

부하모델 구축을 위한 개별부하선정 및 특성실험에 관한 연구

지평식\* · 이종필\*\* · 임재운\*\* · 박시우\*\*\* · 김기동\*\*\* · 위원석\* · 김정훈\*  
 \*충주대학교 · \*\*대덕대학 · \*\*\*전력연구원 · §홍익대학교

Individual Load Select and Characteristic Experiment for Load Model Construction

P.S.Ji\* · J.P.Lee\*\* · J.Y.Lim\*\* · S.W.Park\*\*\* · K.D.Kim\*\*\* · W.S.Weese\* · J.H.Kim§  
 \*Chungju Nat'l Univ. · \*\*Taedok College · \*\*\*KEPRI · §Hongik Univ.

**Abstract** - In this research, selection of component load and measurement device is considered for accurate component load modeling. The procedure of component load characteristic experiments is also presented.

한편, 개별부하기기의 선정을 위하여 가전기기 보급율에 관한 자료와 이미 발표된 문헌자료, 설문지 자료를 제시된 선정 기준을 토대로 분석하여, 연간 전력 사용량이 200,000 [MWh]인 부하를 최종적으로 개별부하기기 선정 대상으로 하였다.

1. 서 론

전력계통의 해석에 있어 요구되는 부하모델링의 중요성은 이미 조류 계산의 정도뿐만 아니라 계통의 안정도 해석에서의 안정극한전력 등이 부하모델에 따라 크게 달라짐이 많은 연구에서 발표되어 입증되었다[1-3]. 이와 같이 계통해석에서 중요한 부하모델링의 방법은 일반적으로 크게 두 가지로 분류되며, 거시적인 방법은 모선에서 전압과 주파수 변동에 대하여 부하의 응답인 유효전력과 무효전력을 직접 측정하는 것이고, 이와 반대로 미시적인 방법은 모선의 집단 부하를 구성하는 개별부하를 실험을 통하여 모델링하고 집단 부하의 구성비를 근거로 모선의 단일 부하로 축약하는 것이다. 그러나 대규모 계통의 모든 모선에 대하여 부하모델을 제시할 수 있는 방법은 모선의 수, 현장측정, 인력투입, 요구되는 시간 등을 고려하면 현실적으로 후자 방법만이 가능하다고 볼 수 있다[4-5].

실제 계통의 부하 모선에는 많은 급전선과 간선 등을 통하여 다양한 종류와 특성을 갖는 수백 가지의 부하가 존재한다. 이와 같이 많은 종류의 부하 중에서 모선의 부하모델링에 신뢰성을 확보하고, 개별부하의 모델링을 위한 실험이 현실적으로 가능한가 등을 고려하여 개별 부하를 선정하는 것은 중요한 것이다. 또한, 선정된 개별 부하에 대한 전압과 주파수에 대한 유효전력과 무효전력의 응답특성을 올바르게 파악하기 위하여 요구되는 인가전압 및 주파수의 사양과 특성 실험 방법이 요구되고 또한 특성 실험에 있어 실험 결과에 대한 자료 취득 방법에 대한 검토가 요구된다. 따라서 본 연구는 미시적인 방법에 의하여 모선의 부하를 모델링하는 경우 가장 근본이 될 수 있는 개별 부하의 모델링을 위한 개별부하의 선정방법을 제시하고, 선정된 개별부하를 대상으로 한 특성실험 결과를 제시하고, 수학적 모델에 의해 제안방법의 타당성을 입증하였다.

2. 부하기기 선정 및 특성 실험

2.1 부하기기 선정

미시적인 방법에 의하여 부하 모델링을 하는 경우 앞서 설명한 바와 같이 개별부하의 모델링 부하 구성비가 모델링의 정도에 매우 중요하다. 그러나 부하 모선에는 매우 다양한 부하들이 존재하므로 이들 모두에 대하여 실험을 통하여 개별 부하를 모델링한다는 것은 모선에서의 개별 부하 구성비를 모든 부하에 대하여 파악한다는 것은 현실적으로 불가능하다. 그러나 부하모선의 정도(精度) 높은 부하 모델링을 위해서는 개별부하 선정은 필수 불가결한 사항이므로, 개별부하의 선정에 있어 간과해서 안될 사항은 부하모선의 모델링의 정도에 영향을 주지 않는 범위에서 개별 부하의 실험이 가능해야한다는 점등을 고려하여 다음과 같은 선정 기준을 만들었다.

