

대규모 전력계통의 부하역률 대표모델 산정을 위한 데이터베이스 구축

이정희 · 김광욱 · 조종만 · 김진오
한양대학교 전기공학과

Database Construction to compute Representative Model of Load Power Factor in Large Scale Power System

Jung-Hee Lee · Kwang-Wook Kim · Jong-Man Cho · Jin-O Kim
Dept. of EE, Hanyang University

Abstract - This paper computes the regional, seasonal and hourly representative model of load power factor considering load characteristics of all 154/22.9 kV substations. An accurately computed representative model of load power factor is studied to present a precision improvement of power system analysis and the security of the system. The method to compute representative model of load utilizes the method of applicable moving average based on the method of flow average. The EMS data are used as the source to assess the load power factor.

1. 서 론

최근 우리나라는 도시의 개발이나 산업의 발전, 생활여건의 향상 등에 따른 전력수요의 지속적인 증가와 전력계통 전력설비의 대용량화 및 냉·난방 부하의 증가 등으로 계통내부에서 소모되는 무효전력 급증에 따라 계통전압 관리와 계통의 신뢰도 차원에서 부하역률 관리의 중요성이 새로이 부각되고 있다.

계통전압을 관리하고 계통의 신뢰도를 높이기 위해서는 예측된 무효전력 수요에 따라 무효전력 공급계획을 별도로 수립하여 운영하거나 공급 가능한 무효전력량을 지역적으로 검토하여 기준전압을 지역적으로 분류하여 관리해야 한다. 또한 계통의 안정성을 정확하게 해석하기 위해서는 부하역률을 실제적으로 평가하고 지역적으로 평가지수를 수립 해야한다. 부하역률은 부하특성에 따라 상이하므로 이를 충분히 고려하여 평가하고 부하역률 대표모델도 이에 적합하도록 산정해야 한다.

우리나라 154 kV 전 변전소를 대상으로 부하역률을 평가하기 위한 자료로는 EMS 데이터를 이용하였다. 그러나 EMS 데이터는 배전용 변압기 2차측 데이터이므로 변압기 무효전력 손실을 산출해야 하며, 배전모선에서 운전된 무효전력 보상량을 제거하여야만 한다. 이런 부하역률 관리에 필요한 부하데이터의 취득 및 관리는 매우 중요한 부분을 차지하고 있다. 그러나 EMS 데이터는 시간이 지나감에 따라 막대한 양으로 증가한다. 특히, 저장 시 동일한 데이터가 중복 저장 될 우려가 있으며, 데이터의 갱신 비용 및 데이터 불일치성이 발생하기 때문에 데이터의 효율적인 관리 및 필요한 데이터의 빠른 검색에 있어서 데이터베이스 구축은 필수적이다. 따라서 본 논문에서는 데이터베이스를 이용하여 우리나라 154 kV 전 변전소를 대상으로 유량(flow) 평균법을 기반으로 한 응용-이동 평균법을 사용하여 지역별, 계절별, 시간대별 부하역률 대표모델을 산정하였고 윈도우 환경에서 GUI 응용 프로그램을 개발, 이를 시각화하였다.

2. 154 kV 모선 부하 유·무효 전력 산정

154kV 모선 부하 유·무효전력을 산정하기 위해서는 각 변전소별 배전용 변압기 1차측 및 154 kV 전용 부하

로 공급된 유·무효전력, 변전소에서 운전된 무효전력 보상량 데이터가 필요한데 전용 부하의 유·무효전력 데이터와 변압기 손실을 고려하지 않은 유효전력 데이터 및 변전소에서 보상된 무효전력 데이터는 EMS와 SOMAS (Substation Operating results Management System)를 통하여 데이터를 얻을 수 있으나 변압기 무효전력 손실 데이터는 EMS로부터 직접 얻을 수 없으므로 현장 변전소에서 실제 계측한 변압기의 1차측 전류와 전압, 2차측 유·무효전력 측정 데이터를 기준으로 최소자승법을 이용하여 변압기 무효전력 손실을 산출하였다.

