

배전변압기의 전등부하 추정을 위한 상관계수 산정 및 신뢰성 검증

박창호*, 한웅희*, 김준오*, 조성수*
*한전 전력연구원

Adjustment of correlation coefficient for pole transformer's load estimation and its reliability verification.

Chang-ho Park*, Yong-hee Han*, Joon-oh Kim*, Seong-soo Cho*
*KEPCO Korea Electric Power Research Institute

Abstract - This paper presents the process of load management for distribution pole transformer at KEPCO. The purpose of this process is to establish reasonable peak load forecasting and prevention of pole transformer damages caused by overload through the investigation of correlation coefficient for recent load characteristics. In this paper, we newly proposed more reliable correlation coefficient using improved method and verified its reliability in various ways.

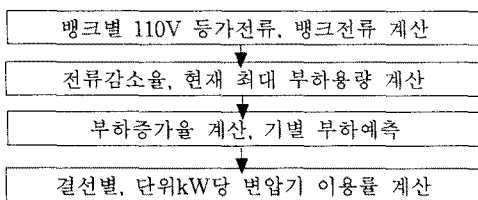
1. 서 론

현재 배전변압기의 전등용 최대부하는 부하계산식에 변압기 단위 수용가의 사용전력량과 최대부하의 밀접한 상관관계를 이용하여 최대부하를 추정하고 있으나 부하계산식은 계절과 지역별 부하특성을 고려한 보정조치가 이루어지지 않음으로써 최대부하 예측의 신뢰도가 낮은 실정이다. 따라서 본 논문에서는 부하 상관계수에 의한 최대부하예측의 정확도를 높이는 방안으로 전국 110여 만대의 배전용 변압기의 표변변압기 264대를 대상으로 취득된 실 데이터를 변화가, 주택가, 농어촌 등 3개의 지역특성으로 분류함으로써 보다 정확한 최근의 수용가 부하특성별 상관계수 산정을 시도하여 월별, 계절별, 전력량대별로 최적의 1, 2차 회귀함수를 선정하였다. 또한 별도 제작하여 배전변압기 2차측에 부착된 부하관리기를 이용하여, 실측된 월간 최대전류와 해당 변압기에서 공급하는 수용가의 합산전력량에 현재 적용되고 있는 계수 및 새로 산정된 계수를 적용하여 산출한 최대전류 및 이용률을 상호 비교함으로써 그 결과의 적합성 여부를 다양한 방법으로 검증하였다

2. 본 론

2.1 배전용 변압기 부하계산 처리흐름

한국전력에서의 배전변압기 부하관리는 매월 별로 집계되는 수용가의 전력사용량, 계약전력, 수용율 등을 이용하여 통계적인 방법으로 현재 부하를 추정한다. 특히 전등부하는 공급되고 있는 수용가의 전력사용량에 일정한 계수를 적용하여 부하계산을 하고 각 결선별로뱅크 전류, 부하용량계산, 기별 부하예측, 결선별 변압기 이용률을 계산하여 부하관리업무에 활용하고 있다.



2.1.1 전류계산

전류의 계산은 집계된 전력사용량에 지역별, 전력량대별 부하계산 상관계수를 적용하여 다음식과 같이 110V 환산 등가전류를 계산한다.

$$I_l = Ax + B$$

여기서 I_l : 110V 환산 전등전류

A, B : 부하계산 상관계수

x : 뱅크단위의 전등사용량(kWh)

또한 단상(I_h) 및 삼상전류(I_b)는

$$I_h = I_l \times \frac{1\phi \text{ 사용량}}{\text{전체 사용량}}$$

$$I_b = I_l \times \frac{3\phi \text{ 사용량}}{\text{전체 사용량}} \text{로 계산한다.}$$

2.1.2 최대부하 계산

단상변압기의 뱅크별 최대부하 추정은 단상 및 삼상부하를 별도로 계산한 후 이를 합성하고 전류감소율을 적용한다.

