

A Study on the Seasonal Load Characteristics in 22.9[kV] Bus

李鍾弼* · 林栽尹** · 池平植*** · 金起東[§] · 金正勳^{§§}

(Jong-Pil Lee · Jae-Yoon Lim · Pyeong-Shik Ji · Ki-Dong Kim · Jeong-Hoon Kim)

Abstract - A load modeling, micro method, is performed by component load modeling, load composition rate estimation and aggregation of component load model, etc.

The load model obtained from this process must be applied to actual load bus to verify it and to get reliable load model. But it is difficult to apply every load bus due to a lot of load buses and complex experiment. This paper proposed the field test method in load bus to verify the load modeling. For appropriate field test, representative load buses are selected by the proposed algorithm considering the composition rate of user category in all load buses. The field tests were performed at selected load buses to obtain load characteristics of bus by time and seasonal without blackout. The results of measurement and analysis are presented in detail.

Key Words : Seasonal load characteristic, Load modeling

1. 서 론

전력 수요 증가에 따라 전력계통은 점점 대형화, 복잡화 되어 가고 있으며, 이러한 추세는 앞으로 더욱 심화되어 전력품질에 대한 수용가의 요구도 높아질 것으로 예상된다. 공급에너지의 고품질을 유지하기 위해서는 효과적인 계통의 계획, 운용, 제어 등이 수반되어야 하며, 따라서 정도 높은 계통 해석은 필수 불가결한 사항이다. 그리고 전력 계통의 해석을 위해서는 계통의 구성 요소에 대한 정확한 모델링이 요구되며, 특히 계통의 다양한 부하들은 최근 신전력제어기술을 적용하여 비선형 부하 특성을 나타냄으로써 보다 정확한 부하 모델링 필요하다[1-3].

부하모델링 방법[4-5]에는 개별 부하기기들의 정밀한 부하모델을 모선의 부하구성비로 축약하는 미시적 모델링 방법과 모선에서 직접측정 및 특성실험에 의해 얻어진 자료를 토대로 모델링하는 거시적 방법이 있다. 그러나 대규모 계통에 있어서 전체 부하모선에서 모든 상황에 대하여 실측 데이터를 얻는 것은 불가능하기 때문에 일반적으로 미시적 방법에 의해 모델링하는 것이 현실적이다.

미시적 접근방법에 의한 부하모델링은 개별부하실험, 부하구성비 추정 및 배전선 축약 등의 논리적인 과정을 통하

여 수행된다. 아울러 이와 같은 접근방법에 대한 적합성과 결과에 대한 보다 높은 신뢰성을 갖기 위해서는 현장 실험을 통한 검증이 필요하다. 그러나 수많은 모선에서 현장 실험을 실시한다는 것은 비현실적이므로 현장 실험을 통해서 미시적 방법에 의한 부하모델링 방법의 타당성을 검증할 수 있는 최적의 대표적 모선을 선정하는 것이 합리적일 것이다. 그리고 현장 실험에 있어서는 수용가에 허용 오차 범위 내에서 양질의 전력을 지속적으로 공급하는 동시에 모선에서 부하의 정태 특성을 파악하기 위한 실험 방법을 수립하여야 할 것이다.

본 연구에서는 미시적 방법에 의한 부하모델링 방법의 타당성을 검증하기 위한 22.9[kV] 모선에서의 실험 및 계절별 부하특성 분석 관한 것으로 모선별·용도별 부하구성비 자료[6]를 바탕으로 대표적인 모선의 선정 방법을 제안하였고, 22.9[kV] 모선에서의 부하 특성 실험 방법과 최대, 평균, 기저부하 시간대의 부하특성 측정 결과를 나타내었다. 아울러 측정 결과를 토대로 계절별 변전소의 부하 특성 분석 결과를 제시하였다.

2. 변전소 선정

실계통에 있어서 부하특성 실험은 모선별 부하모델의 검증이므로 다양한 부하특성의 취득을 위한 변전소의 선정이 필수적이다[7].

본 연구에서는 변전소의 선정을 위해 모선별·용도별 대표성(주거, 상업, 산업용)의 구성비 특징을 보이는 모선을 선정하기 위하여 식 (1)과 같은 근접도 지수 L 을 사용하였다.

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

* 正 會 員 : 大德大 時間講師

** 正 會 員 : 大德大 컴퓨터電氣電子系列 副教授 · 工博

*** 正 會 員 : 忠州大 電氣電子 및 情報工學部 助教授 · 工博

§ 正 會 員 : 韓國電力公社

§§ 正 會 員 : 弘益大 電子電氣工學部 教授 · 工博

接受日字 : 2001年 2月 22日

最終完了 : 2001年 4月 10日

단, X, Y, Z : 변전소용도별 구성비[p.u]

$\hat{X}, \hat{Y}, \hat{Z}$: 용도별 기준 지수

예를 들면, $\hat{X}=1, \hat{Y}=0, \hat{Z}=0$ 이면 주거용, $\hat{X}=1/3, \hat{Y}=1/3, \hat{Z}=1/3$ 이면 주거·상업·산업 혼용된 변전소이고, $\hat{X}=0, \hat{Y}=1/2, \hat{Z}=1/2$ 이면 상업·산업용만이 혼용된 변전소이다. 근접도 지수 L 의 값이 가장 작은 변전소는 설정된 용도별 기준 지수에 따라 변전소의 용도별 구성상태가 분류된다. 표 1은 주거용 부하가 많은 변전소를 찾기 위하여 용도별 기준 지수를 $\hat{X}=1, \hat{Y}=0, \hat{Z}=0$ 으로 설정하고, 변전소의 용도별 구성비에 따라 계산된 근접도 지수 L 값을 나타내었다.

