

동계 배전부하 특성분석

박창호*, 조성수*
전력연구원

An Analysis on the Winter Season's Distribution Load Characteristics

Park Chang-ho*, Cho Seong-soo*
*Korea Electric Power Research Institute

Abstract - This paper presents the method of load management to measure the winter season's load characteristics of distribution pole transformers. The proposed load model constructed used by the quadratic load correlation coefficients. To verify the estimated model, we compared with linear model by calculation results. The results can contribute an improvement of conventional load management method.

1. 서 론

한전에서는 전국 104만대('98. 1월 기준)에 달하는 배전용 변압기 및 배전선의 설비사양, 지적도면 등을 기본 자료를 데이터베이스로 구축하여 부하계산, 부하실적 및 부하예측관리, 설비교체 및 계획자료 추출 등 저압 배전 부하관리 전산시스템을 운영하고 있다. 본 논문에서는 서울, 충남지역의 11개의 특성별, 지역별 단상변압기에 실 부하 계측기 264개를 설치하여 10분단위로 취득된 전압, 전류, 전력량 등 부하계측 데이터 중 동계(12월-2월) 부하를 중심으로 배전부하 특성을 분석함으로써, 선형회귀, 다중회귀분석기법 등 통계적인 방법을 활용하여 결선별, 배선별 선 전류계산을 위한 부하계산 상관계수 값을 재조정하고 이를 표본변대수(264주) 데이터에 적용하였다. 특히 계측기에서 10분 단위의 동시에 취득된 최대전류, 사용전력량 등을 Variable로 하여 계수를 산정함으로써 보다 정확한 변압기 결선별 배전부하를 계산할 수 있으며, 변압기 부하 용량계산, 과거 부하기록에 의한 부하증가율 계산, 기별 예상부하 산정자료 등을 산출하였고 그 결과를 현재의 저압부하관리시스템에서 추출한 자료와 비교 분석함으로써 배전부하의 통계적 관리 개선방안을 제시한다.

2. 부하관리 개요

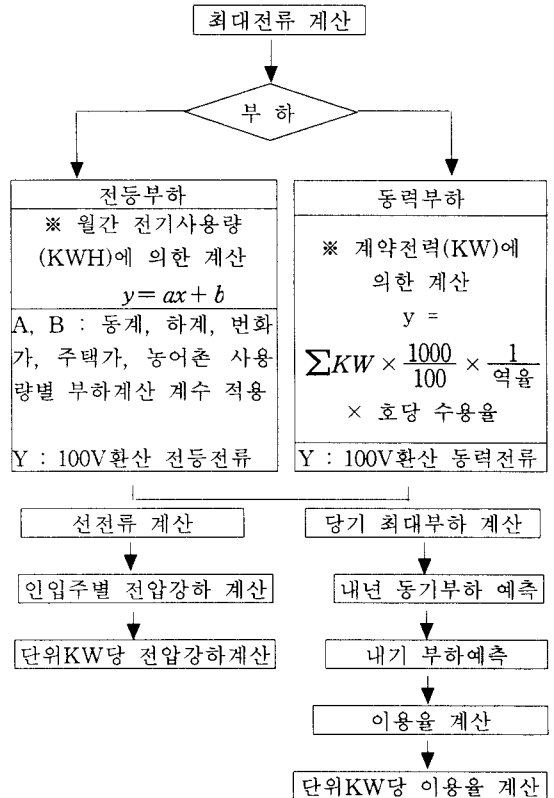
한전의 주상변압기 저압부하 관리업무는 단상2선식에 서부터 3상4선식까지 9개의 결선별로 배전용 변압기에 의하여 수용가에게 공급되는 변화가, 주택가, 농어촌지역의 동력 및 전동 부하를 월별 사용전력량과 계약전력 및 수용율을 이용하여 각 결선별 배전부하를 계산함으로써 현 변압기 이용률, 기별 부하예측, 동계, 하계의 최대전력예측 등을 통한 변압기 운영 및 교체자료, 신규 전력 사용 시 변압기의 수용여부 판단 등의 작업을 수행한다.