$$P_1 = I_1 \times 115 \times 10^{-3} \text{ (kVA)}$$

$$P_3 = I_3 \times 115 \times 10^{-3} \text{ (kVA)}$$

$$P = (P_1 + P_3) \times D \text{ (kVA)}$$

여기서, D : 전류감소율 ($K^2 - K + 1$)

K : 단상구성율

2.1.3 부하예측

배전용변압기 부하계산시 사용되는 부하예측방법은 분기 단위로 변압기 공급 호당 부하를 산출하고 2년간의 데이터를 이용하여 부하증가율을 계산한 후 이를 현재의 부하에 곱하여 2기(1년)후의 부하를 예측한다.

$$KW_{Lamp-c,i} = \frac{KW_{Lamp,i}}{N_{Lamp,i}}$$

부하증가율과 2기후의 예측된 부하전력은 각각 다음식과 같다.

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

$$kW_{Lamp,6} = kW_{Lamp,4} \times R$$

여기서, $KW_{Lamp,i}$: 주상변압기의 전등부하[KVA]

$KW_{Lamp-c,i}$: 주상변압기의 호당 전등부하

$N_{Lamp,i}$: 주상변압기의 수용호수

2.1.4 변압기 이용률 계산

저압부하관리에 있어서 변압기 이용률은 뱅크 결선 및 용량 구성에 따라 다음식과 같이 계산되며, 신규부하의 수용 가능성 검토, 과부하변압기의 부하분리 기준, 과부하의 판정 및 교체여부 등에 활용된다.

$$\text{변압기 이용률} = \frac{\text{부하전력}(kVA)}{\text{설비용량}(kVA)}$$

2.2 부하계산 회귀계수 선정

본 논문에서는 표본변압기로부터 취득한 실측 최대전류와 전력량 데이터를 분석하여 신뢰도범위 99.7% ($\pm 3\sigma$ 영역 제거)를 고려한 최적의 함수모델을 선정하였으며 또한 전력량 구간별로 허용오차 범위 중 $+2\sigma$ 를 보상하여 1, 2차함수로 구성된 최종 계수를 선정하였다.

1차함수 모델 : $y = ax + b$

2차함수 모델 : $y = ax^2 + bx + c$

여기서, y : 최대전류

a, b, c : 회귀계수

x : 전력사용량

2.2.1 동계 부하계산 상관계수 선정결과 변화가

함수모델	2000이하	2001~10000	10001~20000	20000초과	
계수	a	0.07	$-4.6875 * (10)^{-7}$	$-5.0 * (10)^{-7}$	0.0199
	b	0	0.04125	0.0375	252
	c		59.375	100	

주택가

함수모델	1000이하	1001~7500이하	7501~15000	15000초과	
계수	a	0.11	$-3.2967 * (10)^{-7}$	$-3.7037 * (10)^{-7}$	0.01453
	b	0	0.03665	0.035	312.06154
	c		73.68132	88.3333	

농어촌

함수모델	500이하	501~5000	5000초과	
계수	a	0.13	$-2.0 * (10)^{-6}$	0.03033
	b	0	0.051	93.333
	c		40	

2.2.2 하계 부하계산 상관계수 선정결과 변화가

함수모델	2000이하	2000~10000이하	10000~20000	20000초과	
계수	a	0.07	$-2.16667 * (10)^{-6}$	$-8.0 * (10)^{-7}$	0.01351
	b	0	0.0685	0.044	409.86667
	c		11.6667	120	

주택가

함수 모델	1000이하	1001~7500이하	7501~15000	15000초과	
계수	a	0.09	$-1.01723 * (10)^{-6}$	$-8.0 * (10)^{-7}$	0.01414
	b	0	0.04634	0.03533	297.87692
	c		44.6785	100	

농어촌

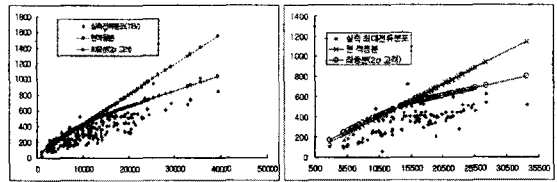
함수모델	500이하	501~5000이하	5000초과	
계수	a	0.14	$-3.8889 * (10)^{-6}$	0.02133
	b	0	0.05917	133.33
	c		41.3889	

