

호당 수용률 조정을 통한 동력용 배전 변압기 최대부하 예측 개선 방안

박경호*, 김재철*, 이희태*, 윤상윤**, 박창호**, 이영석***
*숭실대학교 전기공학과, **전력연구원, ***전기전자시험연구원

Improvement Method of Peak Load Forecasting for Mortor-use Distribution Transformer by Readjustment of Demand Factor

Kyung-Ho Park*, Jae-Chul Kim*, Hee-Tea Lee*, Sang-Yun Yun**, Chang-Ho Park **, Young-Suk Lee***
*Soongsil Univ. **KEPRI, ***KETI

Abstract - The contracted electric power and the demand factor of customers are used to predict the peak load in distribution transformers. The conventional demand factor was determined more than ten years ago. The contracted electric power and power demand have been increased. Therefore, we need to prepare the novel demand factor that appropriates at present. In this paper, we modify the demand factor to improve the peak load prediction of distribution transformers. To modify the demand factor, we utilize the 169 data acquisition devices for sample distribution transformers in winter, spring summer. And, the peak load currents were measured by the case studies using the actual load data, through which we verified that the proposed demand factors were correct than the conventional factors.

A newly demand factor will be used to predict the peak load of distribution transformers.

1. 서 론

전력부하의 단거리 고밀도 화 경향이 심해짐에 따라 전력설비의 고장으로 인한 수용가 전력 공급의 중단은 전력 신뢰도와 품질 및 막대한 경제적 손실을 야기하고 있다. 그 중에서도 수용가 전력공급의 최 말단 장치인 배전용 변압기의 부하관리는 수용가의 영향과 직결되는 문제이므로 갈수록 그 중요성이 증대되고 있는 실정이다.

배전용변압기의 효율적인 관리를 위해서 국내에서는 수용가를 전등 수용가(lamp-use customer)와 동력 수용가(motor-use customer)로 나누어 관리하고 있다.

배전용변압기의 전등 부하는 사용전력량에 의한 부하추정 방법의 기초가 되는 부하특성을 가지며 수용가 월간 사용전력량(kWh)과 최대부하(kVA)에서 상당한 상관관계를 갖는다. 전등 수용가에 공급하는 배전변압기는 이러한 전력사용량과 최대부하와의 밀접한 상관관계를 갖는 부하의 특성을 이용하여 통계적인 방법으로 관리를 하고 있다. 동력부하의 경우는 부하설비전력(kW) 즉 계약전력과 최대부하(kVA)와의 관계가 비교적 강한 상관성이 있다. 따라서 이러한 부하설비와 최대부하의 특성을 이용함으로써 배전용 변압기의 부하예측이 가능하다. 국내에서도 이러한 부하특성을 이용하여 계약전력과 호당 수용률을 적용함으로써 동력 수용가의 부하예측을 하고 있다. [2]

배전용변압기의 동력 수요가의 최대부하 예측시 사용되고 있는 호당 수용률은 십여년 전 부하상황에서 산정된 계수이므로 현재 부하상황과의 적합성을 판단해 볼 필요가 있다.

본 논문에서는 현재 동력 수용가의 최대부하 예측시 사용되고 있는 호당 수용률을 현재 부하상황을 고려하여

재조정함으로써 최대부하의 예측 정확도를 향상시키고자 하였다.

2. 본 론

2.1 호당 수용률

호당 수용률은 배전용변압기에 연결된 동력수용가에 대해서 그 최대수요전력을 설비정격용량으로 나눈 값을 의미한다.

$$\text{호당 수용률} = \frac{\text{최대수요전력}(kW)}{\text{설비정격용량의합}(kW)} \quad (1)$$

현재 배전용 변압기의 동력 수용가의 최대부하 추정을 위한 호당 수용률은 1호부터 6호 이상까지 여섯 개 호당 수용률로 이루어져 있으며 동력수용가의 호수가 증가함에 따라 0.852부터 0.430까지 감소하는 값을 가진다. 동력 수용가의 최대부하 예측은 다음의 식과 같이 계산하고 있다.

$$I = [(P_1 - P_2) \times K_1 + 2(P_2 - P_3) \times K_2 + 3(P_3 - P_4) \times K_3 + 4(P_4 - P_5) \times K_4 + 5(P_5 - P_6) \times K_5 + [6(P_6) + (P_7 + \dots + P_n)] \times K_6] \times 10^3 \div (V \times \cos \theta) \quad (2)$$

여기서, P_i 는 i 호 수용가의 계약전력이다. 또한 각 수용가의 계약전력의 크기를 순서대로 본다면 $P_1 > P_2 > P_3 > \dots > P_n$ 과 같다. K_i 는 i 호 수용가의 호당 종합 수용률이다.