2.1 최소자승법을 이용한 변압기 무효전력 손실 산출

일반적으로 변압기 무효전력 손실을 산출할 때 변압기 내부 임피던스(제각당사의 %임피던스)와 변압기 2차측 유·무효전력 데이터를 이용하여 산출한다. 그러나 현장 변전소에서 운전되는 실제 변압기의 내부 임피던스는 변압기 상태(온도, 노화 등)에 따라 달라진다. 따라서 본 논문에서는 현장 변전소의 변압기에서 계측한 데이터를 바탕으로 최소자승법을 이용하여, 현장 변전소에서 운전되는 변압기의 무효전력 손실을 근사화 하였다.

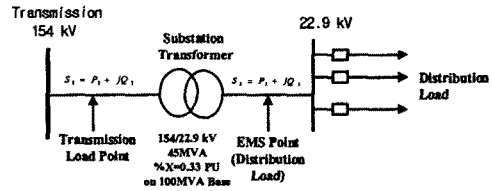


그림 1. 154/22.9 kV 배전용 변압기 모형

이러한 최소자승법을 이용하여 변압기 무효전력 손실을 산출하기 위해 위 그림 1에서 기 측정된 현장 변전소 배전용 변압기 1차측 전류와 전압, 2차측 유·무효전력 측정치를 기준으로 변압기 무효전력 손실을 계산한다. 그리고 계산한 그 결과를 최소자승법을 이용하여 부하에 따른 변압기 무효전력 손실을 구하면 된다.

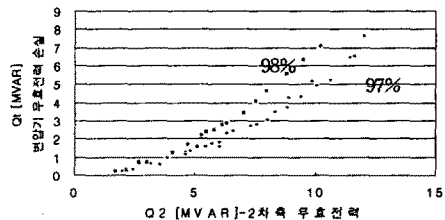


그림 2. 부하역률에 따른 변압기 무효전력 손실 특성

본 논문에서는 변압기 무효전력 손실이 그림 2와 같은 2차 함수 특성을 나타내므로 2차 함수를 갖는 함수로 구

정하여 실시하였다. 변압기 무효전력 손실이 (Q_{21}, Q_{21}) , $(Q_{22}, Q_{22}), \dots, (Q_{2n}, Q_{2n})$ 라고 가정하면, 이때 식 (1)을 만족하는 2차함수의 계수 a_0, a_1, a_2 를 구하면 된다.

마찬가지로 부하역률을 변화시킨 경우 변압기 무효전력 손실의 데이터를 최소화자승법을 이용하여 식 (1)에서 또 다른 계수 $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ 를 구한다.

$$Q_1 = a_0 + a_1 Q_2 + a_2 Q_2^2, \quad Q_1 = \beta_0 + \beta_1 Q_2 + \beta_2 Q_2^2 \quad (1)$$

식 (1)은 식 (2)과 같이 표현할 수 있고 Q_2^T 는 $3 \times n$ 행렬, Q_2 는 $n \times 3$, $Q_2^T Q_2$ 는 3×3 행렬이 된다.

$$\alpha = (Q_2^T Q_2)^{-1} Q_2^T Q_1 \quad (2)$$

$$\alpha = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix}, \quad Q_1 = \begin{bmatrix} Q_{11} \\ Q_{12} \\ Q_{1m} \end{bmatrix}, \quad Q_2 = \begin{bmatrix} 1 & Q_{21} & Q_{21}^2 \\ 1 & Q_{22} & Q_{22}^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & Q_{2n} & Q_{2n}^2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

그림 1의 배전용 변압기 모형에서 측정한 1차측 전류와 전압, 2차측 유·무효전력을 바탕으로 부하역률 97%와 98% 일 때의 변압기 무효전력 손실을 구하여 식 (1)에서 2차 함수의 계수를 각각 구한다. 그러므로 부하역률이 각각 97%일 때와 98%일 때의 변압기 소모 무효전력의 2차 함수는 식 (4), (5)과 같다.

