

# PMU 데이터를 이용한 부하 및 발전기의 On-line 모델링 방법

□ 김동준 / 한국전기연구원 신전력시스템연구그룹  
 □ 문영환 / 한국전기연구원 전력시장기술연구그룹

## 서 론

안정한 전력계통 운용은 발전 플랜트에서 나오는 발전력과 가정이나 산업단지에서 소비하는 부하전력을 균형 있게 유지하는 능력에 의존하며, 결과적으로 전력계통의 부하특성은 전력계통 안정도의 해석에 큰 영향을 미친다. 부하 모델링은 일반 부하 모션이 전동부하, 전열부하, 냉동기기, 전열기, 압축기, 모터, 용광로 등등의 다양한 장치로 이루어져 있기 때문에 실제 매우 복잡하다. 따라서 정확하게 부하 구성 성분 별로 분리하는 것이 어렵고, 또한 계절조건, 경제적 상태 등등에 따라 일별, 주별 계통 운전조건이 변화하기 때문에 정확한 부하모델과 정수를 결정하기는 쉽지 않다. 만약 정확한 부하 구성 성분을 알고 있다 하더라도, 모든 장치를 일일이 모델링 하는 것도 현실적이지 못하다. 이러한 이유로 전력계통 해석을 위한 부하 모델링은 될 수 있으면 간단하면서 효과적이어야 한다.

전력계통 안정도에서 사용되는 부하모델은 정적(Static) 부하모델과 동적(Dynamic) 부하모델로 크게 두 가지로 나뉜다. 비선형 네트워크 방정식을 푸는 뉴턴-랩슨 방법과 같은 전력 조류계산법에서는 일반적으로 정적 부하모델인 정전력 부하모델을 보통 사용한다. 또한 상용 조류계산 프로그램에 따라서는 부하모델을 정전력, 정임피던스, 그리고 정전류으로 더 구분해서 조류계산을 수행할 수 있다. 선형 네트워크 방

정식을 사용하는 다이나믹 시뮬레이션이나 스위칭 해석에서 부하 모델링은 정적 부하모델과 동적 부하모델 모두 사용이 가능하다. 정적 부하모델은 전압과 주파수 변동에 의존하는 정전력, 정전류, 그리고 정임피던스로 구분되며, 동적 부하모델은 더 복잡하여 유도기 모델이나 시정수를 갖는 함수를 이용하여 모델링하는데 시간 지연 특성과 댐핑특성을 갖도록 모델링하는 것이 그 특징으로 한다. 실제 부하는 정적 부하와 동적 부하를 다 포함하기 때문에, 이 두가지 부하가 포함된 복합 부하모델(composite load model)을 사용할 수 있다.

다이나믹 시뮬레이션에서 정적 부하모델을 사용했을 때 부각되는 문제점은 모의결과가, 측정된 과도 전력동요 데이터와 잘 맞지 않는다는 것이다. 이것은 정적부하모델이 실제 부하가 갖고 있는 시간지연특성이나 댐핑 특성을 제대로 표현해 주지 못하기 때문이다. 따라서 최근의 부하 모델링 방법은 측정된 데이터를 이용하여 다이나믹 특성과 정적인 특성을 잘 표현해주는 복합 부하모델을 사용하여 모델 정수를 유도하는 방법이 많이 사용되고 있다.

국내에서 연구를 시작한 전력 Defence 시스템용 시각동기 위상측정장치(PMU)의 데이터를 이용하면 부하 모델링뿐만 아니라, 발전기 모선에 설치할 경우 계통에 큰 외란이 발생시 측정된 발전모선 주파수는 발전기의 조속기/터빈 특성을 캡처할 수 있다. 대형 발전

기의 트립은 전력계통의 주파수 동요에 큰 영향을 주고 심할 경우에는 계통 안정도를 향상하기 위해서는 일부 부하의 차단이 수반된다. 이러한 부하차단 계전기 셋팅은 전력계통 안정도 프로그램을 이용하여 주파수의 과도응답과 정상상태 수렴 등을 시뮬레이션하고 설정할 수 있는데, 실제 시뮬레이션 결과와 측정된 결과가 어느 정도 차이가 발생하면 계통 안정도 유지에 문제가 될 수 있다. 이것은 시뮬레이션에 사용하는 조속기/터빈 모델이 충분히 상세히 모델링 되어 있지 않거나 모델 정수가 크게 다를 경우에 발생한다. 발전기 트립에 대한 정확한 계통 주파수 동요 시뮬레이션을 하지 못하는 경우, 최근 발생된 경우와 같이 국내 계통에 1,500 MW 발전력이 불시 차단될 경우 계통주파수 회복에 어려움이 예상된다.

본 기고에서는 전력계통 안정도 해석에서 사용되는 부하 모델링 방법에 대해서 고찰하고, 실제 부하모델과 정수를 결정하는 방법, 그리고 현재 국내에서 연구를 시작한 PMU를 이용한 On-line 부하모델링 및 발전플랜트 모델정수 결정방법에 대해서 기술한다.

