

부하관리 개선을 위한 부하 상관계수 산정에 관한 연구

박창호*, 조성수*, 김기현**, 임진순**, 김두봉**, 김재철**

Adjustment of load correlation coefficient for advanced load management

Park Chang-ho*, Cho Seong-soo*, Kim Gi-Hyun**, Im Jin-Soon**, Kim Du-bong**, Kim Jae-ch
*Korea Electric Power Research Institute, **Dept. of Elec. Eng., Soongsil. Univ.

Abstract - This paper studies on arrangement of load correlation coefficient for advanced load management. To accurate load correlation coefficient, we used two real factors, electrical energy(kWh) and peak load current of pole transformers, acquired by measuring instrument. Out of several correlation equations, we find that the quadratic equation is the most accurate to express peak load current and working electrical energy. If the data is located in the outside of $\pm 3\sigma$, it is discarded. For load management, we rearranged load correlation coefficient considering $+2\sigma$ at load correlation equation. Comparing conventional load correlation coefficient with rearranged one, we can get the result of error reduced and it is adjacent to the actual data. It will be used peak load forecasting from working electrical energy and we are able to prevent from the damaging of pole transformer due to overload.

1. 서 론

산업의 규모가 작고 전기 기기의 사용이 많지 않은 과거에는 전력 소비 패턴이 계절 변화, 온도 증감, 평일, 휴일, 월별에 큰 변화 없이 일정한 경향을 보이고 있었다. 그러나 근래에 들어와서 사회 환경이 도시뿐만 아니라 농어촌도 크게 발달함에 따라 전력 수용가에서 냉, 난방 기기 등과 같은 전기 기기의 사용이 급증하고 있어 이에 따른 전력 사용량이 크게 증가하고 있으며, 전력 소비 패턴 또한 과거에 비하여 다양해져 가고있다. 산업 구조의 고도화에 따른 양질의 전력에너지에 대한 수용가측의 요구와 전력사고를 미연에 방지하기 위해 전력 수요 예측의 정확성 및 신뢰성이 크게 요구되고 있다. 전력 수요의 정확한 예측을 위한 수용가의 사용전력량과 최대 부하전류 사이의 부하 상관계수 산정이 우선적으로 선행되어야만 한다. 그러나 현 부하관리에 적용되고 있는 부하 상관계수는 이미 10여 년 전에 작성한 상관식이고, 또한 전력 사용 용량의 증가와 전력 사용 패턴이 다양화됨에 따라 부하상관계수의 재 산정이 필요하게 되었다[1-6].

본 논문에서는 부하관리를 위하여 주상 변압기 월별 사용전력량을 예측하고 최대부하를 추정하기 위한 선행 작업으로 사용전력량과 최대 부하전류사이의 상관 계수를 산정 하였다. 산정시 사용된 데이터의 신뢰성을 갖기 위하여 전국에 설치 되어있는 110만대의 주상변압기 중 표본으로 선정된 264개에 부하관리기를 설치하여 온-라인으로 수용가에서 사용하는 전력량과 전압, 전류, 역률을 10분 단위로 취득한 데이터를 데이터 베이스화 함으로서 상관식 작성 시 사용하였다. 작성된 상관식은 사용 전력량 예측과 최대부하 추정에 활용되어 하절기 과부하

로부터 주상변압기 소손을 미연에 방지하는데 사용 할 것이다.

2. 본 론

2.1 기존 부하관리 현황

일반적으로 부하의 크기는 계절, 기후, 시간에 따라 현저한 차이가 있으며, 소요 전력이 동일한 기기라 할지라도 수용가 사용 방법 등에 따라 다르기에 전력공급의 가장 말단에 위치한 주상변압기의 부하관리는 여러 면에서 어렵고, 복잡한 특성을 가지고 있다.

현재 한전에서 전산 시스템에 적용하고 있는 부하상관계수는 전국에 산재해 있는 주상변압기를 일괄적으로 관리하기 위해서 수용가 특성별로 변화가, 주택가, 농어촌을 용량별로 구분한 후, 사용전력량과 최대부하전류의 상관식을 1차함수로 산정하였다. 1차함수에 대한 상관식을 식 (1)에 나타냈다.

$$I = A \cdot X + B \quad (1)$$

여기서, I : 최대부하 전류 [A]
A, B : 부하상관계수
X : 사용전력량 [kWh]

식 (1)에 의해서 구한 부하 상관계수는 부하특성에 따른 용량별로 산출하였다. 표 1의 하절기 부하상관계수는 현재 부하관리 시 사용되고 있는 실제 자료이다[1-3]. 사용전력량이 크게 증가된 상황에서 표 1은 사용전력량의 재 구분과 그에 따른 상관계수 재 산정의 필요성을 보이고 있다.