2.1 부하계산 처리흐름

다음그림은 전동부하의 경우 부하상관계수를 통한 전류계산, 부하용량 및 변압기 이용률계산을 위한 현행 부하관리 절차를 나타낸다.

전동부하의 경우는 배전용 변압기에서 공급하는 수용가의 전력사용량을 월별로 합산하고 여기에 부하계산 상관계수를 곱하고 상수를 더하여 100V환산 전류를 산출한다. 이 값에 결선별로 공급전압의 비율을 곱하여 선

전류를 계산한다.



또한 전동과 동력수용가를 동시에 공급하는 삼상변압기의 경우는 합성부하용량을 계산하기 위해 다음 식(1)을 이용한다.

$$\text{합성부하 } P = (P_1 + P_3) \times D \text{ (KVA)} \quad (1)$$

$$D(\text{전류감소율}) = K^2 - K + 1$$

여기서, D : 전류감소율

$$K : \text{단상 구성율 } (I_1 / (I_1 + I_3))$$

한편, 부하예측의 경우는 기별 호당 부하산정을 통한 부하증가율을 계산하고 이를 당기의 부하용량에 곱하여 차기 또는 1년 후 부하예측을 수행하고 있으며 변압기의 적정운전을 판단하기 위한 변압기의 이용률을 다음 식(2)에 의해 계산한다.

$$\text{이용률} = \frac{\text{실부하(KVA)}}{\text{설비용량(KVA)}} \times 100\% \quad (2)$$

여기서 실 부하는 변압기 결선별로 각각 별도로 계산하며 삼상 결선의 경우는 전류감소율을 적용한다.

3. 동계 전등부하 취득

동계(12월-1월)의 배전부하를 계측하기 위해 기 설치한 부하관리기의 10분 단위의 데이터를 전력량은 월별로 합산하고 최대전류 발생기록을 정리하여 다음 표(1)과 같이 부하특성별 지역별 자료를 정리하였다.

지역특성		월별	데이터(건)	취득율
주택가	대형	12	14	58
		1	7	29
		2	7	29
	중형	12	14	58
		1	17	70
		2	15	63
	소형	12	1	1
		1	-	-
		2	-	-

표 1 동계 배전부하 자료취득 현황

ID	발생일	최대전류	최초KWh	최종KWh	사용KWh
88	01/14 19:20	408	12893	27963	15070
92	01/06 17:40	592	19062	40271	21209
93	01/27 18:20	138	5707	12534	6827
94	01/07 22:50	126	145	319	174
95	01/20 22:40	425	16133	35684	19551
96	01/25 22:30	385	17135	37474	20339
97	01/24 8:10	119	4233	9462	5229
98	01/25 22:20	417	14980	32879	17899
99	01/14 18:20	390	11169	26707	15538
100	01/12 19:40	236	10846	22795	11949
101	01/12 19:40	236	10846	22795	11949
102	01/20 19:00	150	11241	18641	7400
103	01/26 22:30	407	13935	31051	17116
105	01/24 21:00	394	4720	24941	20221
107	01/18 20:00	216	8470	15664	7194
108	01/06 21:40	325	15060	33010	17950

표 2 98년1월 주택가 중형지역 계측자료

4. 데이터 특성분석

4.1 단순 회귀분석

전력량과 최대전류사이에는 선형의 관계가 있다. 따라서 최대전류 y와 사용전력량 x의 관계를 모형화 하기 위하여 다음과 같은 선형모형 식(3)을 수립한다.