2.2 현재 호당 수용률의 문제점

과거 수용률 도입 시기의 부하 상황과 동·하계 부하의 변화 및 산업발달로 인한 부하의 크기변화 등 많은 요소가 과거와 다르게 크게 변화하였다. 그러나 호당 수용률은 변함이 없이 사용되고 있다. 현재 사용 중인 호당 수용률의 문제점을 요약하면 다음과 같다.

- 수용률 도입 초기 단계(십여년 전)에 산정된 수용률을 현재 부하상황에도 적용됨
- 계절에 따른 최대부하 차이에도 같은 수용률을 사용함(동계, 하계)
- 수용가의 사용전력량이 반영이 되지 않음
- 수용가의 설비용량의 증분이 계약전력 증분에 바로 따라가지 못함

2.3 수용률 재조정을 위한 부하조사

현 부하 상황에 적합한 호당 수용률을 구하기 위해서는 수용가의 최대수요전력과 설비정격용량의 합을 알아야 한다. 설비정격용량의 합은 수용가의 계약전력 데이터를 이용하여 알 수 있다. 그러나 수용가의 최대수요전력은 현실적인 상황으로는 알 수 있는 방법이 없다. 따라서 수용가에서 최대전력을 사용하는 시간대에 수용가

의 부하를 측정하여 그 측정값과 전압의 곱으로 최대수요전력이라고 가정하였다.

3. 수용률 산정 알고리즘 및 사례분석

3.1 부하조사를 위한 변압기 표본 추출

국내의 주상 변압기 전체 약 122만여대의 변압기 중 3상 4선식 220/380V 변압기가 약 65%를 차지하고 1상 선식 220V 변압기의 설치비율이 전체의 약 22%를 차지한다. 3상 4선식 220/380V 변압기와 1상 선식 220V 변압기는 최근 수년간 급속히 그 비율이 증가되고 있다. 따라서 변압기 결선방식의 기준으로 변압기 표본은 3상 4선식 220/380V 변압기와 1상 선식 220V 변압기에서 추출하였다.

현재 사용 중인 1호에서 6호수용가의 호당 수용률을 고찰하고 6호 이상의 수용률 추이를 알아보고자 하였다. 수용가 호수별 기준으로는 1호 수용가에 연결된 변압기, 2호 수용가에 연결된 변압기, 3호 수용가에 연결된 변압기, 4호 수용가에 연결된 변압기, 5호 수용가에 연결된 변압기, 6호 수용가에 연결된 변압기, 10호 수용가에 연결된 변압기를 표본으로 추출하였다.

지역적인 분포에 대한 표본 추출은 전국 13개 지역에서 표본을 추출하였다. 이러한 기준으로 추출된 표본은 전국 13개 지역의 169대의 변압기이다.

3.2 변압기 표본의 부하 조사

한국전력공사의 13개 지사 직원분들의 도움으로 표본으로 추출된 변압기를 순계, 하계 기간에 수용가의 부하를 측정하여서 각 수용가의 최대수요전력 자료로 이용하였다. 데이터 1회 측정시 한 변압기 당 약 30분 간격으로 2회 측정값을 기록하였고 측정시간은 최대부하를 사용하는 시간 대라고 생각되는 2-5시 사이에 측정을 하였다.

3.3 실측 전류와 계약전력을 이용한 수용률 계산

실측된 각 수용가의 전류(I)와 각 수용가의 계약전력(P) 데이터를 바탕으로 호당 수용률을 계산하였다.

$$\begin{aligned}
 \text{1호 수용가 수용률} \quad k_1 &= \frac{I_1 \times V \times \cos \theta}{P_1 \times 1000} \\
 \text{2호 수용가 수용률} \quad k_2 &= \frac{(I_1 + I_2) \times V \times \cos \theta}{(P_1 + P_2) \times 1000} \\
 &\vdots \\
 \text{i호 수용가 수용률} \quad k_i &= \frac{\sum_{j=1}^i I_j \times V \times \cos \theta}{\sum_{j=1}^i P_j \times 1000} \quad (3)
 \end{aligned}$$

$$\text{i호 수용가 수용률 평균} \quad \bar{K}_i = \frac{\sum_{j=1}^n k_j}{n_i} \quad (4)$$

$$\text{i호 수용률 표준편차} \quad \sigma_i = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (k_j - \bar{K}_i)^2} \quad (5)$$

$$\text{표준편차 평균} \quad \bar{\sigma} = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i}{n_i} \quad (6)$$

$$\text{i호 수용률} \quad K_i = \bar{K}_i + a \bar{\sigma} \quad (7)$$

각 호수별로 실측된 수용가 전류(I)와 수용가의 계약 전력(P)을 이용하여 각 호당 수용가의 수용률을 식(3)과 같이 계산하였다. 각 호수별로 계산된 각각의 수용가 평균

을 식(4)를 이용하여 계산하였다. 평균은 반 이상의 값은 포함하고 있지 않다. 최대 부하 예측시에 사용되는 수용률 임을 고려한다면 평균 이상의 값을 고려해야 한다. 따라서 각 호수별 호당 수용률 평균에 상수(1-2)배의 표준편차평균을 더해 주어서 호당 수용률을 산정하였다.