우선, 높은 보급률을 갖고, 연간 전력 사용량이 크고, 다른 부하와 달리 부하의 응답 특성이 특이한 것을 선정 대상으로 하였다. 또, 실험실 및 현장 실험이 가능한 것 중에서 부하 구성비 추정과 관련하여 부하 구성비 추정이 가능한 것으로 하였으며, 부하기기의 수명을 고려하여 가전기기보급률 자료를 근거로 하여 최근 5년 이내의 부하기기 선정하였다.

2.2 부하 특성실험

부하기기의 특성을 실험하기 위한 구성은 크게 개별부하, 전원부, 측정부, 실험판 등으로 구성되어 있다.

Table 1 Specification of experiment devices

구분	실험기기	규격
전원부	원동기 동기발전기	10 [HP] 디젤엔진 최대출력 50[kVA] 전압 150 ~ 380[V] 주파수 55 ~ 65[Hz]
	주파수변환기 유도전압조정기	5[kVA] 0 ~ 75[Hz] 10[kVA], 0 ~ 380[V]
측정부	전력분석기	전압 0 ~ 600VAC 전류 5 Arms AC or DC 주파수 DC or 45 ~ 65Hz 샘플링 주파수 7.68[kHz] HDD 최대 500 Mbytes Real Time 데이터 관리 가능
	유효·무효전력계 Digital Clamp Meter	P : max 2000[W] Q : max 2000[Var] V : AC or DC max 1000[V] I : AC or DC max 30[A] R : 3 × 10 <sup>5</sup> [Ω]
Data처리	컴퓨터	CPU Pentium 200MHZ
Data보관	디스켓(3.5")	Floppy Diskette 1.44 Mbytes

부하 실험을 위한 전원부는 전압의 미소한 변동에 따른 부하의 응답을 측정하거나, 계통에서의 사고 등에 의하여 야기되는 급격한 전압 변동에 따른 부하의 응답 특성을 파악하기 위한 전압 인가장치이다. 측정부는 부하에 인가된 전압 또는 주파수에 따른 부하의 응답인 유효전력과 무효전력을 실시간에 측정하여 자료를 저장하는 장치이다. 그리고 실험판은 전압과 주파수를 부하에 용이하게 인가하고, 입력값인 전압과 주파수 그리고 부하의 응답인 유효전력과 무효전력을 효과적으로 측정할 수 있도록 제작하였다. 이외에 보조적인 장치 및 측정 장비로서는 CT, PT, Multitester 등을 갖추고 있다. Table 1에 실험장치의 규격을 나타낸다.

2.2.1 개별 부하기기 특성 실험

개별부하기기 실험에서 부하의 특성을 파악하기 위하여 전압과 주파수의 인가 방법에 따라 정태 실험과 동태실험으로 구성된다. 집단부하기기 실험에서 부하구성비에 의한 부하모델링의 결과를 검증하기 위한 것으로 개별부하기기 실험과 같이 정태, 동태실험으로 구성된다.

개별부하의 정태 실험을 위해서 Fig.1과 같이 3상유도전압조정기와 주파수 변환기를 이용하여 전압과 주파수를 인가한다. 이때 한 개의 개별부하기기 만 연결한다. 또, 부하에 인가되는 전압은 0.5~1.2[p.u], 주파수는 0.9, 0.95, 1.0, 1.05 [p.u] 등 4개의 경우로 고정하고, 각 주파수에 대하여 전압을 서서히 증감하여 부하에 인가한다.

또한 개별부하의 동태 실험은 부하에 인가되는 전압과 주파수는 인위적으로 빠르게 가변시키며, 전압과 주파수의 변화가 Table 2와 같은 경우를 모두 갖도록 전압과 주파수를 가변시

킨다. 이 때 전압은 0.7~1.0(p.u), 주파수는 0.9~1.05 (p.u)의 범위로 한다.

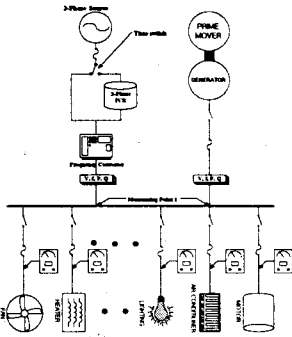


Fig. 1 The configuration of component load experimentation (Individual load)

Table 2 The voltage and frequency conditions

전압	case 1	case 2	case 3	case 4
전압	증가	증가	감소	감소
주파수	증가	감소	증가	감소

### 2.2.2 집단 부하기 특성 실험

집단부하의 동태 실험을 위해서는 개별부하기로 구성된 집단 부하기의 용량이 전압 및 주파수 변환장치 용량보다 이하인 경우는 Fig.1의 결선도에서 3상 유도전압 조정기와 주파수 변환기를 이용하여 전압과 주파수를 인가하여 측정한다.