2.3 계수 선정결과 검증

산정된 최종계수의 검증은 ①실측 전류와 현 적용분계수(이하 구 계수) 및 본 논문에서 제안한 계수(이하 신 계수)의 오차율 비교, ②단계별 순증전력량에 의한 신, 구계수의 편차확인, ③신, 구계수의 변압기 전산이용률 변화 비교, ④이용률 130%이상인 과부하 변압기 개수의 증감결과 분석 등으로 시행하였다.

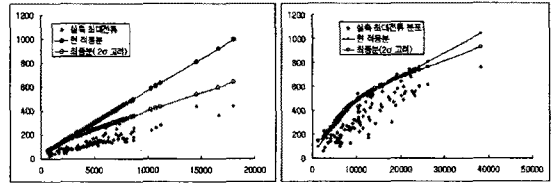
2.3.1 실측전류와의 오차율 비교

각 계절별, 부하특성별로 실측전류 분포와 신, 구 계수를 적용한 그래프는 각각 다음과 같다.



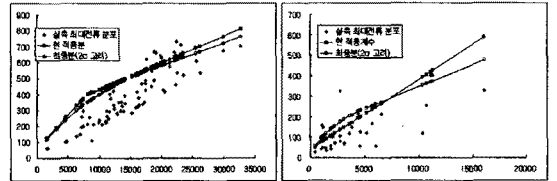
동계 변화가

동계 주택가



동계 농어촌

하계 변화가



하계 주택가

하계 농어촌

또한 지역 및 전력량구간별로 실측전류와 각 계수간의 오차율을 살펴보면 구계수에 비해 신계수가 소폭 개선되었음을 알 수 있다.

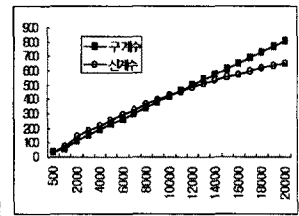
지역	전력량 구간	오차율(%)	
		현 적용계수	제안 계수
변화가	0KWh - 10,000KWh	21.3	14.1
	10,000KWh초과	26.1	13.1
	7,500KWh이하	11.7	1.1
주택가	7,500KWh-15,000KWh	26.4	29.7
	15,000KWh초과	46.0	32.1
	5,000KWh이하	159.8	139.2
농어촌	5,000KWh초과	209.0	135.2
	평균	71.47	52.07

2.3.2 단계별 순증전력량의 신, 구계수 편차

전력량 증가에 따른 최대부하의 변화추이를 분석하기 위해 계절별, 부하특성별로 사용전력량을 1000kWh 단위로 증가시키고 결과를 비교하였으며 신, 구계수의 편차확인에는 배전변압기에서 공급하는 전력량의 95%이상의 백스를 대상으로 하였다.

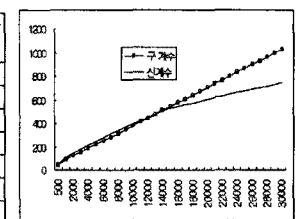
가. 변화가

전력량 단계별	변대 개수	구성율 (%)
2000KWh이하	17571	34.9
2000~10000KWh	21448	42.6
10000~20000KWh	9992	19.8
20000~35000KWh	1266	2.5
35000~50000KWh	54	0.1
50000KWh이상	10	0.0
합계	50341	100



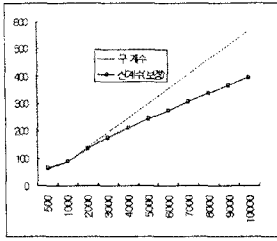
나. 주택가

전력량	변대 개수	구성율 (%)
1000KWh 이하	55334	22.9
1000~7500KWh	90774	37.5
7500~15000KWh	64322	26.6
15000~30000KWh	30013	12.4
30000~45000KWh	1353	0.6
45000KWh 이상	137	0.1
합계	241933	100



