

동력용 배전 변압기의 최대부하 예측 개선 방안에 관한 연구

박경호\*, 김재철\*, 윤상윤\*, 이영석\*, 박창호\*\*  
\*숭실대학교, \*\*전력연구원

A Study on the Peak Load Prediction for Mortor-use Distribution Transformer

Kyung-Ho Park\* , Jae-Chul Kim\* , Sang-Yun Yun\* , Young-Suk Lee\* , Chang-Ho Park\*\*  
\*Department of Electrical Engineering, Soongsil Univ. \*\*KEPRI

**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. 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

산업의 발달과 함께 도시의 과밀화 현상 및 전력 소비의 급속한 증가로 인한 수요변화 추세에 효율적으로 대처하기 위해서는 정확한 경향 분석 및 부하 예측이 요구된다. 특히 배전시스템에 있어서 일반 저압 수용가의 전원은 주로 소용량의 배전용 변압기를 통하여 공급되고 있으므로 변압기의 효율적 관리가 요구된다.

배전용 변압기를 효율적인 관리를 위해서 국내에서는 수용가를 전등 수용가(lamp-use customer)와 동력 수용가(motor-use customer)로 나누어 관리하고 있다. 그리고 배전용 변압기의 과부하를 방지하기 위하여 각각의 수용가 최대부하를 예측한다. [4] 최대부하 예측에 있어서도 전등 수용가와 동력 수용가를 구분하여 최대부하를 산출해 낸다. 전등 수용가의 최대부하 예측은 월간 사용전력량을 이용하고 동력 수용가의 최대부하 예측은 계약전력과 호당 수용률을 이용하고 있다.

호당 수용률의 초기 도입시의 부하상황에 비해 최근의 부하상황은 소비전력과 전력량 패턴이 크게 변화하였다. 또한 수용가의 설비용량이 증대되고 있는 상황에서 최대부하 예측을 정확히 하기 위해서는 동력 수용가의 최대부하 예측 방안을 연구할 필요성이 있다. 동력용 배전 변압기의 최대부하 예측 방안을 연구하기 위해서 부하 관리기를 Y 지점의 배전용 변압기에 설치하였다. 부하 관리기는 시간대 별로 수용가의 전압, 전류, 사용전력량이 자동으로 측정된다. 동력 수용가의 변압기 정보, 계약전력, 전류값은 한국전력공사의 데이터를 이용하였다. 동력 공급용 변압기는 한국전력공사 13개 사업소의 169대를 이용하였고 동력용 변압기의 520수용가에서 측정된 전류치를 사용하였다.

2. 본 론

2.1 국내 동력 배전용 변압기의 최대부하 예측

국내에서는 배전용 변압기의 수용가를 전등 수용가와 동력 수용가로 구분하고 있다. 전등 수용가는 주택용 전력이고, 동력 수용가는 산업용 저압전력, 농사용 전력(갈)(을)(병)인 단상 및 삼상 수용가이다. 그리고 계약 전력으로 전등 수용가와 동력 수용가를 나눌 수 있다. 일반용 저압전력, 교육용 저압전력 및 가로등(을)이고 계약전력이 단상 9kW 이하인 수용가는 전등 수용가이다. 동력수용가는 일반용 저압전력, 교육용 저압전력 및 가로등(을)이면서 계약전력이 단상 9kW를 초과하는 수용가 및 삼상 수용가이다. [1]

최대부하를 예측하는 방법중에서 부하설비에 의한 방법은 변압기에서 공급하고 있는 각 수용가의 부하설비나 계약 전력을 합산하고 부하 특성별 수용률을 곱하여 부하를 예측하는 것으로 부하설비의 변동은 주기적으로 조사해야 하는 단점이 있으나 부하설비의 변동이 적은 동력용 변압기에는 적합한 방법이다.