$$Q_{K(97\%)} = 0.192 - 0.0186 Q_2 + 0.0503 Q_2^2 \quad (4)$$

$$Q_{K(98\%)} = -0.0917 + 0.09 Q_2 + 0.0616 Q_2^2 \quad (5)$$

최소자승법을 이용한 변압기 무효전력 손실의 오차를 확인하기 위해 실제 측정한 데이터를 기반으로 구한 변압기 무효전력 손실과 최소화자승법을 이용한 2차함수를 그림으로 표시하면 그림 3과 같다.

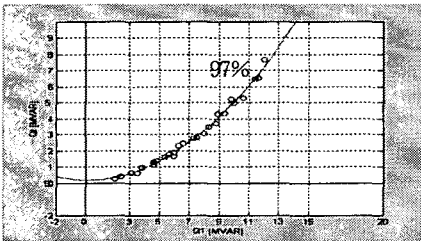


그림 3. 변압기 무효전력 손실과 최소화자승 오차

그림 3에서 실선은 최소화자승법으로 구한 2차함수의 그래프이고 "O" 표시는 실제 변압기에서 측정한 데이터를 기반으로 구한 변압기 무효전력 손실이다. 그림 3에서 실제 측정한 데이터를 기반으로 구한 변압기 무효전력 손실의 수치와 거의 일치함을 알 수 있다. 따라서 변압기 무효전력 손실 산출 시 부하역률에 따른 2차 함수의 계수를 먼저 구하고 부하역률에 맞는 2차 함수를 이용하여 부하의 무효전력에 따른 변압기 무효전력 손실을 산출한다. 그러므로, 배전용 변압기 1차측 유·무효전력은 변압기 유효전력 손실을 고려하지 않았을 때 $P_1 \approx P_2$ 로 나타내며 무효전력은 최소화자승법으로 구한 변압기 무효전력 손실에 2차측 무효전력을 합한 $Q_1 = Q_2 + Q_2$ 로 나타낸다.

2.2 154kV 모선 부하 유·무효 전력 산정

154 kV 측에서 유·무효 전력 산정 과정을 설명하기 위해 대표적인 154 kV 변전소 구성도를 그림 4에 나타내었다.

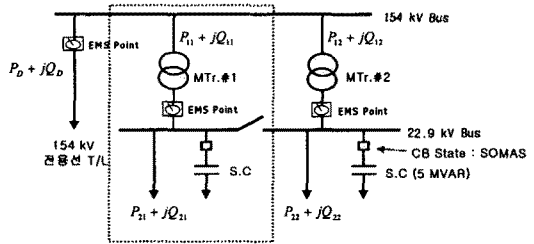


그림 4. 154 kV 변전소 구성도

2.1.1절에서 최소화자승법으로 산출한 변압기 무효전력 손실과 EMS와 SOMAS에서 측정한 데이터를 적용하여 154 kV 모선 부하 유·무효 전력과 역률을 아래와 같이 계산할 수 있다.

$$P = \sum P_1 + \sum P_D, \quad Q = \sum Q_1 + \sum Q_D + \sum Q_C \quad (6)$$

$$\cos \theta_{bus} = \frac{P_{bus}}{\sqrt{P_{bus}^2 + Q_{bus}^2}} \quad (7)$$

여기서, P_D, Q_D : 154 kV 전용 부하 유·무효전력

Q_C : 변전소 무효전력 보상량(Static Condenser)