## 안정도 해석용 부하 모델링

### 정상상태 모의에서의 부하 모델링

전력계통을 해석을 위한 가장 기초적인 해석방법은 조류계산이다. 전력 조류계산 방법은 비선형방정식을 푸는 뉴턴-랩슨법과 같은 여러 가지 반복적인 방법이 있다. 조류계산방법에서 부하모델은 90년대 초반까지 보통 정전력 (Constant MVA) 모델로 두고 계산되었다. 그러나 전압안정도 문제가 부하 특성에 크게 의존한다는 것이 점차 인식된 후, 일반 상용 조류계산 프로그램은 각 모선에 대해서 정전류 (Constant Current) 모델과 정임피던스 (Constant Impedance) 모델로도 부하를 모델링 할 수 있도록 변경되었다.

조류계산에서 사용되는 3 가지 정적 부하 모델링 방법은 한 모선에 연결된 3가지 부하특성을 복합적으로 모델링 할 수 있다. 예로서, 국내에서 가장 많이 사용되는 상용 조류계산 프로그램[1],[2]에서는 각 모선에 대해서 위 3가지 부하모델 데이터를 입력할 수 있도록

아래와 같이 조류계산 입력데이터 형식을 갖추고 있다.

- PL: 유효전력, 정 전력 부하
- QL: 무효전력, 정 전력 부하
- IP: 유효전력: 정 전류 부하
- IQ: 무효전력: 정 전류 부하
- YP: 유효전력: 정 어드미턴스 부하
- YQ: 무효전력: 정 어드미턴스 부하

이 부하모델은 정격전압을 가정하고 모델링 되어 있다고 가정한다. 즉, 모선전압이 정격전압이 아닌 경우, 이 부하모델은 정격전압에서 벗어난 만큼 보정된다. 그리고 이 상용 프로그램에서는 정전력 부하는 그림 1 과 같이 정전류 부하 또는 정임피던스 부하로도 변환이 가능하다. 이렇게 변환된 부하는 다이내믹 해석에서 정적 부하모델로 바로 적용할 수 있다.

$$-S_r = S_i + \frac{aS_i}{V}$$

$$-S_r = S_y + \frac{bS_p}{V^2}$$

$$-S_p = S_p \times (1 - a - b)$$

-  $S_p$ : 초기 정 MVA 부하

-  $S_i$ : 초기 정전류 부하

-  $S_y$ : 초기 병렬 어드미턴스 부하

-  $S_p$ : 최종 MVA 부하

-  $S_y$ : 최종 어드미턴스 부하

-  $S_i$ : 최종 정전류 부하

- a, b: 부하 배분 정수 (a+b < 1)

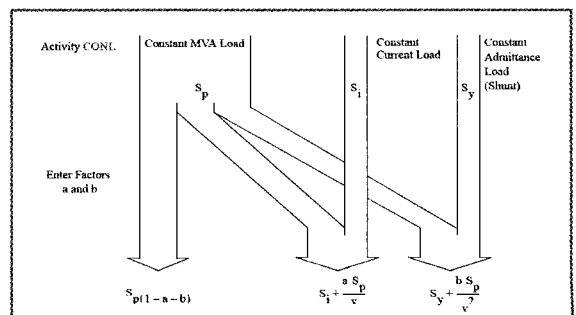


그림 1 정전력 부하를 정전류 부하와 정임피던스 부하로 변환 (PSS/E 프로그램)

조류계산에서 사용되는 3가지 정적 부하 모델링 방법을 자세히 살펴보면 아래와 같다.

• 정전력 부하모델

조류계산에서 정전력 부하모델은 식 (1)과 (2)와 같다.

$$\text{Real}(V_k I_k^*) = -P_k \quad (1)$$

$$\text{Imag}(V_k I_k^*) = -Q_k \quad (2)$$

이 모델은 실제 부하 모션 전압이 저전압인 경우 이러한 특성은 맞지 않는다. 즉, 그림 2와 같이 저전압인 경우는 유효전력과 무효전력이 전압이 낮아질수록 감소되어야 한다. 이러한 부하 특성은 조류계산 알고리즘 내에서 설정된 전압이하로 되는 경우 자동적으로 고려된다.

• 정전류 부하모델

어떤 모션 부하는 식 (3)과 (4)처럼 전류를 일정하게 하는 부하일 수 있다.

$$\frac{\text{Real}(V_k I_k^*)}{V_k} = -I_{pk} \quad (3)$$

$$\frac{\text{Imag}(V_k I_k^*)}{V_k} = -I_{qk} \quad (4)$$

이 정전류 부하도 모션전압이 낮아지는 경우, 실제

부하 특성을 제대로 표현하기 위해서는 그림 3처럼 부하 특성이 변화되도록 해야 한다.