표 1 주거용 부하모선의 근접도 지수
Table 1 Closing degree index on each residential load bus

순 위	변전소명	관 할 관리처	부하구성비[%]			L
			주거용	상업용	산업용	
1	월 립	창 원	67.3	30.3	2.4	19.9
2	신 월	창 원	64.0	35.2	0.9	25.4
3	안 좌	광 주	61.5	14.2	24.2	22.7
4	은 평	서 울	59.3	38.3	2.4	31.3
5	송 계	제 천	57.4	28.4	14.1	28.2
6	와 룡	대 구	55.3	34.5	10.2	32.9
7	부 민	부 산	54.2	31.8	14.1	33.1
8	유 천	대 전	53.9	43.6	2.6	40.4
9	형 성	제 천	53.3	31.4	15.3	34.0
10	은 수	남서울	52.5	25.6	21.9	33.9

주) 구성비자료는 '99년 1월 자료를 근거로 산출 함

3. 변전소 부하특성실험

3.1 변전소 특성 실험의 개요

변전소의 부하특성 실험은 미시적 방법에 의하여 모선 부하모델의 검증과 변전소별 부하특성을 분석하기 위하여 데이터를 취득하는 것으로 실측데이터로부터 직접부하모델을 개발하는 거시적 부하모델과는 차이가 있다. 거시적 부하모델링을 위한 데이터 취득은 DSM(DSM;dynamic system monitor)과 같은 데이터 취득 장비를 일정 기간 동안 측정 장소에 설치한 후 장기간에 걸쳐 데이터를 취득하는 수동적인 방법이라 할 수 있고, 본 부하특성 실험은 단기간에 직접 OLTC(OLTC:on load tap changer)로 전압 변화를 가하여 데이터를 취득하는 능동적인 방법이라 할 수 있다. 그러나 부하특성 실험에서는 정상상태에서 조정 가능한 전압의 범위가 한계(22.9[kV]의 경우 -1[%]~+4[%])가 있는 반면, 장기간에 걸쳐 데이터를 취득하는 거시적 부하모델링의 경우에는 계통의 정상상태 뿐만 아니라 갑작스런 계통사고시 발생하는 외란에 대하여도 계통 데이터를 취득하므로 실제계통에서 자연적으로 발생하는 외란에 대한 부하 특성의 자료를 얻는다고 할 수 있다. 그러나 이와 같은 부하특성실험은 앞서 설명한 바와 같이 모든 변전소에서 만족하는 조건의 실험 결과를 얻기 위하여 장기간에 걸쳐 실행하는 것은 현실

적으로 어려움이 있다. 그러므로 본 연구에서는 부하 특성을 파악하기 위하여 계통의 안정도와 수용가의 전력 공급에 지장을 주지 않는 범위에서 인위적으로 계통의 전압을 변화시켜 부하의 특성 결과를 얻고자 한다.

3.2 변전소의 특성 실험을 위한 구성

변전소는 그림 1과 같이 모선에 154/22.9[kV] 변압기 #1, 변압기 #2,...변압기 #N이 연결되어 있으며 각 변압기에는 배전선 #1, 배전선 #2,...배전선 #N이 연결되어 있고, 각 배전선에는 주거용, 상업용, 산업용 부하 등이 연결되어 있다. 또 각 변전소에는 SCADA측 데이터 취득을 위한 변환기들이 있고 여기에는 유효·무효전력계, 전압·전류변환기 등이 설치되어 있다. 변환기의 출력은 0~1[mA]의 전류이다.

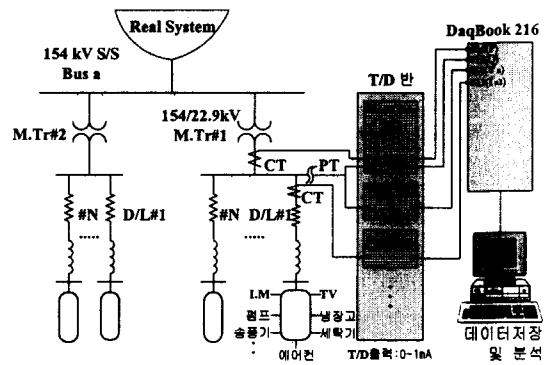


그림 1 22.9[kV] 모선에서 제안된 실험장치의 구성도
Fig. 1 Proposed experimentation configuration at 22.9 [kV] bus

3.3 실험방법

변전소의 부하 특성 실험은 대상 변전소 변환기의 2차 측에 측정장비를 그림 1과 같이 결선하고, 결선 후 SCADA측 데이터의 전송상태 및 측정장비의 동작상태를 확인한다.