국내 동력 수용가의 최대부하 예측은 수용가의 계약전력에 호당 수용률을 적용하여 최대 부하를 예측하고 있다. 동력 수용가의 최대부하 전류 I는 다음의 식으로 계산된다.

$$I = [(P_1 - P_2) \times K_1 + 2(P_2 - P_3) \times K_2 + 3(P_3 - P_4) \times K_3 + 4(P_4 - P_5) \times K_4 + 5(P_5 - P_6) \times K_5 + 6(P_6 + P_7 + \dots + P_n) \times K_6] \times 10^3 \div (\cos\theta \times V) \quad [A] \quad (1)$$

$P_i$  : i호 동력 수용가의 계약전력(kW)

$P_1 > P_2 > P_3 > \dots > P_n$

$K_i$  : i호당 수용률

$\cos\theta = 0.9$

2.1 사용 전력량에 의한 최대부하 예측 방안

현재 동력 수용가의 최대부하 예측 방법은 사용전력량을 고려하지 않고 동력 수용가의 계약전력과 호당 수용률을 이용하여 최대부하를 예측한다. 동력 수용가의 사용전력량과 최대부하와의 상관관계가 있다면 사용전력량에 의한 최대부하 예측 방안이 적용될 수 있을 것이다. 따라서 표본 변압기로부터 취득한 데이터를 바탕으로 2차 부하상관식을 이용하여 동력 수용가의 최대부하 예측을 해 보았다. 다음 식은 2차 부하상관식이다.

$$I_t = AE_t^2 + BE_t + C \quad (2)$$

$I_t$ : t 시점에서의 주상 변압기 최대부하의 추정값(A)  
 $A, B, C$ : 부하상관계수  
 $E_t$ : t 시점에서의 주상 변압기 월간 사용전력량(kWh)

월간 사용전력량에 의한 동력용 배전 변압기의 최대부하 예측값과 측정된 최대 전류값을 그림 1로 나타내었다. 사용전력량에 의한 최대 부하예측 방법의 결과로 그림 1에서 보는 것처럼 최대 전류값과 상관관계가 조금은 있는 것으로 사료된다.

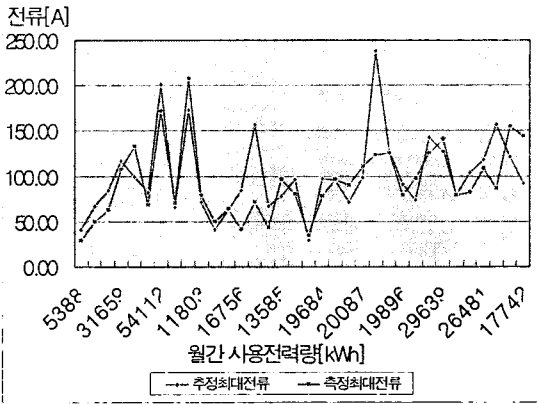


그림 1. 동력용 배전 변압기 월간 사용량에 의한 최대 부하 추정 예

## 2.2 호당 수용률 산정을 통한 예측 방안 개선

호당 수용률의 도입 초기의 부하상황과 현재 부하상황과는 매우 많은 차이가 있다. 또한 수용가의 설비용량이 크게 증가 하였으므로 호당 수용률을 재조정할 필요성이 요구 된다. 따라서 호당 수용률을 재조정 하여서 최대부하 예측을 개선 할 수 있다.

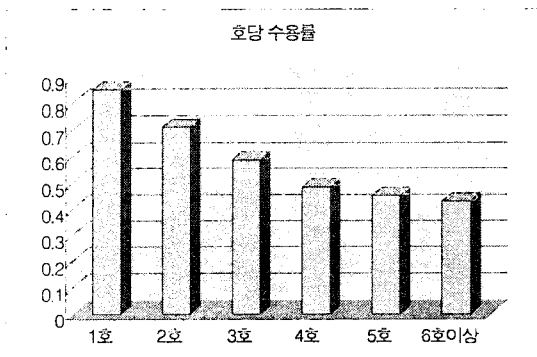


그림 1. 동력용 배전용 변압기 최대 부하 예측시 적용되는 호당 수용률

그림 1은 현재 동력용 배전 변압기의 최대부하 예측 시 사용되고 있는 호당 수용률이다.

