

Component-Based Load Modeling Updated by Hybrid Technique

池 平 植*
(Pyeong-Shik Ji)

Abstract - Component-based method for load model 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. Especially, capacitor bank affects the accuracy of reactive load model in load modeling. But it is difficult to identify actual reactive powers of capacitor banks in power system for load modeling.

This research improves the component-based modeling method including uncertain capacitor bank. The proposed method is hybrid technique, which adds the measurement-based method to the existing component-based method for reliable information of capacitor bank. The results of case studies were presented to verify the validity of the proposed method

Key Words : Component load characteristic, Load modeling, Hybrid technique, Capacitor bank affects

1. 서 론

최근 산업의 발전으로 전력수요가 급격히 증가하고 있으며, 정보산업의 급부상과 컴퓨터에 의한 산업시설의 제어 시스템 사용이 범용화 되면서 전력의 공급은 충분한 품질을 전제로 하지 않으면 안 된다. 따라서 양질의 전력을 공급하기 위해서는 계통의 계획, 설계, 운용 및 제어 등이 최적의 상태를 유지하여야 하며, 이를 위해서는 전력계통의 상태 해석이 필수적이다. 전력계통의 해석을 위해서는 계통을 구성하는 요소의 모델화가 전제되어야 하며 특히 부하모델에 대한 연구는 부하특성의 시변성과 불확실성 때문에 정교한 부하모델링이 어렵다[1].

국외에서 부하 모델링에 대한 연구는 오래 전부터 변전소의 SCADA시스템 등을 통한 계통의 정보를 수집한 많은 실적을 자료를 토대로 거시적 방법인 직접적인 부하 모델링과 함께 수학적 부하 모델 이외에 부하의 비선형 응답 특성을 고려하여 신경회로망을 이용한 부하 모델링 기법에 관한 연구가 진행되고 있다[2]. 국내에서도 최근 전력계통 해석을 위한 부하모델링에 관한 연구 결과[3-4]를 발표하였으며, 이 연구는 미시적 방법에 의하여 진행하였는데 유효전력 부하모델의 경우 만족스러운 결과를 얻었지만, 무효전력 부하모델의 경우 유효전력에 의한 각 부하 구성비를 무효전력에도 동일하게 적용하는 데 있어 문제점과 무효전력 부하모델에 영향

을 줄 수 있는 배전계통의 설비들을 고려해야 한다. 우리나라에서는 계통의 전압을 유지하기 위해 유도전동기 등 유도성 부하의 중부하 시에 전력용 콘덴서를 투입하고 있으며, 투입 및 차단시 일정시간 간격을 두어 전압유지기준 내에서 운전 을 하고 있으므로 정교한 부하모델링을 구축하기 위해서는 이와 같은 조상설비를 고려해야 하므로 기존의 미시적 부하 모델링 방법[5-6]은 보완되어야 한다.

따라서, 본 연구에서는 미시적 부하모델링에 있어 무효전력 부하모델의 정도를 개선하고자, 직접 측정방법에 의한 부하 모델링의 일부 기법을 혼합한 하이브리드식 방법에 의한 미시적 부하 모델링 기법을 제시하였다. 또한, 제안한 방법의 타당성을 입증하고자 실험실에서 체계적인 부하 모션을 모의 하고, 하이브리드 방식에 의한 미시적 부하모델링을 수행하였으며, 그 결과를 제시하였다.

2. 제안된 연구방법

기존의 미시적 방법에 의한 부하 모델링에 있어 문제점은, 특히 무효전력의 모델링의 경우 배전계통의 조상설비인 조상용량을 고려하여야 물리적으로 타당할 것이다. 그러나 부하모션의 정보만에 의하여 부하모델링이 진행되는 미시적 방법에서는 배전계통의 조상용량을 파악할 수 없다.

본 연구에서는 기존의 미시적 부하모델링 방법을 토대로 하여 직접 측정 방법인 거시적 방법에 의한 부하모델링 기법에서 가능한 정상상태에서 무효전력의 정보를 얻어 미시적 부하모델링의 무효전력 부하모델을 개선하는 이른바, 하이브리드 방식을 이용하고자 한다.