각 변압기 별 OLTC 탭을 Auto(AVR)에서 Local로 절제한 후, 전압크기의 변동과 전압의 증감에 따른 변전소의 부하의 응답특성을 파악하기 위해 허용전압 범위 내에서 수동으로 변압기의 탭 변환에 의해 모선전압을 그림 2와 같이 정상상태에서 최대 허용배전 전압까지 승압한 후 최소 허용배전 전압까지 강압하고, 다시 정상상태가 될 때까지 모선전압을 승압한다. Tap 변환 후 변압기의 전압이 정상 상태까지의 도달을 고려하여 일정 시간 경과 후 다시 변압기의 탭을 조정한다.

이 때 변압기의 전압, 유효·무효전력, 각 배전선 별 전류의 변화를 측정·저장하고, 이와 같은 방법으로 변전소별 예상되는 일일 최대부하, 기저부하, 평균부하 시간대에서 각 변압기 별로 각각 반복 측정한다. 측정 완료 후에는 다음 측정 시간까지 OLTC는 Auto운전 상태를 유지한다.

본 연구에 사용된 자료 취득 장비는 표 2와 같은 성능을 갖는 제품을 사용하였다. 한편, 변환기는 0~1[mA]의 전류 출력으로 나타나지만 본 장비는 입력을 전압으로 하기 때문에 변환기의 출력전류를 전압으로 변환하고 실험을 용이하

계 수행하기 위한 실험판을 설계, 제작하였다.

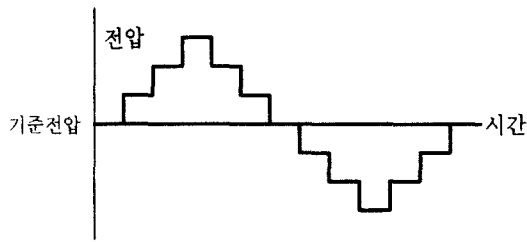


그림 2 OLTC에 의한 모선전압의 변화
Fig. 2 Variable voltage configuration by OLTC

표 2 자료취득 장비의 사양
Table 2 Portable PC-Based data acquisition system specification

Item	Specification
A/D resolution & Speed	16bit, 100kHz
No. of analog input channels	8 DE, 16SE
Maximum channel capacity	256ch
Channel/gain sequencer depth	512
Built-in expansion card slot	1 slot
FIFO size	4k
No. of analog input channels	2ch
D/A resolution	12bit

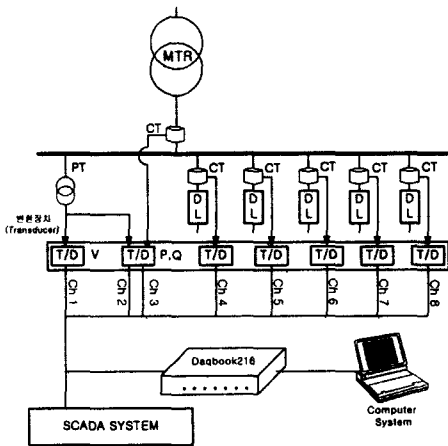


그림 3 측정장치의 구성도
Fig. 3 Configuration of measurement device

그림 3은 실험장치의 결선을 나타낸다. 변전소별 측정시간은 대상 변전소의 운용자료를 분석, 부하패턴을 참고하여 예측되는 최대부하, 평균부하, 기저부하 시간대를 설정하였다. 한편, 실험 종료 후에는 SCADA측의 데이터 전송상태를 확인한다.

4. 변전소의 계절별 부하특성 분석 방법

이와 같이 측정된 현장실험 데이터를 근거로 하여 계절별

특성을 분석하기 위해 제안된 방법은 그림 4와 같다.

그림 4에서 나타낸바와 같이 현장실험 실측데이터는 부하의 응답 특성을 고려하여 식 (2)와 같은 다항식 모델[8]을 적용하여 변전소별, 변압기별, 시간대별 부하특성을 모델링할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 P(V, f) &= a_p + b_p \Delta V + c_p \Delta V^2 + d_p \Delta V^3 + e_p \Delta V^4 + f_p \Delta V^5 \\
 &\quad + g_p \Delta V \Delta f + h_p \Delta V^2 \Delta f + i_p \Delta f \\
 Q(V, f) &= a_q + b_q \Delta V + c_q \Delta V^2 + d_q \Delta V^3 + e_q \Delta V^4 + f_q \Delta V^5 \\
 &\quad + g_q \Delta V \Delta f + h_q \Delta V^2 \Delta f + i_q \Delta f
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

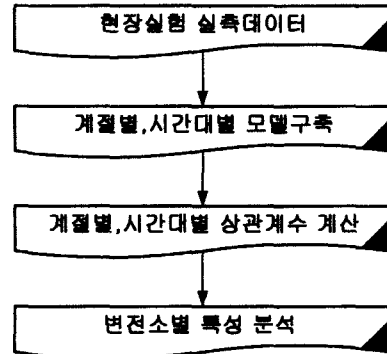


그림 4 22.9[kV] 모선에서 계절별 부하특성 분석 절차
Fig. 4 Procedure of seasonal load characteristic analysis on 22.9[kV] bus

그러나 각 변전소에는 3.2절에서 기술한바와 같이 다수의 변압기가 설치되어 있기 때문에 이것을 변전소별 최대, 기저, 평균부하시 즉, 시간대별로 하나의 모델로 표현하기 위하여 각 변압기별로 모델링한 후 입력으로 일정전압 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 모델링하였다.