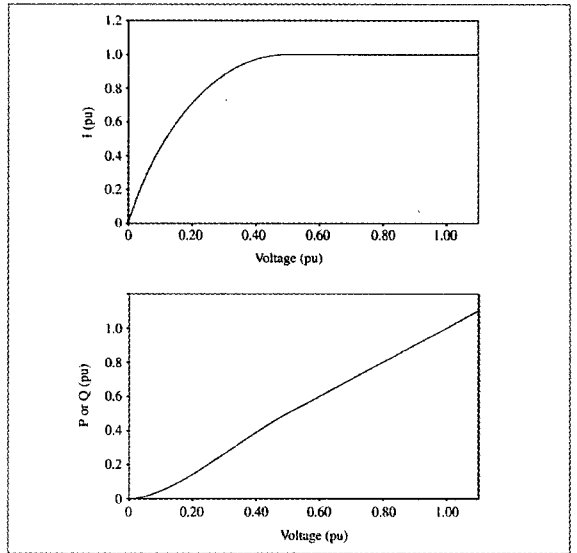


그림 3 정전류 부하모델의 저전압 특성

• 정임피던스 부하모델

마지막 부하모델 방법은 정임피던스로 식 (5)처럼 모델링 하는 것이다.

$$\frac{i_k}{V_k} = G_k + jB_k \quad (5)$$

이 정임피던스 부하모델은 조류계산에서 부하 모션에 연결된 병렬 리액터나 커패시턴스의 임피던스와 더해져서 계산하는 것이 일반적이다.

다이나믹 해석에서의 부하 모델링

시간영역에서 다이나믹 시뮬레이션에 사용되는 부하모델은 2 가지가 있다. 조류계산에서 사용된 부하모델과 비슷한 정적부하모델과 시간지연 특성을 갖는 다이나믹 부하모델이 있다. 정적부하모델은 대수식으로 표현되며 다이나믹 특성을 갖지 않는다. 앞에서 기술한 조류계산에서 사용되는 부하모델은 보통 ZIP 모델이라 한다. 다이나믹에서 사용되는 정적 부하모델은 전압 변동뿐만 아니라 계통 주파수 변동을 고려할 수 있도록 되어 있다.

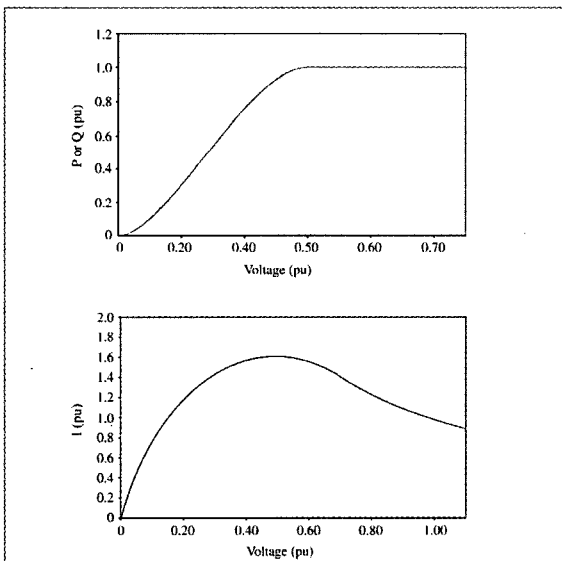


그림 2 정전력 부하모델의 저전압 특성

• 정적 부하모델 (Static Load Model)

스위칭 해석 및 다이내믹 해석에서는, 조류계산에서 모든 부하를 정전력 부하모델로 사용했다면 적절히 정전력 부하와 정임피던스 부하로 분배해서 변환해야 한다. 다이내믹 해석에서 정적 부하모델은 조류계산 부하모델과 같이 정전력, 정전류, 그리고 정어드미턴스 특성으로 구분하고, 전압 의존성뿐만 아니라 주파수 의존성을 동시에 고려할 수 있어야 한다. 식 (6)과 식 (7)은 IEEE 제안하는 정적 부하모델이다.

$$P = P_{LOAD}(a_1 V^{a_1} + a_2 V^{a_2} + a_3 V^{a_3}) (1 + a_7 \Delta f) \quad (6)$$

$$Q = Q_{LOAD}(a_4 V^{a_4} + a_5 V^{a_5} + a_6 V^{a_6}) (1 + a_8 \Delta f) \quad (7)$$

이 모델은 정격전압과 정격 주파수에서 모델링 된 것으로 가정한다. 위 식에서 전압변수에 대한 지수가 n=2인 경우는 정임피던스 부하를 나타내며, n=1인 경우는 정전류 부하를 표현한다. 그리고 모선 전압이 미리 설정된 값보다 낮은 경우는 앞에서 기술한 전압에 의존하는 부하 특성을 갖는다. 다이내믹 해석에서는 선형 네트워크 방정식을 사용해서 미지의 전압을 계산한다. 따라서 정임피던스를 제외한 부하모델은 유입되는 모선 전류로 표현된다.

정전류 부하와 정전류 부하는 주파수 변동에도 의존하는데, 주파수 변동에 대해서 특별히 고려한다면 국내에서 사용하는 상용 프로그램에서는 아래와 같은 부하모델을 사용할 수 있다.

$$- P = P_0 \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^m$$

$$- Q = Q_0 \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^n$$

$$- I_p = I_{p0} \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^i$$

$$- I_q = I_{q0} \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^e$$

• 동적 부하모델 (Dynamic Load Model)

대부분 복합적으로 구성된 모선 부하는 미소 전압 변동과 주파수 변동에 대해서 응답특성이 매우 빠르기 때문에 정상상태에 빠르게 도달한다. 이러한 경우는 앞에서 언급한 정적 부하모델로서 충분히 표현할 수

있다. 그러나 많은 경우에 부하의 다이내믹 특성까지 고려하는 것이 필요하다. 전력 진동, 전압 안정도, 그리고 장기 안정도 해석을 할 때는 부하의 다이내믹까지 모델링 하는 것을 요구한다. 특히 산업체 부하와 같이 많은 유도 모터가 있는 경우는 부하모델의 다이내믹 특성이 매우 중요하다.

