

동적인 부하를 고려한 전력계통의 안정도 해석

박지호*, 백영식**

*(주)네오엠스, **경북대학교 전자전기공학부

Power System Stability Analysis Considering Dynamic Loads

Ji-Ho Park*, Young-Sik Baek**

*NeoMems Ltd., **Kyungpook National University

Abstract - In this paper, we have simulated the transient stability of power system with dynamic loads. Dynamic load characteristics have an important influence on power system stability. In study of power system stability, motors form a major portion of the system loads. Induction motors and synchronous motors in particular form the workhorse of the electric power industry. Therefore modelling of motors is important in system stability. We investigate the effect of motors loads of Kwang Yang network with three phase fault.

1. 서 론

전력계통을 안정적으로 운전하기 위해서는 시스템의 부하의 크기에 상응하는 발전량을 발전소에서 발전을 해야 한다. 따라서 전력계통의 안정도 해석에 있어서 부하의 특징은 중요한 영향을 미친다. 컴퓨터기술의 발달로 복잡한 전력계통의 해석을 이전보다 쉽게 할 수 있는 편리한 사용자 인터페이스를 갖춘 프로그램들이 많이 개발되었으나, 대부분의 전력계통의 시뮬레이션에 있어서 동적인 부하의 영향을 상세히 반영하지는 못하고 정적인 부하에 등가모델로서 삽입하는 정도이다.

전력계통에서 모터부하는 시스템부하의 주요부분을 차지한다. 전력계통의 안정도해석에서 개별 부하의 특성을 모두 반영할 수 없기 때문에 일반적으로 모터 부하를 일정임피던스 부하로 취급하고 있다. 모터부하가 집중되어 있는 산업용 전력계통의 경우 개별부하의 특성을 고려해야 된다. 따라서 본 논문에서 배전계통에서 모터의 동적특성을 고려하여 안정도해석을 하였다.

전력계통의 안정도 해석은 계통의 구성 설비요소를 객체지향적인 모델링 방법을 사용하여 한번의 모델링으로 전체시스템의 모델링을 쉽게 바꿀수 있는 방법을 사용하였다. 객체지향적모델링은 전력계통과 같은 복잡한 시스템의 모델링에 있어서 소프트웨어의 재사용 가능성을 높이고, 유지보수가 뛰어난 장점을 가진다. 본 논문에서는 대규모의 모터부하를 가지고 지역 발전소를 가지는 시스템을 대상으로 객체지향적인 시스템의 모델링으로 전력계통의 안정도를 해석한다.

2. 본 론

2.1 부하의 모델링

2.1.1 정격인 무하

정적인 부하모델은 모선의 전압의 크기에 의존하는 저수합수형 모델을 사용한다.

$$P = P_0 \left(\frac{V}{V_0} \right)^a \quad (1)$$

$$Q = Q_0 \left(\frac{V}{V_0} \right)^b \quad (2)$$

여기서 P 는 유효전력, Q 는 무효전력, V 는 모선전압 그리고 P_0, Q_0, V_0 는 초기동작점의 유효전력, 무효전력, 모선전압을 나타낸다. 멱지수 a 및 b 는 0일 때 일정전력, 1일 때 일정전류, 2일 때 일정임피던스 부하를 나타낸다. 전력계통의 안정도해석에서는 일반적으로 부하를 일정임피던스로 나타낸다.

2.1.2 모터의 모델링

동기전동기의 모델은 토크식을 제외하고는 동기발전기와 같은 방법으로 모델링된다. 동기발전기와 동기모터는 직축과 횡축의 과도현상을 고려한 이축모델로 모델링한다.

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{1}{2H} (T_e - T_m) \quad (3)$$

여기서 T_e 는 전기적토크, T_m 은 기계적토크, H 는 모터와 부하의 관성정수이다.