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

5. 사례연구 및 고찰

5.1 변전소 선정 결과

실측 대상 변전소 선정은 앞에서 설명한 바와 같이 근접도 지수 L을 이용하여 대상 변전소를 선정할 결과 상업용과 산업용은 각각 최고 99.0[%], 99.7[%]로 뚜렷한 특징을 보였지만, 주거용의 경우 67.3[%](월립S/S)가 최고였다. 또한, 주거·상업·산업 혼용의 경우와 두 가지씩 혼용의 경우에 얻어진 결과도 다른 특징을 가진 모선과 유사하게 나타나 특별한 의미가 없었다.

예를 들면, 주거용·상업용 혼용의 모선 특징과 주거용 모선의 특징이 유사하게 나타나 이 기준을 적용하지 않고, 전국 용도별 구성비와 한국전력공사 전력관리처별 구성비 중

특이한 특징을 가지는 모선을 선정 기준으로 하였다. 또한, 계약전력 및 전력사용량이 크며, 계절별 부하변동이 적고 최신설비가 설치되었고, 실험이 용이하도록 변환기들의 설치 여부 및 계통안정도측면에서 중요시되는 변전소를 우선적으로 고려하여 표 3과 같이 실험대상 변전소를 선정하였다.

표 3 제안된 근접도 지수에 의해 선정된 변전소
Table 3 Substations selected by closing degree index

번호	변전소명	부하구성비[%]			관할 관리처	소재지	비고
		주거	상업	산업			
1	신월S/S	64	35.2	0.9	창원	창원	주거용
2	홍인S/S	1.5	98.1	0.4	서울	서울	상업용
3	목내S/S	0.0	0.3	99.7	수원	안산	산업용
4	엄궁S/S	18.5	29.1	52.5	부산	부산	전국과 유사
5	왕십리S/S	34.1	45.3	20.6	서울	서울	전국과 상이
6	구로S/S	25.0	68.4	6.6	남서울	서울	남서울과 유사
7	영천S/S	14.1	15.9	70.0	대구	영천	전국과 상이
8	풍납S/S	37.5	58.3	4.1	서울	서울	지하철부하없음

주) 구성비자료는 '99년 1월 자료를 근거로 산출 함

현장실측실험은 1999년도 하계부하부터 실시되어 남서울 전력관리처 관할 화곡변전소에서도 실측 실험을 실시하였으나, 배전반 전류계의 지시값과 SCADA용 변환기들의 출력값과의 오차 발생으로 인하여 구로변전소를 재선정하였으며, 서울·경기지역은 지하철의 기동, 정지시 부하변동이 심하여 특정한 부하모델이 될 것으로 예상되어 지하철 전원을 공급하지 않는 풍납변전소를 추가로 부하특성실험 대상 변전소로 선정하였다.

5.2 변전소 부하특성 실험

지금까지 기술한 내용을 바탕으로 선정된 변전소에 대하여 표 4와 같은 일정으로 4계절에 대하여 각 변전소의 OLTC 탭 변화에 따른 변환기의 2차측 전압 및 유·무효전력의 변화를 측정하였다. 그림 5에 하계 부하의 현장실험 결과를 나타내었다. 그림에서 전압은 정격전압 22,900[V]로, 유효전력과 무효전력은 각 변압기별 피상전력으로 정규화하였으며, 1[p.u]에서 시작된 데이터는 전압의 변화상태를 나타내고 있으며, 윗부분은 유효전력, 아래 부분은 무효전력을 나타낸다. 그림 (a)는 주거용 변전소로 선정된 신월 변전소의 최대부하(15시)에 대한 특성실험 결과로 전압의 변화에 대한 유효·무효전력은 크게 변화하지 않고 있다. 그러나, (b)의 경우는 부하구성비가 상업용 98.1[%]로 상업용이 대부분을 차지하고 있고, 변전소 특성상 최대부하가 오전 10시에 나타나고 있다. 또, 전압 0.1[p.u]변화에 대해 유효전력은 0.2[p.u]로 변화하고 있다. 이것은 변전소가 지하철 전동기의 전원공급에 사용되기 때문으로 해석할 수 있다. 이 변전소는 전동기 부하의 기동과 정지가 빈번하기 때문에 유효·무효전력의 패턴 변화는 전압의 변화보다는 지하철의 운전특성에 많은 영향을 받는 것을 알 수 있다. 한편, (c)는 같은 변압기 탭크에 대하여 기저부하(04시)때의 부하특성을 나타내고 있다. 그림에서 부하특성이 진동하며 나타나고 있는 것은 본 변전소가 타 변전소와는 다르게 옥외에 설치되

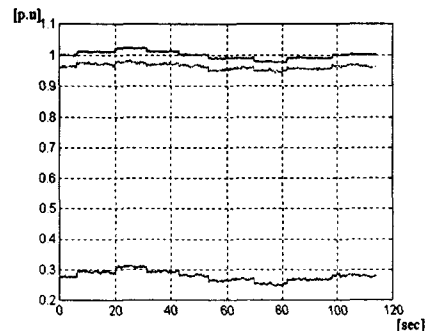
어 있어 지하 또는 옥내에 설치되어 있는 변전소와의 접지 방식 차이에 의한 측정시의 노이즈로 사료된다. (d)는 부하구성비가 산업용 99.7[%]인 목내변전소 평균부하(10시) 시간대의 부하특성을 나타내고 있다.

