

부하모델링을 위한 22.9(kV)모선의 계절별 부하특성에 관한 연구

지평식* · 이종필** · 임재윤** · 김기동³ · 박시우⁴ · 김정훈⁵
 *충주대학교 · **대덕대학 · ³전력연구원 · ⁴충익대학교

Seasonal Load Characteristics on 22.9(kV) Bus for Load Modeling

P.S.Ji* · J.P.Lee** · J.Y.Lim** · K.D.Kim³ · S.W.Park³ · J.H.Kim³
 *Chungju Nat'l Univ. · **Taedok College · ³KEPRI · ⁴홍익대학교

Abstract - Load modeling, micro method, needs field test to identify the validity of methodology applied to modeling.

This paper presents seasonal field test method and measurement results on several substations. Seasonal load characteristics were analyzed by the developed substation load model and correlation coefficients of seasonal load of substation under base, peak and average load time.

용선압까지 감압, 다시 정상상태가 될 때까지 모선전압을 승압한다.

1. 서론

미시적 접근법에 의한 부하모델링[1-5]은 개별부하실험, 부하구성비 추정 및 배전선 축약 등의 과정을 통하여 수행된다. 대표적인 부하를 선정하여 개별부하모델링을 하고, 부하특성에 따른 분류인 용도별 특성을 구한 후, 추정된 구성비에 의하여 합성하는 방법을 사용하는 것으로

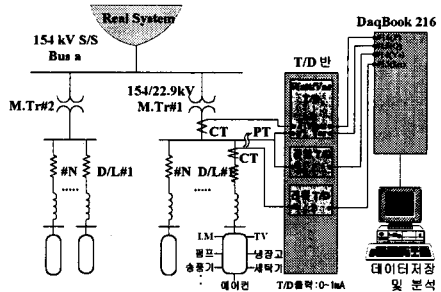


Fig. 1 Field test configuration on 22.9(kV) bus

이론적으로는 논리적이지만, 실제 적용하기 위해서는 계통의 여러 가지 비선형 특성 요소를 감안하여, 이와 같은 접근 방법에 대한 실제 검증이 요구된다. 이를 검증하기 위하여 부하모선의 부하특성을 실제 측정하고 미시적 접근법에 의한 부하모델링 결과와 비교 및 분석하고, 그 결과에 따라 부하 모델링에 대한 전반적인 검토가 수행됨으로써 보다 신뢰할 수 있는 부하 모델 구축을 기대할 수 있을 것이다.

Table 1 Field test schedule on 22.9(kV) bus

따라서 본 연구에서는 부하모델링의 신뢰성을 검증하기 위하여, 한전의 17개의 계약종별 용도를 주거용, 상업용, 산업용의 용도별로 구분하여 모선별·용도별 부하구성비자료[6]을 바탕으로 선정된 변전소를 대상으로 22.9(kV) 실 계통 변전소에서의 철두, 기저, 평균 부하 시간대의 부하특성을 계절별로 측정하여 계절별 부하특성을 고찰하였다.

