

조상용량을 고려한 부하모델링

지 평 식* · 이 종 필** · 임 재 윤**
 *충주대학교 · **대덕대학

Component-Based Load Modeling Including Capacitor Banks

P.S.Ji* · J.P.Lee** · J.Y.Lim**
 *Chungju Nat'l Univ. · **Daedok College

Abstract - Complete load model of the substation not only should include the performances of the load components, but also should take into consideration the core losses of transformers, the line losses and the capacitor banks. In an actual distribution system, the control scheme of capacitor banks are so complex and is difficult to identify actual values for the reactive powers of capacitor banks.

This research improves on this drawback by applying component-based modeling method including a capacitor banks in distribution systems. Initial differences between the model results and the actual values for reactive powers are later decreased by the proposed method.

미시적 방법은 앞에서 설명한 바와 같이 개별부하에 기초한 접근으로 구성하고 있는 개별부하의 정보로부터 모선의 부하모델을 수립하는 과정을 말한다.

전력계통의 해석을 위해서는 부하가 존재하는 배전계통의 등가모델을 개발해야 하며, 배전계통은 각 모선에 여러 개의 급전선이 있고 각 급전선에는 많은 배전변압기, 전력용콘덴서, 개별부하 등으로 구성되어 있다. 이러한 배전계통의 설비들의 손실 등과 제설비들이 그림 1과 같이 개별부하와 함께 부하모델링에 포함되어야 한다[7].

1. 서론

부하모델은 계통의 해석을 위하여 필수적인 요소로 계통해석의 용도에 따라 적합한 부하 모델을 적용하여야만 해석 결과에 대한 높은 신뢰성을 기대할 수 있으며, 이와 같은 정교한 부하모델의 결과는 계통의 계획 및 운용에 효과적으로 사용이 가능할 것이다.

이와 같이 계통해석에서 중요한 부하모델링의 방법 [1]은 일반적으로 크게 거시적인 방법과 미시적인 방법으로 대별할 수 있으며, 거시적인 방법은 모선에서 전압과 주파수 변동에 대하여 부하의 응답인 유효전력과 무효전력을 모선에서 직접 측정하는 것이고, 이와 반대로 미시적인 방법은 모선의 집단 부하를 구성하는 개별부하를 실험을 통하여 모델링하고 집단 부하의 구성비를 근거로 모선의 단일 부하로 축약하는 것이다. 국외의 경우 거시적 방법[2]인 모선에서의 직접 측정 방법이 진행되고 있지만, 대규모 계통의 모든 모선에 대하여 부하모델을 제시할 수 있는 방법은 모선의 수, 현장측정, 인력투입, 요구되는 시간 등의 따위를 고려하면 현실적으로 앞에서 설명한 후자 방법만이 가능하다고 볼 수 있다[3].

국내에서는 최근 전력계통 해석을 위한 부하모델링의 연구 결과[4-6]를 발표하였다. 이 연구는 미시적 방법에 의하여 진행하였으며, 유효전력 부하모델의 경우 만속스러운 결과를 얻었지만, 무효전력 부하 모델의 경우 유효전력에 의한 각 부하 구성비를 무효 전력에도 동일하게 적용하는 데 있어 문제점과 무효전력 부하 모델에 고려해야 할 배전 계통의 조상용량의 모델링과 적용 방법에 어려움이 있었다.

현재 우리 나라에서는 계통의 전압을 유지하기 위해 유도전동기 등 유도성 부하의 중부하 시에 전력용 콘덴서를 투입하고 있으며, 투입 및 차단시 시간 간격을 두어 전압유지기준 내에서 운전하고 있는 실정이다.

정교한 부하모델링을 구축하기 위해서는 개별부하 및 집단부하 실험시 조상용량을 고려할 필요가 있으며 또 이와 같은 조상용량의 고려는 부하모델링의 정도 향상 및 계통 해석의 결과에도 크게 기여할 것이다.