표 4 현장실험 일정표
Table 4 Field experiment schedule

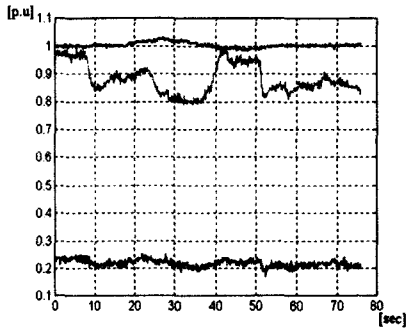
변전소명	측정 일자				비고
	하계	추계	동계	춘계	
신월변전소 (창원전력관리처)	'99. 9. 8 - 15:00 - 20:00 - 04:00	'99. 10. 30 - 04:00 - 09:00 - 15:00	2000. 1. 28 - 15:00 - 20:00 - 04:00	2000. 4. 28-29 - 15:00 - 20:00 - 04:00	주거용
홍인변전소 (서울전력관리처)	'99. 8. 13 - 10:00 - 15:00 - 19:00 - 04:00	'99. 11. 4 - 15:00 - 17:00 - 04:00	2000. 1. 19 - 15:00 - 17:00 - 04:00	2000. 5. 12-13 - 15:00 - 17:00 - 04:00	상업용
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
엄궁변전소 (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	전국과 유사
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	전국과 상이
구로변전소 (남서울전력관리처)	* 추계시험부 타 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	전국과 상이 (남서울과 유사)
영천변전소 (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	전국과 상이
풍납변전소 (남서울전력관리처)	* 추계시험부 타 추가	'99. 10. 22 - 14:00 - 19:00 - 04:00	2000. 1. 21 - 14:00 - 19:00 - 04:00	2000. 4. 14-15 - 14:00 - 20:00 - 04:00	전국과 상이 (지하철 부하없음)

이 변전소는 특성상 산업용의 유도전동기 부하가 대부분을 차지하고 있기 때문에 전압 변화에 따른 유효·무효전력의 변화가 뚜렷하게 나타나고 있다. 또, (e)는 부하구성비가 전국과 유사한 엄궁변전소의 최대부하(15시)시의 부하특성으로 무효전력은 전압의 변화에 따라 변화하고 있다. 그러나 (f), (g)의 경우는 왕십리 변전소의 측정결과로 0.05[p.u]의 전압변화에 대해 유효전력은 0.25[p.u]의 범위로 크게 변화하고 있다.

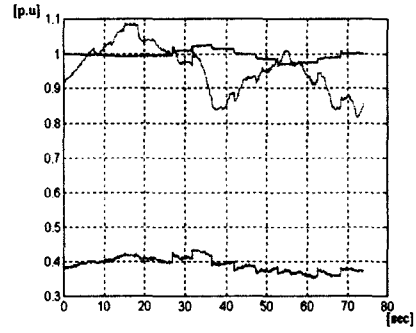
이것은 부하구성비가 전국과 상이한 변전소로 주거용, 상업용 산업용 부하의 구성비가 34.1[%], 45.3[%], 20.6[%]로 이 변전소도 지하철 운전특성에 많은 영향을 받는 것으로 사료된다.



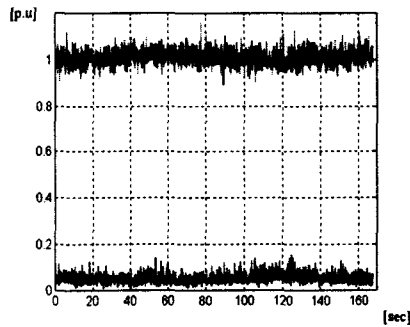
(a) M.Tr. #1 peak load(Shinweol S/S)



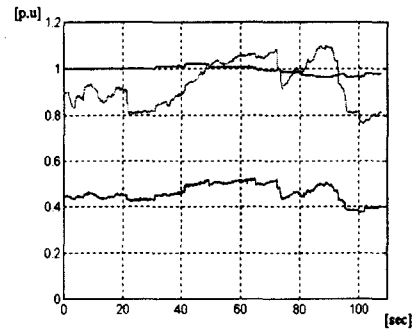
(b) M.Tr. #1 peak load(Heungin S/S)



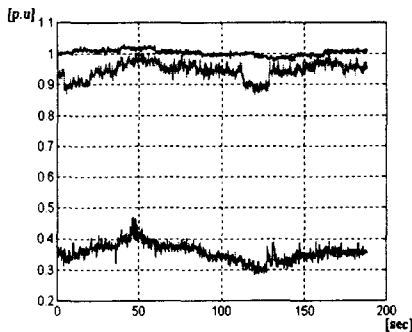
(f) M.Tr. #1 average load(Wangsipri S/S)