3. 응용-이동 평균법을 이용한 부하역률 대표모델

응용-이동 평균법은 데이터를 예측할 때 쓰이는 이동 평균법을 응용한 방법으로 가장 큰 장점은 시계열 데이터로 대표모델을 산정 시 유량(Flow) 범위를 두어서 계산하기 때문에 좀 더 신뢰성 높은 대표모델을 산정할 수 있으며 가중치를 고려하지 않고도 지역별, 계절별, 시간대별 부하역률 대표모델을 산정할 수 있다. 유량(Flow) 개념을 두는 가장 큰 이유는 부하역률이 지역별, 계절별, 시간대별로 상이하게 추세를 갖기 때문이다. 그림 5와 6은 서울 전력 관리처의 2002. 2~2002. 5월의 peak(20시)와 off-peak(04시) 시간대의 유·무효전력을 나타낸다.

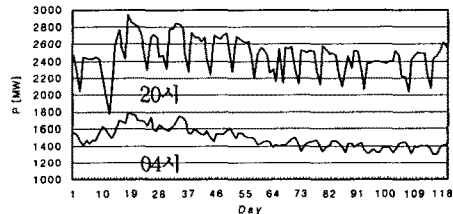


그림 5. 서울 전력 관리처의 유효전력 추세

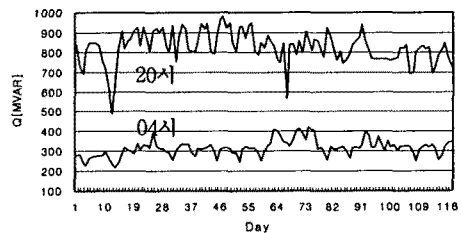


그림 6. 서울 전력 관리처의 무효전력 추세

그림 5, 6에서 유·무효전력이 2월에서 5월로 가면서 일정한 주기를 갖고 감소하는 추세(기울기)를 보이고 있다. 이와 같이 추세가 있는 경우에는 일정기간을 두고 대표모델을 산정하는 것이 좀 더 신뢰성 있는 모델을 수립하는데 적합하다. 따라서 본 논문에서는 유량(Flow) 산정 범위를 1개월 기준으로 표 1처럼 지역별, 계절별 대표지역과 대표 월을 선정하여 대표모델을 산정하였으며 수식은 다음과 같다.

$$P_{rh} = \sum_{d=1}^n P_{rhd}, \quad Q_{rh} = \sum_{d=1}^n Q_{rhd} \quad (8)$$

$$\cos \theta_{rh} = \frac{P_{zh}}{\sqrt{P_{rh}^2 + Q_{rh}^2}} \quad (9)$$

여기서, · 지역(Region) : 1~9 · 월(Month) : 1~12
· 일(Day) : 각 월의 일 수 · 시(Hour) : 0~23

표 1. 지역별 구분

지역별	관리처	지역별	관리처
1	서울	6	광주
2	남서울	7	대구
3	수원	8	부산
4	제천	9	창원
5	대전		

1지역의 1월 1시에 대한 부하역률의 대표모델을 산정 시 $r=1, h=1, d=31$ 이 된다. P_{11} 은 서울 전력 관리처 ($r=1$) 내에 있는 154 kV 모든 변전소에 1시에 대한 총 유효전력의 합을 나타내며, Q_{11} 은 총 무효전력의 합을 나타낸다. 따라서 $\cos \theta_{11}$ 은 서울 전력 관리처 1월의 1시 부하역률 대표모델이 된다.

4. 부하역률 관리 데이터베이스

최근의 중소형 컴퓨터는 그래픽 기반으로 하는 윈도우형 운영체제가 일반화되어 보다 친숙한 환경을 제공하고 있다. 이에 따라 데이터베이스의 사용과 보수를 편하게 하기 위한 환경으로 그래픽 사용자 인터페이스의 개발도 중요한 몫을 차지하고 있다. 개발된 응용프로그램 PDMS(Power Database Management System)은 우리나라 154 kV 전 변전소를 대상으로 부하역률을 감시하고 관리하기 위해 EMS 데이터를 기반으로 SOMAS 데이터 및 PSS/E 입력 데이터와의 자료연계 기능을 갖는 프로그램으로 PDMS의 부하역률 대표모델 산정도와 Main 화면은 그림 7, 8과 같다.