2. 기존의 미시적 부하모델링

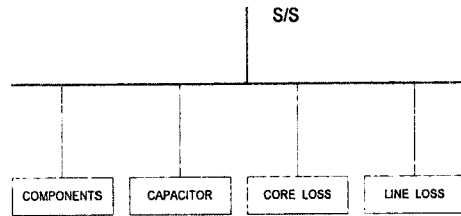


그림 1 부하모델의 구성 요소

배전계통의 구성은 지역의 부하밀도, 분포상황 및 도로조건 등의 지역 특성에 따라 다양하므로 실제 배전계통을 일정한 형태로 모델링하여야 할 것이다.

배전선 손실과 변압기의 철손에 대한 연구는 많은 연구가 되어왔고, 그 크기가 작아 무시하기도 한다.

그러나 무효전력의 모델과 관련이 있는 조상용량은 배전 계통에 널리 분포되어 운용되고 있으며, 용량이 또한 무시할 수 없어 정도 높은 무효전력 부하모델링을 위해서는 고려해야 할 요소이다.

3. 조상용량을 고려한 부하모델링

3.1 계통에서의 조상용량 운영실태

송전선로에서는 부하에 관계없이 송·수전 양단의 전압을 일정하게 유지하는 정전압송전방식이 채용되고 있다. 일반적으로 전력 부하에는 유도전동기 등 유도성 부하가 많기 때문에 중부하시에는 송전선로에 큰 지상전류가 흐르게 되고, 선로의 리액턴스 강하 때문에 수전단 전압은 저하한다. 또한, 장거리 송전선로에서는 경부하 시 선로의 충전전류를 의한 페란티 효과로 인해 수전단 전압이 송전단 전압보다 높아진다.

이와 같은 부하변동으로 인한 전압변동을 조정하여 수전단 전압을 일정하게 유지시키도록 조상설비를 설비한다. 또, 조상설비는 수전단 전압의 조정 외에 역률 개선에 의한 송전 손실의 경감, 송전안정도의 향상 등의 기능을 갖는다. 전압 조정을 위해서 전력용 콘덴서를 이용하여 진상전류를 얻을 수 있지만 지상전류를 얻기 위해서는 분로 리액터가 필요하다. 또, 대도시 계통에서는 고전압 케이블이 많이 설치되고, 대용량의 발전소가 부

하단 근처에 설치됨에 따라 심야에 모선전압이 상승하는 경향이 있다. 따라서 심야에 모선전압이 상승하는 경향이 있다.

또, 방전코일은 콘덴서를 회로로부터 분리시 잔류전하는 쉽게 자기방전하지 않으므로 코일이나 저항을 통하여 방전시키는 역할을 하며, 조상설비 운전 시 전압상승이 되므로 조상설비 조작 전 전압상승을 감안하여 OLTC를 수동으로 절체 후 전압조정을 시행한 후에 표 1과 같이 전력용 콘덴서와 같은 조상설비를 투입하고 있다.

표 1 계통에서의 조상설비 운전 시간

용량 기간	투입 시간		차단 시간	
	50%	100%	50%	100%
하절기 (4/1~9/30)	08:00	08:30	21:30	21:00
동절기 (10/1~3/31)	08:00	08:30	20:30	21:30

한편, 계통 전압 유지 기준은 표준전압이 154[kV]인 경우 중부하시간대인 08시~24시에는 160±4[kV], 경부하시간인 00시~06시에는 156±4[kV]로 하고 있으며 공휴일에는 00시~24시로 하고 있으며, 부하변동시간대인 06시~08시 사이에는 157±4[kV]를 기준으로 하고 있다.

조상설비는 중부하 시간대에 운전하고 있으며, 계통의 전압을 전압 유지 기준 내에서 운전하기 위해 조상설비의 투입시 시간 간격을 두고 있다. 그러나 이러한 조상설비의 운전은 각 전력관리처별 전력소 등에 따라 다소 차이가 있다.

3.2 조상용량을 고려한 부하모델링 접근법

이와 같이 조상설비의 운전으로 인하여 전력 계통에는 조상용량이 부하와 함께 포함되어 있다고 생각할 수 있으므로 그림 1과 같이 배전선에는 개별부하 및 전력용콘덴서 등이 분포되어 있어 이를 근거로 한 부하모델을 구축할 수 있다.