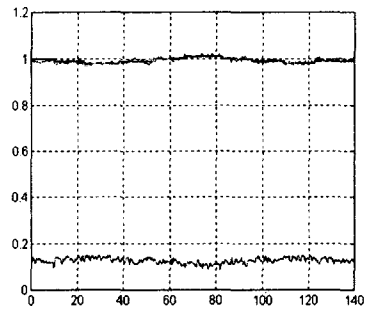
(c) M.Tr. #1 low load(Heungin S/S)



(g) M.Tr. #3 average load(Wangsipri S/S)



(d) M.Tr. #1 average load(Moknae S/S)



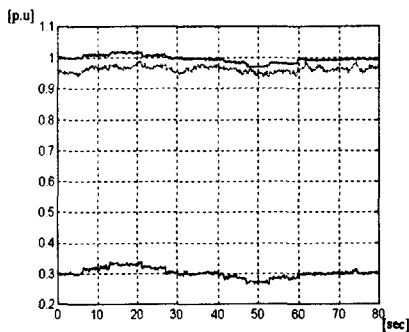
(h) M.Tr. #1 low load(Yungcheon S/S)

그림 5 22.9[kV] 모선에서의 부하특성 실험 결과

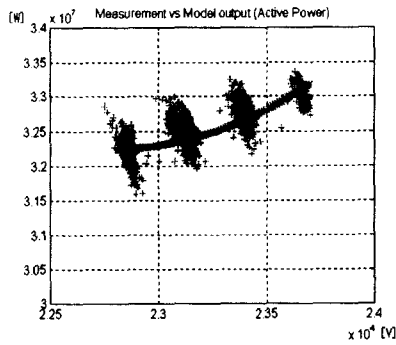
Fig. 5 Field experiment results on 22.9[kV] bus

5.3 변전소 계절별 부하특성분석

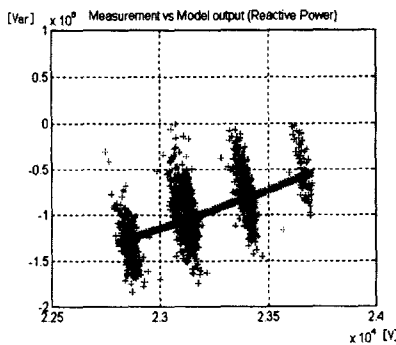
제안된 방법에 의하여 선정된 8개의 변전소에 대하여 4계절 동안의 최대, 평균, 기저부하시의 유효전력과 무효전력의 측정결과를 가지고 식 (2)에 의해 모델링하였다. 그림 5의 (h)는 부하구성비가 전국과 상이한 대구전력관리처 관할 영천변전소 변압기 #1의 하계 평균부하의 실측결과로 전압의 변화에 따른 유효·무효전력을 나타낸다. 그림에서 전압이 1[p.u]일 때 0.12[[p.u]에서 시작한 데이터는 무효전력을 나타내고 0.98[p.u]에서 변화하기 시작한 데이터는 유효전력의 측정치를 나타낸다.



(e) M.Tr. #1 peak load(Eumgung S/S)



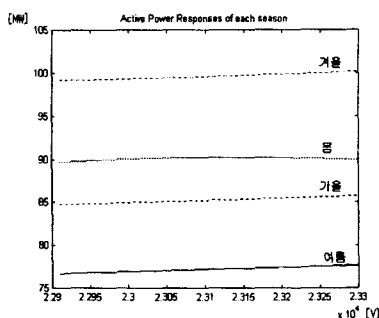
(a) Active power



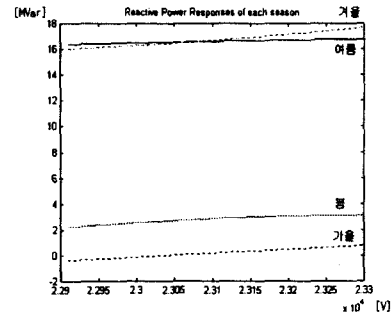
(b) Reactive power

그림 6 영천변전소 변압기 #1의 평균부하시 실측 및 모델링 결과
Fig. 6 Actual and modeling results at 1st transformer under average load time(Yungcheon)

이와 같은 실측데이터를 식 (2)에 나타난 다항식 모델을 이용하여 각 변압기의 최대, 평균, 기저부하 시간대별로 모델을 구축하였다. 그림 6은 영천변전소 변압기 #1의 춘계 평균부하 시간대 실측 결과와 모델링 결과를 나타내었다. 그림에서 4개의 그룹으로 나타난 부분은 OLTC의 탭변화를 그림 2와 같이 변화시켰을 때 측정된 모선의 유효·무효전력 변화를 x축의 전압을 기준으로 나타내고 있으며, 굵은 실선 부분은 변압기 #1의 모델링 결과를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있는바와 같이 모델링 결과가 양호함을 알 수 있다.



(a) Active power



(b) Reactive power

그림 7 부하모델에 의한 영천변전소 평균부하시 계절별 부하특성
Fig. 7 Seasonal load characteristics by load model under average load time(Yungcheon)

이와 같이 모델링 된 각 변압기별 부하모델을 이용하여 그림 4와 같은 방법에 의해 변전소의 최대, 평균, 기저부하시의 부하모델을 구축하였다. 또, 각 변전소 별 계절별 부하특성을 분석하기 위하여 구축된 최대, 평균, 기저부하시의 모델에 22,910[V]에서 23,300[V]까지 10[V]간격으로 40개의 전압을 입력한 후 모델의 출력 즉, 유효전력과 무효전력으로 구성된 부하곡선을 그림 7과 그림 8에 나타내었다. 그림 7은 영천변전소 평균부하시 계절별 모델의 출력으로 동계부하시에 평균부하는 타 계절에 비하여 다소 크게 나타나고 있으며, 하계부하시에 가장 적게 나타나고 있다.

