

모터부하를 고려한 ON-LINE 안정도 해석

박지호\*, 백영식\*, 이희춘\*\*  
 \*경북대학교 전자전기공학부, \*\*광양제철소

Power System Stability Analysis Considering Motor Loads

Ji-Ho Park\*, Young-Sik Baek\*, Hee-Choon Lee\*\*  
 \*Kyungpook National University, \*\*Kwangyang Steel Works

**Abstract** - In this paper, we have simulated the transient stability of power system with motor loads. In study of power system stability, modelling of motors is required for the system with large concentrations of motors. Therefore the dynamics attributable to motors are usually the most significant aspects of dynamics characteristics of system loads. A synchronous motor is modelled as a dynamic load. We investigate the effect of synchronous motors of Kwang Yang network with three phase fault.

1. 서 론

부하를 정적인 모델로 취급하는 경우 전압과 주파수의 변화에 대한 응답은 빠르고 응답의 정상상태 도달속도는 매우 빠르다. 그러나 많은 경우 부하의 동적인 특성을 고려해야 되는데 방전램프의 소호나 재점등, 보호계전기의 동작, 부하의 온도조절장치제어, ULTC의 동작, 모터부하가 집중되어 있는 경우가 그 예들이다. 대부분의 전력계통의 시뮬레이션에 있어서 이들의 영향을 상세히 반영하지는 못하고 부하에 등가모델로서 삽입하는 정도이다.

부하에서 소비되는 전 에너지의 60%-70%를 모터에서 소비하므로 모터에 기인하는 동적인 특성이 시스템 부하의 동적인 특성의 가장 중요한 측면이다[1]. 전력계통에서 발전기 안정도해석은 일반적으로 모터 부하를 일정인 피던스 부하로 취급하고 있다. 이는 전력계통이 복잡한 시스템이고 개별 부하의 특성을 모두 반영할 수 없기 때문인데, 모터가 부하의 큰 부분을 차지하는 배전 계통의 경우 모터의 영향을 정확하게 고려하지 않으면 신뢰할 수 있는 결과를 얻을 수 없다. 따라서 본 논문에서 배전 계통에서 모터의 동적특성을 고려하여 안정도해석을 하였다. 실제 전력계통의 운전사항을 데이터베이스를 연계하여 저장하고 이 데이터베이스를 기초로 계통을 안정도를 모의하게 된다. 제철소와 같은 배전계통은 한전계통과 연계가 되어있지만 대규모의 전력을 소비하는 시스템으로 자체 발전기의 발전용량도 크고, 부하의 대부분이 용량이 큰 모터부하이다. 따라서 발전기와 모터의 상호 영향이 제철소 계통의 안정운전에 관건이라 할 수 있다. 본 논문에서는 광양제철소의 발전기, 모터 그리고 한전계통과 연계하여 온라인으로 안정도를 모의한다.

2. 본 론

2.1 시스템 모델링

동적인 시스템은 미분방정식으로 모델링하며 이를 수치적인 방법으로 해를 구하면 동적인 시스템의 응답을 구하는 것이다. 시스템이 복잡해질수록 이를 나타내는 미분방정식도 복잡하고 또한 그 해를 구하는 것이 어렵다.

본 논문에서는 동적시스템을 모델링하는 미분 방정식을 시스템의 변화에 보다 유연하게 풀기위하여 미리 만들어진 기본소자들을 상호 연결하는 방식을 채택한다. 객체지향프로그래밍(OOP)을 이용하면,아날로그 컴퓨터의 기본소자를 디지털 컴퓨터에서는 C++의 class 키워드를 사용하여 구현할 수 있다. 이들 기본객체들을 시스템의 모델에 맞게 이진트리로서 연결을 하면 시스템이 모델링된다[2][3]. 그림 1은 발전기 안정도 해석을 위한 객체지향적 모델링 단계를 나타낸 것이다. 객체지향적 모델링은 대상시스템의 가장 기본적인 모듈을 프로그램에서 객체화하여 이들을 상호연결하여 시스템을 모델링하는 방식이다. 이 방법은 시스템의 변화에 유연하기 때문에 복잡한 시스템의 해석에 유리하다.

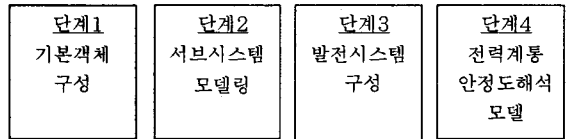


그림 1. 전력계통 안정도해석의 객체지향적 모델링

전력계통의 안정도 해석 모델은 발전시스템과 선로를 상호 연결함으로써 완성된다. 선로는 어드미턴스 행렬로 표현되며 모터를 제외한 부하는 일정임피던스 부하로 취급하여 해석을 행한다.