### 2.2.1 PSEUDO-INVERSE 방법으로 수용률 산정

행렬  $Y=AX$  해를 구할 때  $A$ 의 행렬이  $(n \times n)$ 행렬이고  $A$ 행렬의 랭크  $R(A)$ 가  $n$ 개 일 때는  $A$ 의 역행렬이 존재하기 때문에  $A$ 의 역행렬을 구해서  $X$ 의 값을 찾을

수 있다. 그러나  $A$ 의 행렬이  $(n \times m)$ 행렬 일 때는  $A$ 의 역행렬로 해를 풀지 못하고 다른 방법으로 해를 구해야 한다.  $A$ 의 행렬이  $(n \times m)$ 이고  $A$ 행렬의 랭크  $R(A)$ 가  $m$ 개 일때에는 pseudo-inverse 방법으로 해를 구할 수 있다. 사용한다. 다음과 같이  $X$ 값을 구할 수 있다.

$$Y=AX \quad (3)$$

$$A^T Y=A^T AX \quad (4)$$

$$X=(A^T A)^{-1} A^T AX \quad (5)$$

호당 수용률을 산정하기 위해서는 실측된 전류값과 동력 수용가의 계약전력 값을 알아야 한다. 실측된 전류값을 얻기 위해서 배전용 변압기에 부하관리를 설치하였다. 약 90여대의 부하관리를 동력 수용가가 사용 중인 동력 배전용 변압기에 설치하여 실측된 데이터를 얻을 수 있었다. 세 개의 지역에 설치된 부하관리는 변압기의 최대전류와 적산전력량을 측정하고 이외에도 전압, 역률, 변압기 온도, 외기온도를 측정한다. 부하관리의 측정 데이터를 노트북으로 다운 받아 측정 데이터를 데이터베이스로 구축하여 수용률 산정에 필요한 최대 전류값을 얻을 수 있었다. 계약전력은 한국전력공사의 동력 수용가 정보를 이용하여 알 수 있었다. 다음 행렬식은 호당 수용률을 구하기 위해 만든 행렬식이다

$$\begin{pmatrix} \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \\ \bar{I}_3 \\ \bar{I}_4 \\ \bar{I}_5 \\ \bar{I}_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \bar{P}_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \bar{P}_{12} & 2\bar{P}_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \bar{P}_{12} & 2\bar{P}_{23} & 3\bar{P}_{33} & 0 & 0 & 0 \\ \bar{P}_{12} & 2\bar{P}_{23} & 3\bar{P}_{34} & 4\bar{P}_{44} & 0 & 0 \\ \bar{P}_{12} & 2\bar{P}_{23} & 3\bar{P}_{34} & 4\bar{P}_{45} & 3\bar{P}_{55} & 0 \\ \bar{P}_{12} & 2\bar{P}_{23} & 3\bar{P}_{34} & 4\bar{P}_{45} & 5\bar{P}_{56} & 6\bar{P}_{66} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} K_1 \\ K_2 \\ K_3 \\ K_4 \\ K_5 \\ K_6 \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$\bar{I}_n = [I_{n1}, I_{n2}, \dots, I_{n13}]^T$$

$$\bar{P}_{i,j} = [\bar{P}_{i1} - \bar{P}_{i2}, \bar{P}_{i2} - \bar{P}_{i3}, \dots, \bar{P}_{i12} - \bar{P}_{i13}]$$

단,  $j=i+1$

$I_n$ :  $n$ 호 수용가 측정전류

$P_i$ :  $i$ 호 수용가 계약전력

$K_i$ :  $i$ 호수용률

MATLAB을 이용하여서 pseudo-inverse방법으로 수용률(K)의 값을 구하였다. 표1에 pseudo-inverse 방법으로 구한 호당 수용률을 나타내었다.

