서는 이를 위해서 3월의 사용전력량을 가지고 8월의 사용전력량을 예측한 후 이를 다시 부하상관계수에 적용시킴으로써 최대부하를 추정하는 기법을 이용하였으며, 최대부하를 추정하기 위해 사용한 알고리즘을 그림 2에 나타내었다. 이를 위해서 앞서 언급한 예측기법 중 평활화기법을 사용하였는데, 이를 위해서 사용전력량을 예측하는데 예측기법은 부하형태의 특성상 계절적인 요인과 연중 증감추세를 보이므로 이를 고려하기 위해서 시계열 예측방법인 윈터의 3모수 지수평활법[7]을 이용하였으며, 여기서 사용된 식 (11)을 이용한 결과를 그림 3과 표 2에 나타내었다.

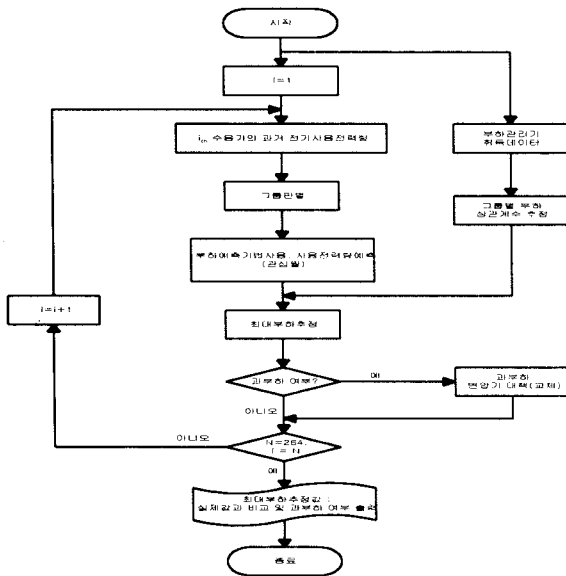


그림 2. 최대부하추정 순서도

$$Y_{t+1} = (S_t + b_t)I_{t-L+1} + e_t \quad (11)$$

여기서, S_t = 기간 t 에서의 비계절성분을 갖는 계절

b_t = 기간 t 에서의 추세

I_{t-L+1} = 기간 $t+1$ 동안의 계절지수

e_t = 기간 t 에서의 오차

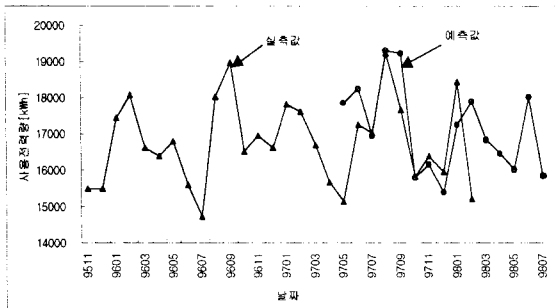


그림 3. 윈터의 3모수 지수평활법에 의한 사용전력량예측값과 실측값

표2. 부하관리기 실측 데이터 (97년 9월~98년 4월, 주택가중형)

취득일	부하관리기 실측데이터		사용전력량에 의한방법	
	사 용 전력량	최대 부하	사 용 전력량	최대 부하
97. 9	17724	370	19241	439
97.10	18806	383	15785	379
97.11	16507	368	16154	386
97.12	15162	361	15377	371
98. 1	18277	395	17249	406
98. 2	16664	364	17903	417
98. 3	18269	367	16838	398
98. 4	16760	347	16471	392

5. 결론

본 논문에서는 수용가의 전력소비량으로부터 주상변압기의 월간 전력공급량을 계산하고 이 사용전력량과 최대 사용전력과의 상관관계를 추정하였다.

이를 위해서 데이터 중에 오차가 있음을 가정하고 이 오차를 $\pm 3\sigma$ 를 벗어나는 값을 제거한 후, 최대사용전력과 사용전력량의 상관식을 기존의 1차식이 아닌 여러 비선형 함수와 비교하여 최적의 상관식을 구하였다.

또한 윈터의 3모수 지수평활법을 이용하여 월별 사용전력량의 자료를 통해서 시계열 방식으로 사용전력량을 예측한 후 부하상관식에 의해 최대부하를 추정하였다.

부하관리를 위한 예측기법은 이뿐만 아니라 여러 가지가 있는데 앞으로 더욱 정확하고 신뢰성 있는 예측을 위해서는 최대부하발생을 설명할 수 있는 여러 가지 설명변수들을 고려해야 할 것으로 사료된다. 부하 변동에 민감한 계절적인 설명변수로는 기온이나 불쾌지수, 또한 수용가 호수의 증가에 따른 부하증가를, 경제, 사회 지표 등을 고려할 경우 최대부하 추정에 한층 용이 할 것으로 보고 있으며[8], 앞의 사례연구에 이들의 변수들을 추가하여 예측하는 기법들을 연구 중에 있다. 그러나 위의 방법은 전동부하에는 상당한 상관성을 가지고 있지만 동력부하는 수용특성에 따라 다양하므로 편차가 상당히 클 것으로 보기 때문에 이를 보완할 수 있는 기법에 대한 연구 또한 현재 계속 진행 중에 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] 정동원 외, 주상변압기 부하계산 상관관계수 산정에 관한 연구, 한국전력공사 기술연구원, KRC-87D-J03, 1989년 11월.
- [2] 박창호 외, 주상변압기 부하관리개선에 관한 연구(중간보고서), 한국전력연구원, TM.96ES15.M.1998.27, 1998년 1월.
- [3] 배전 실무 교육교재, 한국전력공사 배전처, 1997년 3월.
- [4] 김재철 외, "사용전력량에 의한 주상변압기의 최대 부하예측", 한국조명·전기설비학회 추계학술대회논문집, pp. 101-103, 1996년 11월.
- [5] 김재철 외, "배전시스템의 수용가 특성별 부하관리 방안에 관한 연구", 대한전기학회 춘계학술대회논문집, pp. 207 - 210, 1998년 5월.
- [6] N. R. Draper et al, Applied regression Analysis, Wiley, 1981.
- [7] Stephen DeLurgio et al, Forecasting Systems for Operations Management, Business One Irwin, pp. 311~353, 1991.
- [8] Yoshinori Minato, et al, "Development of a Forecasting Method of a Region's Electric Power Demand (2) - Forecasting kWh requirements and Maximum Load", JEE, Vol. 116, No. 6, pp. 639~647, 1996.