유도전동기의 과도상태 등가회로는 그림 1과 같다

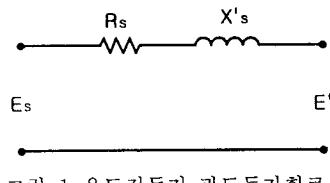


그림 1 유도전동기 과도등가회로

그림 1에 대한 전기방정식은

$$\begin{aligned} \frac{dE_d'}{dt} &= -\frac{1}{T} (E_d' + (X_s - X_d')i_{qs}) + \frac{(\omega_s - \omega_r)}{\omega_s} E_q' \\ \frac{dE_q'}{dt} &= -\frac{1}{T} (E_q' - (X_s - X_d')i_{ds}) - \frac{(\omega_s - \omega_r)}{\omega_s} E_d' \\ T_c &= E_d' i_{ds} + E_q' i_{qs} \\ \tilde{E}_s &= (R_s + jX_s) \tilde{I}_s + \tilde{E}' \\ \tilde{I}_s &= i_{ds} + jI_{qs} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 T 는 과도개방회로시상수, X_s 는 동기리액턴스, X_d' 는 과도동기리액턴스, E_d' 는 직축과도유기전압, E_q' 는 횡축과도유기전압, ω_s 는 동기각속도, ω_r 은 회전자 각속도, i_{ds} 는 고정자전류의 직축성분, i_{qs} 는 고정자전류의 횡축성분이다. 본 논문에서는 발전기의 과도안정도 해석에 객체지향기법을 적용하였다. 대상시스템의 물리적인 최소단위를 객체로 모델링하여 이를 연결하는 방법을 본 논문에서 구현한다. 실제로 미분방정식의 해를 구하는

방법의 하나인 아날로그 컴퓨터의 구성에서 물리적인 기본 소자들의 연결로 시스템을 모델링하는 방식이다. 디지털 컴퓨터에서 아날로그 컴퓨터의 구성 방식을 객체지향기법을 이용하여 동적 시스템의 해석을 위한 컴퓨터 시뮬레이터를 만들고 이것을 사용하여 발전기 및 시스템을 모델링하여 전력계통 발전기 과정 안정도 해석에 적용하였다.

2.2 전력계통 안정도 해석을 위한 윈도우 환경설계

2.2.1 메인메뉴

메인 메뉴는 크게 파일, 편집, 보기, 그리기, 해석 그리고 창의 메뉴로 구성된다. 파일 메뉴는 새파일, 열기, 닫기, 저장, 다른 이름으로 저장, 프린터 미리보기 그리고 프린터 설정으로 구성된다.

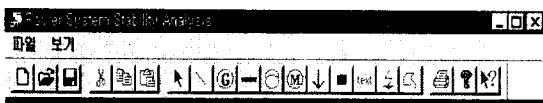


그림 2 구현된 MMI의 초기화면

2.2.2 마우스를 이용한 사전처리

그려진 시스템의 각 객체에 시스템 해석을 위한 데이터를 입력하기 위해서 각 객체를 마우스로 더블클릭 하면 각 객체에 해당하는 데이터 입력 대화상자가 뜨게 된다. 이 데이터 입력 대화상자에 전력조류계산에 필요한 데이터 및 안정도 해석에 필요한 데이터를 입력할 수 있다.

2.2.3 시스템 데이터 입력

그림 3은 발전기 데이터를 입력 받기 위한 대화상자이다. 발전기가 연결된 모선번호를 입력하고 발전기의 휴효전력, 전압 그리고 무효전력의 최대, 최소값을 입력한다. 입력 데이터의 형식은 단위값(PU) 또는 MKS 단위로 입력할 수 있다. 전력계통의 설비들을 객체단위로 설계하고 각 설비들의 필요데이터들을 마우스를 이용한 바로가기 메뉴에서 입

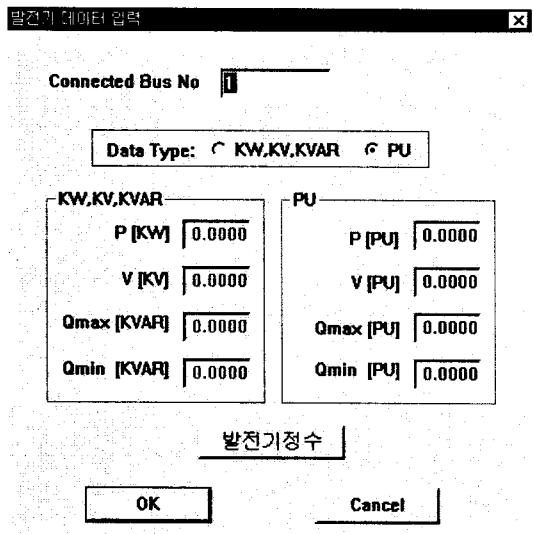


그림 3 발전기 데이터 입력 대화상자
력을 받을 수 있다.

2.3 사례연구

2.3.1 사례대상계통

광양제철소의 전력계통은 한전으로부터 154[kV] 송전라인과 사용전압 154[kV], 22[kV], 6.6[kV]의 배전선로로 구성되어 수전, 제선, 압연, 해안, 서부의 5개의 변전설비와 118[MVA]급 8기, 18[MVA]급 6기의 발전설비와 변압설비들로 구성되어 있다.