이때 정상상태에서 부하모선 변압기 2차측에서 유효전력과 무효전력의 측정값을 각각 P_a , Q_a 라고 하고 w_1, \dots, w_3 를 각 부하군의 부하구성비라고 했을 때 부하모선의 유효전력의 모델은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_M = P_a \sum_{i=1}^3 w_i P_i \quad (1)$$

또, 무효전력 모델은 부하군 합성모델에 조상용량 모델을 식 (2)와 같이 부가하여 부하군 합성 모델식을 표현할 수 있다.

$$Q_M' = P_a \sum_{i=1}^3 w_i Q_i \quad (2)$$

정상상태에서의 조상용량을 Q_{static} 이라하면, Q_a 는 실측 무효전력, Q_M' 를 부하군 합성값이라 할 때 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_{static} = Q_a - Q_M' \quad (3)$$

따라서, 무효전력의 모델은 식 (4)와 같이 표현할 수 있으며 여기서 조상용량 Q_c 의 모델은 식 (5)와 같이 개별 부하 모델과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$Q_M = Q_M' + Q_{static} Q_c \quad (4)$$

$$Q_c = a_c + b_c \bar{V} + c_c \bar{V}^2 + d_c \bar{V} \Delta F + e_c \Delta F \quad (5)$$

4. 사례연구

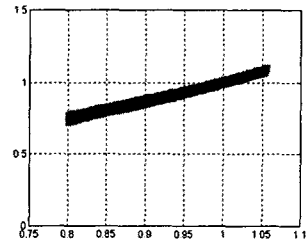
본 연구에서는 이와 같은 조상 용량이 부하모델이 미치는 영향을 고려한 부하모델링 기법을 제시함으로써 급전선의 부하모델링시 조상용량에 따른 부하모델의 정도를 제시하였다.

4.1 개별부하 및 전력용 콘덴서 모델링 결과

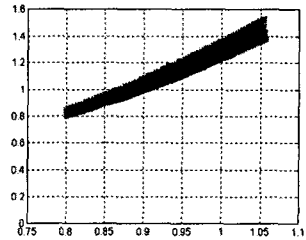
개별부하 모델링을 위하여 선정된 주저용 부하에 대하여 각각 56, 58, 60, 62[Hz]에 대한 특성실험을 실시하고 그 결과를 근거로 하여 모델링을 실시하였다. 본 연구에서는 식 (6)과 같은 2차 다항식으로 모델링 하였다.

$$P_i(V, f) = a_p + b_p \bar{V} + c_p \bar{V}^2 + d_p \bar{V} \Delta F + e_p \Delta F \quad (6)$$

$$Q_i(V, f) = a_q + b_q \bar{V} + c_q \bar{V}^2 + d_q \bar{V} \Delta F + e_q \Delta F$$



(a) 유효전력



(b) 무효전력

그림 2 유도전동기 부하의 모델링 결과

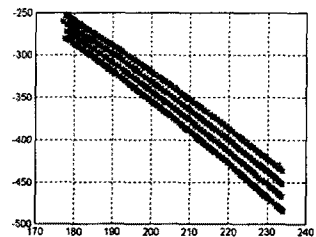


그림 3 전력용콘덴서(20[μF]) 모델링 결과

그림 2는 유도전동기 부하의 정태특성 실험 결과에 의한 모델링 결과를 각각 나타내고 있다. 이와 같은 개별부하의 특성실험 및 모델링 결과는 참고문헌 [4-7]과 같이 신뢰성 검증 및 개별부하 모델링 결과와 동일한 방법에 의해 모델링 하였다. 그 결과 모델링 오차는 0.9(%)로 나타났다.

한편, 그림 3은 전력용 콘덴서 사용하여 조상용량을 모델링하기 위하여 전압과 주파수 변화에 따른 무효전력 응답 결과를 나타낸 것이다. 이러한 실험 결과를 토대로 식 (5)에 의하여 모델링 한 결과, 오차는 1.1(%)로 양호하게 나타났다.