그림 1과 같이 임의의 부하 모션을 설정하고 부하모션을 구성하는 부하군의 개별 부하들을 조사하여 부하모델링의 중

* 正 會 員 : 忠州大學校 BK21事業團 副教授 · 1博
接受日字 : 2002年 12月 13日
最終完了 : 2003年 2月 18日

오성과 실험실의 실험 가능성 등을 고려하여 최종 개별 부하를 선정하였다. 선정된 개별 부하에 대하여 실험실에서 정태 특성실험을 수행하고, 개별 부하를 모델링을 하여 자료를 구축하였다. 선정된 개별 부하로 구성된 집단 부하인 임의의 부하모선을 보다 체계적으로 모의하기 위하여 개별부하의 특성을 정량적 분류할 목적으로 패턴 분류 방법으로 잘 알려진 KSOM(Kohonen Self-Organizing Method)신경회로망[5]을 도입하였다. 집단부하 구성시 개별 부하들과 함께 배전계통의 조상설비를 고려하여 조상용량인 전력용콘덴서도 투입되었다.

이와 같은 방법에 의하여 집단부하로 구성된 임의의 부하모선에 대하여 조상설비를 고려하지 않은 미시적 부하모델링을 수행하고 모델링 결과와 정상상태에서 측정된 값과 비교하여 유효전력과 무효전력 모델의 타당성을 검증하였다. 그리고 무효전력 모델의 경우 조상설비를 고려한 경우의 모델링 결과와 실측과 값과 비교를 통하여 제안한 방법의 타당성을 검토하였다.

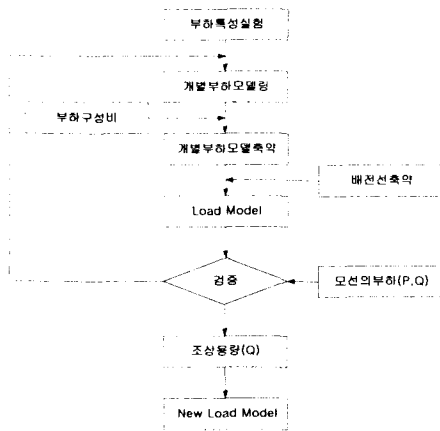


그림 1 조상용량을 고려한 부하모델링
Fig. 1 Load modeling Including capacitor banks

즉, 그림 2와 같이 특정 부하 모선의 부하모델링을 위해서, 일차적으로 부하 모선을 구성하고 있는 부하군의 개별부하를 선정하여 특성실험을 통한 개별부하를 모델링 한다. 다음으로 부하모선으로부터의 부하군에 따른 부하구성비 정보를 이용하여 단일부하로 축약할 수 있다. 특정 부하 모선의 정상 상태에서 직접 측정한 값 P_M, Q_M 과 미시적 방법에 의한 부하 모델의 출력 P_m, Q_m 을 이용하여 미시적 방법에 의한 부하 모델링의 오차 $\Delta P, \Delta Q$ 를 계산하여 ΔP 가 임계값 이내로 수렴할 때까지 기존의 미시적 부하모델링 과정을 반복한다. 이때 ΔP 가 설정된 임계치로 수렴한 경우, 무효전력 모델의 오차를 비교하여 발생된 오차 ΔQ 는 배전계통의 조상용량을 고려치 않고 순수하게 개별부하의 무효전력을 유효전력의 구성비에 의하여 합성되어 발생한 것으로 판단되므로, 이러한 부분은 기존의 미시적 부하모델을 보정하게 된다. 아울러 보정된 부분은 기존의 부하모델과 동일하게 전압과 주파수 함수로 정의되어 정상 상태 이외의 경우에도 사용될 수 있다.

즉, 각 개별부하의 특성실험 결과 구축된 모델을 각각 P_i, Q_i 라고 하고 w_1, \dots, w_3 를 각 부하군의 부하구성비라고

했을 때 부하모선의 유효전력의 모델 P_m 은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있으며, 조상용량을 고려하기 전의 기존의 미시적 방법에 의한 무효전력 모델 Q_m' 은 식 (1)의 부하구성비에 이용하여 식 (2)와 같이 부하군 합성 모델식을 표현할 수 있다.