그림 4는 상용 다이내믹 프로그램에서 사용되는 동적 부하모델을 보여준다. 이 모델은 유도 모터, 전동부하, 기타 전력장치를 표현할 수 있고, 0.98 per unit 전압에서 모델링 된 것으로 가정한다. 더 자세한 동적 부하 모델링 방법에 대해서는 아래 절의 측정에 의한 모델 정수 결정 방법에서 다시 고찰한다.

### 부하모델 정수 결정 방법

부하모델과 정수를 유도하는 방법은 아래와 같이 부하 자료조사에 의한 부하성분을 분해해서 정적 부하 모델정수를 유도하는 방법과, 직접 측정된 데이터를 이용하여 정적부하모델 정수와 동적 부하모델 정수를 유도하는 방법 두 가지가 있다.

(1) 부하성분 분석에 의한 모델정수 결정방법 (Component-based approach)

(2) 측정에 의한 부하모델정수 결정방법 (Measurement-based approach)

부하 성분 분석에 의한 모델정수 유도 방법은 정적인 부하모델 정수만 정확히 결정할 수 있기 때문에 측정된 과도 전력동요를 모의할 때는 잘 맞지 않는다. 직접 측정된 데이터를 이용해서 모델 정수를 유도하는 방법은 최적화 기법을 사용하여 측정된 파형과 동일한

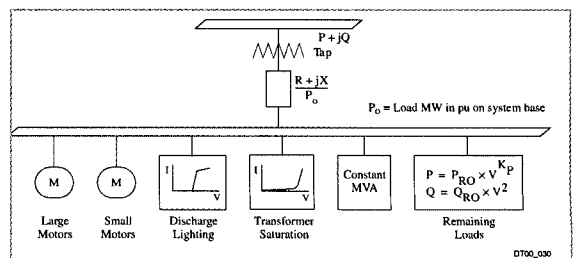


그림 4 복합 부하모델 (composite load model)

파형이 나오도록 모델정수를 결정할 수 있다. 그러나 최적화 기법은 모델 정수의 초기값에 민감하기 때문에 좋은 초기값을 제공해야 하는 단점이 있다. 따라서 신뢰성 있는 부하모델 정수를 유도하기 위해서 이 두 가지 방법을 혼합해서 사용하는 방법이 바람직하다.

**부하 성분 분석에 의한 모델 정수 결정 방법**

이 방법은 1976년 미국 EPRI에서 처음 시작되었고 고가의 계측장비를 사용하지 않기 때문에 실용적이면서 가장 많이 사용되는 방법이다. 부하 모선에 연결된 부하를 분석해서 부하모델 정수를 결정하는 방법으로, 부하를 주거용, 상업용, 그리고 산업용으로 분류한다. 이와 같이 분류된 부하는 다시 전동 부하, 냉방 부하, 전열 부하, 그리고 냉동 부하 등으로 그림 5와 같이 부하 성분(load components)으로 표현된다.

모선에 연결된 부하를 자료조사에 의해서 모델 정수를 결정하는 방법은 정적인 부하에 대해서는 정확하지만, 동적인 부하에 대해서는 다소 정확도가 떨어진다. 그림 6은, 문헌 [6]에서 제안하는 방법으로, 부하 모선에 연결된 부하를 분석해서 부하를 모델링 하고 정상상태와 다이내믹 상태에서 모의하기 위한 데이터로 사용되는 과정을 보여준다. 먼저, 부하 모선에 연결된 별도의 병렬 커패시턴스와 인덕턴스를 제거한다. 그리고 각 부하를 주거용, 상업용, 그리고 산업용으로 구분한다. 다음으로, 부하 성분이 구분이 되면 정적부하와 다이내믹 부하로 나누어서 정적 부하모델과 동적 부하모델의 정수를 결정한다. 결정된 동적 부하모델 정수는

자료 조사된 데이터에 의해서 결정되기 때문에 다소 정확도가 떨어질 수 있다. 유도된 정적 부하모델은 정상상태 프로그램인 조류계산 프로그램이나 다이내믹 프로그램에서 사용이 다 가능하다. 그러나 결정된 동적 부하모델은 오직 다이내믹 프로그램에서만 사용 가능하다. 따라서 동적 부하 특성을 조류계산에서도 사용하기 위해서는 그림 6처럼 다이내믹 프로그램을 이용하여 모선 전압에 스텝 전압을 인가하는 것을 모의하고 이때 모의된 부하 특성 결과를 정적 부하모델에 적합시켜 모델정수를 유도한 다음, 정상상태 프로그램에서 사용할 수 있다.