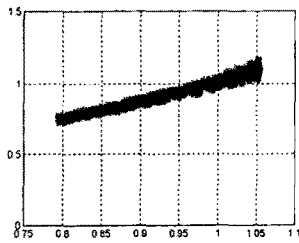
4.2 집단부하 모델링 결과

조상용량을 포함한 집단부하의 모델링을 위한 부하구성은 표 2와 같다.

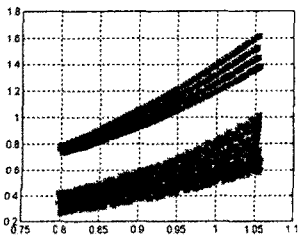
표 2 집단부하 구성

부 하	정격전력 [W]	구성비 [%]	비 고
백열등	100	16	
형광등	25	4	
선 풍기	66	11	
환 풍기	60	10	
유도전동기	360	59	
전력용콘덴서			20[μ F] 420[Var]

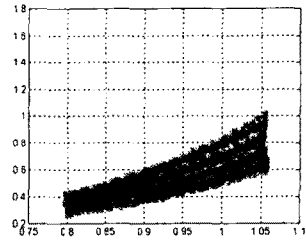
이와 같이 구성된 전력용 콘덴서를 포함한 집단부하를 실험하여 기존의 방법에 의하여 유효전력 모델링 결과는 그림 4의 (a)와 같이 모델링 오차 0.8(%)로 나타나 양호함을 알 수 있다. 그러나 (b)에 나타난 무효전력의 모델링 결과는 각 주파수별 실제 데이터와 모델링 결과와는 오차가 있음을 알 수 있다. 정상상태에서 전력용 콘덴서를 포함한 집단 부하의 무효전력은 지상 380[Var]이었다. 그러나 전력용 콘덴서를 제외한 부하만으로 무효전력을 합성하는 경우 800[Var]이었다. 미시적 부하 모델링의 경우 전력용 콘덴서인 조상용량을 고려해야 하므로 전력용 콘덴서를 포함했을 경우 그림 (c)와 같은 모델링 결과를 나타내며, 모델링 오차 0.95(%)이었다.



(a) 유효전력



(b) 무효전력(전력용콘덴서 고려 전)



(c) 무효전력(전력용 콘덴서 고려 후)

그림 4 집단부하 모델링 결과

5. 결론

전력 계통의 해석에 반드시 필요한 부하 모델링에 있어 미시적 방법에 의한 부하 모델링 방법의 정도를 개선하기 위한 방법을 제시하였다. 특히, 무효 전력의 부하 모델을 개선하기 위하여 실제 계통의 운용 상태를 고려한 부하 모델링 방법으로 조상 용량을 포함하여 무효전력의 모델의 정도를 개선하였다. 앞으로 조상용량의 운전 조건에 따른 제반 특성을 고려한 조상 설비의 모델링에 대한 연구가 계속 진행될 것이다.

본 연구는 한국과학기술원 목적기초연구(2001-1-30200-009-1) 지원으로 수행 되었음.

[참 고 문 헌]

- [1] IEEE Task Force on Load Representation for Dynamic Performance, "Standard load models for power flow and dynamic performance simulation", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 10, No.3, Aug. 1995, pp.1302-1313.
- [2] EPRI Report of Project RP849-7, Load Modeling for Power Flow and Transient Stability Studies, EPRI EL-5003, Prepared by General Electric Company, January 1987.
- [3] J.R. Ribeiro F.J. Lange, "A New Aggregation Method for Determining Composite Load Characteristics", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-101, No.8, pp. 2869-2875, 1982.
- [4] 한국전력공사, 전력계통안정도 정밀해석을 위한 적정 부하모델에 대한 연구, 한국전력공사 전력연구원, TR.98PJ08.J2001.107, 2001. 3
- [5] 지평식 외 4인, 개별부하모델링을 위한 부하의 합리적인 특성 실험, 전기학회 논문지, 51A권, 2호, 2002. 2
- [6] 지평식, 이종필, 임재운, 개별부하축약을 검증하기 위한 집단부하 구성방법에 관한 연구, 전기학회 논문지, 50A권, 4호, 2001. 4
- [7] P. Kundur, Power System Stability and Control, McGraw-Hill, 1993, pp. 271-311.