정상상태에서의 실측 무효전력 Q_M , 무효전력모델의 출력을 Q_m' 이라 할 때 조상용량 ΔQ 는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있고, 따라서, 조상용량을 고려한 무효전력의 모델은 식 (4)와 같이 표현할 수 있으며, 여기서 조상용량 Q_c 의 모델은 식 (5)와 같이 개별부하 모델과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$P_m = \sum_{i=1}^n w_i P_i \quad (1)$$

$$Q_m' = \sum_{i=1}^n w_i Q_i \quad (2)$$

$$\Delta Q = Q_M - Q_m' \quad (3)$$

$$Q_m = Q_m' + \Delta Q \cdot Q_c \quad (4)$$

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

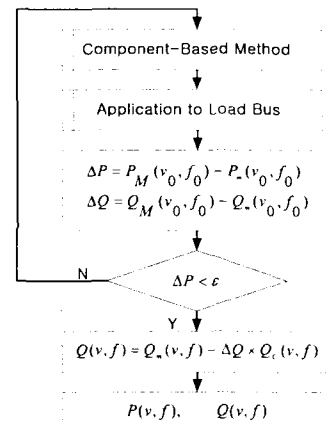


그림 1 제안된 연구방법
Fig. 1 Proposed method of this study

3. 사례 연구

3.1 개별부하의 특성실험 및 부하모델링

개별부하 모델링을 위하여 주거용 부하 중에서 비교적 보급률이 높은 9개의 부하와 2종류의 전력용 콘덴서를 선정 한 후 각각의 부하에 대하여 각각 56, 58, 60, 62[Hz]에 대한 정태 특성실험을 실시하고 그 결과를 근거로 하여 모델링을 실시하였다. 본 연구에서는 식 (6)과 같은 전압과 주파수의 함수인 2차 다항식으로 모델링 하였다.

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

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

그림 3은 단상유도전동기(1/2[Hp]) 부하의 정태특성 실험 결과에 의한 각 주파수별 모델링 결과를 나타내고 있다.

이와 같은 개별부하의 특성실험 및 모델링은 참고문헌 [3]과 동일한 방법에 의해 모델링 하였으며 그 결과 모델링 오

차 측, SSE(sum square error)는 유효전력 0.013[%], 무효전력 0.013[%]로 나타났다. 이 밖에 다른 개별부하의 모델링 오차도 유효 및 무효전력 모두 1[%] 미만으로 나타났다.

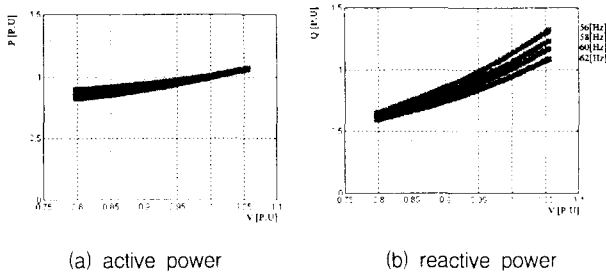


그림 3 유도전동기 부하의 모델링 결과
Fig. 3 Modeling results of IM load

이와 같이 선정된 9개 부하와 2개의 전력용콘덴서에 대한 2차 다항식에 의한 모델링 결과 평균 SSE는 유효전력 0.06 [%], 무효전력 0.49[%]로 나타났다.

3.2 부하특성에 따른 분류 결과

개별부하에 의하여 구성될 임의의 부하 모션인 집단부하를 보다 체계적으로 만들기 위하여 부하의 특성을 정량적인 방법에 의하여 분류하고자 하였다. 부하의 특성은 전압과 주파수의 변화에 따라 유효전력과 무효전력의 응답 특성이므로 부하 고유의 패턴을 나타내기 때문에 신경회로망으로 알려진 KSOM에 의하여 특성 분류가 가능하다. KSOM을 위한 입력 자료는 예물레이션 방법인 전압과 주파수를 개별 부하모델에 입력하여 출력을 얻고, 이 자료에서 패턴을 충분히 나타낼 수 있는 일정한 간격의 자료를 추출하여 KSOM의 입력 자료를 구성하였다. KSOM의 구조는 2차원 평면을 [6×6]개의 뉴런으로 구축하고 1600회 학습한 결과 그림 4와 같이 KSOM의 2차원 평면위에 맵핑되어 6번 뉴런의 전열부하군, 23번, 24번 뉴런의 환풍기 및 선풍기 부하군, 36번 뉴런의 유도전동기 부하군, 1번 뉴런의 콘덴서 부하군 등 4개의 부하군으로 분류하였다.

콘덴서(20 μ F)	2	3	4	5	백열등, 식기건조기, 히터
7	8	9	10	T.V	12
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	환풍기	선풍기
25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	유도전동기

그림 4 부하특성분류 결과
Fig. 4 Load characteristic classification results

3.3 집단부하의 구성과 실험

임의 부하 모션을 나타내는 집단부하의 특성실험을 보다

계획적이고 체계적으로 하기 위하여 부하특성에 따른 KSOM의 맵핑 결과를 이용하여 집단부하를 구성하고 정태 특성실험을 실시하였다.