$$y = ax + b + \epsilon \quad (3)$$

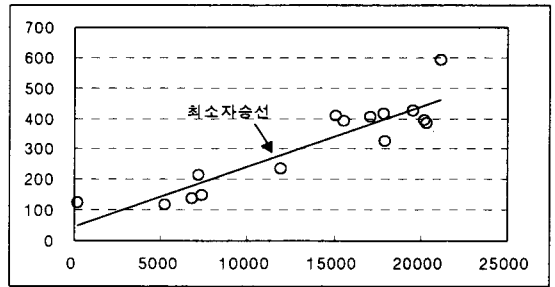
여기서, ϵ : 임의의 오차

위의 표14를 이용하여 식(3)과 같은 모형 식의 모수 a와 b를 추정하면 $a = 0.0196$, $b = 46.224$ 이다. 따라서 최소 자승선은 다음식 (4)과 같다.

$$y = 0.0196x + 46.224 \quad (4)$$

이 예측식과 계측자료와의 관계를 그래프로 나타내면

그림과 같다.



또 모형식의 유용성을 검정하기 위해서 신뢰구간을 추정하면 양측검정의 기각영역은 $t < -t_{0.025} = -2.145$, $t > t_{0.025} = 2.145$ 와 같으며, 검정통계량은 식 (5)와 같다.

$$t = \frac{a}{s/\sqrt{SS_{xx}}} = \frac{0.0196}{59.859/24882} = 8.147 \quad (5)$$

따라서 계산된 t통계량이 기각영역에 들어가기 때문에 귀무가설은 기각된다. 즉 표본 변대주의 자료에 의하면 최대전류 y를 직선모형으로 예측할 때 전력량 x가 의미있는 정보를 제공한다고 해석할 수 있다. 또 모형의 유용성을 측정할 수 있는 상관계수의 제곱인 결정계수 값은 0.8257로 비교적 높게 나타나고 있다.

다음 표(3)(4)는 통계프로그램인 SPSSWIN을 이용하여 출력된 분산분석표 및 계수Table이다.

ANOVA ^a						
Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
1	Regression	237662	1	237662	66.328	.000 ^b
	Residual	50163.4	14	3583.100		
	Total	287825	15			

a. Dependent Variable: 최대전류
b. Independent Variables: (Constant), 전력량

표 3 사용전력량, 전류의 분산분석표(SPSSWIN이용)

Coefficients										
Model		nstandardize Coefficients		tandardized coefficients		t	Sig.	5% Confidenc Interval for B		linearity Statist
		B	td Err	Beta	t			Lower Bound	Upper Bound	
1	(Const)	6.224	5.708	.909	1.295	.216	.000	0.358	2.806	
	전력량	0E-02	.002	.909	8.144	.014	.000	.014	.025	1.000

a. Dependent Variable: 최대전류

표 4 회귀분석 계수 (SPSSWIN 이용)

위의 표(4)에서 나타난 것과 같이 식(4)의 기울기 a의 95% 신뢰구간은 0.014에서 0.025까지이다.

4.2 다중회귀분석

일반적으로 실제적으로 다루어지는 상관식의 데이터는 직선보다는 곡선으로 더 적합하게 표현할 수 있다. 본 연구에서는 다중회귀분석의 특수형태인 2차식 모형을 적용하였다. 다음은 2차식 모형을 적용하여 계산된 SPSSWIN의 출력결과이다.

Dependent variable.. 최대전류
Multiple R .92092

R Square .84810
 Adjusted R Square .82473
 Standard Error 57.99232

Analysis of Variance:

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	2	244104.58	122052.29
Residuals	13	43720.42	3363.11
F =	36.29150	Signif F = .0000	

Variables in the Equation

Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
전력량	.006156	.009984	.285505	.617	.5481
전력량**2	5.71E-07	4.13E-07	.640893	1.384	.1896
(Constant)	101.364	52.76		1.921	.0769

위의 출력결과를 보면 최소 자승선은 다음 식 (6)과 같다.

$$y = 5.71 \times 10^{-7} x^2 + 0.006156x + 101.364$$

또 결정계수 R^2 값도 0.8481로써 1차 함수 모델의 0.8257보다 높게 나타남을 알 수 있다. 다음그림 (5)는 2차 함수에 의한 데이터 분포 및 최소 자승선을 나타낸 그래프이다.