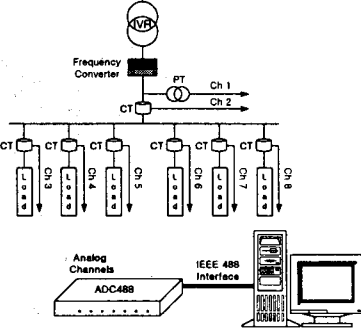


Fig. 2 The configuration of component load experimentation (Group load)

집단 부하기의 용량이 전압 및 주파수 가변장치 용량 보다 큰 경우는 Fig. 2와 같이 3상 유도전압 조정기와 주파수 변환기 대신에 디젤 발전기를 이용하여 가변된 전압과 주파수를 인가한다. 부하에 인가되는 전압과 주파수는 인위적으로 빠르게 가변시키며, 전압과 주파수의 변화가 Table 2의 경우를 모두 갖도록 전압과 주파수를 가변시킨다. 부하에 인가되는 전압은 0.7~1.0(p.u), 주파수는 0.9~1.05 (p.u) 범위로 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 선정된 개별부하

가전기기 보급률(6~8)은 각 개별부하의 소비전력, 1회 사용할 때간, 월 사용량, 년사용량, 연간 평균 사용량, 보급률, 보급대수 등을 고려하여 48개 품목의 주거용 부하로 하였다. 또, 안정도 해석의 연구와 관련된 문헌(9)등에서 주로 사용되었던 부하를 대상으로 했으며, 설문지에 의한 분석 자료는 대전시내 거주 학생 37명에 대하여 가전기기 보유현황 및 가전기기 일일 사용현황 등을 조사 하였으며 설문 조사의 정확도를 높이기 위해 98년 10월과 11월 2회에 걸쳐같은 조사인원으로 설문 조사를 실시하였다.

가전기기 보급률과 관련 논문 및 설문지 조사 결과를 분석하여 연간 전력량 사용량이 200,000 [MWh]인 부하를 대상으로 부하모델링을 위한 특성실험 개별부하로 선정된 부하는 Table 3과 같다.

Table 3 The selected loads

종 목	단위규격	정격전압 (V)	소비전력 (W)	제조일 (년)	제조사	선정 근거
T. V 1	14인치	220	66		삼성	①②③
T. V 2	20인치	220			삼성	①②③
냉장고 1	390리터	220	265		삼성	①②③
냉장고 2	180리터	220				①②③
다리미		220	800	92. 1	금성	①②③
드라이어		220				①②③
백열등	100와트	220	100	98	남영전구	①②③
선풍기	35cm	220	62	91. 5	LG	①②③
세탁기	6.6kg	220	500	93. 9	대우	①②③
송풍기		220	1500	97. 3	일광모터	②
에어컨 1	동형	220	2430	96	대우 캐리어	①②③
에어컨 2	창문형	220	425	96	만도 위니아	①②③
유도전동기 1	단상 ½마력	220	370	94. 12		②
유도전동기 2	3상 ½마력	220	370	94. 12		②
유도전동기 3	3상 3마력	220	2200	90. 10		②
자동판매기		220				
전기난로		220	950			①②
전기밥솥		220				①③
전기장판		220				①
전자렌지		220	1100	98. 1	대우	①②③
진공청소기		220	1150	95. 2	삼성	①③
커피메이커	5잔	220	750	95	브라운	
컴퓨터	486	220				①③
펌프		220	1370	96. 11	LG전자	②
형광등		220	32	98	신광	①②③

주 : ① 가전기기 보급률, ② 관련 문헌조사, ③ 설문지 조사

### 3.2 개별부하 정태실험 결과

앞의 2.2.1절에서 설명된 실험 방법에 의해 Table 3의 부하를 대상으로 정태실험을 실시하였다. Fig. 3은 유도전동기 부하, Fig. 4는 전열기 부하의 특성 실험 결과를 나타낸다. 그림에서 각각 주파수가 56, 58, 60, 62[Hz]인 경우에 전압을 변화할때의 응답특성 즉, 유효전력과 무효전력을 나타내고 있다. Fig. 3에서는 주파수의 변화에 따라 무효전력이 크게 변화하고 있음을 알 수 있으며, Fig. 4의 경우는 전열기에 대한 부하의 특성실험 결과로 주파수 변화에 따른 무효전력의 변화하지 않고 일정하게 나타나고 있다.