표 1. 하절기 기존 부하상관계수

지역	I = A · X + B		
	X : 사용전력량 [kWh]	A	B
주택가	1000 이하	0.1010	0
	1001~7500	0.0422	59
	7500 초과	0.0166	0
변화가	2000 이하	0.0680	0
	2001~10000	0.0438	48
	10000 초과	0.0197	287
농어촌	500 이하	0.1199	0
	500 초과	0.0339	43

2.2 부하관리 개선 방안

2.2.1 수용가 특성에 따른 부하관리기 설치

주상 변압기의 사용전력량과 최대 부하전류사이의 데이터 선정에 신뢰성 확보를 위해 본 논문에서는 모집단인 110만 여대에 달하는 주상변압기의 특성을 대변할 수 있도록 서울, 충남지역의 11개 지점의 표본 주상변압기

를 선정하였다. 선정방법은 변화가 고·중·저밀도 각 24개소, 주택가 대·중·소 각 24개소, 농어촌 농사용·주거용 각 24개소, 100[%]부하 임시, 심야, 가로등 각 24개소로 세분화하여 총 264개의 변압기를 선정하였다.

모집단의 특성을 나타내는 최소 표본 주상변압기 수의 결정은 식 (2)를 이용하였다[5]. 표본산출을 위한 추정 오차는 20[%]이며 신뢰범위 95[%]에 대한 상수 값은 1.96이다[5-7].

$$N = 1/4 \left[\frac{Z_a}{d} \right]^2 = 1/4 \left[\frac{1.96}{0.2} \right]^2 = 24 \quad (2)$$

여기서, N : 표본의 크기

d : 추정오차(20[%])

Z_a : 신뢰범위에 대응한 상수값

(신뢰범위 95[%] → 1.96)

표본 변대는 220[V] 단상 2선식과 220/110[V] 단상 3선식 변대중 전동부하만을 대상으로 선정하였다. 그리고 농어촌과 100[%] 부하는 단상 2선식이 각각 95[%], 78[%], 변화가와 주택가는 단상 3선식이 각각 93[%], 92[%] 비율로 나타났다. 취득한 실측 전압이 다르기에 기준 전압을 115[V]로 선정하여 환산전류 값을 사용하였다[6].

단상 3선식 주상변압기의 데이터를 취득하기 위한 구성도를 그림 1에 나타내었으며, 설치된 부하관리기를 통해 10분 단위로 취득된 데이터의 레코드 내역인 전압, 전류, 역률, 전력량, 변압기 온도, 정전여부를 기록하게 되어있다.

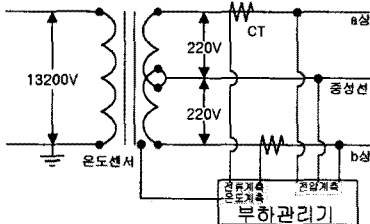
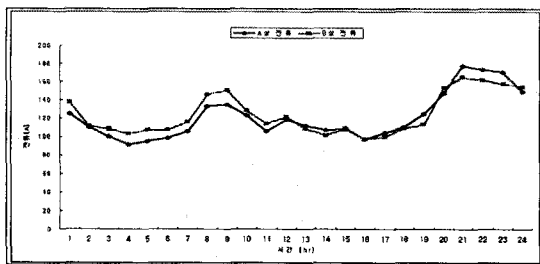
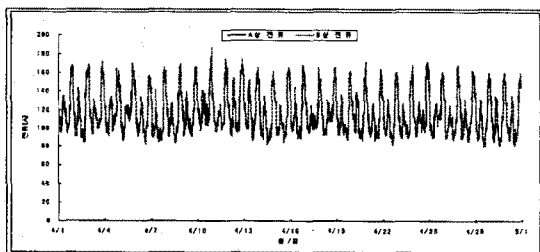


그림 1. 부하관리기 구성도

그림 2는 99년 4월 주택가 중형의 주상변압기 중 한 대에서 10분 단위로 취득된 일 부하와 월간 부하 곡선을 표시한 그림이다.



(a) 일 부하 곡선



(b) 월 부하 곡선

그림 2. 주택가 주상 변압기 부하 패턴 곡선

2.2.2 부하 상관관계수 계산법

본 논문에서는 취득한 데이터 중 일부에 실험 오차가 존재한다고 가정하고 모집단의 전체 특성을 잘 나타내기 위하여, 그림 3에서 보이는 것과 같이 정규분포곡선에서 신뢰도 범위 99.7[%](±3σ)를 벗어나는 데이터를 조사해서 이를 제거한 후 나머지 데이터들을 가지고 부하 상관식을 산출하였다[7-8].