**측정에 의한 부하모델 정수 결정 방법 및 PMU 활용 방안**

이 방법은 부하 모선에 계측기를 설치하고 일정 시간이나 계절 동안 측정해서 결정하는 방법이다. 부하모델 정수는 측정된 데이터를 보간법에 적용하여 결정한다. 모델 정수 결정에 사용되는 데이터는 엄격한 시험 절차에 의해서 측정된 데이터를 사용하거나, 계속적으로 데이터를 측정하고 측정된 데이터 중에 사고가 발생한 과도 데이터를 선택해서 모델 정수를 결정할 수 있다. 부하 모선인 경우 엄격한 시험절차에 의해서 데이터를 측정하고 모델 정수를 유도하는 것은 계통운용상 어려움이 많기 때문에, 이보다는 부하모선에 일정기간 동안 데이터를 지속적으로 측정하는 방법이 많

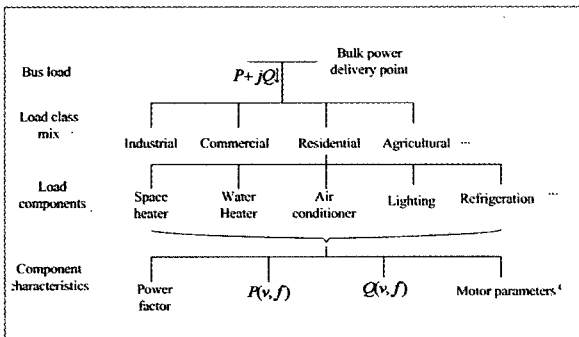


그림 5 부하 성분 분석에 의한 부하 분석

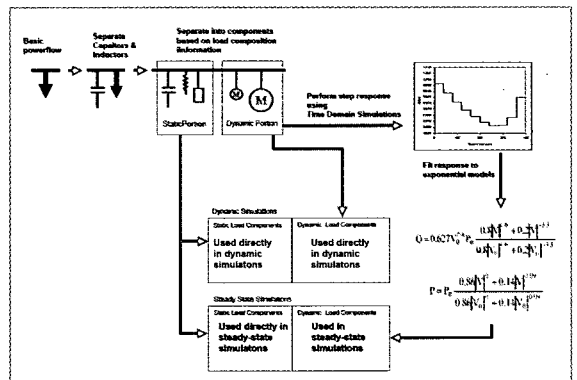


그림 6 부하 성분 분석에 의한 모델링 방법

이 쓰인다.

문헌 [4]의 측정에 의한 부하모델링 방법을 보면 다음과 같다. 측정된 데이터는 위상정보를 갖는 전압, 유효전력, 무효전력, 주파수를 동시에 측정하며 초당 20개의 데이터를 샘플링한다. 계측 시스템은 특정 부하 모션에서 연속적으로 데이터를 측정하고, 계통에 사고가 발생하여 광역적인 전력동요 상태가 측정되면 계측기에 측정된 데이터를 회수해서 전압과 주파수 변동에 대한 부하 특성을 분석한다. 정적 부하모델로는 과도시 동요 응답특성을 잘 표현하지 못하므로 그림 7와 같은 정적부하와 유도기 모델을 갖는 동적부하로 이루어진 복합 부하모델이나, 시정수를 갖는 간단한 동적부

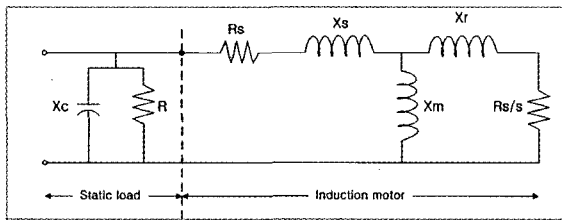


그림 7 유도기를 이용한 복합 부하모델

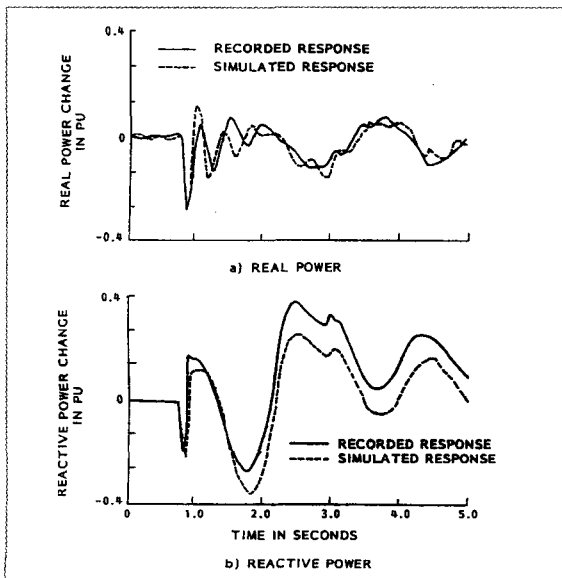


그림 8 동적 부하모델을 이용한 측정 데이터 모의 및 검증

하모델을 사용하여 모델 정수를 결정한다. 모델 정수를 결정하는 방법은 가중 최소자승법을 이용하여 측정된 동요 특성이 나오도록 모델정수를 결정한다. 모델 정수 초기값은 미리 부하 모션의 부하 성분을 분석해서 전동부하 같은 정적 부하와 유도기와 같은 회전부하 비율을 결정해서 가중 최소 자승법의 초기값으로 사용하고 있다. 그림 8은 측정된 데이터를 동적 부하모델을 이용하여 모의하여 검증한 것을 보여준다. 이와 같은 어떤 동요 현상을 모의할 때 정적 부하는 잘 맞지 않기 때문에 동적 부하모델을 사용한다.