그림 8은 최대부하시 계절별 모델의 출력으로 최대부하의 경우에도 동계부하시가 가장 크게 나타나고 있다.

이것은 대구전력관리처의 부하구성비가 주거용 12.5[%], 상업용 16.6[%], 산업용 70.9[%]로 영천변전소의 부하구성비(주거용14.1[%],상업용15.9[%],산업용70.0[%])와는 유사하지만 전국의 부하구성비(주거용17.7[%], 상업용28.4[%], 산업용53.9[%])와는 상이한 경우로 영천변전소는 주거용과 상업용의 부하보다는 산업용의 부하가 상대적으로 크기 때문에 최대부하가 동계에 나타나고 있다고 사료된다.

이와 같은 계절별 특성을 보다 정량적으로 분석하기 위하여 본 연구에서는 상관계수를 이용하였다. 그림 8에 나타난 부하곡선을 이용하여 시간대별 유효전력과 무효전력의 상관계수를 계산하여 표 5에 나타내었다. 표에서 보는바와 같이 평균부하의 유효전력은 춘계와 타 계절사이의 상관계수는 0.43~0.52로 낮게 나타나고 있어 춘계의 부하특성은 타 계절에 비하여 다르다는 것을 의미한다고 해석할 수 있고, 무효전력의 경우는 춘계부하와 동계부하의 상관계수가 0.94로 다소 적게 나타나고 있지만 계절에 관계없이 부하의 특성이 일정하다고 해석할 수 있으며 이러한 결과는 기존의 연구와 같게 나타나고 있다.

또, 평균부하의 유효전력은 하계와 추계, 하계와 동계, 추계와 동계도 유사하게 나타나고 있으며 최대부하는 춘계와 추계, 하계와 동계부하 특성이 유사하게 나타났다.

이와 같은 방법에 의하여 8개의 변전소를 대상으로 현장 실험 결과를 가지고 변전소 모델을 구축하여 각 변전소의 계절별, 시간대별 부하특성을 분석하였다. 일반적으로 각 변전소의 유효전력의 기저부하는 계절에 관계없이 거의 동일

한 부하패턴으로 분석되었으며, 평균부하는 계절에 따라 다른 결과를 나타내고 있어 계절별 부하모델을 필요로 하는 것으로 사료된다. 또, 최대부하도 평균부하와 마찬가지로 계절별 특성을 뚜렷이 반영하는 것으로 나타났다. 그러나, 무효전력은 최대, 평균부하, 기저부하시 각 계절별 유사한 특성을 나타내고 있는 것으로 분석되었다.

하도모델과 비교하여 부하의 체계적인 분석이 가능할 것이다. 전술한 바와 같이 본 연구는 선정된 전국 용도별 8개 변전소의 부하모델 검증용 데이터 확보와 함께 취득된 데이터를 정량적으로 분석함으로써 부하모델을 실 계통에 적용하는데 있어 부하특성을 파악하는데 유용하게 사용될 것으로 사료된다.

6. 결 론

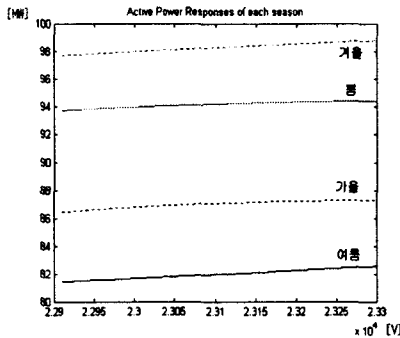
본 연구에서는 각 부하 모선의 부하모델의 신뢰성을 검증하기 위하여 국내 부하구성비와 유사한 변전소와 또 상이한 변전소를 주거용, 상업용, 산업용의 용도별로 구분하여, 용도별 특성을 나타내는 실측 목적의 변전소를 선정하였다. 또한, 선정된 변전소를 대상으로 하여 22.9[kV] 실 계통에서의 최대, 평균, 기저부하 시간대의 부하특성 측정기법을 제안하였으며, 1999년 8월부터 2000년 5월까지 4계절 동안 실 계통에서의 최대, 평균, 기저부하 시간대의 부하특성을 측정된 후 동일 변전소에 대한 계절별 부하특성을 분석, 고찰하였다.

제안된 방법에 의해 분석한 결과 일반적으로 각 변전소의 유효전력의 기저부하는 계절에 관계없이 거의 동일한 부하패턴으로 분석되었으며, 평균부하는 계절에 따라 다른 결과를 나타내고 있어 계절별 부하모델을 필요로 하는 것으로 나타났다. 또, 최대부하도 평균부하와 마찬가지로 계절별 특성을 뚜렷이 반영하는 것으로 나타났으며 무효전력은 최대, 평균, 기저부하시 각 계절별 유사한 특성을 나타내고 있는 것으로 분석되었다.