변전소명	측정 일자				비고
	하계	추계	동계	춘계	
구로변전소 (남서울전력관리처)	* 추계시험부터 추가	'99.10.21 -15:00 -20:00 -05:00	2000.1.3 -15:00 -20:00 -05:00	2000.4.6-07 -11:00 -20:00 -04:00	전국과상이
목내변전소 (수원전력관리처)	'99.8.27 -15:00 -22:00 -05:00	'99.10.15 -22:00 -04:00 -09:00	2000.1.14 -15:00 -22:00 -05:00	2000.4.07-08 -15:00 -22:00 -04:00	산업용
왕십리변전소 (서울전력관리처)	'99.8.12 -15:00 -19:00 -02:00	'99.11.5 -15:00 -19:00 -03:00	2000.1.20 -15:00 -19:00 -03:00	2000.4.12-13 -15:00 -19:00 -03:00	전국과상이
홍인변전소 (서울전력관리처)	'99.8.13 -10:00 -15:00 -19:00 -04:00	'99.11.4 -15:00 -17:00 -04:00	2000.1.19 -15:00 -17:00 -04:00	2000.5.12-13 -15:00 -17:00 -04:00	상업용
풍남변전소 (남서울전력관리처)	* 추계시험부터 추가	'99.10.22 -19:00 -04:00	2000.1.21 -14:00 -19:00 -04:00	2000.4.14-15 -14:00 -20:00 -04:00	전국과상이
영철변전소 (대구전력관리처)	'99.8.6 -15:00 -18:00 -04:00	'99.10.27 -14:00 -18:00 -04:00	2000.1.26 -14:00 -18:00 -04:00	2000.4.21-22 -15:00 -18:00 -04:00	전국과상이
임궁변전소 (부산전력관리처)	'99.8.5 -15:00 -18:00 -05:00	'99.10.28 -15:00 -18:00 -05:00	2000.1.27 -15:00 -18:00 -05:00	2000.4.27-28 -15:00 -18:00 -05:00	전국과유사
신월변전소 (광천전력관리처)	'99.9.8 -15:00 -20:00 -04:00	'99.10.30 -04:00 -09:00 -15:00	2000.1.28 -15:00 -20:00 -04:00	2000.4.28-29 -15:00 -20:00 -04:00	주거용

2. 변전소 선정 및 현장 전압특성실험

2.1 변전소 선정

참고문헌 [7]에서와 같이 본 연구에서는 모선별·용도별 대표성(주거, 상업, 산업)의 구성비 특성을 보이는 모선에 대하여 식 (1)과 같은 근법도 지수 L을 사용하여 현장 실험 대상 변전소를 선정하였다.

$$L = (X - \bar{X})^2 + (Y - \bar{Y})^2 + (Z - \bar{Z})^2 \quad (1)$$

단, X, Y, Z : 변전소용도별 구성비(p.u)
 $\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$: 용도별 기준 지수

2.2 현장 전압특성실험

변전소는 Fig. 1과 같이 모선에 154/22.9(kV) M.Tr.#1, M.Tr.#2, ..., M.Tr.#N이 연결되어 있으며 각 M.Tr에는 D/L #1, D/L #2, ..., D/L #N이 연결되어 있고, 각 D/L에는 주거용, 상업용, 산업용 부하 등이 연결되어 있다. 또 각 변전소에는 SCADA측 데이터 취득을 위한 T/D반이 있고 여기에는 Watt/Var, 전압, 전류T/D 등이 설치되어 있다. T/D의 출력은 0~1(mA)의 전류이다.

이 때 M. Tr.의 전압, 유효·무효전력, 각 D/L 별 전류의 변화를 측정·저장하고, 이와 같은 방법으로 철두, 기저, 평균 부하시 각 M. Tr. 별로 각각 반복 측정한다. 측정 완료 후에는 다음 측정 시간까지 OLTC는 Auto운전 상태를 유지한다. 또한, Tap 변환 후 전압 유지시간은 5초로 하였다. 본 연구의 현장실험은 Table 1과 같이 실시하였다.

대상 변전소 T/D반의 T/D 2차 측에 측정장비를 Fig. 1과 같이 결선하고, 결선 후 SCADA측 데이터의 전송상태 및 측정장비의 동작상태 확인한다.

3. 변전소의 계절별 부하특성 분석 방법

M. Tr. 별 OLTC 탭을 Auto(AVR)에서 Local로 절제한 후, 허용전압 범위 내에서 수동으로 모선전압을 조작하여 전압을 정상상태에서 최대 허용 배전전압까지 승압한 후 최소 배전 허

이와 같이 측정된 현장실험 데이터를 근거로 하여 계절별 특성을 분석하기 위해 제안된 방법은 Fig. 2와 같다.