문헌 [5]는 부하모델을 만들기 위해서 66kV 부하 모션에 계측기를 설치하였고, 유효전력, 무효전력, 그리고 전압을 3kHz 속도로 샘플링 하였다. 이 연구에서는 주파수 변동이 부하모델에 주는 영향은 미미하므로 주파수 특성에 대한 부하모델링은 무시하였다. 또한 이 연구에서는 전압변동에 의한 부하모델정수를 결정해야 하나 모선에 큰 전압변동을 인가하기가 어렵기 때문에 계통에 사고가 발생 때 측정된 데이터를 이용하여 모델 정수를 유도한다. 그리고 제안된 정적 동적 부하모델은 그림 9와 같다. 유효전력과 무효전력에 대해서 지수함수로 구성된 정적부하모델과 1차 지연의 동적 부하모델이 결합된 형태이다. 동적 부하모델은 간단한 1차 지연 특성을 갖기 때문에, 유도기와 같은 회전부하에서 제공되는 댐핑특성을 제대로 표현하지는 못한다.

최근 국내에서는 PMU를 이용해서 정전방지를 위한 전력 Defence 시스템을 구성하고자 연구가 진행 중이

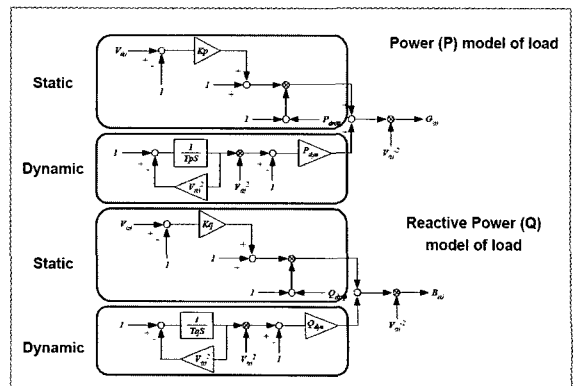


그림 9 간단한 동적 및 정적 혼합 부하모델

다. 기본적으로 전압 안정도와 소신호안정도를 실시간으로 감시하고 광역전전 방지를 억제하는 시스템이지만, PMU에서 측정된 과도 전력 동요 데이터는 설치된 부하 모선의 부하를 모델링 하는데 중요하게 사용될 수 있다. 그림 10은 시각 동기화된 PMU에서 측정된 데이터가 상위 시스템으로 전송되어 모델정수 추정 프로그램에서 모델 정수를 유도할 수 있는 예상 구성도를 보여준다. 예상되는 PMU 성능은 초당 60개의 실효치 데이터를 계산하고, 부하모델링을 할 수 있는 위상 정보를 갖는 전압, 유효출력, 무효출력, 그리고 주파수를 포함한 동시 측정된 데이터를 PMU 자체 저장 장치에 저장하든지 상위 시스템에 전송하게 된다. 계통에서

큰 외란사고가 난 경우에 측정된 데이터를 이용하여 최적화 기법을 적용하여 동적 부하정수를 추정할 수 있고, 평상시에 측정된 데이터는 장기간의 정적 부하 모델 정수를 추정하는데 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

### 안정도 해석용 발전기 모델링

국내 발전기 모선에 PMU를 설치할 경우 계통에 큰 외란이 발생시 측정된 발전모선 주파수는 발전기의 조속기/터빈 특성을 캡처할 수 있다. 발전 모선에 PMU를 설치할 경우, PMU는 모선 주파수와 발전기에서 나오는 유효전력, 무효전력, 그리고 발전기 단자전압을 동시 측정가능 하기 때문에, 이 데이터를 분석하면 발전기의 중요 조속기/터빈 특성을 유도할 수 있다. 또한 기존의 조속기/터빈 모델과 정수를 이용하여 사고를 모의하여 검증할 수 있으며, 만약 측정된 주파수 변동과 잘 일치하지 않는 경우 모델 정수를 새롭게 조정해서 실제 응답 특성을 나오게 할 수 있다.

그림 11은 외국의 사례 [7]로 1250 MW 발전 플랜트가 트립된 경우 측정된 모선 주파수 동요를 보여주고 있고, 기존 조속기/터빈 모델을 이용해서 모의한 것과 개선된 조속기/터빈 모델을 이용해서 모의한 결과를 비교 검증하고 있다. 그림 12는 이때 사고시 운전 중인