2.2 광양제철소 전력계통

광양제철소의 전력계통은 그림 2와 같이 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.

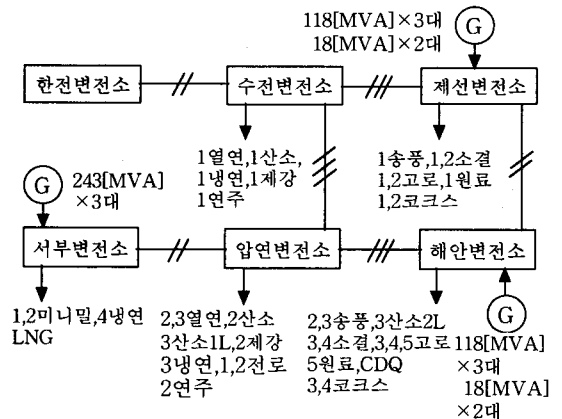


그림 2. 광양제철소 전력계통 구성도

그림3은 안정도해석을 위한 간략화된 단선도이다. 실제 시뮬레이션에 사용된 단선도는 123모선인데, 여기서는 8 모선으로 간략히 표현되어있다. 모선중 1,2,3,5,7,8번모선은 154kV이고, 4,6모선은 22kV 모선이다. 1번은 한전모선으로 무한모선으로 표현한 것이고, G1~G8은 118MVA급의 발전기이고 G9~G14는 18MVA급의 발전기이다. 그리고 G15~G17는 LNG발전기로서 현재 건설중이다. 각 모선에는 동기모터부하와 일반부하가 있고, 그림에서 변압기는 표시하지 않았다. 동기모터는 각 모선에 다수가 존재하나 그림에서는 대표적으로 하나의 모터로 나타냈다. 부하는 각 모선에 바로 연결된 것이 아니고, 변압기를 거쳐 22kV, 6.6kV의 모선을 거쳐 부하가 분산되어 있다. 계통은 전체적으로 볼 때 방사상식으로 보이나 실제로는 4번 모선과 2번 모선의 22kV의 부하모선사이, 6번 모선과 7번 모선의 22kV의 부하모선사이 그리고 7번 모선과 8번 모선의 22kV의 부하모선사이에 연결선로가 있으나 통상 개방상태로 운전된다.

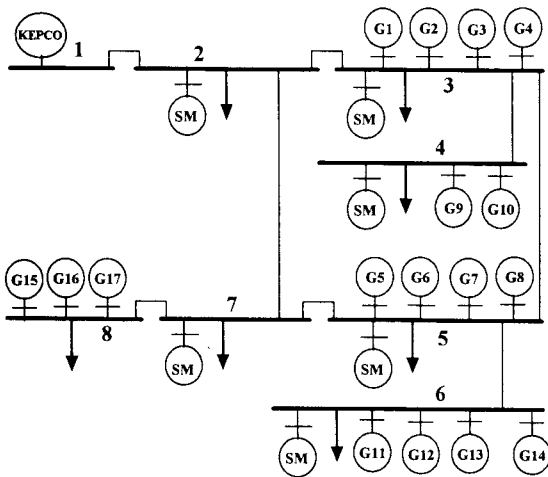


그림 3. 안정도해석을 위한 간략화된 계통도

### 2.3 온라인 안정도해석

실계통에 대한 온라인 안정도 해석을 위한 전체적인 구성은 그림 4와 같다. 실계통의 실측 데이터를 데이터베이스에 저장하고, MMI 화면에서는 실계통도를 GUI를 이용하여 실측 데이터를 표시한다. 전력조류계산 프로그램은 MMI 화면에 표시된 현재의 시스템 부하에 대한 조류계산 및 설정된 상정사고에 대한 조류계산을 행한다. 안정도 모의 프로그램은 현재의 가정된 사고에 대한 안정도해석을 현재의 전력조류를 초기치로 가지고 행한다. 관계형 데이터베이스는 이들 프로그램들에서 사용되는 모든 자료와 데이터를 저장하고 관리한다.

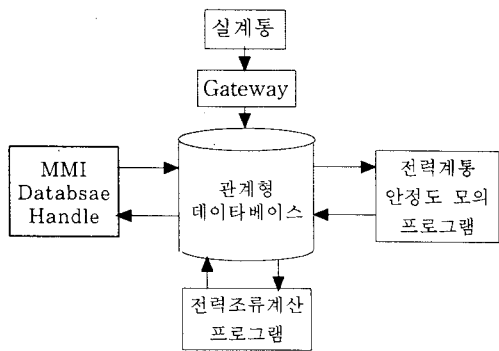


그림 4. 온라인 안정도해석 개념도

사용자에 대한 인터페이스(MMI)는 Intouch를 이용한다. Intouch의 특징은 화면상의 객체가 데이터베이스를 통하여 연결되도록 되어있어 데이터베이스를 통한 응용 프로그램과의 연결이 가능하다. 인터페이스 화면에는 광양제철소의 실제동이 표시된다. 사용자 인터페이스 화면의 일부분을 그림 5에 나타냈다.