표 1. PSEUDO-INVERSE방법으로 구한 호당 수용률

1호	2호	3호	4호	5호	6호
0.5381	0.3252	0.2463	0.7227	0.4845	0.4422

PSEUDO-INVERSE 방법으로 구한 호당 수용률은 차례로 조금씩 감소되지 않고 순서없이 나열되어 있다. 호당 수용가의 계약전력과 동력용 배전 변압기 2차측에서 측정된 전류가 호당 수용가가 증가함에 따라 일정하게 증가하거나 감소되는 것이 아니라 랜덤하게 변화되기 때문이라고 사료된다.

### 2.2.2 동력 최대부하 추정식을 이용한 수용률 산정

동력 최대부하 추정식을 이용하여 다음과 같이 수용률을 구할 수 있다. 수용률  $K$ 는 부하설비 용량에 대한 최대수용전력의 비율을 나타내는 계수이며 식(8)로 나타낼 수 있다. 식(8)으로 계산된  $i$ 호당 수용률 값을 식(9)처럼 평균값을 내었다. 평균값은 평균값 이상이 되는 값은 포함하고 있지 않기 때문에 표준편차를 구해서 평균값과 표준편차를 더해 최종적으로 호당 수용률을 구

하였다. 식(10)는 표준편차를 구하는 식이고 식(11)은 평균값에 표준편차를 더해준 최종적으로 구한 호당 수용률 식이다.

$$K_i = \frac{\sum_{i=1}^n I \times 220 \times \cos\theta}{\sum_{i=1}^n I \times 1000} \quad (8)$$

$$\bar{K}_i = \frac{\sum K_i}{N_i} \quad (9)$$

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (K_i - \bar{K}_i)^2} \quad (10)$$

$$\hat{K}_i = K_i + \alpha\sigma_i \quad (11)$$

$K_i$  : i호당 수용률

$\bar{K}_i$  : i호당 수용률 평균

$\sigma_i$  : 표준 편차

윗 식에서 수용률을 구하기 위해서는 최대부하 전류값을 알아야 한다. 그러나 동력 수용가의 최대부하 전류를 알 수 있는 방법은 현실적으로 불가능하다. 동력 수용가가 최대부하를 쓴다고 생각되는 시간대에 변압기 2차측을 측정하여 동력 배전용 변압기 전체 동력 수용가의 전류를 최대전류라고 가정을 하였다. 최대부하 전류치는 동력 배전용 변압기 169대의 변압기 2차측을 실측하여 얻었다. 계약전력은 한국전력공사의 동력 수용가 정보를 이용하여 알 수 있었다. 이러한 자료로 변압기별 호당 수용률을 정리하여 각 호수별로 수용률의 평균과 표준편차를 계산하였다. 계산된 수용률의 평균은 평균 이상이 되는 값은 포함하고 있지 않기 때문에 최대부하 예측시 평균값 이상이 되는 것은 예측되지 않는다. 이러한 문제 때문에 표준편차를 더해주었다. 산정된 호당 수용률의 평균값에 표준편차를 이용하여 최종적으로 호당 수용률을 구하였다. 표2에는 평균에 표준편차를 더해준 호당 수용률 결과를 나타내었다.

표 2. 산정된 호당 수용률(K)

호수	K1 (평균)	K2 (평균+ 0.8*σ)	K3 (평균+σ)	K4 (평균+ 1.2*σ)	K5 (평균+ 1.4*σ)
1호	0.705	0.831	0.862	0.893	0.925
2호	0.710	0.693	0.724	0.756	0.787
3호	0.586	0.645	0.676	0.707	0.739
4호	0.429	0.554	0.586	0.617	0.649
5호	0.382	0.508	0.539	0.570	0.602
6-9호	0.353	0.479	0.510	0.541	0.573
10호이상	0.356	0.482	0.513	0.544	0.576