Fig. 2에서 나타낸바와 같이 현장실험 실험데이터는 부하의 응답 특성을 고려하여 식 (2)와 같은 다항식 모델을 적용하여

변전소별, M.Tr.별, 시간대별 부하특성을 모델링 할 수 있다.

$$\hat{P} = P_0 + \alpha \Delta V + \beta \Delta V^2 \quad (2)$$

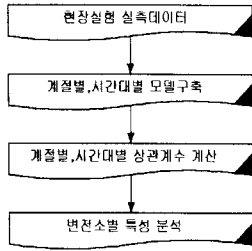


Fig. 2 Configuration of seasonal load characteristic analysis on 22.9(kV) bus

그러나 각 변전소에는 2.2절에서 기술한바와 같이 다수의 M.Tr.이 설치되어 있어 이것을 변전소별 침투, 기저, 평균 부하시 즉, 시간대별로 하나의 모델로 표현하기 위하여 본 연구에서는 Fig. 3과 같은 방법에 의하여 각 M.Tr.별로 모델링한 후 입력으로 일정한압 즉, 22,910[V]에서 23,300[V]까지 10[V]간격으로 40개의 전압을 입력한 후 각 모델의 출력인 유효전력과 무효전력을 합성하여 각 변전소의 시간대별 부하를 모델링 할 수 있다.

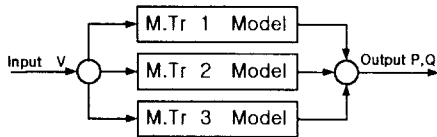


Fig. 3 Load modeling of substation

이와 같은 방법에 의해 선정된 각 변전소별, 시간대별로 대표부하모델을 만들고, 이를 이용하여 각 변전소별, 계절별 상관계수를 이용한 변전소별 부하특성을 분석하였다.

4. 사례연구

제안된 방법에 의하여 선정된 8개의 변전소에 대하여 4계절 동안의 침투, 기저, 평균 부하시의 유효전력과 무효전력의 측정결과를 가지고 식 (2)에 의해 모델링하였다. Fig. 4는 부하구성비가 전국과 상이한 대구전력관리처 관할 영천변전소의 M.Tr. #1의 평균부하의 실측결과로 전압의 변화에 따른 유효·무효전력을 나타낸다.

유효전력과 무효전력은 측정된 전력의 피상전력에 의해 정규화 하였으며 전압은 모선의 정격전압인 22,900[V]로 정규화 하였다.

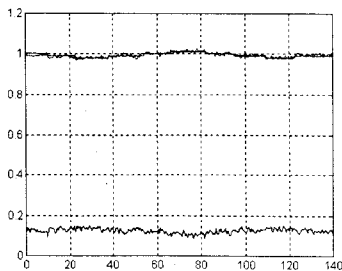
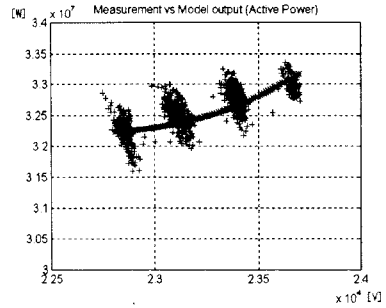


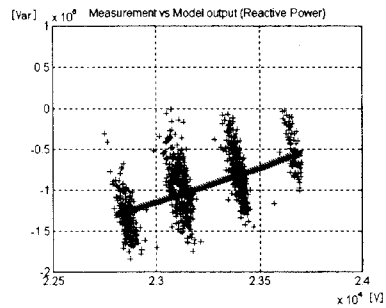
Fig. 4 Measurement results at M.Tr.#1 in Yungcheon S/S under average load time

그림에서 전압이 1[p.u]일 때 0.12[p.u]에서 시작한 데이터는 무효전력을 나타내고 0.98[p.u]에서 변화하기 시작한 데이터는 유효전력의 측정치를 나타낸다. 이와 같은 실측데이터를 식 (2)

에 나타난 다항식 모델을 이용하여 각 M.Tr.의 침투, 기저, 평균부하 시간대별로 모델을 구축하였다. Fig. 5는 영천변전소의 M.Tr.#1의 현재 평균부하 시간대 실측 결과와 모델링 결과를 나타낸다