제철소 부하증가에 대응한 243[MVA]급의 발전설비 3기의 신규운전과, 한전 수전 선로에 대한 345[kV]의 수전 라인의 작업은 현재 진행중에 있다. 제철소의 부하 특성을 살펴보면, 크게 가변부하와 고정부하로 분류되고, 고정부하로서는 고로, 코크스 설비등의 선강지역 부하와 열연, 미니밀 등의 압연지역 가변부하가 있다. 전력계통의 안정운전에 영향을 미치는 가변부하의 특성을 고려한 순시최대 부하전력은 1160[MVA]이며, 최소 부하전력은 575[MW]이다. 그럼 4는 설계된 광양제철소 전력계통 분석용 소프트웨어의 주 운전화면의 일부이다. 모선의 총수는 123개이고 발전기는 17대이다. 부하 모선에는 동기모터부하와 일반부하가 있는데, 변압기를 거쳐서 22kV, 6.6kV의 모선을 거쳐 분산되어 있다.

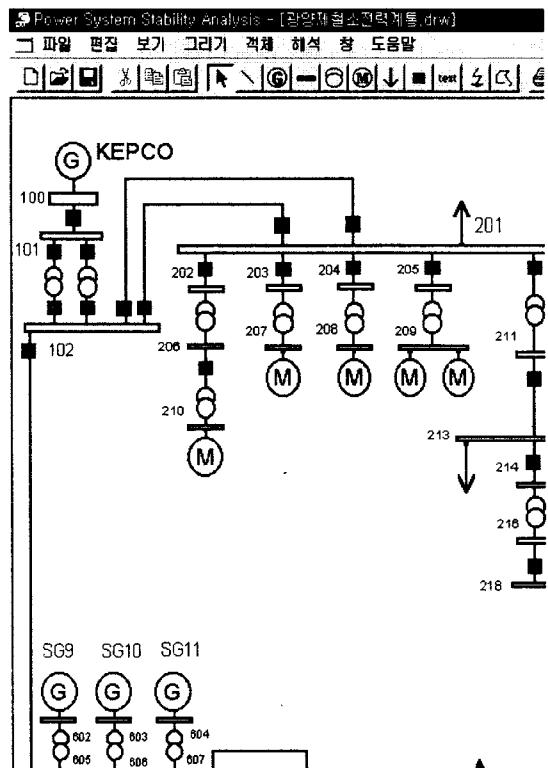


그림 4 사례연구 대상 계통도

2.3.2 온라인 안정도해석

그림 5는 안정도해석 프로그램이 MMI 환경과 데이터베이스와 연계하여 발전기 안정도 해석을 수행하는 작업흐름이다. 사례1의 안정도 모의조건은 모선 301번과 306번 사이의 선로에 3상 단락사고를 가정하고 고장제거시간을 0.1초로 했을 때 발전기 G8의 응답곡선을 그림 6에 결과를 나타냈고, 사례2는 모터부하를 고려하여 모선 501번 사이에 3상 단락사고가 일어났을

때의 발전기 G8의 응답곡선은 그림 7이다.