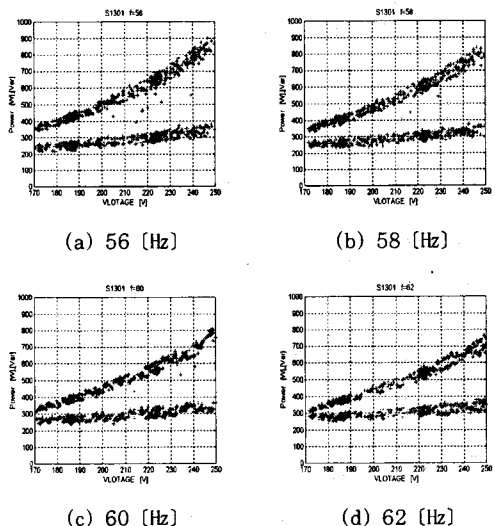


Fig. 3 The results of individual load experiment(IM)

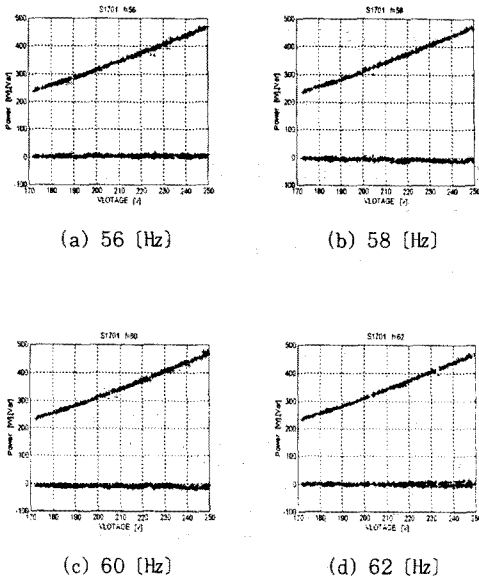


Fig. 4 The results of individual load experiment(Heater)

### 3.3 정태실험 결과의 신뢰성 검증

본 연구에서는 Table 3과 같이 선정된 부하에 대하여 반복적으로 수행된 실험 결과를 식 (1)을 이용하여 신뢰성 여부를 판정하였다.

$$P(V, F) = a + b\Delta V + c\Delta V^2 + d\Delta V^3 + e\Delta V^4 + f\Delta V\Delta F + g\Delta V^2\Delta F + h\Delta F \quad (1)$$

$$Q(V, F) = a + b\Delta V + c\Delta V^2 + d\Delta V^3 + e\Delta V^4 + f\Delta V\Delta F + g\Delta V^2\Delta F + h\Delta F$$

이 식의 의미는 전압과 주파수의 변화에 대한 유효전력과 무효전력의 변화를 다항식모델로 표현한다는 뜻이다. 이러한 표현이 적절한지에 대한 타당성을 보이기 위하여 통계적인 검증을 수행한다. 즉 모델의 차수에 대한 검증으로 F검증을 수행하고, 실험 결과를 근거로 추정된 설정된 모델의 매개변수 값에 대한 검증으로는 t검증을 시행하여 모델의 타당성을 입증하게 된다. 여기의 검증에서 통계적인 유의수준에 따라 모델의 타당성이 부족한 경우는 모델의 차수를 변경하여 적합한 모델이 되도록 하되 전체적인 통일성을 유지하여야 구성요소가 다른 집단 부하모델 또는 용도별 부하모델을 구할 수 있다. 이와 같이 개별 부하에 대한 수학적 모델을 설정하고, 다른 실험 조건에 얻은 자료의 신뢰성을 검토하게 된다. 다른 조건에서 실험에 가해진 입력과 출력 결과를 갖고, 입력인 전압과 주파수를 설정된 수학적 모델에 다시 입력하여 계산된 결과를 얻은 후, 이 값과 실험에 동일한 입력을 가하여 얻은 실제 실험시 출력인 유효전력 또는 무효전력과 비교하게 된다.