K1 : (평균) 호당 수용률

K2 : (평균+0.8\*σ) 호당 수용률

K3 : (평균+σ) 호당 수용률

K4 : (평균+1.2\*σ) 호당 수용률

K5 : (평균+1.4\*σ) 호당 수용률

표2에 산정된 호당 수용률로 동력 수용가의 최대부하를 추정해 보았다. 동력 최대부하 추정식을 통해서 산정된 호당 수용률과 동력 수용가의 계약전력을 이용하여 최대부하 전류를 예측하였다. 이 과정에서 평균값으로 산정된 호당 수용률은 현 수용률 보다 작은 값을 나타내기 때문에 예측에서 제외하였고 (평균+1.4\*σ) 값으로 산정된 호당 수용률을 현 수용률 보다 너무 크기 때문에 이것 역시 예측에서 제외하였다. 부하관리기에서 10분

마다 측정되는 동력용 배전 변압기의 측정전류값에서 최대전류값을 찾아내었다. 그래서 동력용 배전 변압기의 최대부하 추정값과 부하관리기를 통해 계측된 최대전류값을 서로 비교해 보았다. 표 3은 산정된 수용률을 통해 예측된 최대부하 전류값과 부하관리기를 통해 측정된 최대전류값을 나타내고 있다.

표 3. 재 산정된 호당 수용률 적용

단위: [A]

변압기 번호	현재수 사용 예측값	K2 사용 예측값	K3 사용 예측값	K4 사용 예측값	Imax 측정 전류
1	29.14	30.16	31.22	32.28	29.29
2	73.06	71.96	73.86	75.80	49.74
3	172.79	172.66	175.60	178.55	133.58
4	160.41	176.58	186.27	195.06	172.35
5	83.52	85.64	88.02	90.40	82.97
6	71.62	75.38	79.88	82.72	79.13
7	51.78	51.14	52.09	53.04	49.57
8	71.83	72.84	75.43	78.02	63.71
9	98.54	104.83	108.74	112.63	95.84
10	32.63	34.12	35.33	36.53	35.09
11	211.59	226.04	236.81	247.58	228.92
12	74.15	74.44	76.29	78.16	89.53
13	90.00	92.89	95.53	98.14	110.32
14	272.98	293.82	307.99	322.15	260.52
15	167.92	171.52	174.59	177.64	126.00
16	130.68	135.69	140.15	144.61	140.39
17	81.50	86.88	90.12	93.35	78.71
18	139.34	147.57	153.64	159.72	155.13
19	199.69	206.19	210.75	215.31	219.21
20	86.01	95.17	100.59	105.95	102.39

### 3. 결 론

본 논문에서는 동력용 배전 변압기의 최대부하 예측 개선방안에 대해 논하였다. 사용전력량에 의한 동력 수용가의 최대부하 예측 전류값은 측정된 전류값과 상관관계가 조금 있는 것으로 사료된다. 계약전력에 호당 수용률을 이용하는 동력용 배전 변압기의 최대부하 추정방법은 호당 수용률이 산정된 시기의 부하상황이 현재와 다르고 계약전력이 크게 증가된 추세이기 때문에 호당 수용률을 다시 산정하여 동력용 배전 변압기의 최대부하 예측치를 개선할 수 있다. 또한 본 논문에서 사용전력량을 이용하여 동력용 배전 변압기의 최대부하 예측을 하였고 산정된 호당 수용률을 이용하여서도 역시 최대부하를 예측해 보았다. 앞으로 부하관리기를 통하여 실측된 데이터를 축적하여서 지속적으로 호당 수용률을 산정해 보는 것이 필요하다고 사료된다.

### (참 고 문 헌)

- (1) 한국전력공사 전력연구원, 주상변압기 부하관리 개선에 관한 연구(TR.96ES15.S1998.86), 한국전력공사, 1999년 2월.
- (2) 김세동, "지하상가 시설의 부하특성과 수용률 기준설정에 관한 연구", 한국 조영·전기설비학회지, 제 10권, 제 4호, pp. 352-357, 1996년 8월.
- (3) 이영석, 김계철, 윤상운, "호당 종합수용률 재조정을 통한 주상변압기 최대부하 예측 개선방안." 대한전기학회 전력기술분회 송배전설비연구회 춘계학술대회 논문집, pp. 34-36, 2002년 5월.
- (4) 한국전력공사 배전처, 저압부하관리 업무편람, 한국전력공사, 1999년 5월.