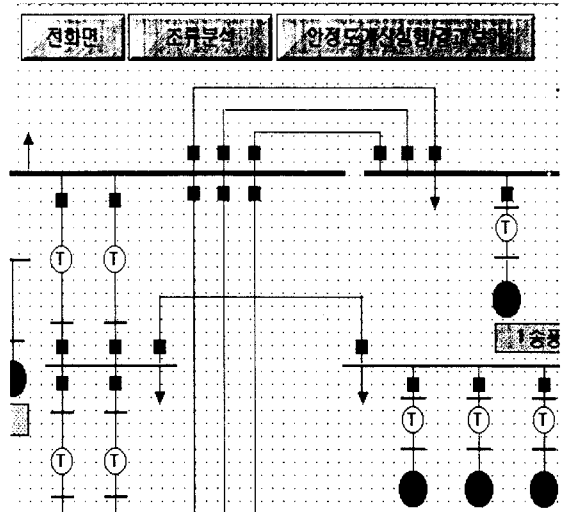


그림 5 사용자 인터페이스 화면의 일부분

### 2.4 안정도 모의

안정도 모의조건은 제철소의 임의의 운전상태에서 인터페이스화면의 임의의 선로를 클릭함으로써 안정도 모의 조건을 입력하고 그 선로에 3상 단락사고를 가정한다. 이러한 일련의 동작이 Intouch 화면내에서 이루어진다. 본 논문에서는 발전기 G1과 3번 모선사이의 3상 단락 사고를 가정하고 시뮬레이션한 경우를 예로 든다. 발전기는 LNG발전기를 제외한 14대의 동기발전기를 고려했고, 모터는 동기모터로서 일정 임피던스로 고려한 경우와 동적응답을 고려한 경우를 비교한다. 동기모터의 동적특성의 모델링의 대부분은 동기 발전기와 같고 동요방정식이 
$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{1}{2H} (T_e - T_m)$$
로된다.

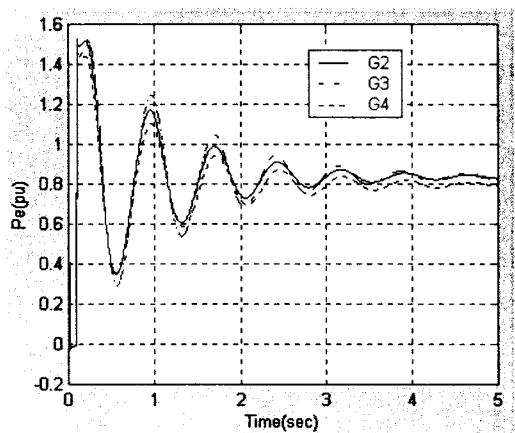


그림 6 모터를 일정임피던스로 취급한 경우(case1)

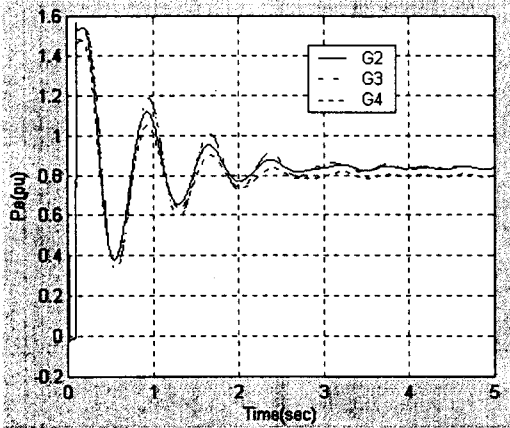


그림 7 모터의 동적응답을 고려한 경우(case1)

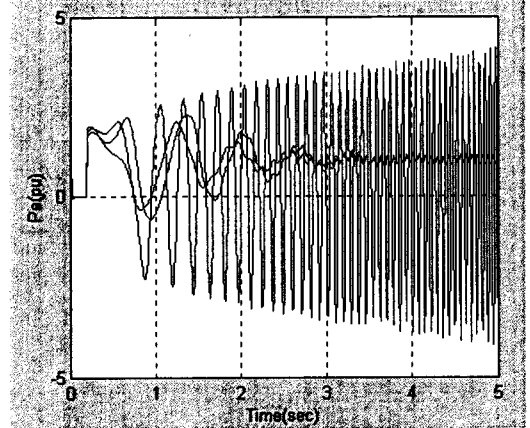


그림 9 모터의 동적응답을 고려한 경우(case2)