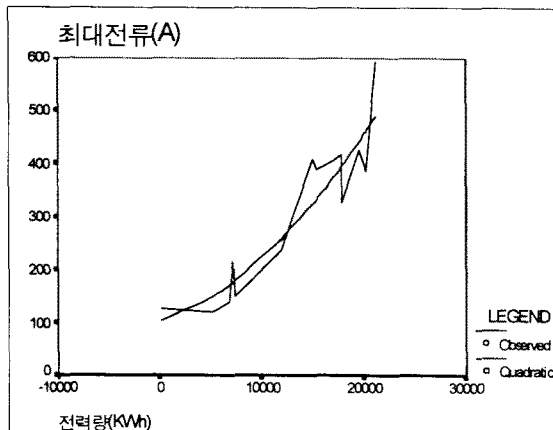


그림 5 2차함수 모형의 산점도 및 최소자승선

4.2 회귀모형의 비교

다음 표(5)는 현재 적용하고 있는 부하계산 상관계수 및 1차 함수, 2차 함수, x누승 함수식에 대한 계수를 정리한 것이다.

구분	현재 (1차 함수)	모형식 계수			
		1차 함수 $y = ax +$	2차 함수 $y = ax^2 + bx +$	x ⁿ 승함수 $y = cx^b$	
주택가중형지역 (결정계수)	a	0.0323	0.0196	5.71×10^{-7}	-
	b	59.0	46.224	0.006156	0.311
	c	-	-	101.364	15.826
	R^2	-	0.8257	0.8481	0.5092

표 5 각 함수 모델에 따른 상관계수

다음 그림 (6)은 각 모델 함수별로 최소 자승선을 그린 그래프이다. 이 그림에서 현재 저압부하관리 시스템에서 적용중인 주택가지역의 1차 함수의 기울기가 개선된 함수에서는 전체적으로 하향의 경향을 나타냈다.

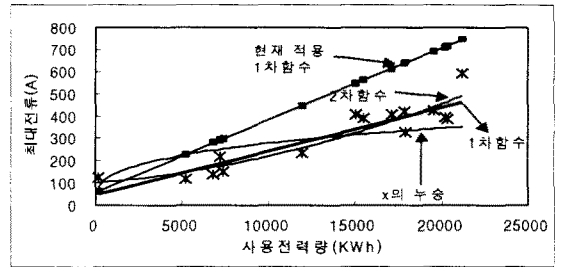


그림 6 각 함수모델별 최소자승선

5. 예측 및 검증

5.1 최대전류의 예측

한전 서부지점의 주택가 중형지역에 설치된 배전 부하 계측기에 의하여 '98년 1월의 전기기간동안 매 10분단위로 수집된 전압, 전류, 전력량 데이터 중 계측기 ID별로 최대전류 및 전력량자료에 상기의 현재 적용중인 1차 함수와 2차 함수 모델을 적용하여 다음 표 (6)와 같이 최대전류를 산출하였다. 전류A는 2차 함수모델 적용 분이며, 전류B는 현재 적용중인 1차 함수 모델에 의한 전류 산출 분이다.

ID	실측치		최대전류 계산치(예측분)			
	전력량	전류	전류A	오차(율)	전류B	오차(율)
88	15070	408	331.1	76.9 (18.9)	545.8	137.8(33.8)
92	21209	592	502.7	89.3 (15.1)	744.1	152.1(25.7)
93	6827	138	171.7	33.7(24.4)	279.5	141.5(102.5)
94	174	126	102.5	23.5(18.7)	64.6	61.4(48.7)
95	19551	425	451.9	26.9(6.3)	690.5	265.5(62.5)
96	20339	385	475.7	90.7(23.5)	715.9	330.9(86.0)
97	5229	119	150.2	31.2(26.2)	227.9	108.9(91.5)
98	17899	417	404.6	12.4(3.0)	637.1	220.1(52.8)
99	15538	390	342.6	47.4(12.2)	560.9	170.9(43.8)
100	11949	236	261.1	25.1(10.6)	445.0	209.0(88.5)
101	11949	236	261.1	25.1(10.6)	445.0	209.0(88.5)
102	7400	150	180.1	30.1(20.1)	298.0	148.0(98.7)
103	17116	407	383.3	23.7(5.8)	611.8	204.8(50.3)
105	20221	394	472.1	78.1(19.8)	712.1	318.1(80.7)
107	17950	325	406.0	81.0(24.9)	638.8	313.8(96.5)
108	7194	216	177.0	39.0(18.0)	291.4	75.4(34.9)
	평균			45.9(16.1)		191.7(67.8)