표준정규분포에 의해서 제거된 데이터들로부터 표본 변압기의 최대전류와 사용 전력량 사이의 부하 상관식을 위한 모델은 기존에 사용하는 1차 함수뿐만 아니라 2차 함수, 지수 함수, 로그 함수, X누승 함수의 비선형 함수 모델을 적용함으로써 가장 적합도가 높은 2차 함수를 부하 상관함수로 선정하였다.

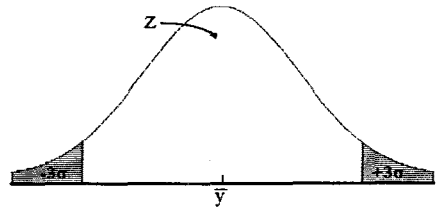
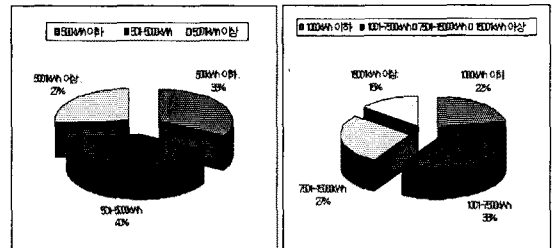


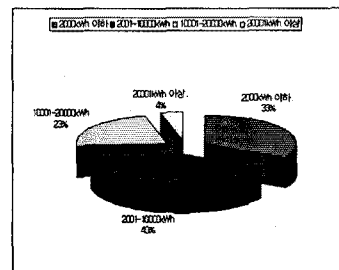
그림 3. 표준정규분포곡선

각각 부하 특성에 따라 사용전력량 구간을 선정하기 위하여 98년 전력연구원 통계 자료를 이용하여 동, 하절기의 사용 전력량과 변대 개소의 비율에 따라 구분하였다. 그림 4는 하절기 변화가, 주택가, 농어촌의 사용전력량에 따른 변대의 비율을 나타낸 그림이다[6].



(a) 농어촌

(b) 주택가



(c) 변화가

그림 4. 하절기 각 특성별 사용전력량에 따른 변압기 갯수 비율[%]

적합도만을 고려한다면 2차 부하 상관함수가 사용전력량과 최대 부하전류 사이의 상관관계를 가장 잘 표현하여 실측값과의 오차를 최소로 하지만, 부하관리 측면에서는 평균적인 값보다는 변압기 소손을 예방하기 위하여 2차 상관함수에 허용 오차 범위를 고려하였다. 표준편차는 식 3에 의하여 산출하였고, 2차 상관함수에 +2σ를 보정하여 부하 상관식을 재 산정하므로 변압기의 사고에 대해 고려할 수 있도록 하였다[7-9].

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - m)^2} \quad (3)$$

여기서, n : Data의 총 개수

x_i : 사용전력량에 대한 최대전류

m : 2차 부하 상관함수에 의한 값

그러나, 사용전력량이 작은 부분과 사용전력량이 큰 부분에는 표본이 적게 선정되었고, 또한 이 구간에서는 2차 부하 상관함수로는 실측치 최대 부하전류와의 오차가 크게 발생하므로 1차 상관함수를 병용하여 산출하였다. 그림 5는 97년 9월 ~ 98년 8월까지 취득한 Data 중 동, 하절기의 Data를 가지고 작성한 부하 상관식 그래프이다.

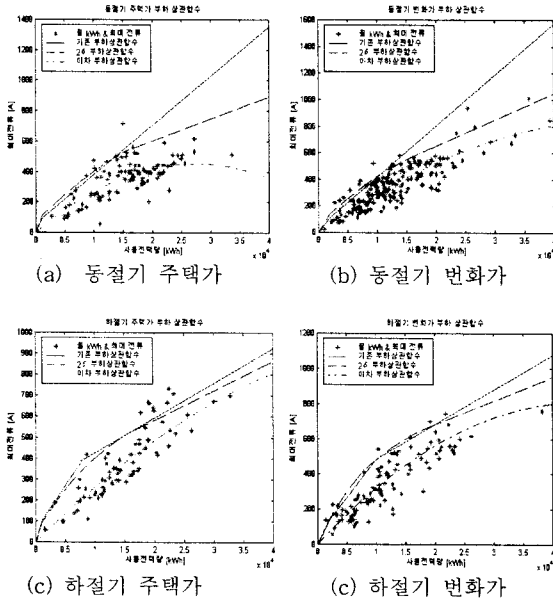


그림 5. 동, 하절기 각 특성별 data와 기존 상관함수, 재 산정된 부하 상관함수

표 2는 각 부하특성에 따른 사용전력량의 구간별로 1, 2차 상관함수를 병용하여 재 산정된 하절기 부하상관 계수 값을 표시한 것이다.