그림 6는 모터를 일정한 임피던스 부하로 취급한 경우의 사고 모션에 인접한 발전기 2,3,4번의 유효전력의 변화를 나타낸 것이다. 사고직전 G2의 출력은  $P_e = 0.836$  pu, G3는  $P_e = 0.837$ , G4는  $P_e = 0.798$ pu이다. 고장 제거시간은 0.1s로 가정했다. 계통의 모든 초기치는 광양제철소 전력계통의 어느 시점의 실제 운전 데이터이다. 그림 6와 7을 비교해 보면 모터의 동적응답을 고려한 경우 응답의 진폭이 작음을 알 수 있다. 모터는 관성을 가지는 부하이므로 응답속도가 늦음을 알 수 있다. 고려한 모터는 22대의 동기모터이고 용량은 8.41~48.65MVA이다. 모터에 걸린 부하는 일정한 것으로 가정했다. 사고후 발전기 G1이 계통에서 분리되더라도 나머지 발전기들이 동기화를 유지함을 알 수 있다. 같은 고장점에 대하여 고장제거시간을 0.188s로 했을 때 응답이 그림 8과 9이다. 모터의 동적특성을 고려하면 불안정함을 알 수 있다. 사고제거 시간을 크게잡았을 때 모터부하의 동적특성이 안정도에 많은 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 모터를 고려하는 방법에 따라 안정도의 한계가 달라짐의 확인할 수 있다. 본 논문의 안정도 모의에서는 선로의 제약이나, 한전모션의 용량제약을 설정하지는 않았다. 하지만 모터의 동적특성이 안정도에 많은 영향을 미침을 알 수 있다.

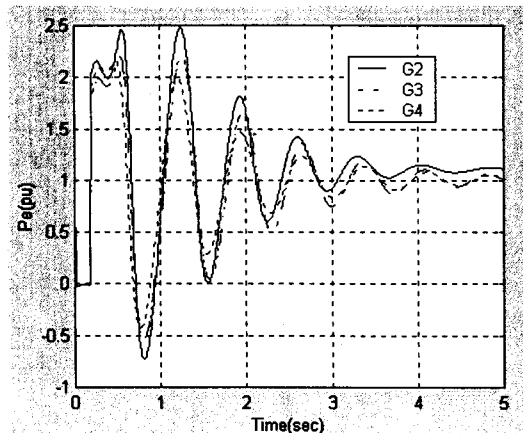


그림 8 모터를 일정임피던스로 취급한 경우(case2)

### 3. 결 론

본 논문에서는 광양제철소내의 전력계통에 대하여 온라인 안정도 해석을 행하였다. 안정도 해석시 일반적으로 일정임피던스부하로 취급하는 모터를 동적인 모델로 취급하여 사고시 모터의 동적응답을 그대로 반영하였다. 광양제철소의 경우 부하의 상당부분을 동기모터가 차지하는데 시뮬레이션결과 모터의 동적응답을 고려하는 경우와 고려하지 않는 경우 해석결과가 차이가 남을 알 수 있었다. 즉 모터부하가 집중된 시스템의 경우 모터의 동적 특성을 정확히 고려하는 것이 시스템의 정확한 해석에 많은 영향을 준다는 것을 알 수 있다. 또한 사용자 인터페이스를 통한 온라인 안정도 해석시스템을 구축하였다. 안정도 해석 엔진과 인터페이스를 별개로 구축하였고 데이터베이스를 통한 데이터의 관리로 프로그램의 유지를 보다 쉽게 할 수 있도록 하였다. 이것은 같은 시스템에 대한 다른 해석엔진과의 연계를 쉽게 할 수 있다는 장점을 가진다. 실제통을 대상으로 온라인 안정도 해석을 하였다는데 또한 의의를 들 수 있다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] P. Kundur, Power System Stability and Control, McGraw-Hill, 1994
- [2] 박지호, 백영식, 이재용, 신정훈, "객체지향기법을 적용한 디지털 컴퓨터 시뮬레이터", 대한전기학회 논문지, 제 45권, 제10호 pp. 1387-1393, 1996. 10.
- [3] 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
- [4] 이희춘, "광양제철소 전력계통분석 모의실험 및 전산기 적용방안 연구", POSCO, 1999
- [5] SIEMENS, "Power Transmission and Distribution Power System Planning", FINAL REPORT PART1:REPORT, 1996
- [6] SIEMENS, "Power Transmission and Distribution Power System Planning", FINAL REPORT PART3:DATA DOCUMENTATION, 1996