다. 농어촌

전력량	변대 개소	구성율 (%)
500KWh이하	105523	49.3
500-1000KWh	24627	11.5
1000-2500KWh	37406	17.5
2500-5000KWh	25691	12.0
5000-10000KWh	15841	7.4
10000-15000KWh	3784	1.8
15000KWh이상	1300	0.6
	214172	100.0



계별	지역	전류편차			
		주 사용 전력량대			
		구계수	신계수	증감율 (%)	구간(KWh)
동계	변화가	417	393	-5.7	1-20,000
	주택가	543	476	-12.3	1-30,000
	농어촌	303	236	-22.0	1-10,000
	평균	465	368.33	-13.33	
하계	변화가	420.1	433.8	3.2	1-20,000
	주택가	480.0	462.0	-3.73	1-30,000
	농어촌	298.3	282.6	-5.2	1-15,000
	평균	399.5	392.80	-1.91	

상기의 표를 살펴보면 새로이 선정된 부하계산에 의한 최대전류가 현재 적용분인 계수의 최대전류에 비해 동계에는 평균 13.3%, 하계에는 1.8% 적게 나타남을 알 수 있다.

2.3.3 변압기 이용률 편차

지역	이용률평균		편차 (%)	변대 개소	비고		
	현재	신규					
변화가	2000이하	13	27.6%	34.9%	7.3	874	103%→130%
		21	21.0%	26.6%	5.6	896	106%→130%
	2001-10000	13	59.9%	66.4%	6.5	1957	122%→130%
		21	56.8%	61.9%	5.1	5058	122%→130%
	10001-20000	13	86.6%	80.5%	6.1	797	141%→127%
		21	85.7%	79.5%	6.2	3252	145%→129%
20000초과	13	111.6%	87.3%	24.3	61	166%→122%	
	21	115.4%	89.3%	26.1	349	172%→125%	
주택가	1000이하	13	25.6%	30.9%	5.3	3359	123%→148%
		21	22.5%	27.1%	4.6	1984	126%→152%
	1001-7500	13	52.5%	59.9%	7.4	14011	94%→130%
		21	51.6%	58.4%	6.8	22979	114%→130%
	7501-15000	13	72.3%	75.0%	2.7	9923	119%→130%
		21	72.3%	74.9%	2.6	24703	119%→130%
15000초과	13	97.4%	84.4%	13.0	4375	142%→129%	
	21	97.2%	84.8%	12.4	11305	143%→130%	
농어촌	500이하	13	20.7%	30.5%	9.8	1887	121%→130%
		21	18.5%	19.8%	1.3	931	126%→135%
	501-5000	13	58.4%	53.6%	4.8	10085	154%→130%
		21	46.2%	50.6%	4.4	12443	136%→130%
	5000초과	13	73.4%	75.8%	2.4	19696	129%→130%
		21	74.2%	76.5%	2.3	47597	129%→130%
계		61.24%	60.39%	7.59	198,522		

동계의 신, 구 계수 대비 변압기 이용률

동계의 경우, 상기의 표를 살펴보면 변화지역 13,632개소의 각 전력량대에 있어서 평균 이용률은 70.6%에서 65.8%로 감소되었으며 주택가지역 92,639개소에서 61.4%에서 61.9%로 약간 증가되는 현상을 보이고 있는데 이는 수용가 대부분인 15,000kWh이하 중, 저전력량에서는 이용률이 증가하고 15,000kWh 초과대역에서는 이용률이 포화현상에 따라 대폭 감소한 것에 기인한 것이다. 또한 농어촌지역에서는 48.6%에서 51.1%로 다소 증가되었으며, 각 지역 전체평균은 61.2%에서 60.4%로 약간 감소되는 것으로 나타났다. 하계의 신, 구 계수에 의한 변압기 이용률 대비표는 다음과 같다.