표 2. 하절기 2σ를 고려하여 작성된 부하상관 계수

지역	$I = A \cdot X^2 + B \cdot X + C$			
	X: 사용전력량 [kWh]	A	B	C
주택가	1000 이하	0	0.09	0
	1001 ~ 7500	-1.01723×10^{-6}	0.04634	44.6785
	7501 ~ 15000	-5.3333×10^{-7}	0.03533	100
	15001 초과	0	0.01414	297.8760
변화가	2000 이하	0	0.07	0
	2001 ~ 10000	-2.16667×10^{-6}	0.0685	11.6785
	10001 ~ 20000	-8.0×10^{-7}	0.044	120
	20001 초과	0	0.01351	409.8670
농어촌	500 이하	0	0.14	0
	501 ~ 5000	-3.8889×10^{-6}	0.05917	41.3889
	5001	0	0.02133	133.3300

기존 1차 상관함수에 비하여 재 산정된 상관함수에 의하여 산출된 최대 부하전류의 오차 감소율을 표 3과 같

이 얻을 수가 있었다. 각 상관식에 대한 오차는 식 4에 의하여 구하였다.

$$\text{오차} = \frac{(\text{실측값} - \text{상관식에 의하여 산출된 값})}{\text{실측값}} \times 100[\%] \quad (4)$$

그림 5에서 나타나듯 동절기보다는 하절기의 데이터 분포가 크게 분산되어있다. 이에 따라 하절기의 표준편차 값이 크게 산정되어 기존의 상관식에 비하여 실측값에 대한 오차가 크게 개선되지 않았다. 특히 하절기 농어촌의 표준편차 값이 크게 산출되었다. 이것은 하절기의 전력 사용 패턴이 다양함을 보여주고 있다[9].

표 3. 기존 상관식에 비하여 개선된 오차 비율

계절	지역별 용량	개선된 비율	기존 상관식에 비해 개선된 오차 비율[%]
동절기	농어촌 500[kWh]초과		28
	주택가 1000[kWh]초과		13.2
	변화가 2000[kWh]초과		14.7
하절기	농어촌 500[kWh]초과		-
	주택가 7500[kWh]초과		10.7
	변화가 10000[kWh]초과		1.2

3. 결 론

본 논문에서는 부하 상관식 재 산정을 위하여 부하특성에 따라 부하관리기를 주상변압기에 설치하여 데이터를 취득하였고, 사용전력량 구분은 계절에 따른 사용전력량과 변태 개소 비율에 따라 구분하였다. 부하 상관식은 사용전력량과 최대 부하전류사이의 상관관계를 가장 잘 나타내는 2차 함수를 선정하였고, 그 상관식에 변압기 소손을 고려하기 위하여 +2σ를 보정하여 상관식을 산정하였다. 그러나 표본 데이터로는 부하 특성별로 사용전력량이 작은 부분과 사용전력량이 큰 부분에는 2차 부하 상관함수로는 오차가 크게 나타나기에 이 부분에는 1차 상관함수를 병용하여 상관계수를 재 산정 하였다. 재 산정된 부하상관함수는 기존에 사용하던 1차 상관함수에 의하여 계산된 최대 부하전류보다 전체적으로 최대 부하전류가 감소하였고, 실측값과의 오차도 크게 줄어들었다.

그러나, 이 실측 데이터는 98년도의 국가 경제에 따른 전체 사용전력량이 감소한 상황에서 취득된 데이터므로 계속적인 전력 사용 추이를 보기 위하여, 또한 다양한 전력 수용가의 특징을 고려하기 위하여는 계속적인 데이터 수집이 필요하다.

[참 고 문 헌]

- [1] 정동원 외, 주상변압기 부하계산 상관계수 산정에 관한 연구, 한국전력공사 기술연구원, KRC-87D-J03, 1989년 11월.
- [2] 김재철 외, "사용전력량에 의한 주상변압기의 최대 부하 예측," 한국조명·전기설비학회 추계학술대회논문집, pp. 101-103, 1996년 11월.
- [3] 배전 실무 교육교재, 한국전력공사 배전처, 1997년 3월.
- [4] 김재철 외, "배전시스템의 수용가 특성별 부하관리 방안에 관한 연구," 대한전기학회 춘계학술대회논문집, pp. 207 - 210, 1998년 5월.
- [5] 김재철 외, "주상변압기 최대부하 추정을 위한 수용가 사용전력량 예측," 대한전기학회 하계학술대회논문집, C, pp. 929 - 931, 1998년 7월.
- [6] 박창호 외, 주상변압기 부하관리개선에 관한 연구, 한국전력연구원, TR.96ES15.S.1998.86, 1999년 2월.
- [7] 김우철 외, 개질 현대통계학, 영지문화사, p.149-177, 1983년.
- [8] Draper et.al, Applied regression Analysis, Wiley, 1981
- [9] 유병철 외, 최신통계학, 상호사, p.11-14, 99-135 1997