표 1 집단부하 구성결과

Table 1 The result of group loads composition

사 례	개별 부하	비 고
사 례 1	T.V, 백열등, 식기건조기, 형광등, 선풍기, 유도전동기	콘덴서(20 μ F), 또는 콘덴서(30 μ F)
사 례 2	백열등, 밥솥, 식기건조기, 히터	
사 례 3	환풍기, 선풍기, 유도전동기	

표 1과 같이 집단부하를 구성하였으며, 사례 1은 혼합된 부하군이고 사례 2는 전열부하군 그리고 사례 3은 환풍기 및 선풍기 부하군과 유도전동기 부하군으로 구성하였다. 이때 각 사례별 특성 실험시 조상용량 측, 전력용콘덴서 20[μ F] 또는 30[μ F]을 투입하여 특성실험을 실시하였다.

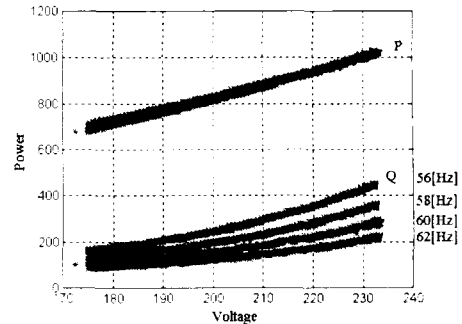


그림 5 집단부하 실험 결과(사례 1)
Fig. 5 Experiment results of group loads(case 1)

그림 5는 사례 1에 대하여 조상용량으로서 전력용콘덴서 20[μ F]을 고려했을 경우 집단부하실험 결과를 보여주고 있다. 이 경우의 실험조건도 개별부하 특성실험과 같은 조건으로 56, 58, 60, 62[Hz]에 대한 특성실험을 실시하였으며, 그림에서 유효전력은 전압이 증가함에 따라 선형적으로 증가하고 있고 주파수에 따른 큰 차이는 없지만 무효전력은 전압의 증가에 따라 증가하고 있으며, 특히 각각의 주파수에 대하여도 크게 영향을 받는 것을 알 수 있다.

3.4 제안된 부하모델링 결과

기존의 개별 부하만을 부하 구성비에 의하여 합성한 부하 모델링과 본 연구에서 제안한 하이브리드방식인 조상용량을 고려한 부하 모델링의 결과를 실측값인 집단부하 실험 결과와 비교 검토하였다. 그림 6은 사례 1에 대한 것으로 유효전력 모델의 경우 그림 (a)와 같이 조상용량의 고려 여부에 무관하게 기존의 방법과 제안된 방법의 결과는 실측값과 동일함을 알 수 있다. 그러나 무효전력 모델의 경우 그림 (b)와 그림 (c)에서 볼 수 있는 것과 같이 조상용량의 고려 여부에 따라 실측값과 큰 차이가 있음을 알 수 있다. 또한, 각 사례에 대한 모델의 결과는 표 2와 같다.

표 2의 사례연구로부터 최소사승법에 의해 추정된 유효전

력 모델의 계수는 각각의 사례에 대하여 같은 값으로 나타나 조상용량의 유무 및 조상용량의 크기에 영향을 받지 않는 것을 알 수 있다. 그러나 무효전력 모델의 계수는 각각의 사례에 따라 조상용량을 고려하지 않은 경우와 또한 조상용량의 크기에 따라 부하모델이 각각 다르게 나타나고 있어 배전선 축약시 보다 정도 높은 무효전력의 부하모델링을 위해서는 반드시 조상용량은 고려해야 할 것으로 사료된다.