지역	이용률 평균 (%)		편차 (%)	변대 개소	비고		
	현재	신규					
변화가	2000이하	13	33.3	34.2	0.9	907	126%→130%
		21	25.6	26.4	0.8	796	129%→133%
	2001-10000	13	68.7	74.2	5.5	1900	117%→130%
		21	67.7	72.7	5.0	4785	116%→130%
	10001-20000	13	87.8	89.3	1.5	891	127%→130%
		21	86.6	88.2	1.6	3645	127%→130%
20000초과	13	93.4	90.5	2.9	88	145%→132%	
	21	94.4	91.6	2.8	436	142%→130%	
주택가	1000이하	13	28.5	25.4	3.1	3326	151%→134%
		21	24.4	21.7	2.7	1917	138%→123%
	1001-7500	13	62.5	57.7	4.8	13968	139%→130%
		21	63.2	58.2	5.0	22244	142%→130%
	7501-15000	13	79.1	69.1	10.0	10182	153%→130%
		21	89.7	68.4	21.3	25930	152%→130%
15000초과	13	82.6	81.2	1.4	4662	132%→130%	
	21	82.5	81.2	1.3	11869	132%→130%	
농어촌	500이하	13	27.4	32.5	5.1	4937	111%→130%
		21	22.4	26.2	3.8	389	78%→91%
	501-5000	13	57.9	72.3	14.4	7651	101%→130%
		21	50.8	63.1	12.3	1759	102%→130%
	5000초과	13	61.8	59.4	2.4	2737	142%→130%
		21	65.1	61.1	4.0	2155	142%→130%
계		61.60	61.11	5.11	127,174		

하계의 신, 구 계수 대비 변압기 이용률

2.3.4 동계 및 하계 부하계산시 과부하개소 비교

지역별	결선별	현 개소	비율(%)	조정 개소	비율(%)	전체
변화가	13결선	97	2.6	97	2.6	3,689
	21결선	155	1.6	72	0.7	9,555
	합계	252	1.9	169	1.3	13,244
주택가	13결선	628	2.0	597	1.9	31,668
	21결선	827	1.4	466	0.8	60,971
	합계	1455	1.6	1063	1.1	92,639
농어촌	13결선	818	2.6	729	2.3	31,668
	21결선	838	1.4	868	1.4	60,971
	합계	1856	2.0	1597	1.7	92,639
총계		3563	1.8	2829	1.4	198,522

지역별	결선별	현 개소	비율(%)	조정 개소	비율(%)	전체
변화가	13	87	2.3	126	3.3	3,786
	21	140	1.4	197	2.0	9,662
	합계	227	1.7	323	2.4	13,448
주택가	13	584	1.8	318	1.0	32,138
	21	603	1.0	283	0.5	61,960
	합계	1187	1.3	601	0.6	94,098
농어촌	13	174	1.1	600	3.9	15,325
	21	43	1.0	79	1.8	4,303
	합계	217	1.1	679	3.5	19,628
총계		1631	1.3	1603	1.3	127,174

3. 결론

본 논문에서 제시한 변압기 부하계산용 상관계수는 현재 한국전력에서 적용하고 있는 계수에 비해 실측전류 대비 오차율을 대폭 감소시킬 수 있다. 특히 동·하계 부하계산 시 변압기 과부하 판정기준으로 활용되는 변압기 이용률을 보다 정확히 계산할 수 있을 것이다. 현재 한국전력에서는 본 논문에서 제시한 계수 산정결과의 관련업무에 적용을 검토하고 있으며, 활용 후 동·하계 피크시 과부하에 의한 소손 및 유(Oil)분출, 정전사고 등의 발생을 대폭 줄일 수 있을 것으로 기대하고 있다.

(참고 문헌)

- [1] 박창호 외, "주상변압기 부하관리 개선에 관한 연구", 전력연구원 최종보고서, 1998
- [2] "저압부하관리 업무편람", 한국전력공사 배전처, pp.245-275, 1999
- [3] 안상형 외, "현대통계학", 학현사, 1993