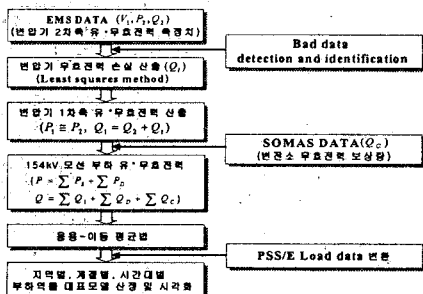


그림 7. PDMS의 부하역률 대표모델 산정도

이 PDMS를 통하여 수행할 수 있는 기능을 열거하면 다음과 같다.

- EMS 데이터 변환 및 입력기능
- 데이터 진단 및 추출기능(Query)
- SOMAS 데이터 변환 및 입력기능
- 부하역률 계산 및 보고서 작성기능
- 데이터 검색, 수정, 분석, 비교기능
- PSS/E Load data 및 엑셀데이터 변환기능
- 지역별, 계절별, 시간대별 부하역률 대표모델 시각화

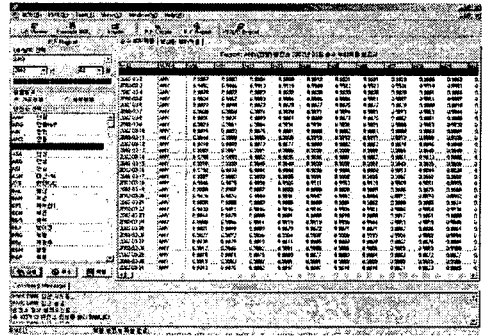


그림 8. PDMS의 Main 화면

구축된 데이터베이스를 이용하여 지역별, 계절별, 시간대별 부하역률 대표모델을 구하였다. 사용된 데이터는 2001. 11월~2002. 8월의 EMS와 SOMAS 데이터를 사용하였다. 그림 9는 일례로 변압기 소모 무효전력을 고려하지 않은 각 지역별 겨울(2월)의 20시 부하역률 대표모델을 시각화한 것을 나타낸다.

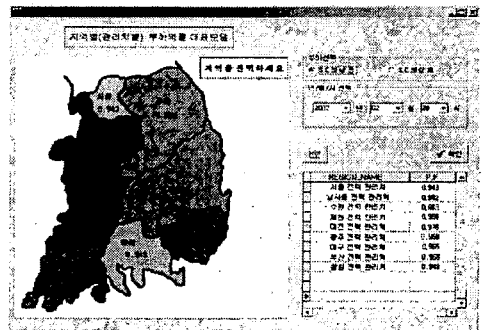


그림 9. 지역별 부하역률 대표모델 시각화(겨울, 20시)

5. 결 론

본 논문에서는 응용-이동 평균법을 이용하여 우리나라 154 kV 전 변전소의 지역별, 계절별, 시간대별 부하역률 대표모델을 산정하기 위한 데이터베이스를 구축하였으며 사용자 편의를 위한 GUI 응용 프로그램 개발 및 부하역률 대표모델을 시각화하였다.

향후 전력시장이 개방된 환경에서 부하역률 대표모델은 전력계통 해석의 정밀도 향상과 계통의 안정성에 관한 자료로서 유용하게 활용될 것이라 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] P. Nedwick, A.F. Mistr, Jr, Sr, E.B. Croasdale. "Reactive Management A key to Survival in the 1990s", IEEE Trans. on Power System, Vol. 10, No. 2, May 1995
- [2] ERCOT, "Proposed ERCOT Reactive Standards", 2001. 5.
- [3] 한국전력거래소, "전력계통 전압운용 및 부하역률 결정방안에 관한 연구" 2002. 7.
- [4] 허정수의 1인, "Powered by MySQL", Bestbook, 2002.