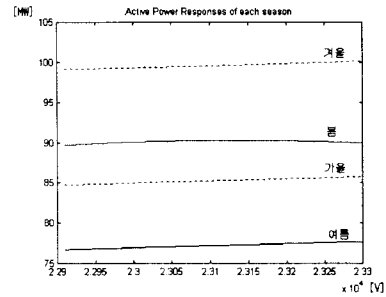
(a) 유효전력



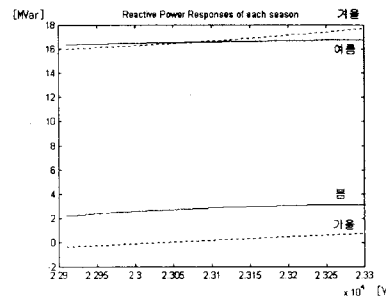
(b) 무효전력

Fig. 5 Measurement and modeling results at M.Tr.#1 in Yungcheon substation

이와 같이 모델링 된 각 M.Tr.별 부하모델을 이용하여 Fig. 3과 같은 방법에 의해 변전소의 침투, 기저, 평균부하시의 부하모델을 구축하였다.



(a) 유효전력



(b) 무효전력

Fig. 6 Seasonal load by load model of Yungcheon S/S under average load time

또, 각 변전소 별 계절별 부하 특성을 분석하기 위하여 같은 방법으로 철두, 기저, 평균 부하시의 모델을 구축한 후 22,910[V]에서 23,300[V]까지 10[V]간격으로 40개의 전압을 구축된 변전소 부하모델에 입력한 후 모델의 출력 즉, 유효전력과 무효전력으로 구성된 부하곡선을 Fig. 6과 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 6은 영천변전소 평균부하시 계절별 모델의 출력으로 동계부하시에 평균부하는 타 계절에 비하여 다소 크게 나타나고 있으며, 하계부하시에 가장 적게 나타나고 있다. 한편 Fig. 7은 최대부하시 계절별 모델의 출력으로 최대부하의 경우에도 동계부하시가 가장 크게 나타나고 있다.

이것은 대구전력관리처의 부하구성비가 주거용12.5(%, 상업용 16.6(%, 산업용 70.9(%)로 영천변전소의 부하구성비(주거용14.1(%, 상업용15.9(%, 산업용70.0(%)와는 유사하지만 전국의 부하구성비(주거용17.7(%, 산업용28.4(%, 산업용53.9(%)와는 상이한 경우로 영천변전소는 주거용과 상업용의 부하보다는 산업용의 부하가 상대적으로 크게 나타나고 있다.

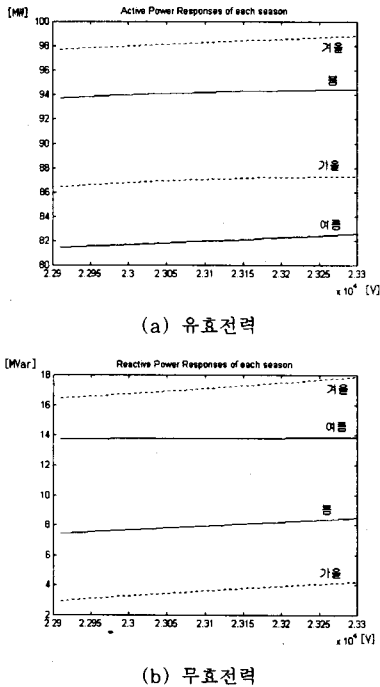


Fig. 7 Seasonal load by load model of Yungcheun S/S under peak load time

이와 같은 계절별 특성을 보다 정량적으로 분석하기 위하여 본 연구에서는 상관계수를 이용하였다. Fig. 6과 Fig. 7에 나타난 부하곡선을 이용하여 시간대별 유효전력과 무효전력의 상관계수를 계산하여 Table 2와 Table 3에 나타내었다.