표 6 각 함수별 최대전류의 비교

위 표 (6)에서 개선된 2차 함수 모델의 오차율 16.1%로 나타나며 이는 1차 함수 모델의 오차율 67.8%보다 대폭 개선되었음을 알 수 있다. 다음 그림은 이 결과를 그래프로 나타낸 것으로써 개선된 2차 함수 모델에서 실측치와 예측치가 근접한 형태의 그래프를 나타내고 있다.

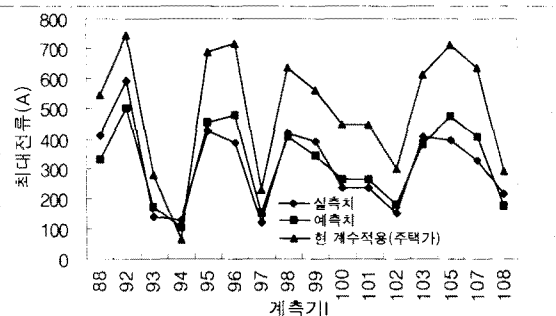


그림 7 계측기 실측치와 예측치의 비교

5.2 동계부하 계산

한전의 부하관리 전산시스템에서는 매년 1월 분과 8월 분의 전력사용량을 기준으로 100V 기준 환산전류, 벅크의 선 전류, 부하전력, 변압기 이용률 등을 계산하여 변압기관리를 위한 다양한 보고서를 작성하고 있다.

구분	부하 기록 (KVA)	단위KW당 이용률		1기후 부하 예상	전등 호수	사용량		당기	
		전등 단상	동력 단상			전등	동력	용량 (KVA)	이용률
85	480	99	0	533	22	11094	0	50	959
86	878	35	88	670	53	14427	6388	100	877
87	779	53	70	586	28	12382	2461	100	778
88	707	47	0	785	65	17213	0	75	943
89	474	67	0	526	45	9840	0	50	947
90	632	36	0	702	79	15197	0	75	843
91	622	39	0	691	67	14927	0	75	829
92	937	37	0	1040	112	23404	0	75	1249
93	733	39	0	813	77	17903	0	75	977
94	304	52	0	337	26	6352	0	75	405
95	227	151	0	252	16	4275	0	30	755
96	255	105	0	283	27	5044	0	30	850
97	616	52	84	424	13	7766	1925	100	616
98	1051	52	84	961	46	18721	2120	100	1050
99	828	46	53	594	29	12568	4410	100	828
100	947	35	0	1051	84	20554	0	100	946

표 7 동계부하계산 마스터

본 논문에서는 주택가 지역의 변압기를 표본으로 한 '98. 1월 분의 동계 부하계산 마스터와 본 논문에서 제안된 2차 함수 모델에 의한 계산 값을 비교하였다. 위의 표(7)는 '98년 동계부하계산 마스터 중 부하계측기가 설치되어 있는 표본변압기의 동계부하계산 결과이다.

각 다음 표(8)은 현재 적용중인 1차 함수 및 본 논문에서 제안한 2차 함수 모델에 의한 부하계산 과정을 나타내었다.