3.4 산정된 호당 수용률

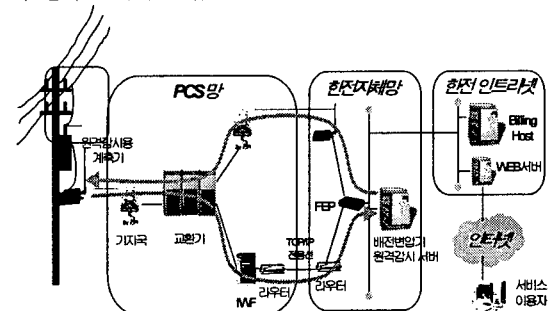
순계와 하계 기간에 실측된 수용가 전류(I)와 수용가의 계약전력(P)으로 식(3)에서 식(7)의 과정을 통하여 호당 수용률을 각각 계산하였다. 순계와 하계기간에 산정된 호당 수용률은 호당수용률 평균에 상수배의 표준편차평균을 더해 주어서 세 가지의 경우의 수용률을 산정하였다. 산정된 호당 수용률은 기존의 수용률 보다 크게 나타났다.

표 1. 순계, 하계에 산정된 호당 수용률

순 계							
	1호	2호	3호	4호	5호	6호	10호
평균	0.663	0.523	0.482	0.403	0.376	0.345	0.313
표준편차	0.137	0.130	0.238	0.194	0.125	0.204	0.146
σ	0.168						
평균+ σ	0.830	0.691	0.649	0.570	0.544	0.513	0.481
평균+1.2 σ	0.864	0.725	0.683	0.604	0.578	0.546	0.514
평균+1.4 σ	0.897	0.758	0.716	0.637	0.611	0.580	0.548
하 계							
	1호	2호	3호	4호	5호	6호	10호
평균	0.622	0.503	0.461	0.448	0.433	0.381	0.401
표준편차	0.244	0.215	0.191	0.188	0.184	0.187	0.198
σ	0.201						
평균+ σ	0.823	0.704	0.662	0.649	0.634	0.582	0.602
평균+1.2 σ	0.864	0.744	0.702	0.689	0.674	0.622	0.643
평균+1.4 σ	0.904	0.784	0.742	0.730	0.715	0.662	0.683
현 계수							
	1호	2호	3호	4호	5호	6호	10호
현 계수	0.852	0.710	0.586	0.483	0.452	0.430	0.430

3.5 산정된 호당 수용률 검증

산정된 호당 수용률과 현재 사용 중인 호당 수용률로 식(2)를 이용하여 동력 수용가의 최대부하 예측을 하였다. 이 예측한 값을 부하관리기로 원격 측정되는 동력 수용가의 실측 부하와 비교를 함으로써 제안된 호당 수용률과 기존의 호당 수용률로 예측한 부하 중 어느 것이 더 실측 부하와 근접하는 지를 알아보았다.



현장 변대주

전력연구원
배전전신실

그림 1. 동력 수용가 최대부하 원격 측정 개요

동력 수용가의 최대 부하 예측은 식(2)를 이용하여 계산한다.

산정된 호당 수용률을 이용한 최대부하 예측값과 현재 사용 중인 수용률을 이용한 최대부하 예측값, 그리고 부하관리기를 통해서 실측된 부하를 표 2에 나타내었다.

표 2. (중계)기존 수용률과 제안된 수용률 최대부하 예측

변압기 번호	기존 수용률 (A)	평균+σ (A)	평균+1.2σ (A)	평균+1.4σ (A)	측정전류 (A)
1	52.2	50.8	53.1	55.4	38.8
2	108.0	119.4	126.6	133.9	119.9
3	106.0	103.2	108.2	112.9	130.5
4	150.2	166.2	175.8	185.4	151.3
5	191.6	223.3	231.9	246.0	153.6
6	156.8	175.9	186.7	197.6	177.4
7	65.2	63.5	66.1	68.6	184.4
8	246.5	283.9	302.5	321.6	184.8
9	136.6	156.6	166.2	175.8	220.7
10	232.8	253.3	267.2	280.7	258.6
11	115.2	112.2	117.1	121.9	278.3
12	238.5	272.5	290.3	308.5	285.9
13	262.4	300.6	319.9	339.7	322.7
14	258.1	293.0	311.5	330.4	343.8
15	355.0	394.2	418.2	442.6	407.1