Table 2 Correlation coefficients of seasonal real power under average load time

	춘계	하계	추계	동계
춘계	1.0000	0.5237	0.5235	0.4328
하계	0.5237	1.0000	1.0000	0.9946
추계	0.5235	1.0000	1.0000	0.9947
동계	0.4328	0.9946	0.9947	1.0000

Table 3 Correlation coefficients of seasonal reactive power under average load time

	춘계	하계	추계	동계
춘계	1.0000	0.9878	0.9762	0.9491
하계	0.9878	1.0000	0.9981	0.9866
추계	0.9762	0.9981	1.0000	0.9948
동계	0.9491	0.9866	0.9948	1.0000

표에서 보는바와 같이 평균부하의 유효전력은 춘계와 타 계절

사이의 상관계수에 의하면 낮게 나타나고 있어 춘계의 부하특성은 타 계절에 비하여 다르다는 것을 의미한다고 해석할 수 있고, 무효전력의 경우는 계절에 관계없이 부하의 특성이 일정하다고 해석할 수 있어 기존의 연구와 같게 나타나고 있다.

또, 하계와 추계는 유사하고, 추계와 동계도 유사하게 나왔는데 이것은 평균 부하를 측정하는 것이 계절이나 측정 전압의 전력 사용량을 고려하지 않고 18시에 임의로 측정했기 때문으로 큰 의미를 부여할 수는 없을 것으로 사료된다. 또한, 최대부하는 춘계와 추계, 하계와 동계부하 특성이 유사하게 나타났다.

이와 같은 방법에 의하여 8개의 변전소를 대상으로 현장실험 결과를 가지고 변전소 모델을 구축하여 계절별 부하특성을 분석한 결과 계절에 따라 변전소의 특성은 조금씩 다른 특성을 나타내었다.

5. 결 론

본 연구에서는 각 부하 모션의 부하모델의 신뢰성을 검증하기 위하여 국내 부하구성비와 유사한 변전소와 또 상이한 변전소를 각 전력관리처별로 선정하고 계약종별 용도인 주거용, 상업용, 산업용의 용도별로 구분하여 선정된 실측 목적의 변전소를 대상으로하여 1999년 8월부터 2000년 5월까지 4개월 동안 22.9[kV] 실 계통에서의 철두, 기저, 평균 부하 시간대의 부하특성을 측정 후 동일 변전소에 대한 계절별 부하특성을 분석고찰 하였다. 제안된 방법에 의해 분석한 결과 계절에 따라 일부변전소를 제외하고는 대부분 변전소는 계절에 따른 부하특성은 거의 유사하게 나타나고 있지만 본 연구에서의 실험데이터는 계절에 1회 현장 측정된 결과로 반드시 그 계절을 대표한다고는 할 수 없기 때문에 보다 정밀한 분석을 위해서는 동일 계절에 대하여 반복실험이 요구된다.

본 연구 결과는 미시적 방법에 의한 부하 모델링에 필수적으로 수반되는 실 계통 부하모델의 신뢰성 검증에 아주 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

또한, 전력산업구조 개편에 발맞추어 이에 따른 기반으로 각 변전소에서의 계절별 부하 특성을 국내 실정에 맞추어 분석하는 것이 전력산업의 효율성 제고를 위해 필요할 것으로 사료된다.

본 연구는 한국전력공사의 지원에 의하여 수행 되었음.

(참 고 문 헌)

- [1] C. F. Walker, "Residential Load Shape Modeling Based on Customer Behavior," IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, July 1985
- [2] H. L. Willis, "An Interactive End-Use Electric Load Model For Microcomputer Implementation", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Nov 1983
- [3] Hydro-Quebec, "Real-Time Digital Data Acquisition System for Load Characteristics", EPRI Report EL-851, 1980
- [4] W. W. Price, "Load Modeling for Power Flow and Transient Stability Computer Studies", IEEE T-PWRS, Vol. PWRS-3, 1988
- [5] G. Singh, "Load Modeling for Real Time Monitoring of Power Systems", 1977
- [6] 박시우, 김기동, 윤용범, 추진부, "한전계통의 부하구성비 분석", 대한전기학회 하계학술대회 논문집 C권 pp.1478-1480, 1999. 7.
- [7] 이종필 외 7인, "부하모델의 신뢰성 검증을 위한 22.9 [kV] 모션 선정 및 현장 전압특성 실험", 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp.322-324, 1999. 11.