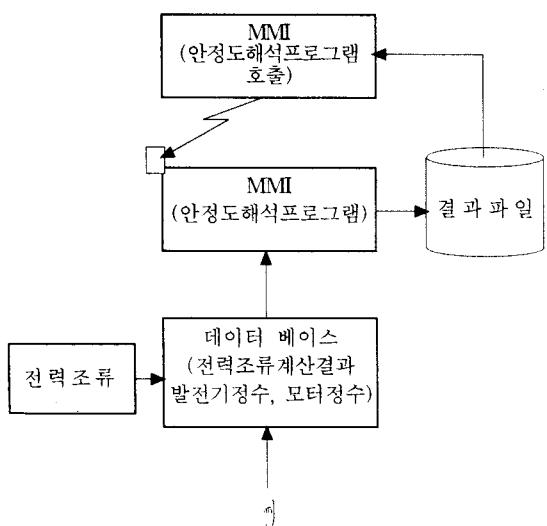


그림 5 안정도해석 프로그램의 작업흐름

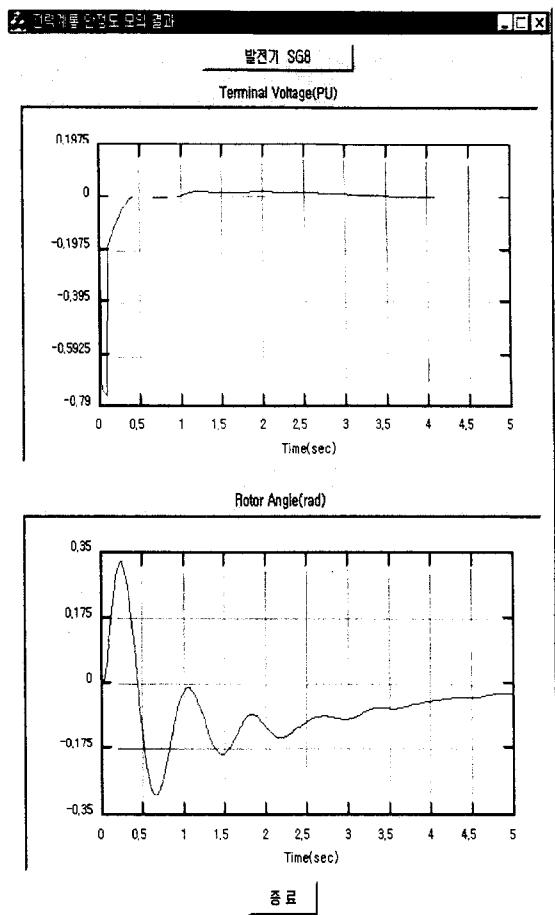


그림 6 사례1에 대한 안정도 모의 결과

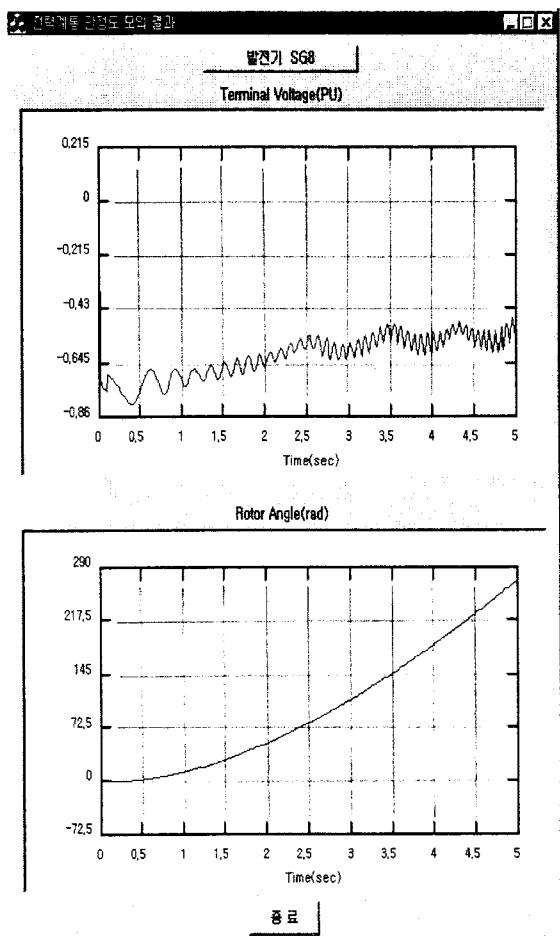


그림 7 사례2에 대한 안정도 모의 결과

3. 결 론

본 논문은 전력계통의 동적인 부하를 고려하여 안정도해석을 모의하였다. 전력계통은 여러 가지 동적 시스템이 상호 결합되어있는 복잡한 시스템이므로 소프트웨어의 유지 및 재사용에 있어서 많은 제약이 있다. 이러한 이유로 객체지향기법을 적용하였고 또한 사용자의 편의를 도모하기 위하여 원도우 환경에서 마우스를 이용한 사건처리를 통하여 시스템을 설계하고 안정도 해석을 할 수 있는 GUI를 구축하였고, 실 계통인 광양제철소 전력계통시스템의 안정도 해석에 직접 적용하였다.

(참 고 문 현)

- (1) P. Kundur, Power System Stability and Control, McGraw-Hill, 1994
- (2) J.H. Park and Y.S. Baek, "The Power System Stability Analysis Method Using Object-Oriented Programming" The International Conference on Electrical Engineering(ICEE '98), Kyungju, Korea, July, 1998, Vol. 2, pp. 285-288
- (3) SIEMENS, "Power Transmission and Distribution Power System Planning", FINAL REPORT PART1:REPORT, 1996
- (4) SIEMENS, "Power Transmission and Distribution Power System Planning", FINAL REPORT PART3:DATA DOCUMENTATION, 1996