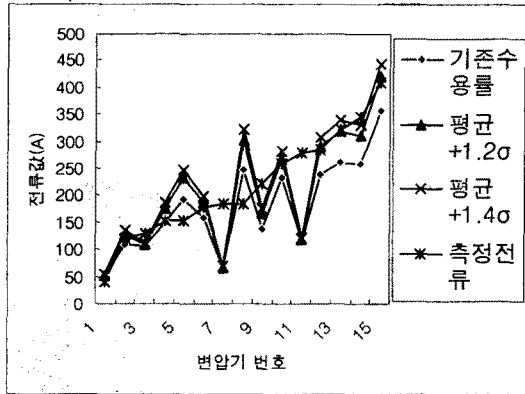


그림 2. (중계) 기존 수용률과 제안된 수용률 최대부하 예측

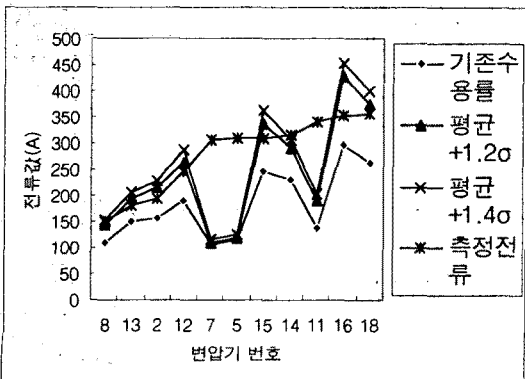


그림 3. (하계)기존 수용률과 제안된 수용률 최대부하 예측

그림 2는 중계 기간에 산정된 수용률과 기존 수용률의 최대부하 예측값과 실측된 부하값을 그래프로 작성한 것이다. 그래프를 쉽게 볼 수 있도록 측정 전류 순으로 정렬을 하였다. 그림 3은 하계 기간에 산정된 수용률과 기존 수용률의 최대부하 예측값과 실측된 부하값을 그래프로 작성한 것이다.

기존 수용률과 제안된 수용률의 최대부하 예측값을 측정 전류값과 비교해 본 결과 기존 수용률로 예측한 값이 측정 전류값 보다 낮게 예측이 되었다. 이러한 결과를 볼 때 기존 수용률을 지금보다 높게 올려주어야 한다.

3.6 동력수용가 최대부하 예측에 사용전력량 반영

현재 동력 수용가의 최대부하 예측 시 수용가의 사용 전력량을 고려하지 않는다. 따라서 본 논문에서는 동력 수용가의 최대부하 예측에 사용전력량을 반영하는 방법을 제안한다. 사용전력량을 이용하여 최대부하를 예측한 결과가 수용률을 이용한 최대부하 예측 값보다 클 경우에 식(8)과 같이 사용전력량을 이용한 최대부하 값을 반영하는 것이다.

$$P_F = \frac{(P_{DF} + P_{UF})}{2} ; P_{DF} < P_{UF}$$

$$P_F = P_{DF} ; other \quad (8)$$

P_{DF} : 수용률을 이용한 최대부하 예측 값(A)

P_{UF} : 사용전력량을 이용한 최대부하 예측 값(A)

표 4. 제안된 $P_F = \frac{(P_{DF} + P_{UF})}{2}$ 을 이용한 부하 예측값

변압기 번호	기존 수용률 (A)	평균+1.2σ (A)	상관식 (A)	사용전력량 반영(A) 평균+1.2σ	측정 전류 (A)
11	136.6	190.4	530.0	360.2	342.1
14	232.8	291.1	404.5	347.8	316.2

4. 결 론

본 논문에서는 호당 수용률을 재 산정하여 동력수용가의 최대부하 예측을 개선하도록 하였다. 제시된 호당 수용률은 기존의 수용률보다 조금 높게 나타났는데 이것은 지금의 부하가 과거에 비해 상승된 것을 반영하는 것으로 사료된다. 또한 동력 수용가 최대부하 예측 시 사용 전력량을 반영한 방법을 제시하여 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 한국전력공사 전력연구원의 지원으로 수행된 결과의 일부임

(참 고 문 헌)

- 이영석, 김재철, 윤상운, "호당 종합수용률 재조정을 통한 주상 변압기 최대부하 예측 개선방안", 대한전기학회 송배전설비 연구회, pp34-36, 2002년 5월
- 한국전력공사 전력연구원, "주상변압기 부하관리 개선에 관한 연구", 한국전력공사, 1999년 2월
- Sang-Yun Yun, Jea-Chul Kim, Chang-Ho Park, "Peak load estimation of pole-transformer using load regression equation and assumption of cooling load for customer", Journal of EPES will be published.
- 한국전력공사 배전처, "저압부하관리 업무편람", 한국전력공사, 1999년 5월
- 김세동, "지하상가 시설의 부하특성과 수용률 기준설정에 관한 연구", 한국조명전기설비학회지, 10권4호, pp352-357, 1996년 8월