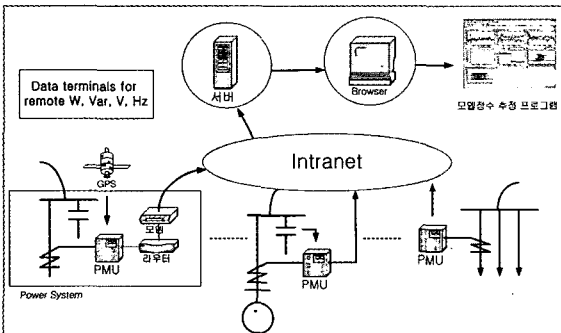


그림 10 PMU 데이터를 이용한 국내 부하 및 발전플랜트 모델링 시스템

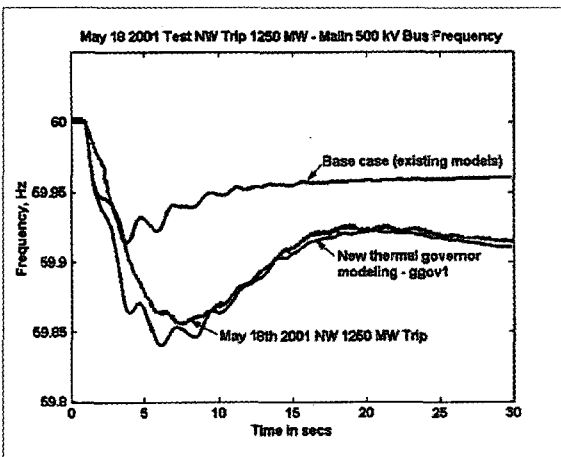


그림 11 측정된 주파수 동요 데이터를 이용한 조속기/터빈 모델 주파수 특성 모의

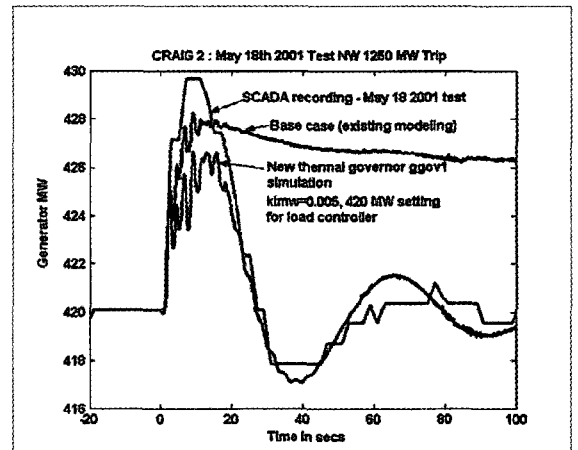


그림 12 계통 사고시 운전 중인 발전기의 응답 특성

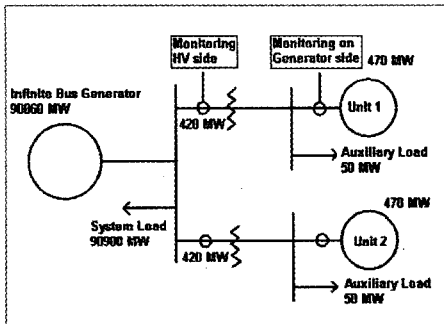


그림 13 조속기/터빈 감증을 위한 3기 등가계통도 (측정된 모션 주파수를 강제로 과도 안정도 프로그램에서 입력해서 발전기 출력결과를 비교 검증)

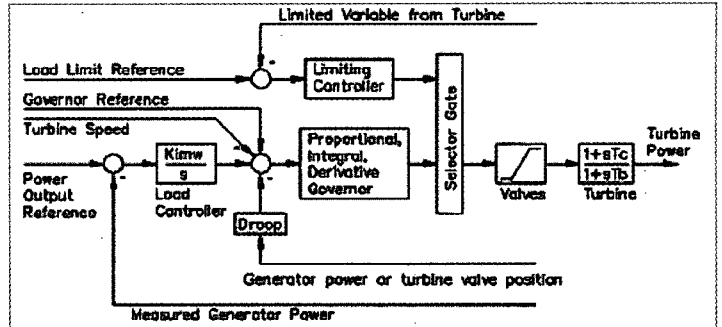


그림 14 개선된 화력기 조속기/터빈 모델 기능 구성도

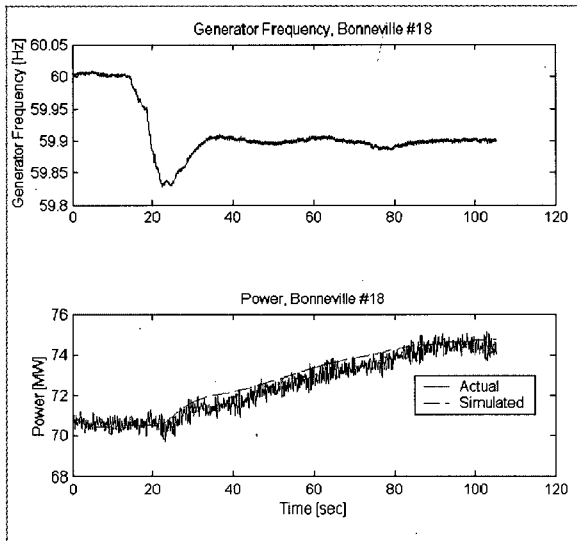


그림 15 수력기 주파수 변동과 출력 특성

발전기 모션의 모의된 출력결과를 측정된 결과를 비교한 것이다. 기존 데이터에 의한 발전기 출력 모의는 측정된 값과 잘 일치 하지 않으나, 개선된 화력기 모델을 이용할 경우는 측정된 데이터와 잘 일치하고 있다. 이와 같이 모의하기 위해서 그림 13처럼, 전체 계통을 3기 등가 시스템으로 모델링하고 직접 측정된 모션 주파수 데이터를 과도 안정도 프로그램에 강제로 모션에 입력해서 발전기의 출력을 모의하고 발전기 모션이나 고압측 모션에서 발전기 출력을 서로 비교한 것이다. 그림 14는 이때 모의된 개선된 화력기 기능 구성도를 보여준다.