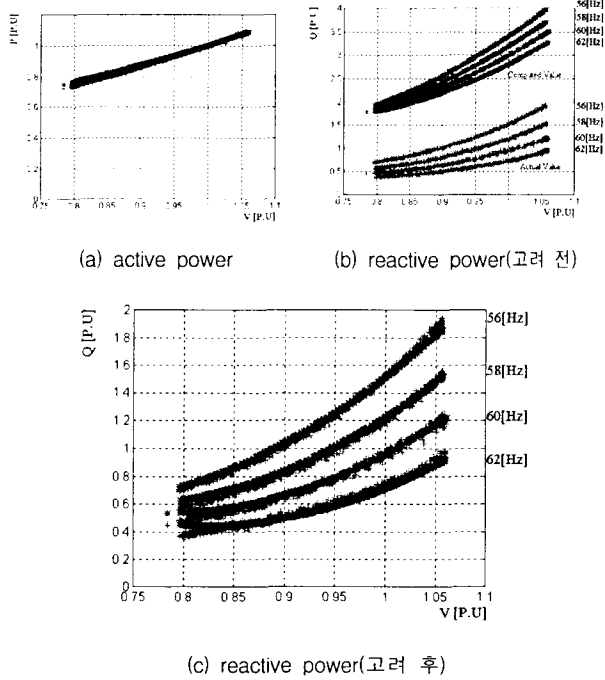


그림 6 집단부하 축약 결과(사례 1)
Fig. 6 aggregation of component loads(case 1)

표 2 조상용량을 고려한 부하모델 계수
Table 2 Load model coefficient Including capacitor banks

부하	유효전력					무효전력					조상용량	유효오차 [%]	무효오차 [%]
	a_c	b_c	c_c	d_c	e_c	a_r	b_r	c_r	d_r	e_r			
사례1	-0.035	0.149	0.886	-0.145	0.064	-0.538	1.200	0.338	2.095	-1.069	-	0.35	100.1
	-0.035	0.149	0.886	-0.145	0.064	-0.115	0.255	0.860	1.908	-0.900	20[μ F]	0.35	164
	-0.035	0.149	0.886	-0.145	0.064	-0.096	0.213	0.883	1.900	-0.896	30[μ F]	0.35	112
사례2	1.072	-1.249	1.180	-2.201	2.380	1.638	-3.787	3.148	-6.581	4.744	-	1.15	136.6
	1.072	-1.249	1.180	-2.201	2.380	4.252	-9.821	6.569	-19.84	13.55	20[μ F]	1.15	128
	1.072	-1.249	1.180	-2.201	2.380	8.564	-19.77	12.21	-41.71	28.07	30[μ F]	1.15	430
사례3	0.479	-0.343	0.866	-1.570	1.574	1.966	-4.621	3.655	-7.720	5.612	-	0.81	222.6
	0.479	-0.343	0.866	-1.570	1.574	5.670	-13.31	8.649	-25.54	17.65	20[μ F]	0.81	364
	0.479	-0.343	0.866	-1.570	1.574	15.23	-35.76	21.53	-71.54	48.75	30[μ F]	0.81	412

4. 결 론

전력 계통의 해석에 반드시 필요한 부하모델링에 있어 미시적 방법에 의한 부하 모델링의 정도를 개선하기 위해 본 연구에서는 기존의 미시적 부하모델링 방법을 토대로 하여 모선에서의 직접측정 방법인 거시적 모델링 기법에서 가능한

모선에 대한 정상상태에서의 무효전력 정보를 얻어 무효전력 부하모델 개선하는 하이브리드방식에 의한 부하모델링 기법을 제안하였다. 본 연구는 실제계의 운용 상태를 고려한 부하모델링 방법으로 사례연구를 통하여 제안된 방법의 타당성을 입증하였다.

앞으로, 보다 정도 높은 부하모델을 개발하기 위해 부하의 동특성과 조상설비의 운용 등 제반 특성을 고려한 조상설비의 모델링에 대한 연구가 지속적으로 진행되어야 하고 부하 특성실험 장치의 성능개선을 위한 연구가 선행되어야 할 것이다.

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, pp.1302-1313, Aug. 1995,
- [2] Aguero, J.L.; Beroqui, M.; Achilles, S. "Aluminum plant. Load modeling for stability studies", Power Eng. Society Summer Meeting, 1999. IEEE, Vol. 2, pp. 1330-1335, 1999
- [3] 지평식 외 4인, 개별부하모델링을 위한 부하의 합리적인 특성 실험, 대한전기학회 논문지, 51A권, 2호, 2002. 2
- [4] 지평식, 이종필, 임재윤, 개별부하축약을 검증하기 위한 집단부하 구성방법에 관한 연구, 대한 전기학회 논문지, 50A권, 4호, 2001. 4
- [5] 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
- [6] IEEE Task Force on Load Representation for Dynamic Performance, "Load Representation for Dynamic Performance Analysis", Paper 92, WM126~3PWRD, IEEE PES Winter Meeting, New York, N.Y, January 26~30, 1992