ID	100V 환산전류		선전류		부하전력		변압기이용률		
	현(전등)	현(동력)	개선	현	개선	현	개선	현	개선
85	417.3		244.0	189.7	110.9	48.0	28.1	96.0	56.1
86	525.0	238.1	315.7	346.9	143.5	87.8	36.3	87.8	36.3
87	458.9	218.3	270.1	208.6	122.8	77.9	31.1	77.9	31.1
88	615.0		385.9	279.5	175.4	70.7	44.4	94.3	59.2
89	376.8		220.5	171.3	100.2	43.3	25.4	86.7	50.7
90	549.9		334.2	249.9	151.9	63.2	38.4	84.3	51.2
91	541.1		327.6	246.0	148.9	62.2	37.7	83.0	50.2
92	814.9		575.1	370.4	261.4	93.7	66.1	125.0	88.2
93	637.3		404.7	289.7	183.9	73.3	46.5	97.7	62.0
94	264.2		165.0	120.1	75.0	30.4	19.0	40.5	25.3
95	197.1		138.8	89.6	63.1	22.7	16.0	75.5	53.2
96	221.9		147.9	100.9	67.2	25.5	17.0	85.1	56.7
97	309.8	203.7	185.7	140.8	84.4	59.1	21.4	59.1	21.4
98	663.7	160.6	427.7	301.7	194.4	94.8	49.2	94.8	49.2
99	464.9	221.5	274.1	211.3	124.6	78.9	31.5	78.9	31.5
100	722.9		482.3	328.6	219.2	83.1	55.5	83.1	55.5

표 8 1,2차함수 모델에 의한 동계부하계산 결과 비교

위의 표에서 보는바와 같이 1차 함수 모델보다 제안된 2차 함수에 의한 부하계산 값이 100V 환산전류는 평균 144.7(A), 선 전류는 평균 70.3(A), 부하전력은 평균 23.8(KW), 변압기 이용률은 평균 32.2%로 각각 적게 나타났다.

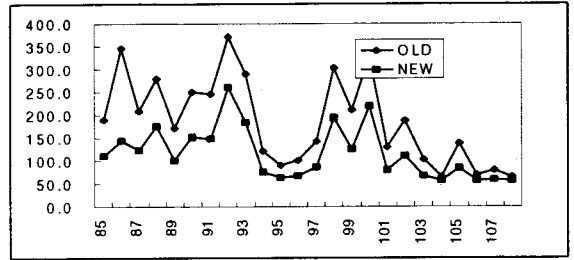


그림 8 벅크별 선전류 그래프

6. 결 론

본 논문에서는 최근의 부하특성에 적합한 부하상관계수를 구하기 위하여 수용가 특성을 변화가, 주택가, 농어촌, 가로등, 심야, 임시 등 12개로 세분화한 후 별도 제작·설치된 부하계측기로부터 데이터를 취득함으로써 보다 정확한 배전 부하계산을 시도하였다. 또한 동계기간 동안 주택가 지역의 부하를 취득하여 부하특성을 분석하였으며, 그 결과로써 기존 배전 전산시스템에서 적용하고 있는 1차 함수 모델보다 본 논문에서 제안한 2차 함수 모델을 설정한 후 계측된 변압기별 사용전력량에 적용한 결과 오차율이 67.8%에서 16.1%로 대폭 감소되었다. 그리고 선 전류, 부하전력의 경우는 기존의 계산결과보다 상당한 폭으로 적게 나타났으며, 변압기 이용률은 32.2%가 적게 나타남으로써 배전용 변압기의 이용률을 향상시켜 효율적인 운전이 가능하다고 판단된다.

위의 결과에서 알 수 있듯이 배전 부하관리를 개선하기 위해서는 전등용 부하의 경우에 있어서는 수용가의 지역 및 부하 특성별로 적합한 모델을 설정함으로써 상관도가 높은 새로운 부하계산 계수를 선정 해야 될 필요성을 알 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] 주상변압기 부하계산 상관계수 산정에 관한 연구, 한국전력공사 기술연구원, KRC-87D-J03, 1989년 11월.
- [2] 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 추계학술대회는 문집, pp.101-103, 1996년 11월.
- [5] 이기훈 외, 통계자료분석, 자유아카데미, pp.139-180, 1993년.