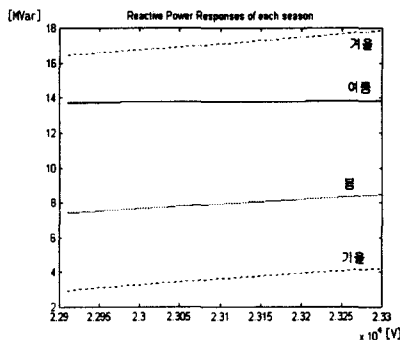
따라서 본 연구 결과는 미시적 방법에 의한 부하 모델링에 필수적으로 수반되는 실 계통 부하모델의 신뢰성 검증에 아주 유용하게 이용될 수 있고, 집단부하의 모델링결과를 실 계통에 적용하는데 있어 부하특성을 파악하는데 유용하게 사용될 것으로 사료되며, 전력산업구조 개편에 발맞추어 이에 따른 기반으로 각 변전소에서의 계절별 부하 특성을 국내 실정에 맞추어 분석함으로써 전력산업의 효율성을 높일 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] M. M. A. Hakim and G.J. Berg, "Dynamic Single Unit Representation of Induction Motor Groups", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-95, No.1, 1976
 [2] G.J. Rojers, J.D. Manno and R.T.H. Alden, "An Aggregate Induction Motor Model for Industrial Plants", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-103, No.4, 1984
 [3] N. Vempati, R. R. Shoults, M. S. Chen and L. Schwobel, "Simplified Feeder Modelling for Load Flow Calculations", IEEE Trans. on PWRs, Vol. PWRs-2, No.1, pp.168-174, 1987
 [4] W. W. Price, "Load Modeling for Power Flow and Transient Stability Computer Studies", IEEE T-PWRs, Vol. PWRs-3, 1988
 [5] General Electric Co., "Load Models for Power Flow and Transient Stability Computer Studies", EL-5003,



(a) Active power



(b) Reactive power

그림 8 부하모델에 의한 영천변전소 최대부하시 계절별 부하특성
 Fig. 8 Seasonal load characteristics by load model under peak load time (Yungcheon)

표 5 영천변전소 평균부하시 부하모델의 계절별 상관계수
 Table 5 Correlation coefficients of seasonal power under average load time

	춘 계	하 계	추 계	동 계
춘 계	1.0000 (1.0000)	0.5237 (0.9878)	0.5235 (0.9762)	0.4328 (0.9491)
하 계	0.5237 (0.9878)	1.0000 (1.0000)	1.0000 (0.9981)	0.9946 (0.9866)
추 계	0.5235 (0.9762)	1.0000 (0.9981)	1.0000 (1.0000)	0.9947 (0.9848)
동 계	0.4328 (0.9491)	0.9946 (0.9866)	0.9947 (0.9948)	1.0000 (1.0000)

() : reactive power

이와 같이 변압기별 부하특성을 근거로 하여 각 모선별 부하모델의 합성이 가능하기 때문에 추후 개발될 모선별 부

Vol. 1-4, EPRI Project 847-7, 1987

- [6] 추진부, 박시우, 김기동, 윤용범, “한전계통의 부하구성비 분석”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집 C권 pp. 1478~1480, 1999. 7.
- [7] 이종필 외 7인, “부하모델의 신뢰성 검증을 위한 22.9 [kV]모선 선정 및 현장 전압특성 실험”, 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp. 322~324, 1999. 11.

- [8] P. Ju, E.Handschin, D.Karlsson, “Nonlinear dynamic load modelling : Model and Parameter Estimation”, IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 11, No. 4, pp. 1689~1697, Nov. 1996

저 자 소 개



이 종 필 (李 鍾 弼)
 1970년 12월 14일 생. 1996년 충북대 공대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 대덕대 전기과 시간강사.
 E-mail : jolious@mail.ddc.ac.kr



김 기 동 (金 起 東)
 1965년 7월 20일 생. 1997년 경남대 공대 전기공학과 졸업. 1983년~현재 한국전력 공사 근무.
 E-mail : kdkim@kepri.re.kr



임 재 윤 (林 裁 尹)
 1961년 8월 4일 생. 1984년 충북대 공대 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 홍익대 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1999~2000 Texas A&M Univ. 방문교수. 현재 대덕대 컴퓨터전기

전자계열 부교수
 E-mail : jyylim@mail.ddc.ac.kr



김 정 훈 (金 正 勳)
 1955년 9월 13일 생. 1978년 서울대 전기공학과 졸업. 1981년 서울대 대학원 전기공학과(석사). 1985년 동대학원 전기공학과(공학박). 1988~1989년 미국 Penn State Univ. 방문교수. 1981년~현재 홍익대 전

자전기공학부 교수. 현 대한전기학회 사업이사 및 용어위원회 위원장
 E-mail : jhkim@hongik.ac.kr



지 평 식 (池 平 植)
 1964년 3월 5일 생. 1994년 충북대 대학원 전기공학과 석사과정 졸업(석사). 1998년 동대학원 전기공학과 박사과정 졸업(공학박). 현재 충주대 전기전자 및 정보공학부 (BK21)조교수

E-mail : psji@gukwon.chungju.ac.kr