수력기인 경우 대형 화력기에 비해 조속기/터빈 응답 특성이 빠르다. 따라서 수력기의 조속기/터빈 모델

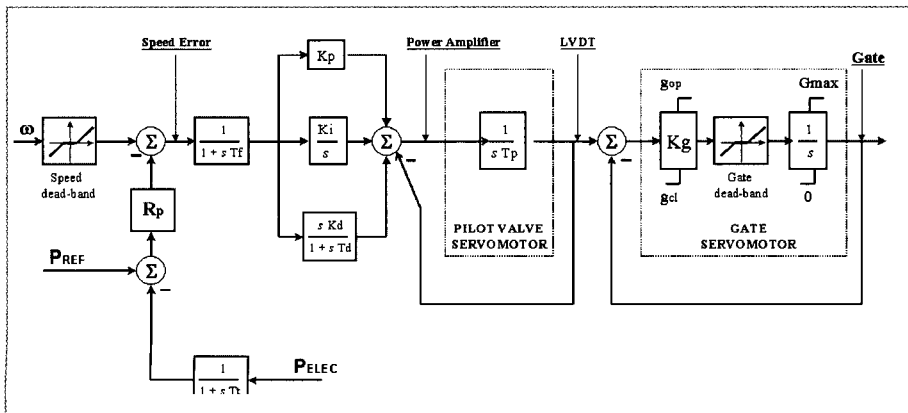


그림 16 Woodward PID 조속기 모델 구성도

과 정수는 대형 전력 계통 주파수 동요 현상을 모의하는데 매우 중요한 역할을 담당한다. PMU가 수력기 발전 모션에 설치될 경우 그림 15와 같은 주파수와 출력을 측정할 수 있으며 PMU에서 측정된 데이터는 모의된 발전기 출력과 비교하여 기존 조속기/터



빈 모델을 검증하는데 유용하게 사용된다. 그림 16은 그림 15에서 사용된 수력기 조속기 모델인 우드워드 PID 조속기 제어기 모델을 보여주고 있다.

## 결 론

앞에서 전력계통 안정도 해석에서 사용되는 부하 모델링 방법, 실제 부하모델과 정수를 결정하는 방법, 그리고 간단히 PMU를 이용한 발전 플랜트 조속기/터빈 모델 정수 검증 및 결정하는 방법에 대해서 기술하였다. 주로 본문에서는 부하모델을 정적부하와 동적부하로 나누어 안정도 해석에서의 부하 모델링 방법과 부하모델 정수를 결정하는 방법에 대해서 자세히 고찰하였다. 정적부하모델은 실용적으로 쉽게 모델 정수를 결정할 수 있으나 전력 진동, 전압 안정도, 그리고 장기 안정도 해석을 할 때 잘 맞지 않은 경향이 있다. 이러한 정적 부하모델의 단점을 보완하기 위해서 국외에서는 실제 측정을 통해서 부하를 모델링 하는 방법도 병행해서 활발히 연구가 진행되어 오고 있다. 국내에서는 정적 부하 모델링에 대해서 주로 연구를 해 왔으나, 최근 국내 실계통을 대상으로 PMU를 이용한 on-line 측정 데이터를 이용한 동적 부하 모델링에 대해서도 연구를 시작하고 있다. 또한 PMU가 발전 모선에 설치되면, 발전 플랜트에 대한 기존 모델정수를 검증하고 모델 정수를 새롭게 결정할 수 있을 것으로 기대된다.

향후 국내에서 정적 부하 모델링뿐만 아니라 On-line 측정에 의한 동적 부하 모델링에 대해서도 지금보다 더 많은 연구가 수행되어야 할 것이며, 더불어 PMU

에서 측정된 데이터를 이용한발전 플랜트의 조속기/터빈 모델과 정수를 검증하고, 필요하다면 모델 정수를 새롭게 결정하는 등의 연구에 대해서도 많은 연구가 활성화되어야 할 것으로 사료된다.

## [참고문헌]

- [1] PSS/E Ver. 29, Application Guide, PTI 2002
- [2] PSS/E Ver. 29, Program Operation Manual, PTI 2002
- [3] P. Kundur , Power System Stability and Control, 1994 McGraw-Hill
- [4] "Dynamic Load Models derived from data aquired during system transients", S.A.Y. Sabir, 1982, IEEE PAS1-1, No.9 september 1982
- [5] K.Tomiyama, S.Ueoka, T.Takano, "Modeling of Load During and after System Faults based on Actual Field Data", Panel Session, IEEE 2003 PES Meeting, Toronto
- [6] Kip Morison, Hamid Hamidani, Lei Wang, "Practical Issues in Load Modeling for Voltage Stability Studies", Panel Session, IEEE 2003 PES Meeting, Toronto
- [7] L.Pereira, J.Undrill, D.Kosterev, D.Davies, S.Patterson, "A New Thermal Governor Modeling Approach in the WECC", IEEE Transactions on Power systems, Vol. 18, No.2, May 2003