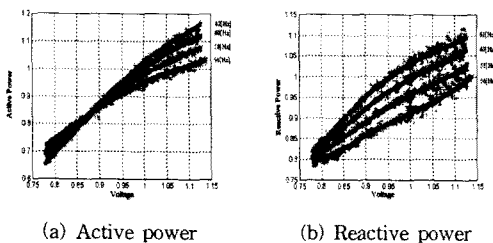


Fig. 5 The results of the induction load modeled(IM)

즉, 실험의 결과와 에뮬레이션 결과인 모델의 결과를 비교하게 되며, 비교에 있어 상관계수와 평균오차, 간차 등으로 모델과 실험 결과 값의 오차를 정량적으로 나타낼 수 있다.

만일 계산된 상관계수 및 평균 오차가 임계값을 벗어나는 경우는 실험 결과의 신뢰성에 문제가 내포한 것으로 판단하고, 지속적으로 다른 조건에서 얻은 실험 결과도 반복적으로 적용하여, 개별 부하 모델링에 사용된 실험 결과의 신뢰성이 문제가 있는지 또는 다른 조건에서 실험된 결과들이 문제가 있는지에 대한 분석을 하여야 하며, 더 나아가 신뢰성에 문제가 있는 부하에 대해서는 신중한 실험을 추가로 수행하게 된다.

이와같은 신뢰성 알고리즘을 이용하여 신뢰성을 판정한 결과 본 연구방법의 타당성을 입증할 수 있었고, Fig. 5는 유도전동기 부하에 대하여 각 주파수 별 정태실험 결과를 수학적으로 모델링한 결과를 나타내고 있으며, Table 3은 같은 방법에 의해 추정된 계수를 나타내고 있다.

Table 3 The estimation coefficients

	a	b	c	d	e	f	g	h	
유도 전동기	유효전력	19.476	-63.235	88.625	-60.039	15.499	12.257	-3.516	-8.066
	무효전력	33.347	-111.33	147.259	-94.208	24.806	30.283	-14.748	-14.403
전기 난로	유효전력	8.182	-32.300	50.295	-33.961	8.804	1.633	-0.706	-0.944
	무효전력	7.029	-26.879	39.313	-26.092	6.763	3.292	-1.924	-1.511
펌 프	유효전력	80.533	-355.87	569.521	-397.86	103.149	-11.828	5.112	8.22
	무효전력	202.915	866.261	360.414	932.050	249.758	36.225	44.720	5.218

## 4. 결 론

본 연구에서는 미시적 방법에 의하여 모선의 부하 모델링을 수행하는 경우 반드시 수반되는 개별부하 기기의 모델링을 위한 전 단계로 아주 중요한 의사결정이 요구되는 개별부하 기기 선정과정과 신뢰성 높은 부하기기의 특성 실험을 위한 장치의 선택, 그리고 부하기기의 실험 방법 등을 제시하였다. 본 연구의 내용을 정리하면 다음과 같다.

- 개별부하기기의 선정 기준 설정
- 개별부하기기의 선정을 위한 자료 분석
- 개별부하기기의 선정
- 부하기기의 특성 실험 방법 수립
- 특성실험 결과의 신뢰성 검증

앞으로 부하특성실험의 신뢰성을 확보하기 위해 반복적인 실험과 이에 따른 부하모델링 연구가 필요하다.

### (참 고 문 헌)

- [1] IEEE, "Load representation for dynamic performance analysis", IEEE Transaction on Power Systems, Vol.8, No. 2, May 1993, pp.472-482
- [2] H. Lee Willis, "Spatial Electric Load Forecasting", Marcel Dekker, Inc. 1996
- [3] Y. Liang, "Dynamic Reactive Load Model," IEEE T-PWRS, Nov 1998
- [4] B. Kirby, "Generator Response to Intrahour Load Flucts.," IEEE T-PWRS, Nov 1998
- [5] E. H. Baracat, "Methodology for Weekly Load Forecasting," IEEE T-PWRS, Nov '98
- [6] 한국전력공사 전력경제처, "가전기기별 전력소비행태 조사", 1995
- [7] 한국전력공사 전력경제처, "계약종별·산업별 부하곡선 자료집", 1997.10
- [8] 한국전력공사 전력계획처, "계약종별·산업별 부하곡선 자료집Ⅱ", 1999.2
- [9] P. Kundur, "Power System Stability and Control", McGraw-Hill, pp.271~ 314,1994